

KEMAMPUAN MODEL WRF DALAM MEMPREDIKSI CURAH HUJAN DIURNAL DI PULAU JAWA (PREDICTABILITY OF DIURNAL RAINFALL OVER JAVA ISLAND USING WRF)

Suaydhi

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Jln. Dr. Djundjunan No. 133 Bandung 40173 Indonesia

e-mail: suaydhi@lapan.go.id

Diterima 11 Juli 2016; Direvisi 12 Juni 2017; Disetujui 20 Juli 2017

ABSTRACT

Indonesian region often experiences hydrometeorological disasters such as floods and landslides. To mitigate the losses from such disasters, an early warning system is needed. PSTA LAPAN is developing an early warning system called SADEWA (Satellite-based Disaster Early Warning System). The performance of this early warning system needs to be evaluated in order to increase the confidence level. One way to evaluate the WRF performance in producing the prediction was carried out by analyzing the diurnal cycles of rainfall over Java and its surroundings using the results of WRF predictions implemented in SADEWA and GSMaP data for one year period (Maret 2014 – Februari 2015). Equitable Threat Score (ETS) and Bias Score were used to evaluate the results of WRF prediction. The contrasting diurnal cycles between Java island and its surrounding seas could be well simulated by the WRF model, both the amount and the frequency of the rainfall. However, the phase of diurnal cycle from the WRF prediction was two hour ahead and the amplitude of the simulated diurnal cycle was higher than the observation. The low ETS score indicated that the WRF prediction was not satisfactory and the high bias score meant that the WRF results were often overpredicted. The results also showed that the WRF predictions could not simulate the effects of MJO (Madden-Julian Oscillation) on the diurnal cycles of rainfall over Java.

Keywords: rainfall, diurnal cycle, WRF, Java, MJO

ABSTRAK

Wilayah Indonesia sering mengalami bencana hidrometeorologis seperti banjir dan tanah longsor. Untuk mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh kejadian bencana meteorologi diperlukan suatu sistem peringatan dini. PSTA LAPAN sedang mengembangkan sebuah sistem peringatan dini yang diberi nama *Satellite-based Disaster Early Warning System* (SADEWA). Kinerja sistem peringatan dini seperti ini perlu dievaluasi agar tingkat kepercayaannya meningkat. Salah satu evaluasi kinerja hasil prediksi ini dilakukan dengan menganalisis siklus diurnal curah hujan di pulau Jawa dan sekitarnya pada data hasil prediksi WRF yang digunakan dalam SADEWA dan data GSMaP selama satu tahun (Maret 2014 – Februari 2015). *Equitable Threat Score* (ETS) dan *Bias Score* digunakan dalam evaluasi hasil prediksi WRF. Hasil analisis menunjukkan simulasi WRF untuk prediksi cuaca ini mempunyai waktu *spin-off* sekitar 5 jam. Siklus diurnal curah hujan yang kontras antara pulau Jawa dengan lautan sekitarnya mampu disimulasikan dengan baik oleh model WRF, baik dari jumlah maupun frekuensi curah hujannya. Namun fase diurnal dari hasil prediksi WRF mendahului fase data pengamatan sekitar dua jam dan mempunyai amplitudo lebih besar. Nilai ETS yang rendah mengindikasikan hasil prediksi WRF masih kurang memuaskan dan nilai bias yang tinggi berarti bahwa WRF sering *overpredict*. Hasil analisis juga menunjukkan hasil prediksi WRF belum mampu menyimulasikan pengaruh MJO (*Madden-Julian Oscillation*) pada siklus diurnal curah hujan di Jawa.

Kata Kunci: *curah hujan, siklus diurnal, WRF, Jawa, MJO*

1 PENDAHULUAN

Bencana hidrometeorologis seperti banjir dan longsor sering menimpa berbagai wilayah di Indonesia di musim hujan (Bappenas dan BNPB 2010). Kerugian yang diakibatkan oleh bencana tersebut tidak hanya berupa fisik dan materi, namun juga mengakibatkan kehilangan jiwa dan prospek kehidupan yang lebih baik. Kerugian atau kehilangan semacam ini bisa diminimalkan jika ada sistem prediksi cuaca dan sistem peringatan dini yang terbangun dengan baik. Membangun sistem yang demikian memerlukan waktu yang lama, tidak hanya infrastruktur namun juga penelitian yang berkesinambungan.

Sistem pemantauan berbasis satelit di Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) yang diberi nama SADEWA telah dikembangkan sejak 2010. Perkembangan yang signifikan terjadi, pertama pada cakupan domain dari hanya Jawa Barat diperluas menjadi seluruh wilayah Indonesia pada tahun 2012, dan kedua pada peningkatan resolusi dari resolusi horizontal 50 km menjadi 5 km pada

tahun 2013. Namun sampai saat ini prediksi baru dilakukan untuk 24 jam ke depan. Semakin panjang waktu peringatan dini yang diberikan, pengambilan keputusan dan persiapan yang dilakukan akan semakin baik. Rencananya kemampuan SADEWA akan ditingkatkan menuju sistem peringatan dini yang memberikan prediksi cuaca 72 jam kedepan. Pengembangan prediksi yang lebih jauh ini bergantung pada pengembangan elemen masing-masing sistem.

Galat dalam prediksi cuaca dinamis umumnya berasal dari kondisi awal ataupun ketidakpastian model (Slingo dan Palmer, 2011). Kondisi awal akan menghasilkan galat yang semakin besar untuk jangka prediksi yang lama (72 jam atau lebih), sedangkan ketidakpastian model mempunyai peran penting pada setiap skala waktu. Slingo dan Palmer (2011) mengatakan bahwa ketidakpastian model dapat berasal dari kurangnya pemahaman sistem iklim secara menyeluruh (sebagai contoh pemahaman tentang siklus karbon) maupun dari ketidakpastian yang

berasal dari fenomena skala sub-*grid*. Proses sub-*grid* sebenarnya telah cukup dipahami dengan baik, namun belum dapat direpresentasikan dalam model numerik secara penuh.

Sistem peringatan dini tentunya memerlukan tingkat keakuratan yang baik dalam prediksi curah hujannya. Oleh karena itu verifikasi perlu dilakukan untuk memberikan gambaran seberapa akurat hasil prediksi curah hujan dari SADEWA. Verifikasi prediksi curah hujan merupakan masalah yang sangat menantang, karena curah hujan bersifat tidak kontinu dalam ruang dan waktu, distribusinya tidak normal (Gaussian) dan banyak dipenuhi oleh nilai nol, peta spasialnya sangat tak beraturan dan sering berisi *outlier* bernilai besar (Casati dkk., 2004). Apalagi curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti *monsoon*, *El Nino/Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD), *Madden-Julian Oscillation* (MJO), dan kondisi topografi yang sangat kompleks (Lee, 2015; Chang dkk., 2004; Hidayat dan Kizu, 2010; Rauniyar dan Walsh, 2011; Qian dan Robertson, 2010).

Curah hujan di Indonesia mempunyai siklus diurnal yang sangat kuat (Ichikawa dan Yasunari, 2006, 2008; Hidayat dan Kizu, 2010; Qian dan Robertson, 2010; Rauniyar dan Walsh, 2011). Mekanisme siklus diurnal curah hujan di Indonesia juga telah banyak dipelajari melalui simulasi berbagai model numerik (Saito dkk., 2001; Qian dan Robertson, 2010; Teo dkk., 2011; Bhatt dkk., 2016), termasuk pengaruh MJO pada siklus diurnal (Slingo dkk., 2003; Sakurai dkk., 2005; Tian dkk., 2006; Rauniyar dan Walsh, 2011). Namun banyak *Numerical Weather Prediction* (NWP) dan model-model iklim belum mampu menyimulasikan fase dan amplitudo siklus diurnal curah hujan secara benar (Shin dkk., 2007)

Evaluasi dan verifikasi hasil prediksi cuaca dalam sistem peringatan dini seperti SADEWA sangat penting dilakukan agar dapat mengetahui kinerja model yang digunakan dalam hal ini adalah model *Weather Research and Forecasting* (WRF) versi 3.4. Hasil verifikasi ini dapat menunjukkan kelemahan-kelemahan model tersebut dalam menyimulasikan siklus diurnal curah hujan di Pulau Jawa, sehingga perbaikan dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil prediksi. Pengaruh MJO terhadap siklus diurnal curah hujan sangat penting, sehingga analisis juga dilakukan terhadap bagaimana model WRF menyimulasikan pengaruh ini. Analisis dilakukan pada hasil prediksi pada pukul 00.00 *Universal Time* (UT).

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Data prediksi curah hujan diperoleh dari SADEWA yang merupakan hasil simulasi menggunakan model WRF. Model ini dijalankan dengan domain wilayah Indonesia (90° – 140° BT dan 10° LS – 10° LU), resolusi horizontal 5 km x 5 km, dan 27 level lapisan atmosfer. Pemarameteran yang digunakan dalam simulasi ini adalah skema konveksi Kain-Fritsch, skema mikrofisika WRF *single-moment 3-class scheme*, skema *boundary layer* dari Yonsei University, parameterisasi radiasi gelombang panjang RRTM (*rapid radiative transfer model*), radiasi gelombang pendek dengan *Dudhia scheme*, dan Noah *land surface model*. Data kondisi awal untuk prediksi cuaca ini diperoleh dari *Global Forecasting System* (GFS) dengan resolusi 1° x 1° . Luaran prediksi WRF ini mempunyai resolusi waktu satu jam. Rentang waktu hasil prediksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari Maret 2014 sampai dengan Februari 2015. Hanya data prediksi pada hari-hari yang menghasilkan prediksi 24 jam penuh yang digunakan

dalam penelitian ini. Jumlah hari yang mempunyai hasil prediksi 24 jam penuh adalah 270 hari dari total 365 hari dalam satu tahun. Prediksi cuaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang dimulai pada pukul 00:00 *Universal Time* (UT) atau pukul 07:00 *Local Standard Time* (LST).

Data curah hujan *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) digunakan sebagai data verifikasi dalam penelitian ini (Ushio dkk., 2009), karena keterbatasan data pengamatan hujan di permukaan yang kontinyu dan handal serta mempunyai resolusi tinggi dalam skala ruang dan waktu. Data GSMaP mempunyai resolusi waktu 1 jam dan resolusi ruang 0,1 derajat. Meski data GSMaP masih memerlukan koreksi (Ghaju dan Alfredsen, 2012), namun data ini telah digunakan dalam asimilasi data untuk meningkatkan akurasi prediksi cuaca di India (Kumar dkk., 2014) dan digunakan untuk verifikasi hasil prediksi curah hujan di pulau Jawa (Sagita dkk., 2017).

Untuk mengidentifikasi MJO aktif di wilayah Indonesia, indeks RMM fase 4 dan 5 (*real-time multivariate MJO*) yang dikembangkan oleh Wheeler dan Hendon (2004) digunakan dalam penelitian ini. Hanya indeks RMM yang mempunyai amplitudo lebih besar dari 1 yang digunakan, karena batas tersebut mengindikasikan MJO kuat (Wheeler dan Hendon, 2004). Data angin di ketinggian 850 mb dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) *Reanalysis* (ERA) *Interim* (Dee dkk., 2011) digunakan untuk membandingkan kondisi angin pada saat ada MJO dan pada saat tidak ada MJO.

2.2 Metode

Curah hujan konvektif dan non-konvektif diolah secara terpisah untuk melihat komponen mana yang lebih menyerupai curah hujan

pengamatan. Curah hujan total adalah jumlah dari keduanya. Analisis dilakukan untuk rata-rata waktu satu tahun, musim kemarau (Juni – Agustus 2014) dan musim hujan (Desember 2014 – Februari 2015). Data GSMaP yang diolah disesuaikan dengan jumlah hari hasil prediksi WRF yang mempunyai data 24 jam penuh. Untuk analisis frekuensi hujan, curah hujan dibagi menjadi hujan ringan (antara 1 dan 10 mm/hari) dan hujan lebat (di atas 10 mm/hari), seperti kriteria curah hujan yang digunakan oleh Sun dkk. (2006).

Untuk perbandingan antara data hasil model (WRF) dan pengamatan (GSMaP), maka kedua data tersebut disamakan ukuran *grid*-nya melalui proses *regridding* menjadi resolusi 0,1° x 0,1°. Ada beberapa macam indeks yang bisa digunakan untuk mengevaluasi hasil prediksi numerik dari model iklim regional. Dalam penelitian ini, metode *Equitable Threat Score* (ETS) dan *Bias Score* (Chou dan Justo da Silva, 1999; Hogan, dkk. 2010) digunakan untuk mengevaluasi hujan hasil prediksi WRF. Misalkan, F adalah jumlah *grid* hasil prediksi dari total N *grid* yang menghasilkan hujan dalam rentang intensitas tertentu, O adalah jumlah *grid* dari total N *grid* yang mempunyai hujan dengan rentang intensitas yang sama, dan H adalah jumlah *grid* yang mempunyai hujan dari ke dua set data tersebut (*hit rate*), maka ETS didefinisikan sebagai:

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad (2-1)$$

di mana

$$CH = \frac{F \times O}{N} \quad (2-2)$$

CH adalah jumlah *grid* dengan kesesuaian acak (*random hits*). Nilai rentang ETS antara -1/3 dan 1.

Sedangkan *Bias Score* (BIAS) didefinisikan sebagai:

$$BIAS = \frac{F}{O} \quad (2-3)$$

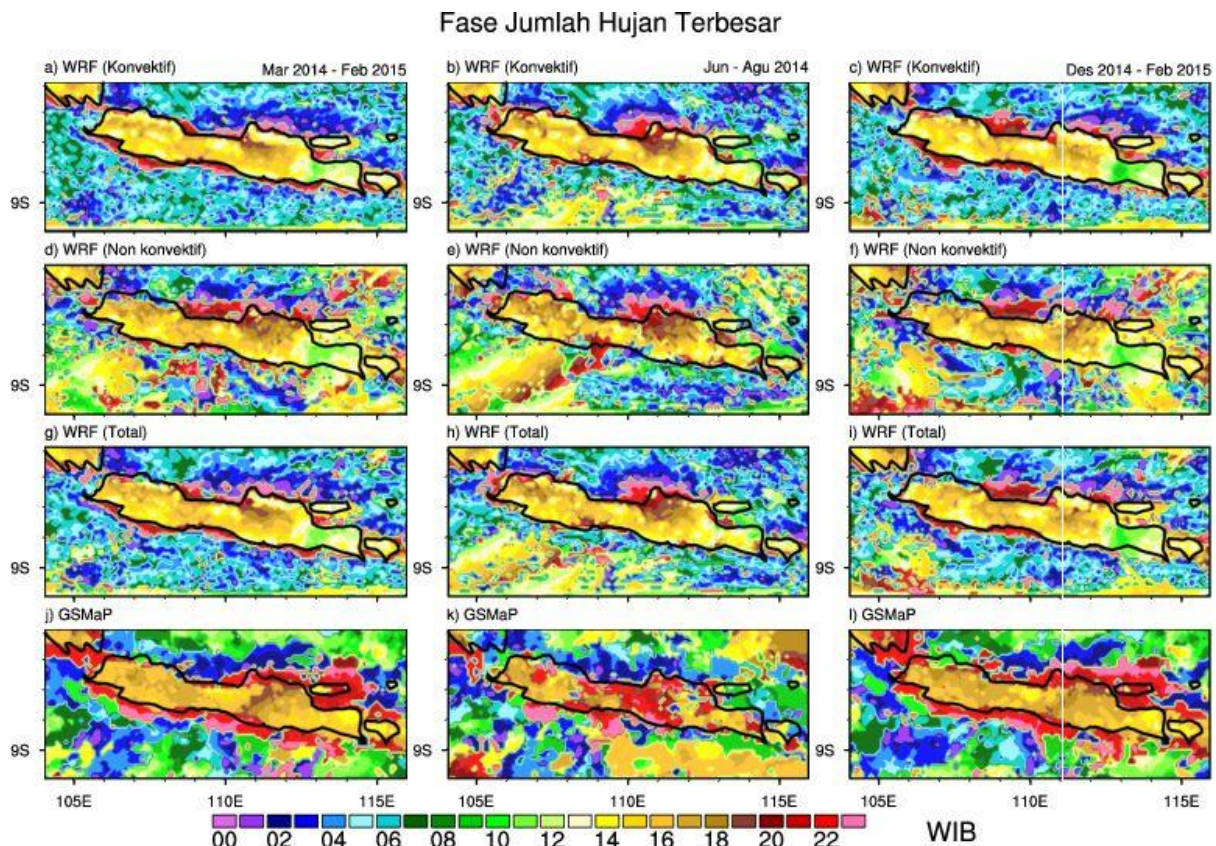
Jika jumlah *grid* hasil prediksi yang mempunyai hujan lebih banyak (sedikit) daripada jumlah *grid* hasil pengamatan yang mempunyai hujan dalam rentang intensitas tertentu, maka nilai BIAS adalah di atas (di bawah) 1. Prediksi yang sempurna akan menghasilkan nilai ETS = 1 dan BIAS = 1.

3 HASIL PEMBAHASAN

Gambar 3-1 menunjukkan fase diurnal jumlah hujan di atas pulau Jawa dan sekitarnya untuk hasil prediksi dari model WRF dan pengamatan (GSMaP), untuk rata-rata satu tahun (Maret 2014 - Februari 2015), selama musim kemarau (Juni - Agustus 2014), dan selama musim hujan (Desember 2014 - Februari 2015). Hasil prediksi dibagi menjadi tiga: hujan konvektif, hujan non-konvektif, dan hujan total. Fase diurnal jumlah curah hujan menunjukkan pada pukul berapa suatu tempat mendapatkan curah hujan terbanyak. Secara umum, daratan mengalami jumlah curah hujan terbanyak pada sore hari (antara pukul 13:00 dan 17:00 WIB). Puncak jumlah curah hujan di atas daratan dari data pengamatan GSMaP terjadi lebih lambat daripada data hasil prediksi WRF, baik untuk rata-rata satu tahun (Gambar 3-1. panel kiri), musim kemarau (panel tengah), maupun musim hujan (panel kanan). Bahkan selama musim kemarau, data GSMaP menunjukkan bahwa puncak jumlah hujan bisa terjadi sekitar pukul 10:00 malam di sebagian wilayah pulau Jawa (Gambar 3-1k). Di

sekitar pantai pulau Jawa, puncak jumlah curah hujan terjadi sekitar tengah malam (pukul 10:00 malam - pukul 02:00 pagi). Sedangkan di atas lautan sekitar pulau Jawa, puncak jumlah curah hujan umumnya terjadi pada dini hari sampai pagi hari. Hasil prediksi WRF juga menunjukkan waktu puncak jumlah hujan yang diterima wilayah lautan lebih cepat daripada data pengamatan (GSMaP). Fase diurnal puncak jumlah hujan konvektif dan non-konvektif (data prediksi WRF) yang diterima suatu wilayah menunjukkan sedikit perbedaan. Fase diurnal puncak hujan total WRF memiliki pola yang lebih mirip dengan pola fase diurnal hujan konvektif. Hal ini menunjukkan jumlah curah hujan lebih didominasi oleh hujan konvektif daripada hujan non-konvektif.

Frekuensi terjadinya hujan diurnal di pulau Jawa dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 3-2. Sama seperti jumlah curah hujan, frekuensi curah hujan tertinggi di daratan juga terjadi pada sore hari untuk ketiga rentang waktu analisis (rata-rata satu tahun, musim kemarau dan musim hujan). Di sekitar pantai, data pengamatan GSMaP menunjukkan bahwa hujan paling sering terjadi sebelum tengah malam (Gambar 3-2 j - l). Sedangkan data hasil prediksi WRF hujan di sekitar pantai lebih sering terjadi setelah lewat tengah malam. Di atas lautan, hujan GSMaP paling sering terjadi pada pagi hari (sekitar pukul 10:00 pagi) dan hujan prediksi WRF paling sering terjadi pada awal pagi hari (sekitar pukul 06:00 pagi).



Gambar 3-1: Fase diurnal puncak jumlah hujan dari hasil simulasi model WRF, baris pertama untuk hujan konvektif, baris kedua untuk hujan non-konvektif, dan baris ketiga untuk hujan total hasil prediksi, sedangkan baris keempat untuk hujan pengamatan dari data GSMaP. Kolom kiri menunjukkan rata-rata satu tahun (Maret 2014 - Februari 2015), kolom tengah untuk musim kemarau (Juni - Agustus 2014) dan kolom kanan untuk musim hujan (Desember 2014 - Februari 2015). Kontur warna menunjukkan waktu lokal (*Local Standard Time -LST*)

Hujan konvektif hasil prediksi WRF di daratan umumnya paling sering terjadi antara pukul 14:00 – 17:00 WIB (Gambar 3-2 a-c). Hujan non-konvektif WRF di daratan paling sering terjadi antara pukul 15:00 – 22:00 WIB untuk rata-rata satu tahun dan waktu musim kemarau (Gambar 3-2 d dan e), sedangkan waktu musim hujan antara pukul 14:00 – 18:00 WIB (Gambar 3-2f).. Hasil prediksi WRF, frekuensi hujan tertinggi lebih didominasi oleh hujan non-konvektif untuk rata-rata satu tahun dan waktu musim kemarau dan didominasi oleh hujan konvektif waktu musim hujan.

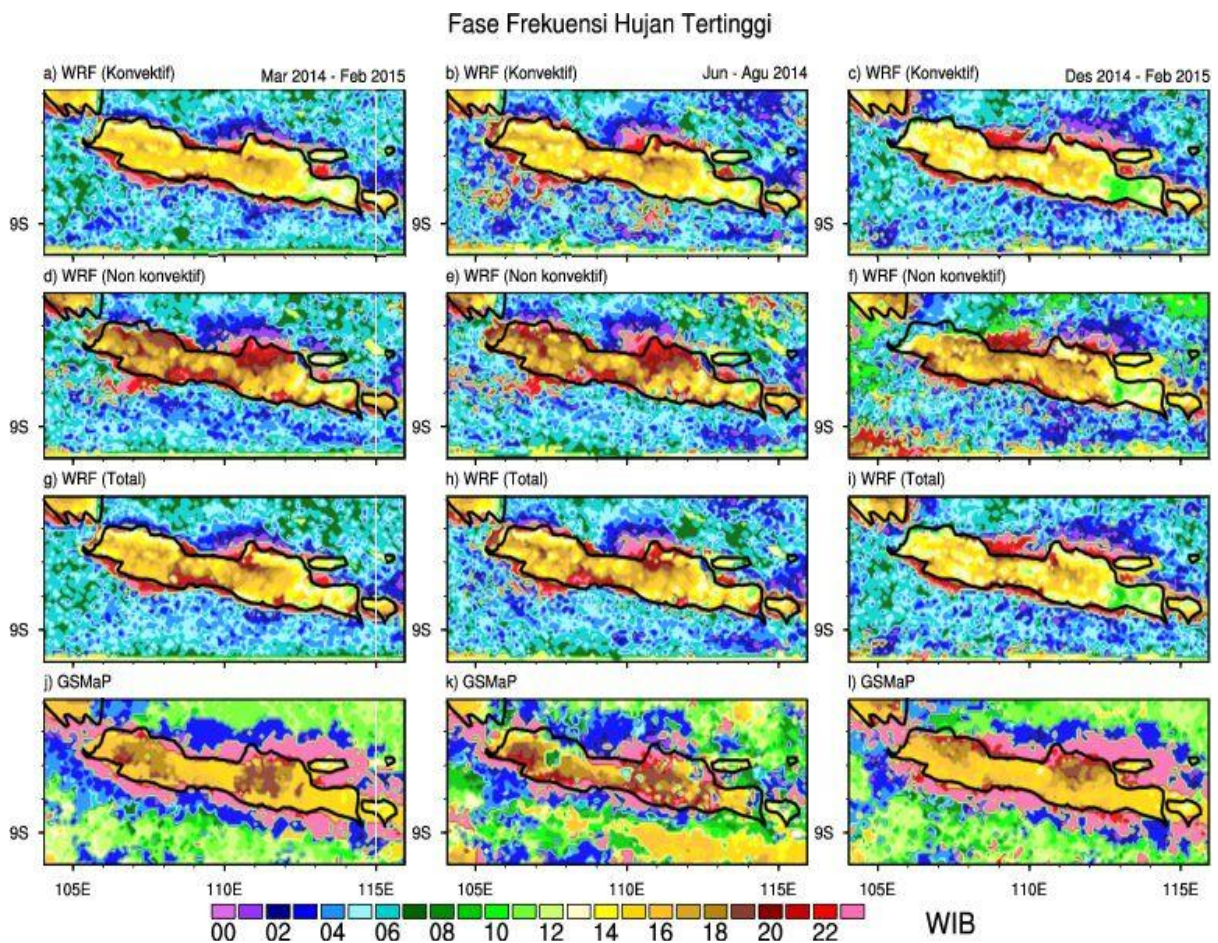
Deret waktu siklus diurnal curah hujan rata-rata di atas daratan dan di atas lautan ditunjukkan pada Gambar 3-3. Pada gambar deret waktu ini

terlihat adanya *model spin-up*, yaitu waktu yang diperlukan oleh model untuk mendapatkan kesetimbangan antara besaran-besaran masa dan kecepatan pada periode awal integrasi (Yang dkk., 2011; Warner, 2011). Menurut Warner (2011) waktu *spin-up* yang diperlukan oleh model prediksi cuaca adalah 3 – 6 jam. Dalam hal ini model WRF diintegrasikan setiap hari pada pukul 00:00 UT (07:00 WIB), maka model perlu menyesuaikan diri dengan masukan (*input*) dari kondisi awal dari data GFS sampai sekitar pukul 06:00 UT (13:00 WIB). Pada Gambar 3-3f, proses *spin-up* terlihat jelas berlangsung dari pukul 07:00 WIB sampai pukul 12:00 WIB. Setelah pukul 12:00 WIB model mampu menunjukkan siklus diurnal yang realistis dan mendekati siklus

diurnal hasil pengamatan. Hal ini yang mendasari data pada pukul 07:00 WIB dari prediksi WRF sengaja dihilangkan untuk menghindari kurva yang tiba-tiba berubah drastis, terutama pada plot siklus curah hujan di atas lautan.

Puncak curah hujan di atas daratan (Gambar 3-3 panel kiri) dari data GSMaP terjadi pada sekitar pukul 16:00 WIB, sedangkan dari data WRF terjadi lebih awal, yaitu sekitar pukul 14:00 WIB. Rata-rata curah hujan total dari prediksi WRF di atas daratan lebih tinggi dari data pengamatan GSMaP.

Hasil simulasi WRF menunjukkan bahwa hujan konvektif selalu lebih tinggi daripada hujan non-konvektif. Siklus diurnal curah hujan di atas lautan (Gambar 3-3 panel kanan) menunjukkan bahwa puncak hujan terjadi pada malam sampai dini hari dan mengalami titik minimum pada sore hari sekitar pukul 18:00 WIB untuk data GSMaP. Sedangkan titik minimum pada data prediksi WRF di atas lautan terjadi sekitar pukul 16:00 WIB.

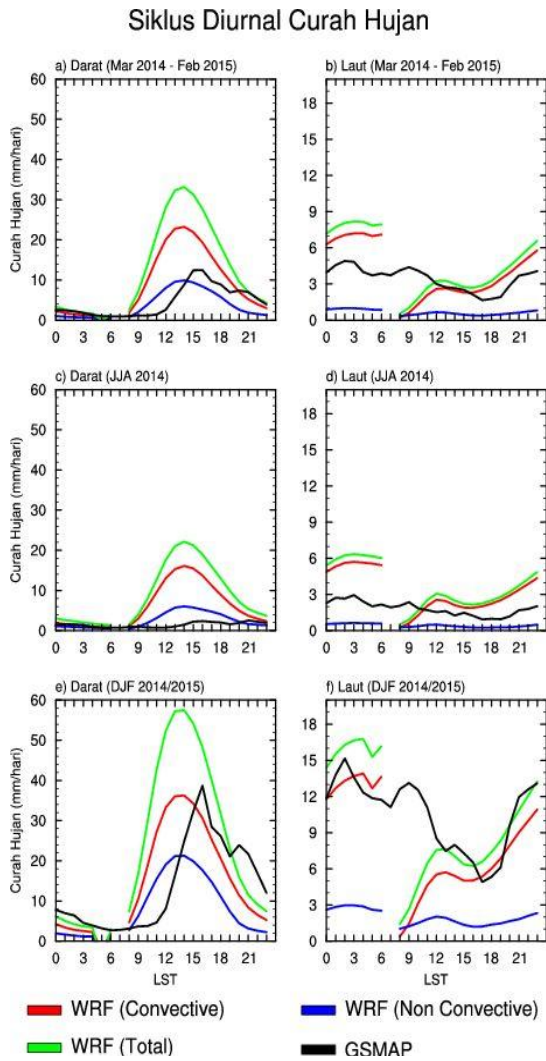


Gambar 3-2: Fase diurnal frekuensi hujan tertinggi dari hasil simulasi model WRF, baris pertama untuk hujan konvektif, baris kedua untuk hujan non-konvektif, dan baris ketiga untuk hujan total hasil prediksi, sedangkan baris keempat untuk hujan pengamatan dari data GSMaP. Kolom kiri menunjukkan rata-rata satu tahun (Maret 2014 - Februari 2015), kolom tengah untuk musim kemarau (Juni - Agustus 2014) dan kolom kanan untuk musim hujan (Desember 2014 - Februari 2015). Kontur warna menunjukkan waktu lokal (*Local Standard Time -LST*)

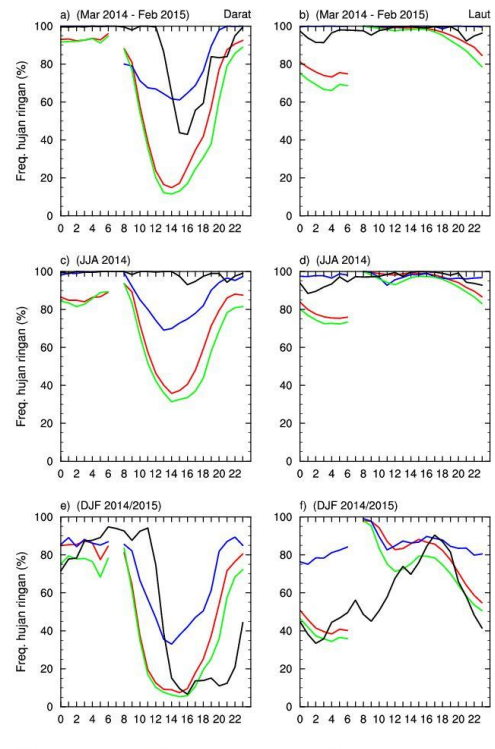
Deret waktu untuk siklus diurnal frekuensi hujan dibagi menjadi dua, yaitu frekuensi hujan ringan (antara 1 dan 10 mm/hari) dan hujan lebat (di atas 10 mm/hari). Deret waktu untuk frekuensi hujan ringan di pulau Jawa dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 3-4 dan untuk hujan lebat pada Gambar 3-5. Persentase (frekuensi) kejadian dihitung dari jumlah total kejadian hujan (ringan dan lebat) masing-masing untuk hujan di atas daratan dan di atas laut. Di atas daratan (Gambar 3-4 kolom kiri) data pengamatan GSMaP menunjukkan bahwa hujan ringan terlihat lebih dominan daripada hujan lebat. (lebih dari 50 % frekuensi kejadiannya), kecuali pada sore sampai malam hari waktu musim hujan (Gambar 3-4e). Demikian pula frekuensi hujan ringan terlihat sangat dominan di atas laut, kecuali pada malam sampai pagi hari di musim hujan (Gambar 3-4 kolom kanan). Frekuensi hujan ringan hasil prediksi WRF lebih rendah daripada GSMaP untuk tipe hujan konvektif dan hujan totalnya untuk deret waktu rata-rata satu tahun dan musim kemarau. Waktu musim hujan, frekuensi hujan konvektif hasil prediksi WRF menyerupai frekuensi hujan dari data GSMaP. Secara umum hasil prediksi WRF menunjukkan siklus diurnal frekuensi hujan ringan yang mirip dengan hasil data dari GSMaP, kecuali titik frekuensi minimum untuk hujan ringan dari prediksi WRF terjadi lebih cepat sekitar dua jam daripada data GSMaP. Persentase kejadian hujan lebat di wilayah Indonesia ditunjukkan pada Gambar 3-5. Siklus diurnal hujan lebat ini kebalikan dari siklus hujan ringan. Jika siklus hujan ringan mempunyai titik minimum pada pukul 16:00, maka siklus hujan lebat akan

mencapai maksimum pada waktu tersebut. Jika hasil prediksi WRF mempunyai persentase hujan ringan lebih rendah daripada GSMaP, maka hasil prediksi WRF mempunyai persentase hujan lebat lebih tinggi daripada GSMaP.

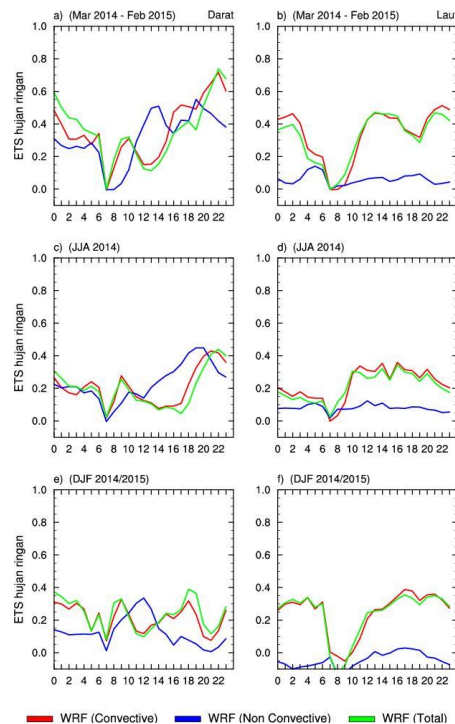
Gambar 3-6 dan 3-7 menunjukkan *Equitable Threat Score* (ETS) dan *Bias Score* (BIAS) untuk kategori hujan ringan. ETS hujan total dan hujan konvektif untuk hujan ringan baik di darat dan di laut untuk semua musim terlihat mempunyai siklus yang sangat mirip, sedangkan siklus ETS hujan non-konvektif berbeda dari ETS kedua tipe hujan yang lain (Gambar 3-6). Hal ini menunjukkan bahwa hujan konvektif lebih dominan daripada hujan non-konvektif. Pada umumnya ETS untuk kategori hujan ringan ini mempunyai nilai di bawah 0,5, sehingga dapat dikatakan hasil prediksi WRF belum memuaskan. Gambar 3-6 menunjukkan bahwa antara pukul 07:00 dan 12:00 WIB nilai ETS sangat rendah. Nilai ETS yang jauh lebih rendah daripada waktu-waktu lainnya membuktikan bahwa 5 jam pertama dari hasil prediksi merupakan waktu *spin-off* model. *Bias Score* untuk kategori hujan ringan pada umumnya mendekati nilai 1 (Gambar 3-7.), yang berarti bahwa jumlah *grid* dengan intensitas hujan ringan secara umum sesuai dengan hasil pengamatan. Pada waktu *spin-off* model (antara pukul 07:00 dan 12:00 WIB), nilai biasanya 0 atau sangat kecil. Pada malam hari waktu musim hujan (DJF) terjadi *overpredict* (Gambar 3-7e.) yang ditunjukkan dengan nilai bias jauh lebih besar dari 1. Ini berarti bahwa jumlah *grid* hasil prediksi WRF dengan intensitas hujan ringan lebih banyak daripada pengamatan.



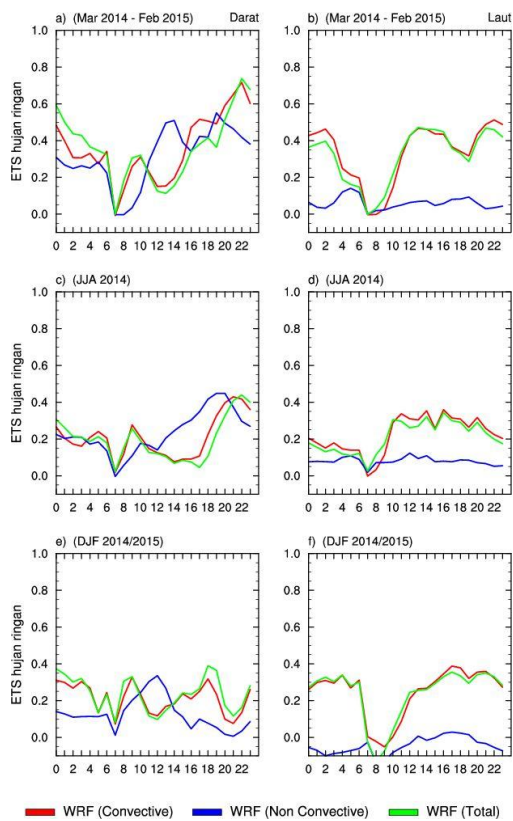
Gambar 3-3: Siklus diurnal curah hujan rata-rata (dalam mm/hari) di pulau Jawa dan sekitarnya, untuk hujan di daratan (panel kiri) dan hujan di lautan (panel kanan) untuk rata rata satu tahun (panel atas), waktu musim kemarau (panel tengah) dan waktu musim hujan (panel bawah). Warna menunjukkan sumber datanya. Data pada pukul 07:00 WIB dari prediksi WRF sengaja dihilangkan untuk menghindari kurva yang tiba-tiba turun drastis (penjelasan ada di teks)



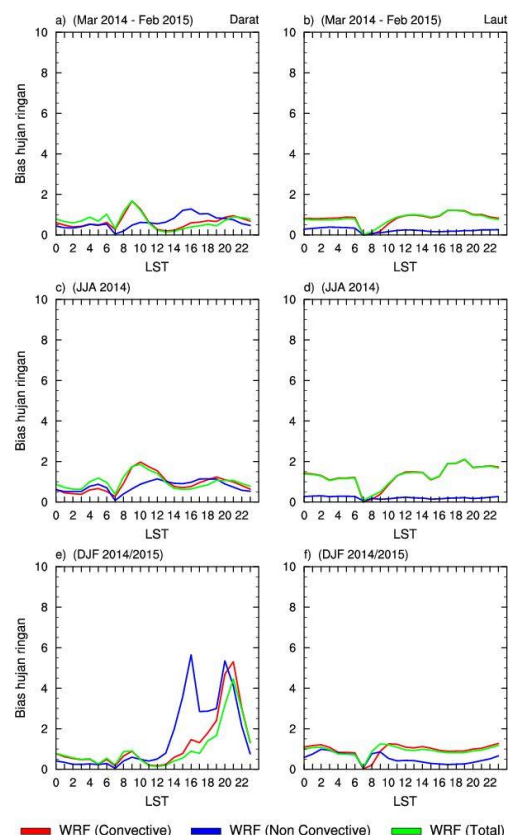
Gambar 3-4: Siklus diurnal persentase hujan rata-rata di pulau Jawa dan sekitarnya untuk hujan ringan antara 1 dan 10 mm/hari, baik di darat (lajur kiri) maupun di laut (lajur kanan)



Gambar 3-5: Siklus diurnal persentase hujan rata-rata di pulau Jawa dan sekitarnya untuk hujan lebat (intensitas > 10 mm/hari), baik di darat (lajur kiri) maupun di laut (lajur kanan)

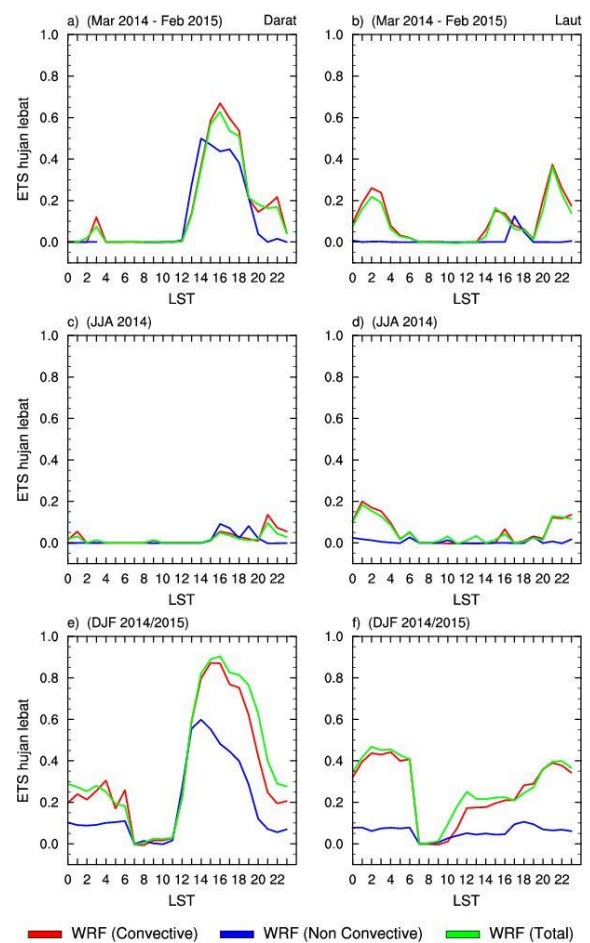


Gambar 3-6: Nilai ETS untuk kategori hujan ringan, baik di darat (lajur kiri) maupun di laut (lajur kanan)



Gambar 3-7: Bias score untuk kategori hujan ringan, baik di darat (lajur kiri) maupun di laut (lajur kanan)

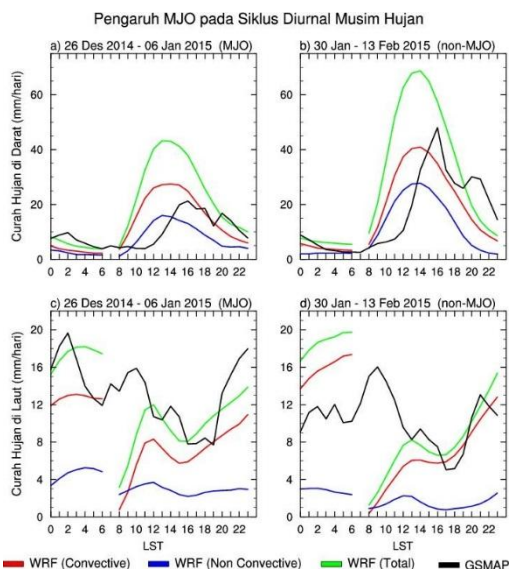
ETS untuk kategori hujan lebat (> 10 mm/hari) ditunjukkan pada Gambar 3-8. Di darat (Gambar 3-8 lajur kiri), nilai ETS cukup tinggi pada sore hari kecuali pada musim kemarau. Nilai ETS yang sangat rendah waktu musim kemarau mengindikasikan bahwa WRF sering meleset dalam prediksi hujan, baik meleset dalam prediksi waktunya ataupun lokasinya. Nilai ETS untuk hujan lebat di atas laut cukup rendah, yaitu di bawah 0.4 (Gambar 3-8 lajur kanan). Bias Score untuk kategori hujan lebat umumnya mempunyai nilai yang sangat tinggi.



Gambar 3-8: Nilai ETS untuk kategori hujan lebat, baik di darat (lajur kiri) maupun di laut (lajur kanan)

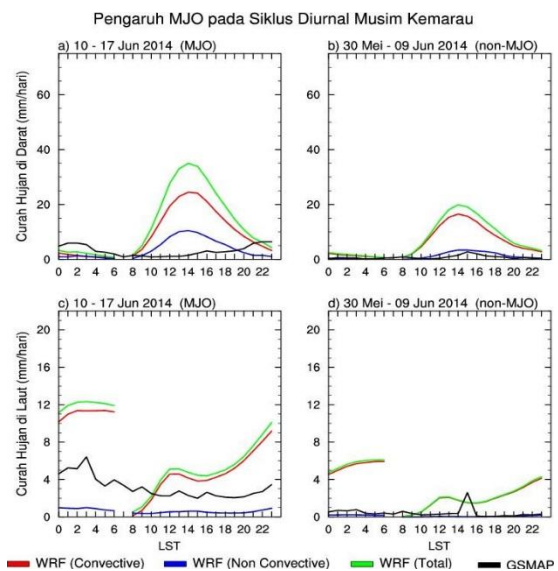
Untuk mengetahui pengaruh MJO pada siklus diurnal curah hujan di pulau Jawa, siklus diurnal curah hujan pada saat ada MJO dibandingkan dengan pada saat tidak ada MJO

(Gambar 3-9 dan 3-10). Pada Gambar 3-3c telah ditunjukkan bahwa sore hari merupakan puncak siklus diurnal curah hujan sebagai akibat dari proses konveksi. Curah hujan pada sore hari waktu musim hujan saat MJO dan saat tanpa MJO di darat ditunjukkan pada Gambar 3-9a dan b. Gambar tersebut menunjukkan adanya penurunan curah hujan pada sore hari ketika terjadi MJO dibandingkan ketika tidak ada MJO. Penurunan ini disebabkan oleh proses konveksi yang tertekan (*suppressed convection*) oleh MJO. Hasil prediksi WRF mampu mereproduksi penurunan curah hujan di darat pada saat ada MJO seperti yang ditunjukkan oleh data GSMaP (Gambar 3-9a). Sebaliknya curah hujan di laut meningkat sewaktu ada MJO dibandingkan tanpa ada MJO (Gambar 3-9c dan d). Tingginya curah hujan pada pagi hari di laut waktu ada MJO dapat disimulasikan oleh WRF dengan baik (Gambar 3-9c). Namun waktu tidak ada MJO, hasil prediksi WRF lebih tinggi daripada pengamatan (Gambar 3-9d).



Gambar 3-9: Siklus diurnal curah hujan rata-rata (mm/hari) di pulau Jawa dan sekitarnya, di darat (panel atas) dan di laut (panel bawah), waktu musim hujan ketika ada MJO (panel kiri) dan tidak ada MJO di Benua Maritim Indonesia (panel kanan)

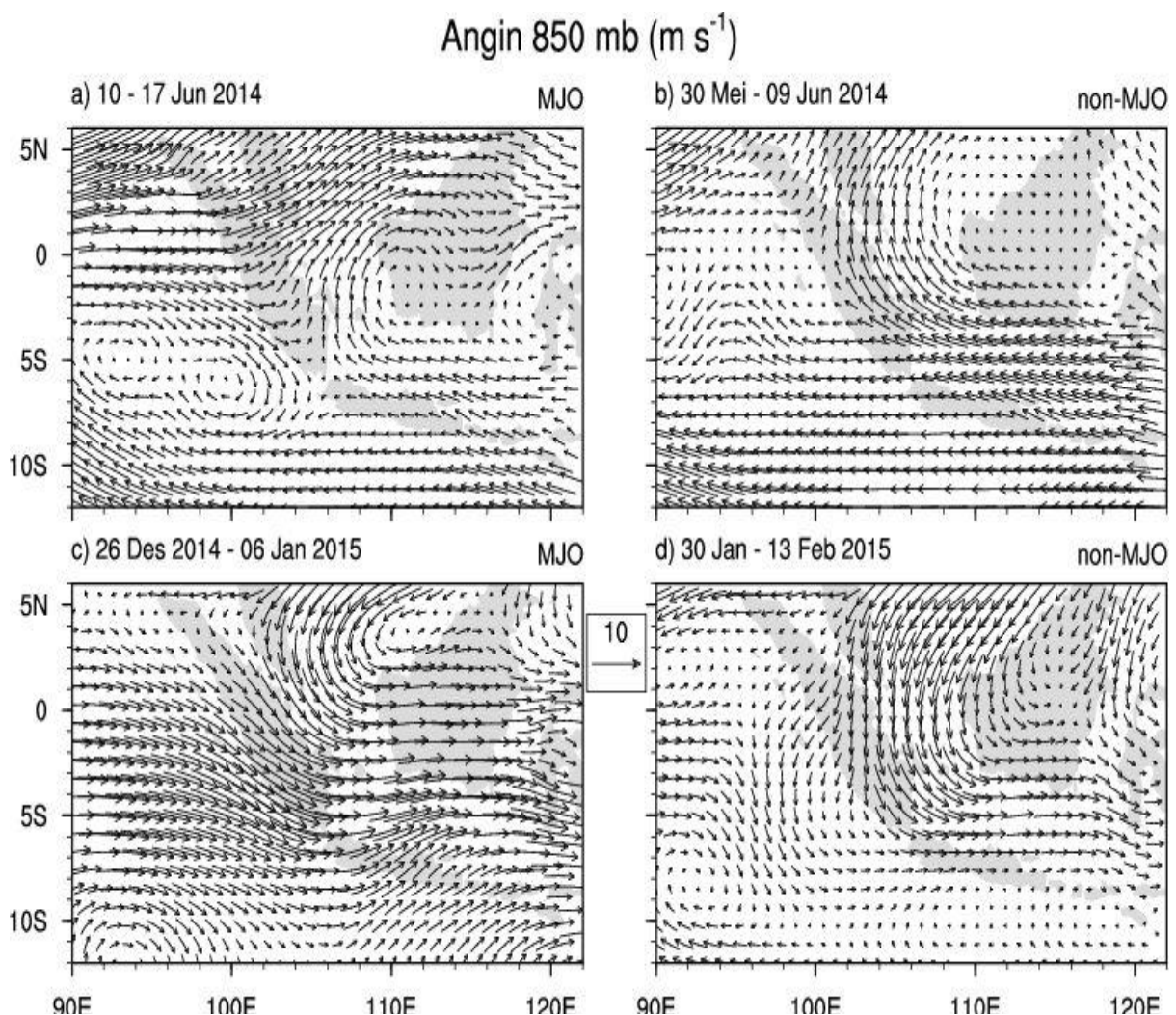
Pengaruh MJO pada siklus diurnal curah hujan pada musim kemarau sedikit berbeda dari musim hujan. Jika pada musim hujan kehadiran MJO menurunkan curah hujan di daratan, namun meningkatkan curah hujan di lautan pulau Jawa dan data pengamatan dari GSMaP menunjukkan bahwa kejadian MJO meningkatkan curah hujan pada musim kemarau baik di darat maupun di laut (Gambar 3-10). Hasil prediksi WRF menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan di darat pada saat MJO terjadi pada sore hari yang sangat berbeda dengan hasil pengamatan yang terjadi pada malam sampai pagi hari (Gambar 3-10a). Siklus diurnal di darat pada musim kemarau saat tidak ada MJO mampu disimulasikan oleh WRF (Gambar 3-10b), dengan intensitas curah hujan yang jauh lebih tinggi daripada hasil pengamatan. Penurunan curah hujan di laut waktu musim kemarau juga mampu disimulasikan oleh WRF dengan intensitas yang lebih tinggi (Gambar 3-10c dan d).



Gambar 3-10: Siklus diurnal curah hujan rata-rata (mm/hari) di pulau Jawa dan sekitarnya, di darat (panel atas) dan di laut (panel bawah), waktu musim kemarau, ketika ada MJO (panel kiri) dan tidak ada MJO di Benua Maritim Indonesia (panel kanan)

Gambar 3-11 menunjukkan pola angin horizontal pada ketinggian 850 mb pada musim kemarau (panel atas) dan musim hujan (panel bawah), pada saat ada MJO (panel kiri) dan tidak ada MJO (panel kanan). Pada musim kemarau saat MJO berada di kawasan Indonesia angin 850 mb dari Lautan India mengarah ke wilayah Indonesia (Gambar 3-11a), sehingga menekan proses konveksi dan puncak curah hujan pada sore hari tidak muncul (Gambar 3-10a). Namun angin dari Lautan India ini

banyak membawa uap air yang menyebabkan peningkatan curah hujan di malam dan dini hari di atas pulau Jawa. Pada musim hujan, angin 850 mb dari Lautan India juga menekan proses konveksi pada saat ada MJO (Gambar 3-9a) yang berakibat pada berkurangnya jumlah curah hujan pada sore hari. Oleh karena itu curah hujan pada musim hujan justru berkurang pada saat ada MJO dibandingkan dengan pada waktu tidak ada MJO di Benua Maritim Indonesia.



Gambar 3-11: Pola angin horizontal di ketinggian 850 mb, waktu musim kemarau (panel atas) dan musim hujan (panel bawah), ketika ada MJO (panel kiri) dan ketika tidak ada MJO (panel kanan)

4 KESIMPULAN

Penelitian ini telah menunjukkan bahwa hasil prediksi model WRF belum mampu menyimulasikan siklus diurnal curah hujan di pulau Jawa dan sekitarnya. Puncak siklus diurnal curah hujan pada sore hari di darat hasil prediksi WRF terjadi sekitar dua jam lebih awal dibandingkan dengan hasil pengamatan. Hasil evaluasi dengan teknik *Equitable Threat Score* (ETS) yang dikombinasikan dengan *Bias Score* menunjukkan nilai ETS yang rendah (kurang dari 0,5) dan nilai bias yang banyak di atas 1. Nilai ETS rendah merupakan indikasi bahwa hasil prediksi sering meleset (baik waktu atau lokasi) dan bias yang tinggi mengindikasikan hasil prediksi yang sering *overpredicted*.

Hasil prediksi WRF juga belum mampu menyimulasikan pengaruh MJO pada siklus diurnal curah hujan di pulau Jawa dan sekitarnya, kecuali pada musim hujan di darat. Kekurangan ini perlu mendapat perhatian serius dalam upaya mengantisipasi bencana hidrometeorologis di musim kemarau, di mana WRF memprediksi puncak curah hujan terjadi pada sore hari sedangkan hasil pengamatan terjadi pada malam sampai dini hari.

Model area terbatas yang menggunakan masukan (*input*) dari kondisi batas seperti hasil prediksi WRF yang digunakan dalam penelitian ini memerlukan penyesuaian sebelum berjalan sesuai yang diharapkan. Hasil penelitian ini menunjukkan model memerlukan sekitar lima jam untuk menyesuaikan diri. Keterbatasan ini dapat diatasi dengan membuat prediksi lebih dari sekali dalam satu hari dengan awal simulasi pada waktu yang berbeda. Hal ini telah dilakukan oleh PSTA LAPAN dengan melakukan awal prediksi pada dua waktu yang berbeda (00:00 dan 12:00 UT) dan bahkan sekarang awal prediksi dilakukan pada empat waktu berbeda (00:00, 06:00, 12:00, dan 18:00 UT).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Didi Satiadi yang telah memberikan masukan tentang bagaimana model WRF dijalankan untuk menghasilkan prediksi cuaca dan tentang pengembangan SADEWA dan Sdr. Ibnu Fathrio yang telah memberi penjelasan tentang konfigurasi WRF.

DAFTAR RUJUKAN

- Bappenas, dan BNPB, 2010. *Rencana Aksi Nasional Pengurangan Risiko Bencana 2010 - 2012*. 363.
- Bhatt, B. C., S., Sobolowski, and H., Atsushi, 2016. *Simulation of Diurnal Rainfall Variability over the Maritime Continent with a High-Resolution Regional Climate Model*. J. Meteorol. Soc. Japan, 94A, 89–103, doi:10.2151/jmsj.2015-052.
- Casati, B., G., Ross, and D., B., Stephenson, 2004. *A New Intensity-Scale Approach for the Verification of Spatial Precipitation Forecasts*. Meteorol. Appl., 11, 141–154, doi:10.1017/S1350482704001239.
- Chang, C.-P., Z., Wang, J., Ju, and T., Li, 2004. *On the Relationship between Western Maritime Continent Monsoon Rainfall and ENSO during Northern Winter*. J. Clim., 17, 665–672.
- Chou, S. C., and M. G. A., Justi da Silva, 1999. *Objective Evaluation of Eta Model Precipitation Forecasts*. Climanalise, 14, 1–17.
- Dee, D., P., and Coauthors, 2011. *The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System*. Q. J. R. Meteorol. Soc., 137, 553–597, doi:10.1002/qj.828.
- Ghaju, S., and K., Alfredsen, 2012. *Evaluation of Satellite Based Precipitations and their Applicability for Rainfall Runoff Modelling in Narayani Basin of Nepal*. J. Hydrol. Meteorol., 8, 22–31.
- Hidayat, R., and S., Kizu, 2010. *Influence of the Madden-Julian Oscillation on Indonesian Rainfall Variability in Austral Summer*. Int. J. Climatol., 30, 1816–1825.
- Hogan, R. J., C. A. T. Ferro, I. T., Joliffe, and D. B., Stephenson, 2010. *Equitability*

- Revisited: Why the “ Equitable Threat Score ”is Not Equitable.* Weather Forecast., 25, 710–726, doi:10.1175/2009WAF2222350.1.
- Ichikawa, H., and T., Yasunari, 2006. *Time – Space Characteristics of Diurnal Rainfall over Borneo and Surrounding Oceans as Observed by TRMM-PR.* J. Clim., 19, 1238–1260.
- Ichikawa, H., and T., Yasunari, 2008. *Intraseasonal Variability in Diurnal Rainfall over New Guinea and the Surrounding Oceans during Austral Summer.* J. Clim., 21, 2852–2868, doi: 10.1175/2007JCLI1784.1.
- Kumar, P., C. M., Kishtawal, and P., K., Pal, 2014. *Impact of Satellite Rainfall Assimilation on Weather Research and Forecasting Model Predictions Over the Indian Region.* J. Geophys. Res. Atmos., 119, 2017–2031, doi:10.1002/2013JD020005.
- Lee, H. S., 2015. *General Rainfall Patterns in Indonesia and the Potential Impacts of Local Seas on Rainfall Intensity.* Water, 7, 1751–1768, doi:10.3390/w7041751.
- Qian, J.-H., and A. W., Robertson, 2010. *Interactions Among ENSO, the Monsoon, and Diurnal Cycle in Rainfall Variability Over Java, Indonesia.* J. Atmos. Sci., 67, 3509–3524, doi:10.1175/2010JAS3348.1.
- Rauniyar, S. P., and K. J. E. Walsh, 2011. *Scale Interaction of the Diurnal Cycle of Rainfall over the Maritime Continent and Australia: Influence of the MJO.* J. Clim., 24, 325–348, doi:10.1175/2010JCLI3673.1.
- Sagita, N., R., Hidayati, R., Hidayat, and I., Gustari, 2017. *Satellite Radiance Data Assimilation for Rainfall Prediction in Java Region.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 54, IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1315/54/1/012037.
- Saito, K., T., Keenan, G., Holland, and K., Puri, 2001. *Numerical Simulation of the Diurnal Evolution of Tropical Island Convection over the Maritime Continent.* Mon. Weather Rev., 129, 378–400.
- Sakurai, N., F., Murata, and M. D., Yamanaka, 2005. *Diurnal Cycle of Cloud System Migration over Sumatera Island.* J. Meteorol. Soc. Japan, 83, 835–850.
- Shin, D., W., S., Cocke, and T., E., Larow, 2007. *Diurnal Cycle of Precipitation in a Climate Model.* J. Geophys. Res., 112, 1–11, doi:10.1029/2006JD008333.
- Slingo, J., and T. Palmer, 2011. *Uncertainty in Weather and Climate Prediction.* Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci., 369, 4751–4767, doi:10.1098/rsta.2011.0161.
- , P., Inness, R., Neale, S., Woolnough, and G., Yang, 2003. *Scale Interactions on Diurnal to Seasonal Timescales and their Relevance to Model Systematic Errors.* Annu. Geophys., 46, 139–155.
- Sun, Y., S., Solomon, and A., Dai, 2006. *How Often Does It Rain?* J. Clim., 19, 916–934.
- Teo, C.-K., T.-Y., Koh, J. C.-F., Lo, and B., C., Bhatt, 2011. *Principal Component Analysis of Observed and Modeled Diurnal Rainfall in the Maritime Continent.* J. Clim., 24, 4662–4675, doi:10.1175/2011JCLI4047.1.
- Tian, B., D., E., Waliser, and E., J., Fetzer, 2006. *Modulation of the Diurnal Cycle of Tropical Deep Convective Clouds by the MJO.* Geophys. Res. Lett., 33, 1–6, doi: 10.1029/2006GL027752.
- Ushio, T., and Coauthors, 2009. *A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data.* J. Meteorol. Soc. Japan, 87A, 137–151, doi:10.2151/jmsj.87A.137.
- Warner, T. T., 2011. *Numerical Weather and Climate Prediction.* Cambridge University Press, 550.
- Wheeler, M. C., and H. H., Hendon, 2004. *An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction.* Mon. Weather Rev., 132, 1917–1932.
- Yang, Y., M., Uddstrom, and M., Duncan, 2011. *Effects of Short Spin Up Periods on Soil Moisture Simulation and the Causes Over New Zealand.* J. Geophys. Res., 116, 1–12, doi:10.1029/2011JD016121.