

PENGARUH ASIMILASI DATA SATELIT HIMAWARI-8 PADA PEMODELAN CUACA WRF-ARW UNTUK PREDIKSI SIKLON TROPIS

The Effect of Himawari-8 Satellite Data Assimilation on WRF-ARW Model for Tropical Cyclone Prediction

Bimo Satria Nugroho^{1)*}

¹⁾Stasiun Meteorologi Depati Amir Pangkalpinang, Jalan Bandara Depati Amir, Dul, Pangkalan Baru, Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung

*E-mail : bimo.nugroho@bmkg.go.id

Intisari

Peningkatan akurasi model WRF-ARW untuk prediksi siklon tropis yang berpotensi terjadi di sekitar wilayah Indonesia dan memengaruhi kondisi cuacanya menjadi suatu kajian yang penting dilakukan. Salah satu cara perbaikan prediksi yaitu dengan menerapkan asimilasi data menggunakan data radiances satelit Himawari-8. Data radiances satelit himawari-8 dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi memiliki banyak keuntungan untuk wilayah Indonesia sehingga dapat dimanfaatkan untuk perbaikan kondisi awal model. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi pengaruh asimilasi data satelit Himawari-8 menggunakan teknik 3DVAR pada prediksi siklon tropis. Data satelit yang digunakan untuk asimilasi data yaitu data kanal water vapor dan kanal infra merah lainnya. Prosedur uji parameterisasi fisis pada skema konveksi dan mikrofisis diterapkan sebelum proses asimilasi data. Asimilasi data diterapkan pada prediksi siklon tropis Yvette (2016) dan Veronica (2019). Parameterisasi fisis dengan skema konveksi Kain-Fritsch dan skema mikrofisis WSM3 merupakan skema yang paling baik dalam menghasilkan prediksi siklon tropis. Asimilasi data dari setiap skema yang diujikan memberikan pengaruh dalam proses intensifikasi siklon tropis menjadi lebih kuat dan lebih cepat. Asimilasi data satelit Himawari-8 menggunakan data dari kanal water vapor menghasilkan prediksi siklon tropis yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan semua kanal infra merah. Asimilasi data satelit Himawari-8 menunjukkan adanya perbaikan prediksi yang ditunjukkan dengan pengurangan absolute error mencapai 49,1% pada lintasan siklon tropis, 38,6% pada tekanan udara minimum, 35,4% pada kecepatan angin maksimum dan 10,6% pada parameter curah hujan.

Kata Kunci: Asimilasi, Parameterisasi, WRF, Siklon tropis, Himawari-8.

Abstract

Improving the accuracy of WRF-ARW models for prediction of tropical cyclones potentially occur around Indonesia and affect its weather is an important study to be carried out. One of method to improve predictions is applying data assimilation using Himawari-8 radiance satellite data. Radiance data from Himawari-8 satellite with high spatial and temporal resolution has many advantages for Indonesia so that it can be utilized to improve the initial conditions of the model. The purpose of this study is to identify the effect of the Himawari-8 satellite data assimilation using 3DVAR techniques on tropical cyclone predictions. Satellite data used for data assimilation are radiance data from water vapor channels and other infrared channels. Procedure of physical parameterization test on convection and microphysics scheme are applied before the data assimilation process. Data assimilation is applied on prediction of tropical cyclone Yvette (2016) and Veronica (2019). Physical parameterization with Kain-Fritsch convection scheme and WSM3 microphysics scheme are the best schemes in producing tropical cyclone predictions. Data assimilation from each of the schemes tested has an impact on the intensification process of tropical cyclones becoming stronger and faster. Assimilation of Himawari-8 satellite data using data from water vapor channel produces better tropical cyclones predictions compared to using all infrared channels. The assimilation of Himawari-8 satellite data showed an improvement in predictions as indicated by a reduction in absolute error reaching 49.1% on tropical cyclone track, 38.6% on minimum central pressure, 35.4% on maximum wind speed and 10.6% on rainfall parameters.

Keywords: Assimilation, Parameterization, WRF, Tropical cyclone, Himawari-8.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah kepulauan atau benua maritim di daerah ekuatorial (10° LU - 10° LS) sehingga menerima surplus energi panas untuk segala musim (Tjasyono, 2007). Lautan di daerah tropis menerima energi sangat banyak dari matahari yang kemudian dilepaskan kembali ke atmosfer melalui proses penguapan. Pelepasan energi dari perairan hangat ini merupakan pemicu utama dari siklon tropis (Roy & Kovordanyi, 2018). Siklon tropis hanya dapat terbentuk pada perairan hangat dengan suhu 26°C atau lebih dan intensitasnya sangat sensitif terhadap kondisi suhu permukaan laut (Emanuel, 1986; Tuleya & Kurihara, 1982).

Secara global, 80 hingga 90 siklon tropis terjadi setiap tahunnya dari berbagai basin. Dua samudra yang mengapit Indonesia, Pasifik dan Hindia, merupakan 2 basin sebagai daerah pertumbuhan siklon tropis yaitu basin *Western North Pacific* (WNP) di utara Indonesia dan basin *Australian/Southeast Indian* di selatan Indonesia (Neumann, 2017b). Walaupun secara klimatologis Indonesia tidak secara langsung dilalui jalur siklon tropis (BMKG, 2009), keberadaannya dapat mempengaruhi kondisi cuaca di Indonesia dan berpotensi menimbulkan bencana hidrometeorologi (Kiki & Hendriadi, 2017) sehingga perlu adanya mitigasi berupa prediksi siklon tropis yang akurat (WMO, 2016).

Prediksi terhadap beberapa parameter siklon tropis seperti posisi, intensitas, distribusi angin, *storm surge*, gelombang laut dan curah hujan dapat dilakukan dengan prediksi cuaca numerik (PCN) (Neumann, 2017a). Kemampuan PCN semakin berkembang seiring dengan adanya peningkatan jaringan pengamatan, peningkatan pemahaman ilmiah dan perkembangan teknologi komputasi sehingga kemampuan prediksi semakin efektif (Benjamin *et al.*, 2019). Namun, PCN untuk kejadian ekstrem seperti siklon tropis masih menjadi tantangan untuk mendapatkan prediksi yang akurat (Gopalakrishnan & Chandrasekar, 2018) karena genesis siklon tropis yang kompleks (Simpson *et al.*, 1997).

Salah satu cara peningkatan akurasi PCN yaitu melalui perbaikan saat inisialisasi model dengan menerapkan asimilasi data observasi (Warner, 2011). Data observasi untuk asimilasi salah satunya adalah data radians satelit cuaca (Liu & Barker, 2006). Data radians yang disediakan oleh *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) umumnya berasal dari sensor-sensor satelit orbit polar (NCEP, 2009). Data radians dari satelit orbit polar memiliki daerah cakupan menyeluruh secara global yang dibutuhkan oleh model PCN global (Jung *et al.*, 2008) dan biasanya memiliki resolusi spektral yang lebih tinggi dibanding satelit geostasioner (Li & Zou, 2017; Shen & Min, 2015; Xu *et al.*, 2013). Namun, satelit orbit polar

tidak mampu mengamati secara terus menerus di suatu daerah tertentu dan berpotensi kehilangan pengamatan pertumbuhan badai yang cepat (Y. Wang *et al.*, 2018). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan data radians dari satelit geostasioner. Keunggulan satelit geostasioner yaitu mampu menyediakan data kanal infra merah dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi (Ma *et al.*, 2017) dan memberikan informasi perkembangan fenomena cuaca dari skala meso hingga skala konvektif secara terus menerus, karena posisinya yang relatif tetap terhadap permukaan bumi (Montmerle *et al.*, 2007; Stengel *et al.*, 2009; Zou *et al.*, 2011).

Satelit geostasioner meteorologi yang dimanfaatkan untuk penginderaan jauh oleh BMKG dan memiliki misi khusus meteorologi untuk peningkatan pengamatan dan prediksi cuaca adalah satelit Himawari-8 (Kushardono, 2012). Satelit tersebut dibekali dengan sensor *Advanced Himawari Imager* (AHI) yang memiliki 16 kanal. Resolusi spasial satelit antara $0,5 - 2$ km sedangkan resolusi temporal full-disk setiap 10 menit secara terus menerus. Posisi satelit relatif tetap terhadap bumi di ekuator pada bujur $140,7^{\circ}\text{BT}$ (Bessho *et al.*, 2016).

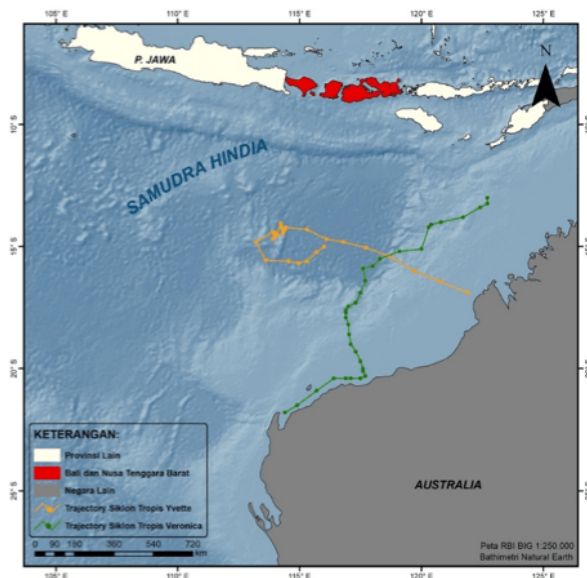
Penggunaan data radians AHI satelit Himawari-8 untuk asimilasi pada model WRF pernah dilakukan beberapa kali dengan berbagai metode simulasi dan berbagai pengolahan data AHI (Ma *et al.*, 2017; Qin *et al.*, 2017; Y. Wang *et al.*, 2018). Salah satunya dilakukan oleh Y. Wang *et al.* (2018) yang mengeksperimenkan asimilasi data radians AHI satelit Himawari-8 secara langsung menggunakan teknik 3DVar dalam sistem WRFDA untuk pertama kalinya pada kejadian hujan lebat di China Utara. Sementara pemanfaatan asimilasi satelit Himawari-8 untuk prediksi siklon tropis pernah dilakukan oleh Lu *et al.* (2019) menggunakan teknik 3DVar dalam sistem *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI).

Kemampuan prediksi suatu model juga dipengaruhi oleh parameterisasi fisis untuk mewakili proses-proses fisis yang tidak dapat diselesaikan secara langsung oleh model numerik (Stensrud, 2009). Penelitian sebelumnya menunjukkan skema konveksi berperan penting untuk mengestimasi pelepasan panas laten oleh awan (Biswas *et al.*, 2014) dan skema mikrofisis untuk proses presipitasi (Sun *et al.*, 2015), dimana kedua kondisi tersebut penting bagi siklon tropis agar dapat bertahan (Adler & Rodgers, 1977; Kuo, 1974).

Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi dampak penerapan asimilasi data radians satelit Himawari-8 dengan teknik asimilasi 3DVar melalui sistem WRFDA dalam memprediksi siklon tropis. Penelitian ini juga menerapkan prosedur uji parameterisasi konveksi dan mikrofisis sebelum dilakukan tahap asimilasi agar hasil prediksi siklon tropis lebih optimal dan menghasilkan prediksi yang paling realistis.

2. METODE

Penelitian ini mengkaji dua studi kasus siklon tropis yaitu siklon tropis Yvette (18-25 Desember 2016) dan siklon tropis Veronica (18-27 Maret 2019). Penelitian ini dilakukan di daerah pembentukan kedua siklon tropis yaitu basin Australian/South East Indian khususnya Perairan Samudra Hindia sebelah selatan Indonesia. Penelitian ini juga mengkaji wilayah Provinsi Bali dan Nusa Tenggara Barat (NTB) sebagai wilayah Indonesia yang dipengaruhi oleh kedua kejadian siklon tropis tersebut. Wilayah penelitian ditampilkan oleh Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Beberapa data yang digunakan dalam penelitian yaitu data model *Global Forecast System* (GFS) sebagai data masukan WRF-ARW untuk kondisi batas dan kondisi awal model dengan resolusi $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ dalam format *GRIB* (*.grib2) diperoleh dari NCEP yang diunduh melalui rda.ucar.edu/datasets/ds084.1 (NCEP, 2015). Data model GFS yang digunakan menyesuaikan selama periode aktif siklon tropis yaitu pada tanggal 18 Desember 2016 pukul 06.00 UTC hingga data $t+150$ dan data tanggal 17 Maret 2019 pukul 18.00 UTC hingga data $t+204$ setiap interval 3 jam.

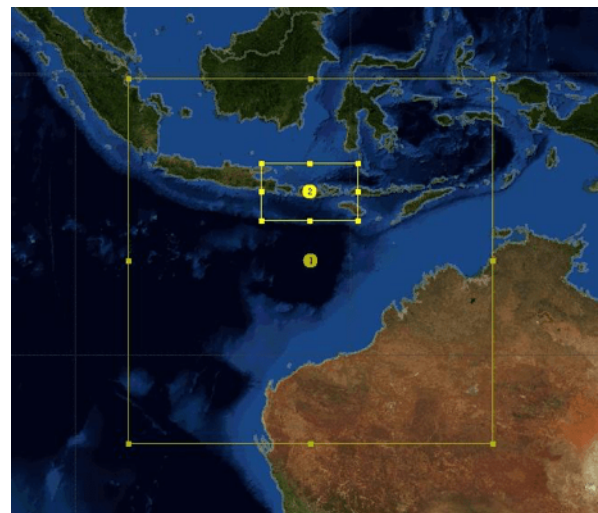
Data observasi yang digunakan untuk asimilasi dalam sistem WRFDA terdiri dari data radiances AHI satelit Himawari-8 *full-disk*. Data radiances satelit Himawari-8 memiliki resolusi spasial 2×2 km dan data yang digunakan merupakan tipe *Himawari Standard Data* (HSD) dengan format *data file* (*.DAT) yang diperoleh dari Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit Cuaca BMKG. Data tipe HSD tersebut akan dikonversi terlebih dahulu sebelum dilakukan asimilasi. Selain data radiances satelit, data observasi konvensional yang berisi data pengamatan permukaan dan udara atas juga digunakan. Data observasi konvensional disediakan dalam format PREPBUFR diperoleh

dari NCEP yang diunduh melalui rda.ucar.edu/datasets/ds337.0 (NCEP, 2008).

Verifikasi hasil prediksi siklon tropis keluaran model menggunakan data *best track* siklon tropis dan data curah hujan. Data *best track* dari kedua siklon tropis meliputi koordinat posisi pergerakan siklon tropis dan intensitas siklon tropis (tekanan udara permukaan minimum dan kecepatan angin maksimum) yang diperoleh dari *Bureau of Meteorology* (BoM) Australia disediakan untuk setiap interval 6 jam. Data curah hujan observasi diperoleh dari penakar hujan obs dan hellman di 7 titik pengamatan stasiun BMKG di Bali dan NTB.

2.1 Konfigurasi Model WRF-ARW

Model WRF-ARW v4.1 digunakan dalam penelitian ini. Domain model ditentukan dengan mempertimbangkan data *best track* dari studi kasus kedua siklon tropis dan biaya komputasi yang diperlukan. Dalam penelitian ini, kondisi syarat batas menggunakan data model GFS yang diturunkan atau *downscale* secara dinamis menjadi 2 *nesting domain* sehingga lebih tinggi resolusinya dengan perbandingan resolusi horizontal 1:3. Resolusi horizontal pada domain terluar, domain 1 (D1), yaitu 9 km dengan jumlah *grid* 300×300 dan domain yang lebih kecil, domain 2 (D2), yaitu 3 km dengan jumlah *grid* 238×142 . Jumlah lapisan vertikal 37 lapisan hingga puncak lapisan 50 hPa. Titik pusat berada di 14.5°LS , 117°BT dan penempatan *nesting domain* seperti Gambar 2.



Gambar 2. Domain model WRF-ARW

Parameterisasi fisis berperan penting dalam menentukan kemampuan PCN (Bauer *et al.*, 2015), karena skema parameterisasi fisis mampu mewakili proses-proses fisis yang tidak dapat diselesaikan secara langsung oleh model numerik (Stensrud, 2009). Pada penelitian ini, untuk skema parameterisasi mikrofisis dan konveksi akan dilakukan uji parameterisasi terlebih dahulu untuk ditentukan kombinasi skema yang terbaik dalam memprediksi siklon tropis. Rincian pengaturan skema parameterisasi fisis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi skema parameterisasi fisis

Skema Parameterisasi	Pilihan Skema
Radiasi Gelombang Panjang	<i>Rapid Radiative Transfer Model (RRTM)</i>
Radiasi Gelombang Pendek	<i>Dudhia Scheme</i>
Lapisan Batas Atmosfer	<i>Yonsei University Scheme (YSU)</i>
Konveksi	<i>Kain-Fritsch (KF), Betts-Miller-Janjic (BMJ), Grell 3D Ensemble</i>
Mikrofisis	<i>Kessler, Purdue Lin, WSM3, WSM6, Thompson</i>
Permukaan Tanah	<i>Unified Noah land-surface model</i>
Lapisan Permukaan	<i>Revised MM5</i>

Kombinasi 3 skema konveksi dan 5 skema mikrofisis dalam 15 eksperimen uji parameterisasi dengan rincian kombinasi seperti pada Tabel 2. Proses uji parameterisasi dijalankan menggunakan waktu *spin up* 6 jam hingga prediksi $t+150$ pada studi kasus saat siklon tropis Yvette.

Tabel 2. Kombinasi skema uji parameterisasi mikrofisis dan konveksi

Eksperimen	Konveksi	Mikrofisis
E1	KF	Kessler
E2	KF	Purdue Lin
E3	KF	WSM3
E4	KF	WSM6
E5	KF	Thompson
E6	BMJ	Kessler
E7	BMJ	Purdue Lin
E8	BMJ	WSM3
E9	BMJ	WSM6
E10	BMJ	Thompson
E11	G3D	Kessler
E12	G3D	Purdue Lin
E13	G3D	WSM3
E14	G3D	WSM6
E15	G3D	Thompson

2.2 Menjalankan Model WRFDA

WRFDA membutuhkan data radian satelit Himawari-8 dalam format NetCDF-4 hasil keluaran dari *Geostationary Cloud Algorithm Testbed* (GEOCAT) untuk proses asimilasi (Y. Wang *et al.*, 2018). Proses pengolahan data radian satelit Himawari-8 tipe data HSD dilakukan dengan mengubah atau mengkonversi menjadi data NetCDF-4 (*.nc) menggunakan aplikasi *CSPP GEO Geocat Software Package v1.0.3b* sehingga dapat dibaca oleh sistem asimilasi *WRFDA v4.1*. Data yang dikonversi merupakan data HSD seluruh kanal dan seluruh segmen yang kemudian melalui aplikasi tersebut akan diolah menjadi satu file data

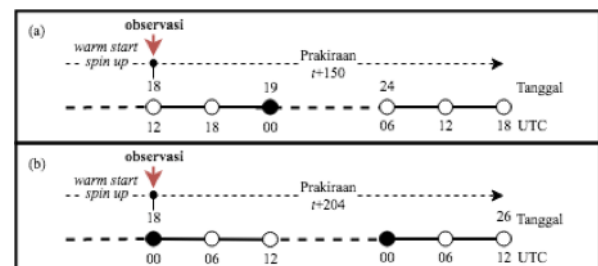
yang memuat seluruh informasi tersebut. Hasil konversi melalui aplikasi tersebut menjadi 2 file data yaitu data level 1 (L1) berupa data *brightness temperature* dan level 2 (L2) berupa data turunan yaitu data *cloud product* (CIMSS, 2019). Pada penelitian ini hanya akan menggunakan data L1.

Asimilasi data menggunakan teknik asimilasi 3DVar melalui sistem asimilasi *WRFDA v4.1*. Tujuan dasar dari sistem data asimilasi *variational* adalah untuk menghasilkan estimasi optimal dari kondisi atmosfer sebenarnya pada waktu analisis melalui solusi berulang dari *cost-function* yang telah ditentukan (Ide *et al.*, 1997). Teknik asimilasi 3DVar memungkinkan asimilasi data hanya pada awal waktu inialisasi model (Barker *et al.*, 2004). Beberapa data observasi yang digunakan untuk asimilasi diterapkan dalam 4 skema yaitu NDA (*Non-Data Assimilation*), CDA (*Conventional Data Assimilation*), HDAWV (*Himawari Data Assimilation Water Vapor*) dan HDAIR (*Himawari Data Assimilation Infrared*). Keempat skema tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skema running model WRF-ARW

Skema Asimilasi	Data yang digunakan
NDA	tanpa asimilasi data
CDA	Data observasi konvensional PREPBUFR
HDAWV	CDA + AHI water vapor (kanal 8-10)
HDAIR	CDA + AHI IR (kanal 7-16, kecuali kanal 12)

Pada penelitian ini skema asimilasi HDAWV menggunakan data satelit Himawari-8 dari kanal *water vapor* (6.2, 6.9 dan 7.3 μm) seperti yang pernah dilakukan Y. Wang *et al.* (2018) dan skema HDAIR dari data semua kanal *infrared* (IR) yaitu kanal 7 sampai 16 kecuali kanal 12 seperti yang pernah dilakukan Qin *et al.* (2017) pada penelitian sebelumnya. Kanal 12 tidak digunakan karena kanal tersebut sensitif untuk lapisan ozon troposfer yang efektif pada lapisan 30 hPa diatas puncak model (50 hPa) yang digunakan dalam penelitian ini (Qin *et al.*, 2017).

**Gambar 3.** Skema asimilasi data saat (a) siklon tropis Yvette dan (b) Veronica, anak panah merah menunjukkan waktu dilakukannya asimilasi data observasi

Skema asimilasi menerapkan skema *warm start* dimana *first guess* pada proses asimilasi data menggunakan keluaran dari prediksi pada model *spin up* yang digunakan. Waktu *spin up* yang digunakan yaitu 6 jam sesuai dengan Gallus Jr (1999) dan W. Wang and Seaman (1997) yang menyatakan waktu *spin up* 6 hingga 12 jam mampu memberikan hasil prediksi yang lebih baik. Skema waktu dilakukannya asimilasi data diilustrasikan pada Gambar 3.

Proses komputasi pada penelitian ini menggunakan layanan *High Performance Computing* (HPC) yang disediakan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Deskripsi teknis layanan komputasi yang diberikan oleh BRIN disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Konfigurasi komputasi BRIN HPC	
Konfigurasi	Keterangan
Jumlah <i>core</i> CPU	100
Jumlah <i>core</i> GPU	1
Storage	100 GB
Running jobs	4 <i>parallel jobs</i> , 1 <i>jobs</i> = 32 <i>processor per node</i> (ppn)

2.3 Verifikasi

Keluaran model WRF diolah menjadi data prediksi lintasan siklon tropis, intensitas siklon tropis (tekanan udara minimum dan kecepatan angin maksimum) dan curah hujan. Keempat parameter diverifikasi terhadap data *best track* dan data curah hujan observasi. Verifikasi yang dilakukan mengikuti rekomendasi WMO tentang verifikasi prediksi siklon tropis dengan metode verifikasi parameter kontinu melalui persamaan *mean absolute error* (MAE) (WMO, 2013).

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

Keterangan:

F_i : data prediksi ke- i

O_i : data observasi ke- i

N : jumlah data

Persamaan MAE digunakan untuk memverifikasi parameter intensitas siklon tropis dan curah hujan. Sementara itu untuk parameter posisi pergerakan siklon tropis diverifikasi dengan menghitung nilai *direct positional error* (DPE) (G. Chen *et al.*, 2015; Heming, 2017; Mohapatra, 2014; WMO, 2013). Pada prinsipnya sama dengan MAE yang merupakan *error* mutlak, DPE menghitung selisih jarak antara pusat siklon tropis keluaran model dan data *best track*. Perhitungan jarak antara kedua titik koordinat tersebut menggunakan persamaan *haversine* yang merupakan persamaan penting dalam navigasi yang digunakan untuk mengukur jarak dua titik di bumi melalui lintang dan bujur (Choudhury & Das, 2017).

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

Keterangan:

d : jarak dua titik di permukaan bumi

r : jari-jari bumi

h : *haversine*

ϕ_1, ϕ_2 : lintang

λ_2, λ_1 : bujur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Skema Parameterisasi

Hasil verifikasi dari pengujian skema parameterisasi mikrofisis dan konveksi pada kasus siklon tropis Yvette ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan nilai MAE pada beberapa parameter hasil uji parameterisasi mikrofisis dan konveksi pada kasus siklon tropis Yvette

Ekspe- rimen	Lintasan		Tekanan		Angin		Hujan		% Rata- rata
	MAE	%	MAE	%	MAE	%	MAE	%	
E1	255,5	87,2	20,3	100,0	14,3	100,0	32,5	64,4	87,9
E2	268,1	91,6	7,6	37,5	12,6	88,2	14,8	29,2	61,6
E3	162,3	55,4	7,5	36,9	6,5	45,4	14,8	29,4	41,8
E4	292,9	100,0	7,6	37,3	12,1	84,7	14,5	28,8	62,7
E5	287,3	98,1	8,7	43,1	12,0	83,9	11,6	22,9	62,0
E6	274,9	93,9	12,0	59,1	9,4	65,2	39,1	77,5	73,9
E7	200,4	68,4	8,0	39,4	9,3	64,6	6,3	12,5	46,2
E8	232,2	79,3	7,0	34,4	9,3	64,6	6,6	13,0	47,8
E9	182,2	62,2	6,7	33,1	9,1	63,1	6,5	13,0	42,9
E10	215,2	73,5	7,8	38,3	9,3	64,7	6,1	12,1	47,2
E11	221,9	75,8	14,1	69,4	9,7	67,9	50,5	100,0	78,3
E12	224,3	76,6	15,5	76,5	11,8	82,4	28,7	56,9	73,1
E13	183,8	62,8	7,4	36,4	10,1	70,2	13,9	27,5	49,2
E14	226,1	77,2	15,0	74,1	11,2	78,3	28,0	55,4	71,2
E15	206,8	70,6	12,2	60,3	10,5	73,1	28,2	55,9	65,0

Nilai MAE dari setiap eksperimen dalam suatu parameter dilakukan normalisasi menggunakan metode pembagian terhadap nilai terbesar (Tofallis, 2014) pada masing-masing parameter sehingga didapatkan persentase (%) untuk masing-masing eksperimen dalam suatu parameter dan kemudian dihitung rata-ratanya (% rata-rata). Persentase rata-rata terkecil mengindikasikan secara umum skema tersebut memiliki nilai *error* model yang lebih kecil dan hasil prediksi yang paling realistis pada beberapa parameter keluaran prediksi. Nilai persentase rata-rata terkecil dihasilkan skema E3 yang merupakan kombinasi skema konveksi KF dan skema mikrofisis WSM3.

Skema konveksi KF memperhitungkan proses fisis pada skala sub-grid dengan melibatkan konveksi *deep* dan *shallow* pada proses *updraft/downdraft* yang didasarkan pada perturbasi suhu sebagai fungsi adveksi horizontal dan vertikal (Kain, 2004). Proses fisis yang terjadi dalam skema KF tersebut menghasilkan konveksi kuat yang lebih realistis dalam pembentukan dan pergerakan siklon tropis Yvette. Skema KF juga menunjukkan prediksi lintasan siklon tropis yang paling baik dalam kasus lain pada siklon tropis Nargis (Raju *et al.*, 2011), Sidr, Gonu, Akash, Mala (Osuri *et al.*, 2012). Skema mikrofisis WSM3 melibatkan 3 variabel hidrometeor yaitu uap air, awan air/es dan hujan dalam menyelesaikan proses-proses mikrofisis dalam awan (Hong *et al.*, 2004). Penggunaan variabel hidrometeor dalam skema WSM3 tersebut lebih efisien dalam mensimulasikan proses mikrofisis seperti perhitungan uap air sebagai sumber energi dari siklon tropis. Skema WSM3 juga menghasilkan prediksi lintasan terbaik seperti dijelaskan Mahala *et al.* (2015) pada siklon tropis Phailin.

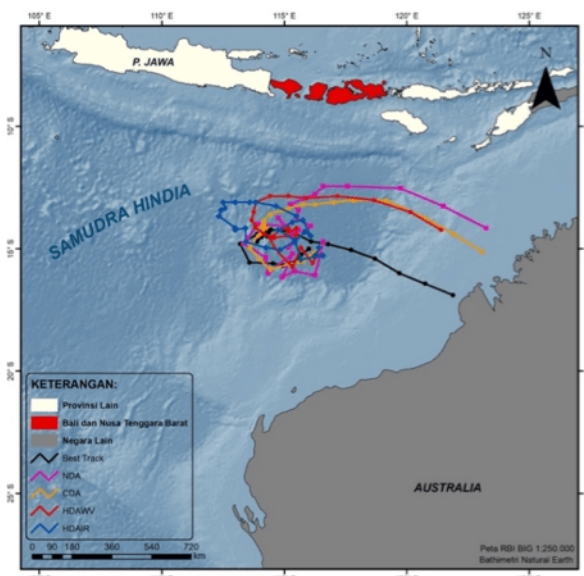
Skema E3 menghasilkan *error* terkecil pada prediksi lintasan dan secara rata-rata dari keempat parameter. Prediksi lintasan yang akurat lebih berperan penting dalam penentuan lokasi geografis dimana kerusakan maksimum akibat angin dan hujan diprediksi terjadi (Raju *et al.*, 2011). Oleh karena itu skema E3 merupakan skema terpilih yang selanjutnya akan digunakan dalam proses asimilasi data.

3.2 Kasus Siklon Tropis Yvette

3.2.1 Lintasan Siklon Tropis

Pola lintasan siklon tropis Yvette yang ditampilkan Gambar 4 menunjukkan skema NDA, CDA dan HDAWV cenderung memiliki pola yang menyerupai lintasan dari data *best track* namun dengan posisi dan jarak antar titik yang bervariasi. Pada periode tengah hingga akhir prediksi skema CDA dan HDAWV terlihat memiliki pola lintasan yang lebih mendekat ke pola lintasan data *best track*. Sedangkan lintasan pada skema HDAIR memiliki pola yang paling berbeda diantara skema lainnya terutama saat tahap akhir dari periode aktif

siklon tropis dimana lintasan siklon tropis tidak berakhir di dekat pesisir utara Australia seperti skema lainnya.



Gambar 4. Lintasan siklon tropis Yvette dari 4 skema asimilasi

Penyimpangan lintasan siklon tropis diindikasikan karena pengaruh proses intensifikasi siklon tropis yang bervariasi. Kondisi tersebut dapat dilihat pada saat pelemahan dari siklon tropis menurut data *best track* dimana pergerakan siklon tropis sudah menuju ke pesisir Australia dan berakhir di dekat daratan Australia sementara pada skema HDAIR menunjukkan hingga akhir prediksi posisi dan pergerakan siklon tropis masih berada di tengah Samudra Hindia selatan Bali dan NTB. Pada skema HDAWV juga menunjukkan posisi siklon tropis berakhir di perairan yang lebih mengarah ke tengah. Kondisi tersebut menunjukkan proses intensifikasi siklon tropis masih memiliki cukup energi yang lebih banyak pada perairan yang lebih dalam untuk bertahanya siklon tropis (Potter *et al.*, 2019). Asimilasi data mampu meningkatkan proses intensifikasi siklon tropis lebih cepat dan lebih kuat salah satunya karena mampu menyediakan kondisi atmosfer yang lebih lengkap terutama pada asimilasi data satelit sehingga memberikan informasi atmosfer yang lebih basah di setiap lapisan troposfer di lautan (Qin *et al.*, 2017). Namun, proses intensifikasi yang terjadi pada skema HDAIR menunjukkan proses yang sangat kuat dan prediksi lintasan siklon tropis yang dihasilkan menjadi kurang realistis.

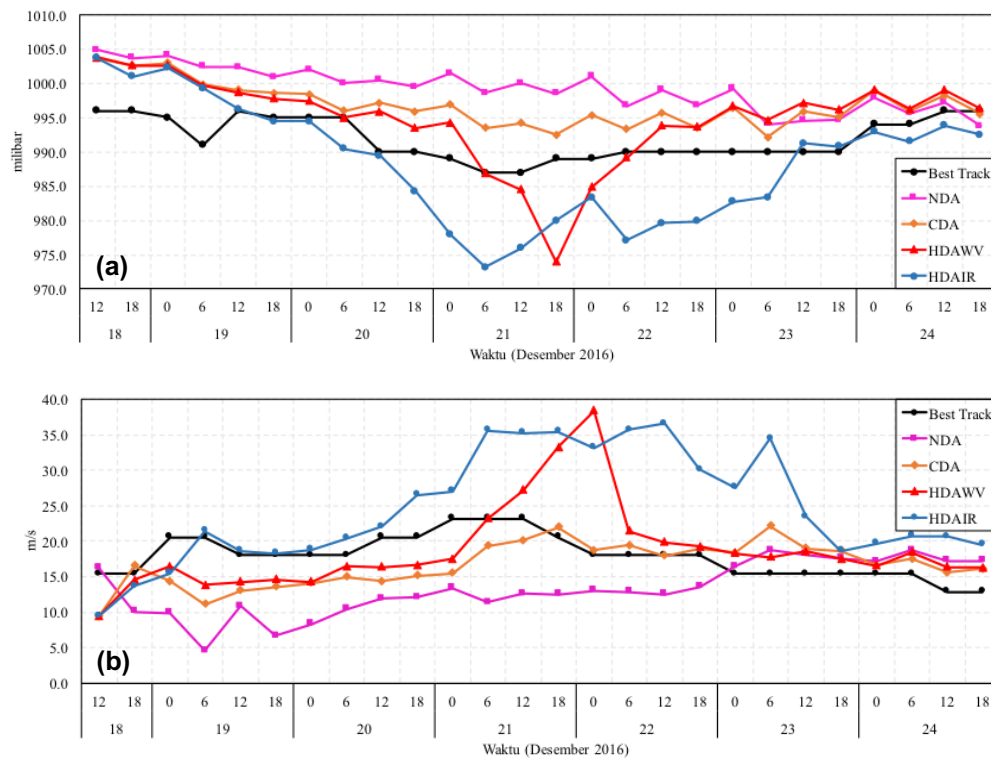
3.2.2 Intensitas Siklon Tropis

Intensitas atau kekuatan dari siklon tropis ditinjau dari parameter tekanan udara permukaan minimum di pusat siklon tropis dan kecepatan angin permukaan maksimum di dekat pusat siklon tropis (Rosendal & Shaw, 1982). Hasil prediksi dari 4 skema asimilasi pada kedua parameter tersebut ditampilkan dalam Gambar 5.

Gambar 5 (a) menampilkan nilai tekanan

udara yang tidak berbeda signifikan pada awal prediksi (+00h), namun terdapat selisih sekitar 8 mb dengan data *best track*. Pada skema HDAIR terdapat penurunan tekanan signifikan pada 20 Desember 2016 00.00 UTC hingga mencapai titik tekanan terendah 973,2 mb pada 21 Desember 2016 06.00 UTC. Penurunan tekanan yang signifikan juga terjadi pada skema HDAWV mulai 21 Desember 2016 00.00 UTC hingga mencapai titik tekanan terendah 974 mb pada 21 Desember

2016 18.00 UTC. Pada skema NDA dan CDA tidak terjadi penurunan tekanan yang signifikan, tekanan turun hingga mencapai titik tekanan terendah < 990 mb. Secara umum pola grafik tekanan dari setiap skema tidak menunjukkan pola peningkatan dan penurunan yang sama dengan data *best track*. Skema NDA memiliki pola grafik yang bersesuaian dengan skema CDA dan skema HDAWV memiliki pola yang bersesuaian dengan skema HDAIR.



Gambar 5. Time series (a) tekanan udara minimum dan (b) kecepatan angin maksimum siklon tropis Yvette dari 4 skema asimilasi

Grafik kecepatan angin (Gambar 5b) menunjukkan pada awal prediksi (+00h), kecepatan angin maksimum pada skema NDA justru lebih mendekati data *best track*, sementara skema yang menerapkan asimilasi cenderung lebih rendah nilai kecepatan angin maksimumnya. Kecepatan angin maksimum kemudian menunjukkan kecenderungan meningkat hingga mencapai titik puncak kecepatan angin maksimum. Pada data *best track*, puncak kecepatan angin maksimum terjadi pada 21 Desember 2016 pukul 00.00 hingga 12.00 UTC dengan kecepatan 23,2 m/s. Pada skema NDA terjadi jeda waktu yang cukup lama untuk mencapai puncak kecepatan angin maksimum yaitu pada 23 Desember 2016 06.00 UTC dengan kecepatan 18,7 m/s. Pada skema CDA terjadi dua puncak kecepatan angin maksimum yaitu pada 21 Desember 2016 18.00 UTC sebesar 22 m/s dan kemudian meningkat kembali pada 23 Desember 2016 06.00 UTC sebesar 22,1 m/s. Skema HDAWV menunjukkan puncak kecepatan angin maksimum yang paling tinggi mencapai 38,4 m/s pada 22 Desember 2016 00.00 UTC, begitu juga dengan skema HDAIR yang menunjukkan

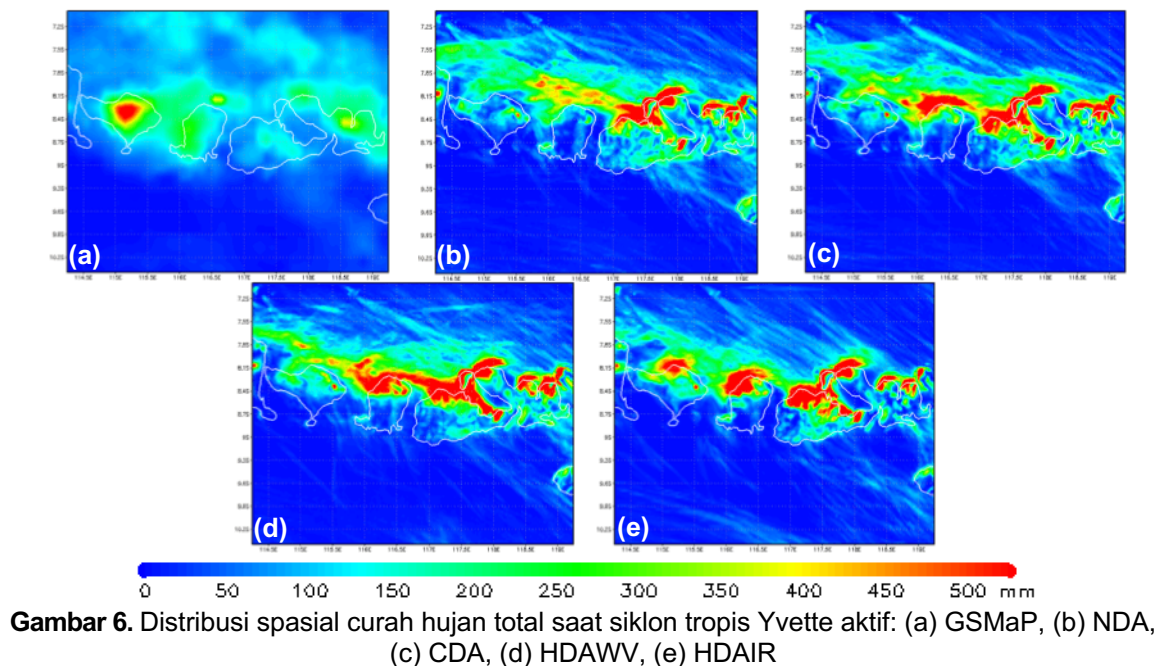
kecepatan angin maksimum mencapai > 35 m/s mulai 21 Desember 2016 00.00 UTC hingga 22 Desember 2016 12.00 UTC.

Distribusi temporal tekanan udara minimum (Gambar 5a) dan kecepatan angin maksimum (Gambar 5b) menunjukkan penurunan/peningkatan yang lebih rendah/tinggi pada skema yang menerapkan asimilasi data, bahkan pada skema HDAWV dan HDAIR menunjukkan nilai yang *overestimate* dibandingkan data *best track* pada tahap puncak siklon tropis. Jeda waktu terjadinya puncak siklon tropis dari skema yang menerapkan asimilasi data juga berkurang menjadi lebih lambat 2-3 interval waktu (CDA dan HDAWV) bahkan tidak ada jeda waktu pada skema HDAIR. Kondisi tersebut menunjukkan adanya proses intensifikasi siklon tropis yang lebih cepat sehingga terjadi peningkatan intensitas siklon tropis pada skema yang menerapkan asimilasi data, apalagi pada skema HDAIR dan HDAWV. Pada skema HDAWV dan HDAIR yang hasilnya cenderung *overestimate*, kanal *water vapor* dan kanal infra merah lainnya

memberikan informasi atmosfer yang lebih basah pada lapisan troposfer tengah dan atas (HDAWV) dan semua lapisan troposfer (HDAIR) (Qin *et al.*, 2017) dibanding skema CDA. Proses intensifikasi siklon tropis ditentukan melalui pelepasan panas laten oleh uap air dimana semakin banyak uap air maka semakin banyak kandungan panas laten yang dapat menghasikan energi untuk intensifikasi siklon tropis (Potter *et al.*, 2019).

3.2.3 Curah Hujan

Pertumbuhan awan-awan signifikan yang mampu menyebabkan peningkatan curah hujan merupakan salah satu dampak adanya siklon tropis aktif bagi daerah disekitarnya (L. Chen *et al.*, 2010). Distribusi spasial curah hujan total selama periode aktif siklon tropis Yvette (18 Desember 2016 12.00 UTC - 24 Desember 2016 18.00 UTC) di wilayah Provinsi Bali, NTB dan perairan sekitarnya ditampilkan pada Gambar 6.

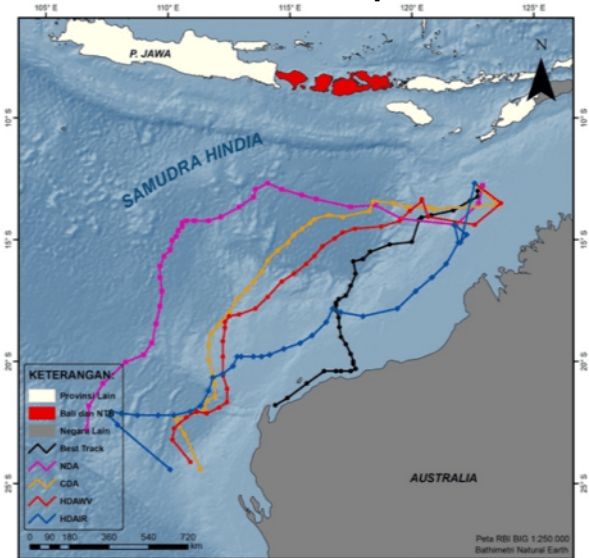


Curah hujan total keluaran model lebih terkonsentrasi di bagian utara Bali dan NTB termasuk daerah perairan utaranya. Pola distribusi spasial curah hujan yang dihasilkan semua eksperimen menampilkan pola yang berbeda secara signifikan dengan data GSMaP, sebagai contoh curah hujan total mencapai >500 mm (warna kemerahan) yang terjadi di tengah Pulau Bali pada data GSMaP tidak mampu dideteksi dengan intensitas dan cakupan area yang serupa oleh semua skema eksperimen. Secara umum, data curah hujan total keluaran semua skema eksperimen menampilkan nilai yang *overestimate* jika dibandingkan dengan data GSMaP.

Empat skema eksperimen menunjukkan distribusi spasial curah hujan total dengan pola sebaran yang mirip satu sama lain namun hanya berbeda nilai intensitasnya. Pada skema yang menerapkan asimilasi data (CDA, HDAWV, HDAIR), pola sebaran hujan menunjukkan adanya peningkatan intensitas curah hujan dari skema tanpa asimilasi (NDA). Jika dibandingkan dengan skema NDA, curah hujan total >500 mm (warna kemerahan) pada skema yang menerapkan asimilasi data menunjukkan pola sebaran yang lebih luas dan lebih dominan di beberapa daerah seperti curah hujan di utara Pulau Lombok dan Bali.

3.3 Kasus Siklon Tropis Veronica

3.3.1 Lintasan Siklon Tropis



Berdasarkan Gambar 7, pola lintasan siklon tropis Veronica pada skema NDA, CDA dan HDAWV cenderung memiliki pola yang menyerupai lintasan dari data best track namun

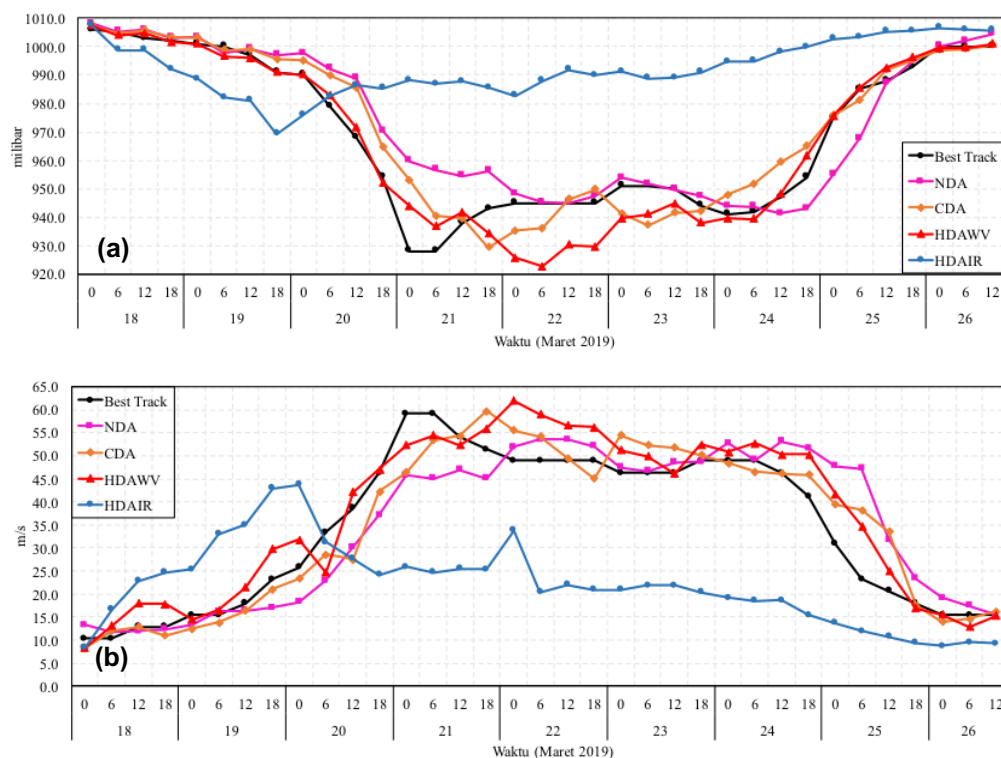
dengan posisi dan jarak antar titik yang bervariasi. Pola yang lebih mirip ditunjukkan antara skema CDA dan HDAWV. Pola lintasan skema NDA ditunjukkan paling menyimpang ke arah barat mencapai perairan Samudra Hindia selatan Jawa. Sedangkan lintasan pada skema HDAIR memiliki pola yang paling berbeda diantara skema lainnya. Pola lintasan skema HDAIR lebih mendekat ke perairan Australia pada awal dan pertengahan periode prediksi, namun pada akhir periode prediksi lebih menjauh ke arah barat.

Perbedaan posisi dan pergerakan siklon tropis disebabkan karena adanya masukan data untuk merepresentasikan kondisi atmosfer yang berbeda dari setiap skema. Skema HDAWV menunjukkan perbaikan prediksi lintasan paling baik dikarenakan data yang diasimilasikan menghasilkan sirkulasi atmosfer yang lebih baik

melalui perubahan profil vertikal suhu dan kelembaban (Lu *et al.*, 2019) yang diperoleh dari data kanal uap air satelit Himawari-8 dimana kanal tersebut sensitif di troposfer tengah dan atas (Ma *et al.*, 2017; Qin *et al.*, 2017; Y. Wang *et al.*, 2018). Pada skema HDAIR, walaupun skema tersebut menghasilkan prediksi lintasan siklon tropis yang lebih baik dibandingkan skema tanpa asimilasi (NDA), namun hasilnya kurang realistis dan dapat menimbulkan proses intensifikasi dalam prediksi intensitas siklon tropis yang kurang realistis (Ngo-Duc *et al.*, 2013).

3.3.2 Intensitas Siklon Tropis

Parameter tekanan udara minimum dan kecepatan angin maksimum siklon tropis Veronica hasil prediksi dari 4 skema asimilasi ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Time series (a) tekanan udara minimum dan (b) kecepatan angin maksimum siklon tropis Veronica dari 4 skema asimilasi

Gambar 8 (a) menunjukkan pada awal prediksi (+00h) keempat skema menghasilkan tekanan udara yang sama dengan data *best track*. Pada skema HDAIR penurunan tekanan yang terjadi cukup signifikan dari awal prediksi hingga mencapai titik tekanan terendahnya sekitar 970 mb pada tanggal 19 Maret 2019 18.00 UTC. Sedangkan pada data *best track* dan skema lainnya, tekanan udara mulai turun secara signifikan pada tanggal 20 Maret 2019 00.00 UTC. Data *best track* menunjukkan tekanan udara minimum mencapai 928 mb terjadi pada tanggal 21 Maret 2019 pukul 00.00 hingga 06.00 UTC, skema NDA dengan tekanan terendah 945 mb pada tanggal 22 Maret 2019 12.00 UTC, skema CDA pada tanggal 21 Maret 2019 18.00

UTC sebesar 929 mb dan skema HDAWV tekanan terendah 922 mb pada tanggal 22 Maret 2019 06.00 UTC. Kondisi tekanan udara pada rentang minimum ini berfluktuasi antara 930-955 mb dan bertahan hingga sekitar tanggal 24 Maret 2019 yang dapat diindikasikan pada tahap ini siklon tropis berada pada tahap yang paling aktif. Secara umum pola grafik tekanan dari skema NDA, CDA, HDAWV menunjukkan skema yang bersesuaian dengan data *best track*, tetapi untuk skema HDAIR menunjukkan pola yang sangat berbeda.

Pola grafik kecepatan angin maksimum (Gambar 8b) yang ditampilkan berbanding terbalik dengan grafik tekanan udara permukaan laut minimum. Bersesuaian dengan hasil analisis

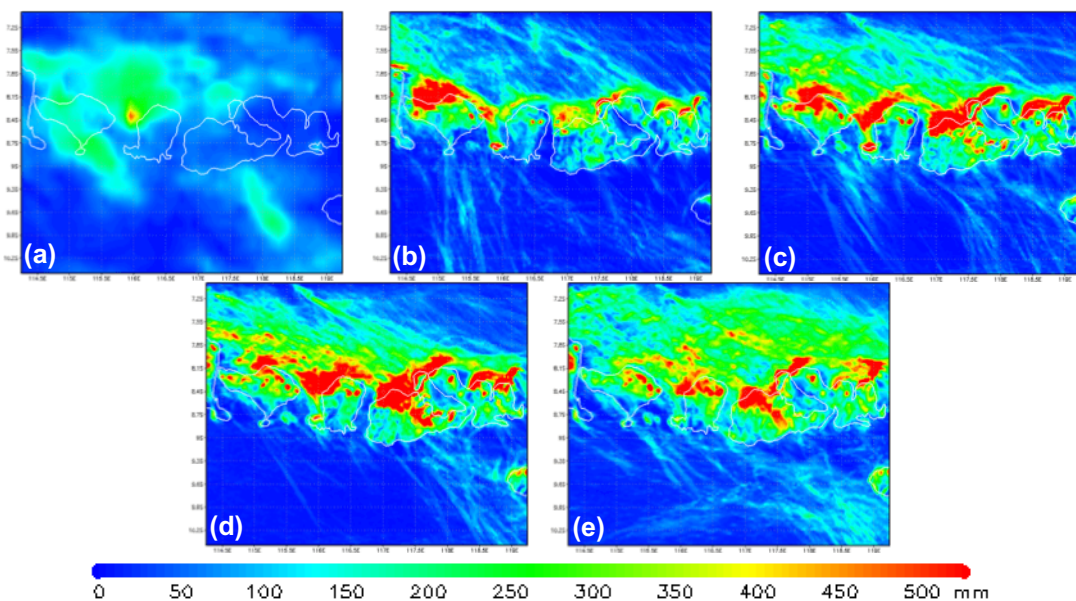
tekanan udara minimum, skema HDAIR yang menunjukkan pola grafik yang paling berbeda dengan data *best track* dan skema lainnya. Pada awal prediksi (+00h) kecepatan angin maksimum cenderung sama dengan data *best track* bervariasi dari 8-13 m/s. Spada skema HDAIR kecepatan angin langsung naik secara signifikan hingga mencapai puncak kecepatan angin maksimum mencapai 48,3 m/s pada tanggal 20 Maret 2019 00.00 UTC. Pada data *best track*, puncak kecepatan angin maksimum terjadi pada 21 Maret 2019 00.00 hingga 06.00 UTC dengan kecepatan 59,2 m/s, skema NDA dengan puncak kecepatan angin maksimum 53,6 m/s pada 22 Maret 2019 06.00 UTC, skema CDA pada 21 Maret 2019 18.00 UTC dengan kecepatan 59,7 m/s dan skema HDAWV terjadi pada 22 Maret 2019 00.00 UTC dengan kecepatan angin maksimum mencapai 62 m/s. Kondisi kecepatan angin pada rentang maksimum ini berfluktuasi antara 45-65 m/s dan bertahan hingga sekitar tanggal 24 Maret 2019 yang dapat diindikasikan pada tahap ini siklon tropis pada tahap yang paling aktif.

Hasil yang ditunjukkan dari semua skema asimilasi tidak jauh berbeda dengan hasil pada kasus siklon tropis Yvette. Skema dengan asimilasi data menghasilkan penurunan tekanan

udara atau peningkatan kecepatan angin serta pengurangan jeda waktu terjadinya puncak siklon tropis yang lebih mendekati data *best track*, kecuali pada skema HDAIR. Skema HDAIR justru menampilkan keluaran pada parameter intensitas siklon tropis yang kurang realistis. Hal tersebut diindikasikan karena pengaruh dari posisi siklon tropis Veronica skema HDAIR yang lebih mendekat ke pesisir Australia. Penyimpangan posisi siklon tropis dapat memengaruhi *error* pada intensitas siklon tropis yang dihasilkan (Ngo-Duc *et al.*, 2013). Suplai energi untuk proses intensifikasi siklon tropis dari pelepasan panas laten oleh uap air di perairan dangkal lebih sedikit dibandingkan di tengah Samudra karena jumlah air untuk menyimpan panas sedikit (Potter *et al.*, 2019), sehingga intensitas siklon tropis yang dihasilkan menjadi tidak realistis.

3.3.3 Curah Hujan

Distribusi spasial curah hujan total selama periode aktif siklon tropis Veronica (18 Maret 2019 00.00 UTC - 26 Maret 2019 12.00 UTC) di wilayah Bali, NTB dan perairan sekitarnya ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Distribusi spasial curah hujan total saat siklon tropis Veronica aktif: (a) GSMaP, (b) NDA, (c) CDA, (d) HDAWV, (e) HDAIR

Pola distribusi spasial curah hujan keluaran model lebih banyak menampilkan curah hujan di utara Pulau Bali, Lombok dan Sumbawa. Pola distribusi spasial curah hujan yang dihasilkan semua eksperimen menampilkan pola yang berbeda secara signifikan dengan data GSMaP terutama curah hujan >500 mm (warna kemerahan) di Pulau Sumbawa yang dihasilkan semua eksperimen namun tidak dihasilkan oleh data GSMaP. Secara umum, data curah hujan

total keluaran setiap eksperimen menampilkan nilai yang *overestimate* dibandingkan GSMaP.

Perbandingan pola sebaran hujan keluaran model tanpa asimilasi (NDA) dengan skema yang menerapkan asimilasi (CDA, HDAWV, HDAIR) menunjukkan adanya peningkatan intensitas curah hujan pada skema yang menerapkan asimilasi. Curah hujan >500 mm pada skema yang menerapkan asimilasi ditampilkan lebih dominan dan pada area yang lebih luas di beberapa daerah jika dibandingkan dengan

skema NDA. Pola warna hijau di perairan utara Bali dan NTB pada skema yang menerapkan asimilasi juga ditampilkan lebih padat jika dibandingkan dengan skema NDA. Skema CDA dan HDAWV menampilkan sebaran curah hujan total dengan pola yang lebih mirip. Sementara skema HDAIR menunjukkan sebaran curah hujan total yang lebih rendah intensitasnya jika dibandingkan skema CDA dan HDAWV.

3.4 Verifikasi Model WRFDA

Hasil prediksi siklon tropis keluaran model WRFDA dari kedua kasus pada parameter lintasan siklon, tekanan udara minimum,

kecepatan angin maksimum dan curah hujan diverifikasi terhadap data *best track* dengan menghitung nilai MAE. Nilai MAE dari setiap parameter pada kedua kasus secara detail ditampilkan pada Tabel 6 (siklon tropis Yvette) dan Tabel 7 (siklon tropis Veronica). Nilai yang berada dalam kurung merupakan perbaikan atau pengurangan nilai *error* skema yang menerapkan asimilasi (CDA, HDAWV, HDAIR) terhadap skema tanpa asimilasi data (NDA) dalam persen dengan nilai terbesar menunjukkan yang paling baik sementara tanda negatif (-) menunjukkan tidak ada perbaikan atau pengurangan nilai *error*.

Tabel 6. Rangkuman nilai MAE pada beberapa parameter untuk setiap skema asimilasi prediksi siklon tropis Yvette

Ekspe- rimen	Lintasan		Tekanan		Angin		Hujan		% Rata-rata
	MAE	%	MAE	%	MAE	%	MAE	%	
NDA	162,3	58,2	7,5	100	6,5	85,4	4,7	69	78,1
CDA	107,2 (33,9)	38,5	4,9 (33,8)	66,2	3,7 (43,4)	48,3	5,4 (-)	78,8	58 (25,7)
HDAWV	157,9 (2,7)	56,6	4,6 (38,6)	61,4	4,2 (35,4)	55,1	6,5 (-)	94,6	66,9 (14,3)
HDAIR	278,8 (-)	100	5,8 (23,0)	77	7,6 (-)	100	6,9 (-)	100	94,3 (-)

Tabel 7. Rangkuman nilai MAE pada beberapa parameter untuk setiap skema asimilasi prediksi siklon tropis Veronica

Ekspe- rimen	Lintasan		Tekanan		Angin		Hujan		% Rata-rata
	MAE	%	MAE	%	MAE	%	MAE	%	
NDA	657,6	100	7,1	24,8	5,6	20,4	19	80,7	56,5
CDA	386 (41,3)	58,7	6,4 (10)	22,3	4,2 (24,9)	15,3	15,2 (20,1)	64,5	40,2 (28,8)
HDAWV	334,7 (49,1)	50,9	5,3 (26,1)	18,3	4,7 (16,7)	17	17 (10,6)	72,2	39,6 (29,9)
HDAIR	454,3 (30,9)	69,1	28,7 (-)	100	27,7 (-)	100	23,6 (-)	100	92,3 (-)

Pada siklon tropis Yvette, skema CDA menunjukkan prediksi lintasan siklon tropis dan kecepatan angin maksimum yang terbaik diantara skema lainnya. Sementara skema HDAWV menunjukkan prediksi tekanan udara minimum yang lebih baik dan skema NDA menunjukkan prediksi hujan yang lebih baik dari semua skema asimilasi. Rata-rata dari 4 parameter prediksi siklon tropis menunjukkan skema CDA merupakan prediksi yang terbaik dengan nilai persentase rata-rata 58%, diikuti skema HDAWV (66,9%), NDA (78,1%) dan HDAIR (94,3%). Skema CDA memberikan penurunan nilai *error* yang paling besar terhadap skema tanpa asimilasi (NDA) sebesar 25,7%, diikuti HDAWV (14,3%), sementara skema HDAIR tidak mengurangi nilai *error*. Diantara dua skema asimilasi satelit Himawari-8, skema dengan data kanal *water vapor* memberikan hasil prediksi siklon tropis Yvette yang lebih baik dibandingkan skema dengan data seluruh kanal.

Pada siklon tropis Veronica, skema HDAWV menunjukkan prediksi lintasan siklon tropis dan tekanan udara minimum yang terbaik diantara skema asimilasi lainnya. Sementara skema CDA menunjukkan prediksi kecepatan angin maksimum dan curah hujan yang lebih baik dari skema lainnya. Rata-rata dari 4 parameter prediksi siklon tropis menunjukkan skema HDAWV merupakan prediksi yang terbaik dengan nilai persentase rata-rata 39,6%, diikuti skema CDA (40,2%), NDA (56,5%) dan HDAIR (92,3%). Skema HDAWV menurunkan nilai *error* paling besar terhadap skema tanpa asimilasi (NDA) sebesar 29,9% diikuti CDA (28,8%), sementara skema HDAIR tidak menurunkan nilai *error*. Diantara dua skema asimilasi satelit Himawari-8 yang diujikan, skema dengan penerapan data satelit kanal *water vapor* memberikan hasil prediksi siklon tropis Veronica yang lebih baik dibandingkan data satelit seluruh kanal infra merah.

Skema terbaik pada kedua kasus siklon tropis ditunjukkan oleh skema yang berbeda dimana pada siklon tropis Yvette dihasilkan prediksi terbaik oleh skema CDA sementara pada siklon tropis Veronica oleh skema HDAWV. Kondisi tersebut diindikasikan karena adanya pengaruh asimilasi data yang menyebabkan proses intensifikasi yang berbeda pada kedua siklon tropis. Skema CDA lebih realistis dan lebih optimal dalam menghasilkan prediksi siklon tropis Yvette yang merupakan siklon tropis dengan kekuatan kategori 1, sementara siklon tropis Veronica yang merupakan kategori 4 lebih baik diprediksi oleh skema HDAWV. Berdasarkan hal tersebut dapat diindikasikan bahwa asimilasi satelit Himawari-8 lebih sesuai dan lebih optimal untuk menghasilkan prediksi siklon tropis yang memiliki kekuatan atau intensitas yang tinggi dimana siklon tropis membutuhkan proses intensifikasi yang lebih kuat. Indikasi tersebut masih perlu adanya kajian lebih lanjut pada lebih banyak kasus siklon tropis pada berbagai intensitas.

Pada kedua kasus siklon tropis, skema HDAIR menghasilkan prediksi siklon tropis yang paling menyimpang dibandingkan dengan skema lainnya. Asimilasi data kanal infra merah (kanal 7-16 kecuali kanal 12) justru menyebabkan adanya ketidakkonsistenan atau ketidakstabilan yang terjadi pada proses intensifikasi siklon tropis, sehingga hasil prediksi pada beberapa parameter kurang realistis dan menghasilkan *error* yang besar. Kanal infra merah selain kanal *water vapor* yaitu kanal 7, 11, 13, 14, 15 dan 16 merupakan kanal-kanal dengan panjang gelombang yang sensitif untuk memberikan informasi dalam mendeteksi fenomena-fenomena yang terjadi lebih dekat ke permukaan seperti suhu muka laut, suhu udara permukaan, kabut, debu, *hotspot* dan informasi lainnya (Bessho *et al.*, 2016). Informasi ini diindikasikan kurang dibutuhkan bagi model dalam mensimulasikan proses intensifikasi siklon tropis yang terjadi, sehingga keluaran prediksi siklon tropis pada beberapa parameter menjadi kurang realistis. Indikasi ini masih membutuhkan kajian yang lebih spesifik untuk mengetahui pengaruh asimilasi data satelit pada masing-masing kanal.

4. KESIMPULAN

Pemilihan skema parameterisasi konveksi dan mikrofisis yang berbeda memengaruhi keluaran prediksi siklon tropis yang dihasilkan. Hasil uji parameterisasi fisis dari semua eksperimen menghasilkan kombinasi skema konveksi *Kain-Fritsch* dan skema mikrofisis WSM3 merupakan skema yang paling baik atau yang paling realistis dalam menghasilkan prediksi siklon tropis ditunjukkan oleh rata-rata nilai MAE pada beberapa parameter yang paling kecil. Penerapan asimilasi data dalam skema CDA, HDAWV dan HDAIR secara umum memperbaiki

prediksi siklon tropis dibandingkan skema tanpa asimilasi data (NDA) pada beberapa parameter dari kedua kasus siklon tropis. Perbaikan prediksi siklon tropis Yvette ditunjukkan paling baik oleh skema CDA sementara pada siklon tropis Veronica ditunjukkan paling baik oleh skema HDAWV. Penerapan asimilasi data satelit Himawari-8 menunjukkan asimilasi dari kanal *water vapor* (HDAWV) lebih baik dalam menghasilkan keluaran prediksi siklon tropis dibandingkan dengan asimilasi data menggunakan seluruh kanal infra merah (HDAIR). Perbaikan prediksi pada kedua kasus siklon tropis dengan asimilasi data satelit Himawari-8 kanal *water vapor* (HDAWV) terhadap tanpa asimilasi data (NDA) ditunjukkan dengan penurunan nilai rata-rata *absolute error* pada parameter lintasan siklon tropis mencapai 49,1%, parameter tekanan udara minimum mencapai 38,6%, parameter kecepatan angin maksimum mencapai 35,4% dan parameter curah hujan mencapai 10,6%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Hasil komputasi yang dilaporkan dalam dokumen ini diperoleh dengan menggunakan fasilitas MAHAMERU BRIN HPC, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adler, R. F., & Rodgers, E. B. (1977). Satellite-observed latent heat release in a tropical cyclone. *Monthly Weather Review*, 105(8), 956-963. doi:10.1175/1520-0493(1977)105<0956:SOLHRI>2.0.CO;2
- Barker, D. M., Huang, W., Guo, Y.-R., Bourgeois, A., & Xiao, Q. (2004). A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. *Monthly Weather Review*, 132(4), 897-914. doi:10.1175/1520-0493(2004)132<0897:ATVDAS>2.0.CO;2
- Bauer, P., Thorpe, A., & Brunet, G. (2015). The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525(7567), 47. doi: 10.1038/nature14956
- Benjamin, S. G., Brown, J. M., Brunet, G., Lynch, P., Saito, K., & Schlatter, T. W. (2019). 100 years of progress in forecasting and NWP applications. *Meteorological Monographs*, 59, 13.11-13.67. doi: 10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0020.1
- Bessho, K., Date, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Imai, T., Inoue, H., Kumagai, Y., Miyakawa, T., Murata, H., & Ohno, T. (2016). An introduction to Himawari-8/9—Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*,

- 94(2), 151-183. doi: 10.2151/jmsj.2016-009
- Biswas, M. K., Bernardet, L., & Dudhia, J. (2014). Sensitivity of hurricane forecasts to cumulus parameterizations in the HWRF model. *Geophysical Research Letters*, 41(24), 9113-9119. doi: 10.1002/2014GL062071
- BMKG. (2009). Dampak Siklon Tropis. Retrieved from <http://meteo.bmkg.go.id/siklon/learn/07/id>
- Chen, G., Yu, H., & Cao, Q. (2015). Evaluation of Tropical Cyclone Forecasts from Operational Global Models Over the Western North Pacific in 2013. *Tropical Cyclone Research and Review*, 4(1), 18-26.
- Chen, L., Li, Y., & Cheng, Z. (2010). An overview of research and forecasting on rainfall associated with landfalling tropical cyclones. *Advances in Atmospheric Sciences*, 27(5), 967-976. doi: 10.1007/s00376-010-8171-y
- Choudhury, D., & Das, S. (2017). The sensitivity to the microphysical schemes on the skill of forecasting the track and intensity of tropical cyclones using WRF-ARW model. *Journal of Earth System Science*, 126(4), 57. doi: 10.1007/s12040-017-0830-2
- CIMSS. (2019). Community Satellite Processing Package for Geostationary Data. Retrieved from <http://cimss.ssec.wisc.edu/csppgeo>
- Emanuel, K. A. (1986). An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I: Steady-state maintenance. *Journal of the atmospheric sciences*, 43(6), 585-605. doi: 10.1175/1520-0469(1986)043<0585:AASITF>2.0.CO;2
- Gallus Jr, W. A. (1999). Eta simulations of three extreme precipitation events: Sensitivity to resolution and convective parameterization. *Weather and Forecasting*, 14(3), 405-426. doi: 10.1175/1520-0434(1999)014<0405:ESOTEP>2.0.CO;2
- Gopalakrishnan, D., & Chandrasekar, A. (2018). On the improved predictive skill of WRF model with regional 4DVar initialization: a study with North Indian Ocean tropical cyclones. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(6), 3350-3357. doi: 10.1109/TGRS.2018.2798623
- Heming, J. (2017). Tropical cyclone tracking and verification techniques for Met Office numerical weather prediction models. *Meteorological Applications*, 24(1), 1-8. doi: 10.1002/met.1599
- Hong, S.-Y., Dudhia, J., & Chen, S.-H. (2004). A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review*, 132(1), 103-120. doi: 10.1175/1520-0493(2004)132<0103:ARATIM>2.0.CO;2
- Ide, K., Courtier, P., Ghil, M., & Lorenc, A. C. (1997). Unified Notation for Data Assimilation: Operational, Sequential and Variational (gtSpecial Issue>Data Assimilation in Meteorology and Oceanography: Theory and Practice). *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 75(1B), 181-189. doi: 10.2151/jmsj1965.75.1B_181
- Jung, J. A., Zapotocny, T. H., Le Marshall, J. F., & Treadon, R. E. (2008). A two-season impact study of NOAA polar-orbiting satellites in the NCEP global data assimilation system. *Weather and Forecasting*, 23(5), 854-877. doi: 10.1175/2008WAF2007065.1
- Kain, J. S. (2004). The Kain-Fritsch convective parameterization: an update. *Journal of Applied Meteorology*, 43(1), 170-181. doi: 10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU>2.0.CO;2
- Kiki, & Hendriadi, R. (2017). *Siklon Tropis Yvette dan Dampaknya Terhadap Kondisi Cuaca di Indonesia (19-23 Desember 2016)*. Pusat Meteorologi Publik. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Kuo, H.-L. (1974). Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 31(5), 1232-1240. doi: 10.1175/1520-0469(1974)031<1232:FSOTPO>2.0.CO;2
- Kushardono, D. (2012). Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9. *Jurnal Inderaja*, 3(5).
- Li, X., & Zou, X. (2017). Bias characterization of CrIS radiances at 399 selected channels with respect to NWP model simulations. *Atmospheric research*, 196, 164-181. doi: 10.1016/j.atmosres.2017.06.007
- Liu, Z., & Barker, D. (2006). *Radiance assimilation in WRF-Var: implementation and initial results*. Paper presented at the 7th WRF users workshop.
- Lu, J., Feng, T., Li, J., Cai, Z., Xu, X., Li, L., & Li, J. (2019). Impact of Assimilating Himawari-8-Derived Layered Precipitable Water With Varying Cumulus and Microphysics Parameterization Schemes on the Simulation of Typhoon Hato. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(6), 3050-3071. doi: 10.1029/2018JD029364
- Ma, Z., Maddy, E. S., Zhang, B., Zhu, T., & Boukabara, S. A. (2017). Impact assessment of Himawari-8 AHI data assimilation in NCEP GDAS/GFS with GSI. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34(4), 797-815. doi: 10.1175/JTECH-D-16-0136.1

- Mahala, B. K., Mohanty, P. K., & Nayak, B. K. (2015). Impact of Microphysics Schemes in the Simulation of Cyclone Phailin using WRF Model. *Procedia Engineering*, 116, 655-662. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.342
- Mohapatra, M. (2014). Tropical cyclone forecast verification by India Meteorological Department for north Indian Ocean: A review. *Tropical Cyclone Research and Review*, 3(4), 229-242.
- Montmerle, T., Rabier, F., & Fischer, C. (2007). Relative impact of polar-orbiting and geostationary satellite radiances in the Aladin/France numerical weather prediction system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 133(624), 655-671. doi: 10.1002/qj.34
- NCEP. (2008). *NCEP ADP Global Upper Air and Surface Weather Observations (PREPBUFR format)*. Retrieved from: <https://doi.org/10.5065/Z83F-N512>
- NCEP. (2009). *NCEP GDAS Satellite Data 2004-continuing*. Retrieved from: <https://doi.org/10.5065/DWYZ-Q852>
- NCEP. (2015). *NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive*. Retrieved from: <https://doi.org/10.5065/D65D8PWK>
- Neumann, C. J. (2017a). Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting Overview. In WMO (Ed.), *Global guide to tropical cyclone forecasting* (pp. 11-27). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Neumann, C. J. (2017b). A Global Tropical Cyclone Climatology. In WMO (Ed.), *Global guide to tropical cyclone forecasting* (pp. 28-62). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Ngo-Duc, T., Mai, H. T., & Kieu, C. (2013). A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 122(1-2), 55-64. doi: 10.1007/s00703-013-0278-0
- Osuri, K. K., Mohanty, U., Routray, A., Kulkarni, M. A., & Mohapatra, M. (2012). Customization of WRF-ARW model with physical parameterization schemes for the simulation of tropical cyclones over North Indian Ocean. *Natural Hazards*, 63(3), 1337-1359. doi: doi.org/10.1007/s11069-011-9862-0
- Potter, H., DiMarco, S. F., & Knap, A. H. (2019). Tropical Cyclone Heat Potential and the Rapid Intensification of Hurricane Harvey in the Texas Bight. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(4), 2440-2451. doi: doi.org/10.1029/2018JC014776
- 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 and Oceanography*, 69(1), 1345265. doi: 10.1080/16000870.2017.1345265
- Raju, P., Potty, J., & Mohanty, U. (2011). Sensitivity of physical parameterizations on prediction of tropical cyclone Nargis over the Bay of Bengal using WRF model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 113(3-4), 125. doi: 10.1007/s00703-011-0151-y
- Rosendal, H. E., & Shaw, S. L. (1982). Relationship of maximum sustained winds to minimum sea level pressure in central North Pacific tropical cyclones.
- Roy, C., & Kovordanyi, R. (2018). Tropical cyclone and track forecasting. In *Exploring Natural Hazards* (pp. 1-48): Chapman and Hall/CRC.
- Shen, F., & Min, J. (2015). Assimilating AMSU-A radiance data with the WRF hybrid En3DVAR system for track predictions of Typhoon Megi (2010). *Advances in Atmospheric Sciences*, 32(9), 1231-1243. doi: 10.1007/s00376-014-4239-4
- Simpson, J., Ritchie, E., Holland, G., Halverson, J., & Stewart, S. (1997). Mesoscale interactions in tropical cyclone genesis. *Monthly Weather Review*, 125(10), 2643-2661. doi: 10.1175/1520-0493(1997)125<2643:MIITCG>2.0.CO;2
- Stengel, M., Undén, P., Lindskog, M., Dahlgren, P., Gustafsson, N., & Bennartz, R. (2009). Assimilation of SEVIRI infrared radiances with HIRLAM 4D-Var. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 135(645), 2100-2109. doi: 10.1002/qj.501
- Stensrud, D. J. (2009). *Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models*: Cambridge University Press.
- Sun, Y., Zhong, Z., & Lu, W. (2015). Sensitivity of tropical cyclone feedback on the intensity of the western Pacific subtropical high to microphysics schemes. *Journal of the atmospheric sciences*, 72(4), 1346-1368. doi: 10.1175/JAS-D-14-0051.1
- Tjasyono, B. (2007). *Meteorologi Indonesia Volume 1, Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.*
- Tofallis, C. (2014). Add or multiply? A tutorial on ranking and choosing with multiple criteria. *INFORMS Transactions on education*, 14(3), 109-119. doi: 10.1287/ited.2013.0124
- Tuleya, R. E., & Kurihara, Y. (1982). A note on the sea surface temperature sensitivity of a numerical model of tropical storm genesis.

- Monthly Weather Review*, 110(12), 2063-2069. doi: 10.1175/1520-0493(1982)110<2063:ANOTSS>2.0.CO;2
- Wang, W., & Seaman, N. L. (1997). A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. *Monthly Weather Review*, 125(2), 252-278. doi: 10.1175/1520-0493(1997)125<0252:ACSOCP>2.0.CO;2
- 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. doi: 10.1002/2017JD027697
- Warner, T. T. (2011). *Numerical weather and climate prediction*: Cambridge University Press.
- WMO. (2013). *Verification methods for tropical cyclone forecasts*. WMO
- WMO. (2016). Purpose and Objectives. Retrieved from <http://www.wmo.int/pages/prog/www/tcp/purpose.html>
- Xu, D., Liu, Z., Huang, X.-Y., Min, J., & Wang, H. (2013). Impact of assimilating IASI radiance observations on forecasts of two tropical cyclones. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 122(1-2), 1-18. doi: 10.1007/s00703-013-0276-2
- Zou, X., Qin, Z., & Weng, F. (2011). Improved coastal precipitation forecasts with direct assimilation of GOES-11/12 imager radiances. *Monthly Weather Review*, 139(12), 3711-3729. doi: 10.1175/MWR-D-10-05040.1