

POLA SPASIAL DAN TEMPORAL PREDIKSI HUJAN INDONESIA BARAT MENGGUNAKAN WRF-EMS

SPATIO-TEMPORAL PATTERN OF WEST INDONESIAN RAINFALL USING WRF-EMS

Sri Muslimah^{1*}, Rahmat Hidayat², Wido Hanggoro³

¹Pusat Penelitian Lingkungan Hidup IPB, Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

²Departemen Geofisika dan Meteorologi IPB, Jalan Meranti Wing 19 Level 4 Gedung FMIPA IPB, 16680

³Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jl. Angkasa 1 No. 2, Jakarta Pusat, 10720

*E-mail: ms.srimuslimah@gmail.com

Naskah masuk: 8 Mei 2015 ; Naskah diperbaiki: 15 September 2016; Naskah diterima: 19 September 2016

ABSTRAK

Model numerik Weather Research and Forecasting Environmental Modelling System (WRF-EMS) digunakan pada studi ini dengan tujuan untuk mengkaji hasil keluaran prediksi hujan model WRF-EMS 1 dan 2 hari ke depan di 6 stasiun pengamatan cuaca terhadap data sinoptik dan TRMM, 8 *initial and boundary conditions*, serta mengkaji hasil keluaran prediksi hujan secara spasial model WRF-EMS. Konfigurasi skema standar dari model WRF-EMS dipertahankan dan hanya mengubah skema kumulat saja, yaitu menggunakan skema kumulat Betts-Miller-Janjic. Akurasi model ditunjukkan oleh rentang nilai *threat score* (TS) hasil prediksi hujan 1 dan 2 hari kedepan. Hasil prediksi hujan menunjukkan bahwa model WRF-EMS cukup baik untuk mensimulasikan kejadian tidak-hujan di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Nilai TS di stasiun pengamatan cuaca Citeko dari model dengan resolusi horizontal 27 km untuk prediksi 1 dan 2 hari kedepan masing-masing berkisar antara 0 – 0.33 dan 0 – 0.30 sedangkan nilai TS dari model dengan resolusi horizontal 3 km untuk prediksi hujan 1 dan 2 hari kedepan masing-masing berkisar antara 0,17 – 0,75 dan 0.38 – 0.63. Peningkatan resolusi horizontal dari 27 km menjadi 3 km dapat meningkatkan nilai TS. Hal ini mengindikasikan bahwa model dengan resolusi horizontal 3 km lebih akurat untuk memprediksi hujan dibandingkan dengan model resolusi horizontal 27 km. Model WRF-EMS menghasilkan prediksi hujan yang *over estimated* secara spasial dan model ini lebih sensitif memprediksi hujan di Stasiun Citeko.

Kata kunci: skema kumulat Betts-Miller-Janjic, model WRF-EMS, *threat score*, *over estimated*

ABSTRACT

WRF-EMS numerical models use to examine the output prediction of rain on 1 or two days ahead using the WRF-EMS model at 6 weather observations stations and the TRMM data, 8 initials and boundary conditions, and to examine the output prediction of rain spatially using the WRF-EMS. In this study, the configuration of the standard scheme using the WRF-EMS model is maintained; however, the cumulus scheme is the Betts-Miller-Janjic cumulus scheme. The accuracy shown by threat values score (TS) of rain predicted on the 1 and 2 days later. The result shows that the model predictions of rain using WRF-EMS is good enough to simulate a no-rain events on the island of Sumatra and Kalimantan. The TS value at Citeko, horizontal resolution of 27 km, for the prediction of 1 and 2 days in advance of each ranged from 0 – 0.33, and 0 – 0.30, while the TS value of the model with a horizontal resolution of 3 km for rainfall predictions 1 and 2 days in advance each ranged from 0.17 to 0.75 and 0.38 - 0.63. The increased of horizontal resolution from 27 km to 3 km can also increase the value of TS. This indicates that the model with a horizontal resolution of 3 km is more accurate for predicting rain compared to the model horizontal resolution of 27 km. The rainfall prediction was spatially over estimated when using the WRF-EMS Model, and this model is more sensitive in predicting rain at Citeko Station.

Keywords: *cumulus scheme Betts-Miller-Janjic, a model WRF-EMS, threat score, over-estimated*

1. Pendahuluan

Prediksi hujan menggunakan model numerik cuaca telah banyak digunakan di berbagai negara, misalnya Taiwan [1], India [2], dan Indonesia [3]. Salah satu model numerik cuaca yang digunakan adalah model *Weather Research and Forecasting Environmental*

Modeling System (WRF-EMS). Model WRF-EMS dilengkapi dengan konfigurasi yang memudahkan pengguna membuat skenario model yang diinginkan.

Konfigurasi dalam model WRF-EMS disebut pula sebagai parameterisasi yang bertujuan untuk mengestimasi kondisi aktual. Parameterisasi dalam

model dapat dilakukan dengan mengubah skema-skema dinamik dan fisik model. Simulasi prediksi hujan dengan parameterisasi skema fisik menggunakan beberapa skema *land surface* yang berbeda menghasilkan prediksi hujan yang tidak berbeda signifikan untuk masing-masing konfigurasi [4]. Skema fisik khususnya skema kumululus lebih berperan dalam menghasilkan hasil prediksi hujan yang baik [5]. Parameterisasi yang dilakukan untuk menghasilkan prediksi hujan yang baik dalam penelitian ini difokuskan pada perubahan skema kumululus sedangkan skema fisik dan dinamik lainnya menggunakan pengaturan standar dari model [5].

Penentuan resolusi spasial merupakan langkah penting untuk menghasilkan hasil prediksi yang baik. Pada studi sebelumnya, resolusi spasial yang tinggi telah digunakan untuk mengindikasikan hujan typhoon [1] dan hujan ekstrim di Mataram [3]. Penelitian sebelumnya menggunakan kombinasi skema yang kompleks untuk menentukan kondisi klimatologis di Andalusia. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa WRF mampu memprediksi kondisi klimatologis di Andalusia dengan menggunakan data ERA-40. Berdasarkan hasil analisis penelitian tersebut menyatakan bahwa dua skema yang berperan dalam meningkatkan akurasi prediksi adalah skema kumululus dan *Planetary Boundary Layer* (PBL) [6].

Penelitian menggunakan WRF-EMS telah dilakukan di Sumatera Barat dengan tujuan memprediksi hujan dimusim kemarau dan musim hujan. Hasilnya menunjukkan bahwa hasil yang memiliki tingkat akurasi tinggi untuk memprediksi hujan di musim kemarau dan hujan adalah di sekitar Tabing, Sumatera Barat [7].

Penentuan skema yang akan diubah di WRF-EMS menjadi kunci untuk memproses data GFS. Skema yang digunakan adalah Betts Miller Janjic (BMJ). Skema ini telah digunakan untuk memprediksi cuaca di Surabaya dan Jakarta [8]. Berdasarkan hasil analisis skema BMJ adalah salah satu skema yang mampu menghasilkan hasil prediksi yang lebih baik dari skema Kain Fritsch (KF). Hasil observasi curah hujan pada tanggal 3 Februari 2014 di stasiun pengamatan cuaca Soekarno Hatta, Kemayoran, dan Tanjung Priok terukur lebih dari 50 mm per hari. Kategori curah hujan antara 50-100 mm per hari termasuk hujan lebat [9]. Prediksi hujan lebat di Sinai menggunakan WRF berhasil diprediksi dan mampu menunjukkan hasil prediksi yang secara signifikan konsisten dengan hasil observasi [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola spasial dan temporal menggunakan WRF-EMS untuk memprediksi hujan di Indonesia Barat dan menganalisis keakuratan model berdasarkan analisis nilai *Threat Score*.

2. Metode Penelitian

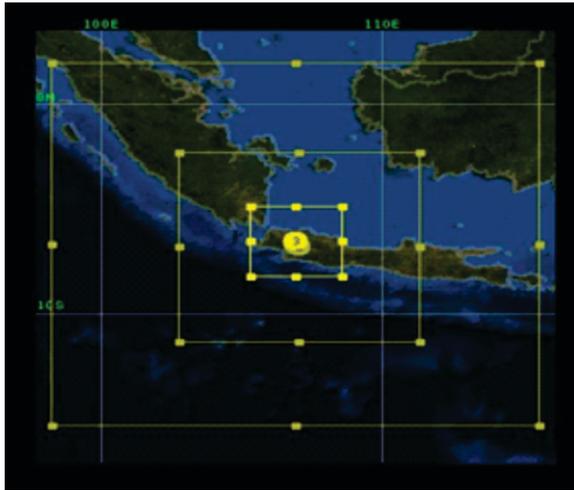
Tahapan utama dalam penelitian terdiri dari pengumpulan data, menampilkan data satelit dan membandingkan antara data curah hujan TRMM dengan hasil prediksi model WRF EMS, dan membandingkan data curah hujan observasi dengan data curah hujan hasil prediksi model WRF-EMS, kemudian melakukan analisis *Threat Score*, dan mendapatkan kesimpulan.

Dalam kajian ini digunakan tiga jenis data, data prediksi global, data satelit dan data observasi. Data prediksi global yang digunakan dalam kajian ini adalah data *Global Forecast Model* (GFS) tanggal 1-8 Februari 2014 dengan resolusi 0.5° yang diperoleh dari NCEP-NOAA. Data satelit yang digunakan adalah Data Curah Hujan TRMM per tiga jam (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC) tanggal 2-10 Februari 2014 dengan resolusi 0.25° yang diperoleh dari Mirador NASA. Data observasi yang digunakan adalah Data Curah Hujan Sinoptik per tiga jam (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC) tanggal 2-10 Februari 2014 di 6 kota yang diperoleh dari Stasiun Pengamatan Cuaca Citeko, Curug, Tanjung Priok, Kemayoran, Serang, dan Soekarno Hatta. Berikut ini merupakan Tabel yang menunjukkan lokasi stasiun pengamatan cuaca dan ketinggian dari lokasi tersebut (Tabel 1).

Penggunaan domain penelitian ditunjukkan sesuai pada Gambar 1, dimana domain dengan resolusi horizontal 27 km dibatasi dengan kotak kuning yang besar, domain resolusi horizontal 9 km dibatasi dengan kotak kuning sedang, dan domain resolusi horizontal 3 km dibatasi dengan kotak kuning kecil. Seluruh data *initial and boundary conditons* menggunakan *cycle 12* UTC dan menggunakan *spin up* model selama 12 jam. Dalam kajian ini, langkah kerja yang dilakukan setelah memperoleh hasil luaran model sampai dengan perbandingan menggunakan data observasi dan data satelit hingga memperoleh kesimpulan sesuai dengan Gambar 2.

Tabel 1. Koordinat dan ketinggian stasiun pengamatan cuaca sinoptik.

Nama stasiun pengamatan cuaca	Koordinat stasiun pengamatan cuaca	Ketinggian stasiun pengamatan cuaca
Citeko	06° 42' LS dan 106° 56' BT	300 m
Curug	06° 14' LS dan 106° 39' BT	46 m
Tanjung Priok	06° 06' LS dan 106° 52' BT	2 m
Kemayoran	06° 11' LS dan 106° 50' BT	8 m
Serang	06° 07' LS dan 106° 8' BT	40 m
Soekarno Hatta	06° 07' LS dan 106° 39' BT	8 m



Gambar 1. Wilayah kajian penelitian

Skema fisik yang diubah adalah hanya pada skema kumulat sedangkan skema fisik lain menggunakan konfigurasi standar model WRF-EMS. Skema dinamik yang digunakan juga menggunakan pengaturan standar model. Parameterisasi skema model fisik yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2.

Penelitian ini menggunakan skema kumulat Betts-Miller-Janjic (BMJ). Skema kumulat BMJ mampu menghasilkan prediksi hujan yang baik di Mumbai [2] sehingga menjadi rujukan untuk mencoba menggunakan skema BMJ di wilayah kajian.

Tabel 2. Parameterisasi skema model fisik penelitian.

Model Fisik	Domain 1	Domain 2	Domain 3
Skema kumulat	Betts-Miller-Janjic	-	-
Skema mikrofisik	Lin et al.	Lin et al.	Lin et al.
Skema PBL	Yonsei University	Yonsei University	Yonsei University
Skema permukaan tanah	Noah 4-Layer LSM	Noah 4-Layer LSM	Noah 4-Layer LSM
Number soil layers	4	4	4
Fisik lapisan permukaan	Monin-Obukhov	Monin-Obukhov	Monin-Obukhov
M-O heat and moisture	Fluks permukaan - on	Fluks permukaan - on	Fluks permukaan - on
M-O snow cover effects	Termasuk	Termasuk	Termasuk
Radiasi gelombang panjang	Skema RRTMG	Skema RRTMG	Skema RRTMG
Radiasi gelombang pendek	Skema RRTMG	Skema RRTMG	Skema RRTMG

Wilayah kajian penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1. Wilayah domain 1 dibatasi oleh garis terluar berwarna kuning yang ditunjukkan pada Gambar 1, wilayah domain 2 dibatasi garis berwarna kuning dibagian tengah pada Gambar 1, dan wilayah domain 3 dibatasi garis berwarna kuning dengan luasan paling kecil pada Gambar 1. Wilayah kajian untuk domain 1 memiliki resolusi horizontal 27 km dan berada pada koordinat 2.543° LU – 14.636° LS dan 94.873° BT – 118.809° BT. Domain 2 memiliki resolusi horizontal 9 km yang berada pada 2.259° LS – 9.462° LS dan 101.63° BT – 112.296° BT. Domain 3 memiliki resolusi horizontal 3 km dan berada pada koordinat 4.5° LS – 7.718° LS dan 104.371° BT – 109.229° BT. Koordinat pusat ketiga wilayah ini adalah Bogor pada koordinat 106.8° BT dan 6.6° LS.

Kemampuan model WRF-EMS dalam menghasilkan prediksi hujan akan dinilai dengan melihat konsistensi nilai *Threat Score* [4]. Apabila nilai *Threat Score* (TS) mendekati 1 maka model cukup baik untuk memprediksi hujan dan apabila nilai TS mendekati 0 maka model tidak cukup baik untuk memprediksi hujan. Penentuan nilai *threat score* merujuk pada tabel kontingensi hubungan antara hasil observasi dengan hasil prediksi model. Tabel kontingensi untuk menentukan nilai TS seperti ditunjukkan Tabel 3.

Jumlah kejadian ketika hasil prediksi model dan hasil observasi menyatakan ada-hujan (AH) dari masing-masing simulasi maka dituliskan nilai tersebut ke bagian A. Begitupula untuk bagian B, C, dan D menyesuaikan dengan keterangan pada baris dan kolom. Nilai TS ditentukan dengan persamaan (1) dibawah ini.

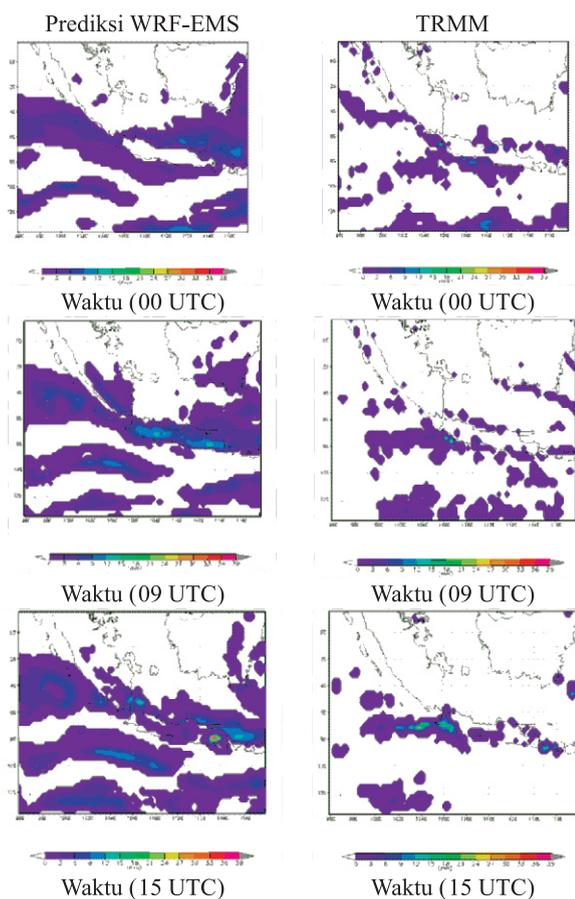
$$TS = \frac{A}{A + B + C} \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan hasil keluaran model dengan data TRMM. Perbandingan hasil keluaran model dengan data TRMM secara spasial yang menggunakan data *initial and boundary condition* 1 Februari 2014 ditunjukkan sesuai dengan Gambar 3, dimana parameter yang ditampilkan adalah curah hujan pada pagi hari yang diwakili curah hujan pukul 7 pagi (00 UTC), sore hari yang diwakili curah hujan pukul 4 sore (09 UTC), dan malam hari yang diwakili curah hujan pukul 10 malam (15 UTC).

Tabel 3. Tabel kontingensi penentuan *threat score*

	Jumlah kejadian model		
	Ada-hujan (AH)	Tidak-hujan (TH)	
Jumlah kejadian observasi	Ada-hujan (AH)	A	B
	Tidak-hujan (TH)	C	D



Gambar 2. Perbandingan hasil keluaran model dengan data TRMM pada pagi, sore, dan malam hari tanggal 2 Februari 2014

Berdasarkan Gambar 2, model WRF-EMS resolusi spasial 27 km x 27 km dibandingkan dengan TRMM memiliki pola curah hujan spasial hampir mirip meskipun luasan curah hujan yang terjadi berbeda. Seperti pada hasil prediksi hujan di perairan selatan Pulau Sumatera dan daratan Pulau Kalimantan. Intensitas curah hujan yang berbeda dikaji lebih dalam dengan membandingkan hasil prediksi curah hujan resolusi spasial 3 km x 3 km dengan data curah hujan observasi.

Perbandingan hasil keluaran model WRF-EMS resolusi spasial 3 km x 3 km dengan data observasi. Perbandingan hasil prediksi hujan 1 hari kedepan menggunakan model WRF-EMS resolusi spasial 3 km x 3 km dengan data observasi ditunjukkan sesuai dengan Gambar 3. Perbandingan antara curah hujan hasil prediksi model dengan data observasi di 6 kota yang ditunjukkan Gambar 3 menggunakan data *initial and boundary conditions* 1 Februari 2014.

Berdasarkan Gambar 3, hasil prediksi hujan oleh model WRF-EMS tidak sesuai dengan data curah hujan hasil observasi. Hal ini ditunjukkan hasil prediksi hujan model WRF-EMS di enam lokasi. Dari keenam lokasi tersebut, stasiun pengamatan Citeko memiliki hasil prediksi yang cukup baik yang

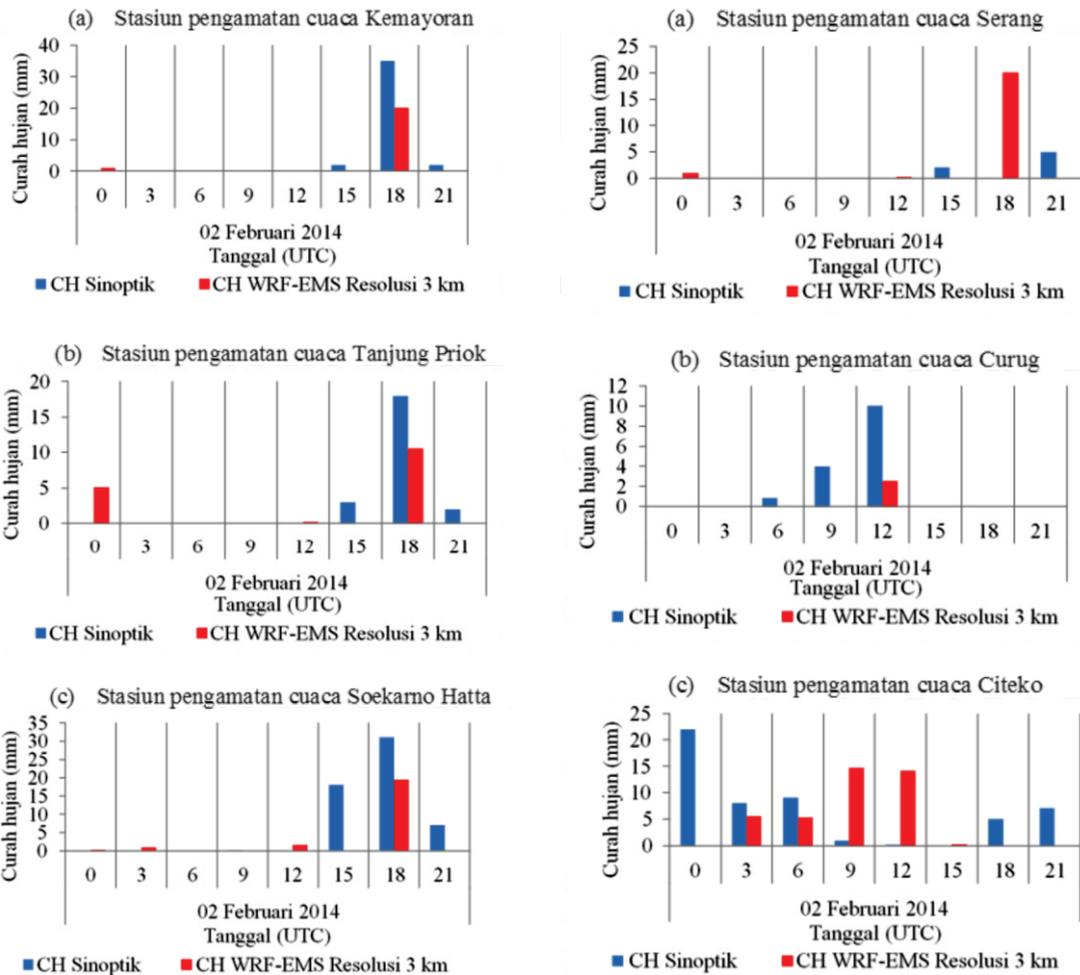
ditunjukkan oleh ketika berdasarkan data sinoptik wilayah Citeko mengalami hujan, model juga memprediksi ada hujan. kejadian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3, di Stasiun Citeko, pada pukul 03, 06, 09 UTC atau pukul 10 pagi, 1 siang, dan 4 sore tanggal 2 Februari 2014.

Analisis Nilai Threat Score (TS). Nilai TS yang ditampilkan sesuai Tabel 4 merupakan nilai TS untuk prediksi hujan 1 hari antara hasil prediksi hujan resolusi spasial 3 km x 3 km dengan data observasi curah hujan sinoptik pada 8 *initial conditions* (IC). Kode stasiun pengamatan cuaca yang disesuaikan pada Tabel 3 memiliki keterangan yaitu nomor 1, 2, 3, 4, 5, 6 masing-masing adalah stasiun pengamatan cuaca Kemayoran, Serang, Tanjung Priok, Curug, Soekarno Hatta, dan Citeko.

Nilai TS pada 8 IC sesuai Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat kejadian dimana model tidak menghasilkan hasil prediksi hujan yang baik yang ditunjukkan nilai TS = 0. Di stasiun pengamatan cuaca Citeko (kode 6), tidak ada nilai TS = 0 dibandingkan dengan kelima stasiun pengamatan cuaca. Hasil prediksi hujan model WRF-EMS resolusi 3 km x 3 km di stasiun pengamatan cuaca Citeko cukup baik yang ditunjukkan konsistensi nilai TS yang lebih baik dibandingkan kelima stasiun pengamatan cuaca lain.

Berdasarkan topografi, Citeko merupakan stasiun pengamatan cuaca dengan topografi dataran tinggi. Di Kanada, skema kumululus Kain-Fritsch berhasil memprediksi hujan di sekitar pegunungan Alberta dibandingkan skema BMJ dan skema lainnya [5]. Namun, di wilayah Citeko skema kumululus BMJ mampu menghasilkan hasil prediksi hujan yang cukup baik dibandingkan hasil prediksi di 5 kota lainnya.

Peningkatan resolusi spasial dengan *downscaling* domain utama dari resolusi spasial 27 km x 27 km menjadi 3 km x 3 km meningkatkan keakuratan model dalam memprediksi hujan di 4 kota yaitu Kemayoran, Curug, Soekarno Hatta, dan Citeko. Sedangkan di Tanjung Priok dan Serang nilai TS dari domain dengan resolusi rendah rata-rata cukup rendah dibandingkan dengan nilai TS dari domain dengan resolusi tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan rata-rata nilai TS hasil prediksi model WRF-EMS resolusi spasial 3 km x 3 km dibandingkan dengan hasil prediksi model WRF-EMS resolusi spasial 27 km x 27 km.



Gambar 3. Perbandingan curah hujan hasil prediksi model WRF-EMS resolusi 3 km dengan data observasi menggunakan data *initial and boundary conditions* 1 Februari 2014 di 6 kota

Tabel 4. Tabel nilai TS hasil prediksi model WRF-EMS resolusi 3 km x 3 km dengan data observasi curah hujan sinoptik.

Initial conditions (IC)	Nilai Threat Score					
	Stasiun Pengamatan Cuaca					
	1	2	3	4	5	6
1	0,2	0	0,2	0,33	0,14	0,5
2	0,17	0	0,4	0	0,33	0,5
3	0,5	0	0,4	0	0	0,5
4	0	0	0	0,67	0	0,25
5	0,4	0	0	0	0,50	0,25
6	0	0,33	0	0,33	0,50	0,75
7	0	0,4	0	0,20	0	0,17
8	0,4	0,5	0,4	0,50	0,33	0,5

Kebaikan model ditentukan dengan melihat nilai koefisien determinasi (R-Sqr) antara hasil model dengan data observasi. Berikut ini merupakan nilai R-Sqr untuk 8 IC di enam stasiun pengamatan cuaca (Tabel 5).

Berdasarkan Tabel 5, model yang dapat merepresentasikan kejadian di lapangan dilihat dari nilai R-Sqr yang tinggi untuk seluruh IC ialah pada

Tabel 5. Tabel nilai R-Sqr masing-masing stasiun pengamatan cuaca untuk 8 IC

Initial conditions (IC)	Nilai R-Sqr (%)					
	Stasiun Pengamatan Cuaca					
	1	2	3	4	5	6
1	99,0	3,8	72,6	85,0	66,4	22,9
2	4,1	-	6,4	-	4,5	13,8
3	5,8	-	6,4	-	3,8	13,8
4	-	-	-	2,4	-	8,5
5	40,5	-	-	-	10,7	7,8
6	2,6	2,5	4,4	3,0	4,3	71,1
7	8,5	1,9	5,7	6,7	2,7	55,0
8	0,4	47,3	0,7	98,6	0,3	22,3

IC 1 untuk daerah kemayoran. Tanda minus (-) disebabkan pengolah data tidak menghasilkan nilai R-Sqr. Hal ini disebabkan oleh nilai observasi pada waktu dan lokasi tersebut adalah 0 (tidak ada hujan). Tidak terdapat pola kebaikan model antara 1 IC dengan IC lainnya artinya secara temporal model dengan *boundary conditions* yang sama tidak dapat digunakan dari waktu ke waktu. Model hanya sesuai untuk lokasi dan waktu tertentu saja.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan hasil prediksi model resolusi horizontal 27 km dengan data TRMM secara spasial diketahui bahwa prediksi hujan di wilayah kajian *over estimated*. Model WRF-EMS resolusi horizontal 27 km pada pagi (00 UTC), sore (09 UTC), dan malam (15 UTC) hari menunjukkan bahwa hujan di daratan Jawa terjadi pada sore hari dan kemudian curah hujan mulai berkurang baik intensitas maupun luasannya pada malam hari sedangkan pada data TRMM hanya sedikit perbedaan pola curah hujan pagi, sore, dan malam hari. Model cukup baik memprediksi di Pulau Sumatera dan Kalimantan yang ditunjukkan hasil model dan data TRMM yang keduanya menyatakan tidak hujan. Model cukup baik dalam memprediksi hujan di perairan bagian selatan Sumatera dan Jawa meskipun dengan luasan dan intensitas hujan yang berbeda. Hasil prediksi cukup baik pada pagi hari dibandingkan pada sore dan malam hari.

Pola temporal tidak ditemukan pada model dengan *boundary conditions* yang sama. Hal ini dilihat dari nilai koefisien determinasi 8 IC pada setiap lokasi. Nilainya tidak memiliki pola. Terdapat lokasi yang tidak memiliki nilai koefisien determinasi, hal ini disebabkan oleh data observasi yang bernilai nol.

Hasil prediksi model WRF-EMS resolusi horizontal 27 dan 3 km lebih sensitif terhadap kejadian TH (tidak-hujan) dibandingkan kejadian AH (ada-hujan). Hal ini ditunjukkan dengan peluang kejadian model WRF-EMS resolusi horizontal 27 dan 3 km dengan data TRMM dan data sinoptik menyatakan tidak hujan yang lebih tinggi dibandingkan peluang menyatakan ada hujan. Parameterisasi yang digunakan dalam penelitian ini belum cukup baik untuk menghasilkan hasil prediksi hujan di stasiun pengamatan cuaca Kemayoran, Serang, Soekarno Hatta, Curug dan Tanjung Priok.

Stasiun Citeko merupakan stasiun pengamatan cuaca yang dapat diprediksi dengan baik oleh model WRF-EMS resolusi horizontal 27 dan 3 km yang ditunjukkan oleh nilai TS yang konsisten tinggi pada prediksi 1 hari kedepan. Kelima stasiun lainnya pada prediksi 1 hari kedepan tidak cukup baik diprediksi oleh WRF-EMS resolusi horizontal 3 km yang ditunjukkan nilai TS = 0 yang cukup banyak pada masing-masing stasiun. Model WRF-EMS dengan skema kumululus Betts-Miller-Janjic baik dalam memprediksi kejadian ada hujan pada resolusi horizontal 27 dan 3 km hanya di Stasiun Citeko sedangkan di Stasiun Kemayoran, Serang, Curug, Priok, dan Soekarno Hatta hasil prediksi model baik dalam memprediksi kejadian tidak hujan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) BMKG Pusat. atas segala kemudahan mendapatkan data penelitian dan pengolahan data.

Daftar Pustaka

- [1] Hsiao LF., Yang MJ., Lee CS., Kuo HC., Shih DS., Tsai CC, Wang CJ., Chang LY., Chen D. YC., Lei Feng, Hong JS. Fong CT., Chen DS., Yeh TC., Huang CY., Guo WD. Dan Lin GF. (2013). Ensemble forecasting of typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan. *Journal of Hydrology*, 506, 55-68.
- [2] Kirtsaeng S., Chantara S., dan Kreasuwun J.. (2010) Mesoscale simulation of a very heavy rainfall event over Mumbai, using the weather research and forecasting (WRF) model. *Chiang Mai Journal Science*, 37(3), 429-442.
- [3] Hanggoro W., Harmoko I.W., Makmur E.E.S. (2012). Simulasi hujan ekstrim pada kejadian banjir di Mataram tanggal 10 Januari 2009 menggunakan WRF-EMS. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(1), 71-80.
- [4] Zeng XM., Wu ZH., Song S., Xiong SY., Zheng YQ., Zhou ZG., dan Liu HQ. (2012). Effects of different land-surface schemes on the simulation of a heavy rainfall event by WRF. *Chinese Journal of Geophysics*, 55(4), 394-408.
- [5] Pennelly C., Reuter G., dan Flesch T. (2014). Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmospheric Research*, 135-136, 172-192.
- [6] Daniel E., Jose' M.H., Sonia R.G, Maria J.E.P., Jimy D., dan Yolanda C. (2011). Evaluation of WRF Parameterizations for Climate Studies over Southern Spain Using a Multistep Regionalization. *Journal of Climate*, 24, 5633-5651.
- [7] Derry H.F., Rahmat H., Wido H. (2016). Sensitivity of WRF-EMS model to predict rainfall event on wet and dry seasons over West Sumatera. *Procedia Environmental Sciences*, 33 (2016), 140-154.
- [8] Kurniawan, R., Wido H., Rian A., Sri N., Welly F., Rahayu S.S.S. (2014). Penggunaan skema konvektif model cuaca WRF (*Betts Miller Janjic, Kain Fritsch, dan Grell 3D Ensemble*) (Studi kasus: Surabaya dan Jakarta). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 25-36.

[9] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2013). *Info BMKG. Edisi 1*. Kemayoran: Bagian Hubungan Masyarakat Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).

[10] Gamal E.A., Mostafa M., Fathy E.H. (2012). Research Article. Heavy rainfall simulation over Sinai Peninsula using the weather research and forecasting model. *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2013, 1-12.