

PENGARUH ASIMILASI DATA PENGINDERAAN JAUH (RADAR DAN SATELIT) PADA PREDIKSI CUACA NUMERIK UNTUK ESTIMASI CURAH HUJAN (IMPACT OF REMOTE SENSING DATA ASSIMILATION (RADAR AND SATELLITE) ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION FOR RAINFALL ESTIMATION)

Jaka Anugrah Ivanda Paski

Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG

Jl. Angkasa 1 no. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720 Indonesia

e-mail: jaka.paski@yahoo.com

Diterima 26 Mei 2017; Direvisi 7 November 2017; Disetujui 10 November 2017

ABSTRACT

One of the main problems in numerical weather modeling was the inaccuracy of initial condition data (initial conditions). This study reinforced the influence of assimilation of remote sensing observation data on initial conditions for predictive numerical rainfall in BMKG radar area Tangerang (Province of Banten and DKI Jakarta) on January 24, 2016. The procedure applied to rainfall forecast was the Weather Research and Forecasting model (WRF) with a down-to-down multi-nesting technique from Global Forecast System (GFS) output, the model was assimilated to radar and satellite image observation data using WRF Data Assimilation (WRFDA) 3DVAR system. Data was used as preliminary data from surface observation data, EEC C-Band radar data, AMSU-A satellite sensor data and MHS sensors. The analysis was done qualitatively by looking at the measurement scale. Observation data was used to know rainfall data. The results of the study showed that producing rainfall predictions with different assimilation of data produced different predictions. In general, there were improvements in the rainfall predictions with assimilation of satellite data was showing the best results.

Keywords: *assimilation, WRFDA, radar, satellite*

ABSTRAK

Salah satu masalah utama pada pemodelan cuaca numerik adalah ketidak-akuratan data kondisi awal (*initial condition*). Penelitian ini menguji pengaruh asimilasi data observasi penginderaan jauh pada kondisi awal untuk prediksi numerik curah hujan di wilayah cakupan radar cuaca BMKG Tangerang (Provinsi Banten dan DKI Jakarta) pada 24 Januari 2016. Prosedur yang diterapkan pada prakiraan curah hujan adalah model *Weather Research and Forecasting* (WRF) dengan teknik *multi-nesting* yang di-*downscale* dari keluaran *Global Forecast System* (GFS), model ini diasimilasikan dengan data hasil observasi citra radar dan satelit menggunakan WRF Data Assimilation (WRFDA) sistem 3DVAR. Data yang digunakan sebagai kondisi awal berasal dari data observasi permukaan, data C-Band radar EEC, data satelit sensor AMSU-A dan sensor MHS. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan melihat nilai prediksi spasial distribusi hujan terhadap data observasi GSMaP serta metode bias curah hujan antara model dan observasi digunakan untuk mengevaluasi pengaruh data asimilasi untuk prediksi curah hujan. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan prediksi curah hujan dengan asimilasi data yang berbeda menghasilkan prediksi yang juga berbeda. Secara umum, asimilasi data penginderaan jauh memberikan perbaikan hasil prediksi estimasi curah hujan di mana asimilasi menggunakan data satelit menunjukkan hasil yang paling baik.

Kata kunci : *asimilasi, WRFDA, radar, satelit*

1 PENDAHULUAN

Model prediksi cuaca numerik semakin hari semakin berkembang seiring kemampuan komputasi dan penambahan jaringan pengamatan. Akurasi model prediksi cuaca numerik yang semakin baik banyak digunakan dalam membuat prakiraan cuaca oleh pusat layanan cuaca di banyak negara (Gustari, 2014). Prediksi cuaca numerik secara umum merupakan permasalahan keadaan awal (*initial condition*) dan syarat batas (*boundary condition*) dengan memberikan estimasi keadaan atmosfer awal serta syarat batas permukaan dan lateral, maka model akan mensimulasikan dan memprediksi evolusi atmosfer. Jadi, semakin akurat estimasi keadaan awal maka semakin baik kualitas prediksi yang dihasilkan (Junnaedhi, 2008). Oleh karena itu, kondisi awal sangat menjadi perhatian dalam prediksi cuaca numerik saat ini, banyak dari pusat-pusat prediksi cuaca numerik mencoba mengkombinasikan data asli dari pengamatan (observasi) sebagai keadaan awal. Pendekatan ini disebut asimilasi data (*Data Assimilation - DA*), yang tujuannya didefinisikan sebagai “menggunakan semua informasi yang tersedia, untuk menentukan keadaan

aliran atmosfer (atau lautan) seakurat mungkin.”(Talagrand, 1997 dan Kalnay, 2003)

Asimilasi data berawal dengan menggunakan data observasi dari beberapa titik pengamatan. Namun data observasi yang didapatkan sangat kurang untuk merepresentasikan suatu daerah dikarenakan jarak antar titik pengamatan sangat renggang. Oleh sebab itu dikembangkan asimilasi data berbasis data penginderaan jauh (*remote sensing*) seperti radar dan satelit yang memiliki data yang cukup untuk merepresentasikan keadaan cuaca dalam suatu daerah. Seperti yang telah dilakukan oleh (Sun, 2010) menggunakan model WRF *Data Assimilation* (WRFDA) menggunakan radar cuaca dan (Liu, 2006) menggunakan data radiasi pancaran satelit.

Prediksi hujan merupakan salah satu perhatian utama dalam prediksi cuaca. Fenomena hujan di dalam model numerik seringkali disebut parameter diagnostik karena tidak secara eksplisit terdapat dalam persamaan-persamaan diferensial dari model tersebut (Handoyo, 2015). Penelitian ini mencoba merumuskan masalah terkait asimilasi

penginderaan jauh dalam prediksi cuaca numerik khususnya estimasi curah hujan. Penelitian ini menggunakan data *Global Forecast System* (GFS) untuk diolah dalam WRF-ARW untuk model tanpa asimilasi dan model WRFDA (WRF *Data Assimilation*) sebagai alat untuk asimilasi data (Skamarock, 2005). Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa jauh perbaikan hasil prediksi estimasi curah hujan numerik setelah dilakukan asimilasi data penginderaan jauh jika dibandingkan dengan tanpa asimilasi data. Data observasi pada model prediksi numerik yang digunakan untuk asimilasi adalah data observasi permukaan sinoptik, data radar Doppler C-Band *Enterprise Electronics Corporation* (EEC) BMKG Tangerang (Paski, 2016), data dari satelit sensor AMSU-A dan satelit sensor MHS (NCEP, 2008).

Pada penelitian ini mengambil kasus hujan di wilayah cakupan radar C-Band Radar EEC Tangerang tanggal 24 Januari 2016, di mana terjadi hujan dengan intensitas ringan hingga lebat. Curah hujan total tertinggi terukur 78 mm/hari di Stasiun Meteorologi Cengkareng dari data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), di mana tergolong lebat dikarenakan memiliki intensitas lebih dari 50 mm/hari atau 10-20 mm/jam (BMKG, 2010). Metode yang digunakan pada WRFDA dalam penelitian ini adalah metode variasi tiga dimensi (3D-Var) yang secara signifikan dapat mengurangi kesalahan model yang dipengaruhi oleh *Planetary Boundary Layer* (PBL). Penelitian sebelumnya yang menggunakan metode asimilasi 3D-Var menghasilkan perbaikan pada prediksi parameter meteorologi (Dash, SK et al., 2013; Hou, T et al., 2013; Sahu, DK et al, 2014).

2 METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan beberapa masukan data antara lain inisial data GFS dengan resolusi 0,5° X 0,5° (Rutledge, et al., 2006), Data *C-Band Doppler Radar* (CDR) BMKG Pulau

Jawa tanggal 23 Januari 2016 pukul 12.00 UTC, data sensor satelit *Advanced Microwave Sounding Unit-A* (AMSU-A) mempunyai 15 kanal inframerah dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) antara 23.8-89 GHz dan fungsi utamanya mengukur suhu atmosfer (prosesnya dikenal sebagai *Temperature Sounding*) dan mempunyai resolusi 45 km, sedangkan data *Microwave Humidity Sounder* (MHS) mempunyai lima *microwave* kanal pasif antara 89 -190 GHz untuk mempelajari profil uap air di atmosfer dan menyediakan data masukan yang telah ditingkatkan untuk algoritma *cloud-clearing* (Goodrum, 1999). Data *Background Error* (BE) yang didapat dari modul WRFDA untuk mendapatkan data inisial tambahan yang diperlukan. Data estimasi curah hujan satelit GSMaP berupa *rain rate* tiap jam.

Penelitian ini mengkonfigurasi domain model WRF menjadi tiga domain agar akurasi prediksi semakin baik dengan domain terkecil beresolusi tiga km yang mencakup wilayah radar cuaca EEC Tangerang seperti terlihat pada Gambar 2-1. Sebagai titik pusat koordinat adalah posisi *C-Band Doppler Radar* (CDR) BMKG Tangerang.



Gambar 2-1: Domain WRF *Data Assimilation*

Dalam menjalankan model WRF dengan asimilasi data radar pada WRFDA

untuk sistem 3D-Var diperlukan beberapa data inisial yang dapat dilihat pada Tabel 2-1. Proses yang dipersiapkan sedikit berbeda dengan menjalankan model tanpa asimilasi, terutama pada *namelist* dan *post processing*. Data yang dihasilkan memiliki format *.ctl* dan *.dat*.

Konfigurasi parameterisasi model menggunakan konfigurasi yang telah diteliti untuk wilayah Sumatera bagian selatan seperti wilayah Bengkulu oleh (Handoyo, 2015) dan Jakarta oleh (Gustari, 2014), seperti yang ditampilkan pada Tabel 2-2. Untuk *Background Error* (BE) menggunakan data *be.CV5* yang kemudian diubah menjadi *be.dat* untuk kebutuhan asimilasi.

Parameterisasi merupakan sebuah metode dalam meniru proses-proses fisis yang dirancang untuk mewakili proses tersebut tanpa memerlukan resolusi model spasial dan temporal yang rinci di mana dalam parameterisasi didasarkan pada konsep fisika namun

melibatkan koefisien yang dapat diatur (Pielke, *et al.*, 2006). Untuk prediksi hujan, pemilihan parameterisasi mikrofisik dan kumulus lebih kuat pengaruhnya dibandingkan skema lapisan batas planeter atau *Planetary Boundary Layer* (PBL) (Jankov, *et al.*, 2005).

Skema mikrofisik merupakan asumsi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah uap air, awan, dan proses presipitasi secara eksplisit. Skema mikrofisik yang digunakan adalah skema Purdue-Lin (Lin, *et al.*, 1983). Skema kumulus memparameterisasikan awan kumulus di dalam grid. Di antaranya adalah skema Kain-Fritsch, BMJ, Grell, dan Grell-Devenyi. Pada penelitian ini digunakan skema Kain-Fritsch yang baik untuk grid skala 20-25 km, dengan asumsi nilai *Convective Availability Potential Energy* (CAPE) besar, serta memperhitungkan efek downdraft dan updraft (Kain dan Fritsch, 1990).

Tabel 2-1: KONFIGURASI MODEL WRF DATA ASSIMILATION

Input Data	Format	Diproses dengan
Prediksi awal	NetCDF	WPS dan real.exe
Observasi Permukaan	ASCII	(OBSPROC)
Observasi Radar	ASCII	Manual
Observasi Satelit	BUFR	Tersedia pada dataset rda.ucar.edu
BE statistic	Binary	WRFDA gen be

Tabel 2-2: KONFIGURASI MODEL WRF DATA ASSIMILATION

Konfigurasi	Domain 1	Domain 2	Domain 3
Resolusi Grid Horizontal	27 Km	9 Km	3 Km
Skema Mikrofisik	Purdue - Lin	Purdue - Lin	Purdue - Lin
Skema PBL	YSU	YSU	YSU
Skema Kumulus	Kain - Fristch	Kain - Fristch	Kain - Fristch
Resolusi Temporal	180 detik	180 detik	180 detik
Jumlah Level Vertikal	30 Lapisan	30 Lapisan	30 Lapisan

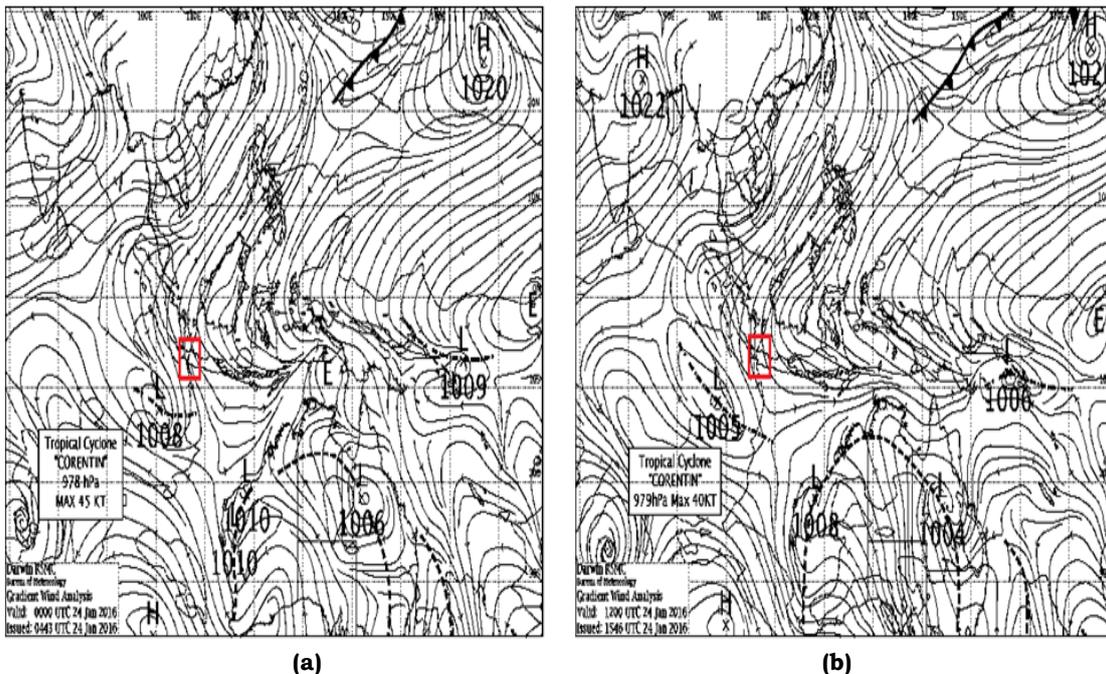
3 HASIL PEMBAHASAN

Analisis awal penyebab kejadian hujan dapat dilakukan terhadap angin gradien pada pukul 00.00 UTC dan 12.00 UTC yang berasal dari *Berau of Meteorology* (BOM) sebagaimana terlihat pada Gambar 3-1 (Paski, et al., 2017a). Pada pukul 00.00 UTC terlihat adanya belokan angin (*shearline*) di wilayah utara Jakarta dan daerah tekanan rendah di barat daya pulau Jawa dengan tekanan mencapai 1008 hPa dan diindikasikan sebagai TC. Corentin (Gambar 3-1a). Kemudian pada pukul 12.00 UTC, belokan angin (*shearline*) tepat berada di wilayah Jakarta dan daerah tekanan rendah di barat daya pulau Jawa bergerak ke arah barat dengan tekanan semakin turun mencapai 1005 hPa (Gambar 3-1b).

Analisis awal dilakukan terhadap kondisi atmosfer saat kejadian hujan lebat yang melanda daerah Jakarta dan sekitarnya. Terlihat kondisi atmosfer mendukung terjadinya pembentukan awan konvektif akibat adanya belokan angin dan penurunan tekanan antara pukul 00.00 UTC hingga 12.00 UTC

membuat konvektivitas semakin bertambah. Jika dilihat dari waktu kejadian dan intensitas hujan yang turun, menunjukkan bahwa pada malam hari menjelang dini hari terdapat kejadian hujan turun dengan intensitas tinggi di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Selain adanya belokan angin dan tekanan rendah, fenomena cuaca regional seperti NCS memberi dampak yang besar terhadap cuaca di wilayah Indonesia bagian barat terutama di Laut Jawa dan wilayah Jawa bagian utara (Paski, et al., 2017b).

Asimilasi dilakukan dengan menambahkan data observasi synop tanggal 23 Januari 2017 pada 12.00 UTC ke dalam proses WRFDA sehingga *initial condition* diperbarui oleh data observasi. Adapun data observasi yang digunakan adalah data radar yang berasal dari stasiun meteorologi Tangerang, dan data satelit AMSU-A serta satelit MHS pada waktu pengamatan yang sama. Sebelumnya, WRF tanpa asimilasi akan dijalankan dengan memakai data GFS untuk prediksi 36 jam ke depan.



Gambar 3-1: Analisis profil angin gradien 00.00 UTC (a) dan 12.00 UTC (b) pada tanggal 24 Januari 2016 (Sumber: Bureau of Meteorology)

Luaran WRF hasil asimilasi yaitu prediksi hujan diverifikasi terhadap data curah hujan GSMaP, di mana data GSMaP ini cukup akurat untuk digunakan sebagai data curah hujan secara spasial (Tian, 2010). Pada Gambar 3-2, terlihat melalui satelit GSMaP adanya total curah hujan pertiga jam yang berpusat di utara Serang dan di Laut Jawa pada pukul 21.00 UTC tanggal 24 Januari 2016. Hal ini terlihat dengan adanya kontur warna hijau gelap yang luas di sekitar wilayah tersebut. Model WRF yang telah dijalankan baik asimilasi maupun tanpa asimilasi mampu memprediksi hujan di wilayah tersebut dengan ditandai adanya kontur warna hijau dan kuning yang lebih besar dibandingkan dengan menghasilkan kontur warna hijau hingga kuning.

Hasil distribusi hujan GSMaP pada pukul 21.00 UTC pada Gambar 3-2a. Jika dibandingkan dengan hasil keluaran dari ke-4 model yang dijalankan, distribusi hujan pada tiap-tiap model masih sedikit berbeda lokasi dengan observasi dan cenderung *overestimate* untuk setiap model. Namun bila dilihat lebih seksama, hasil keluaran model tanpa asimilasi (a) dan model asimilasi (b, c, d dan e) menggambarkan adanya pola distribusi hujan yang mendekati observasi baik model tanpa asimilasi maupun model asimilasi, ini terlihat dari intensitas hujan yang tinggi digambarkan pada model tanpa asimilasi.

Model tanpa asimilasi (model WRF tanpa proses asimilasi data observasi radar dan satelit) menggambarkan adanya distribusi hujan di hampir seluruh bagian Selat Sunda dan timur Pulau Jawa dibanding dengan yang digambarkan oleh hasil observasi pada GSMaP dan intensitas dan luasan yang cenderung lebih besar. Untuk pola distribusi hujan cenderung menggambarkan prediksi yang sama untuk lokasinya namun intensitasnya masih lebih tinggi (Gambar 3-2b).

Pada model asimilasi data sinoptik permukaan berupa parameter suhu, tekanan, kelembaban, arah dan

kecepatan angin yang menggunakan data GDAS (Gambar 3-2c). Hasil prediksi curah hujan lebih baik jika dibandingkan dengan model tanpa asimilasi dalam menggambarkan adanya distribusi hujan di barat laut pulau Jawa yang dominan namun dengan lokasinya yang bergeser sedikit ke selatan dari yang digambarkan oleh hasil observasi pada GSMaP. Pola hujan lebih terpusat ke bagian barat laut hingga barat Pulau Jawa dengan cakupan yang cukup luas. Namun model (c) tidak lebih baik dalam menggambarkan intensitas curah hujan di wilayah yang di kotak hitam dibanding model tanpa asimilasi.

Model asimilasi (Gambar 3-2d) yang menggunakan data reflektifitas (z) juga menggambarkan adanya distribusi hujan di barat daya Pulau Jawa yang dominan dan lokasinya hampir serupa seperti yang digambarkan oleh hasil observasi GSMaP dengan intensitas dan luasan yang cenderung lebih besar. Di wilayah barat hingga barat laut Pulau Jawa terlihat adanya prediksi pola distribusi hujan dengan intensitas yang besar. Adanya perbaikan prediksi ini dikarenakan asimilasi data radar memiliki masukan yang lebih banyak dengan kerapatan *grid* hingga 250 m.

Model asimilasi data satelit adalah model asimilasi yang menambahkan data radiasi suhu puncak awan dalam perhitungan model WRF (Sagita, 2017). Hasil prediksi menggambarkan adanya distribusi hujan yang lokasinya hampir serupa seperti yang digambarkan oleh hasil model lainnya dengan intensitas dan luasan yang cenderung tidak besar. Terlihat adanya pola distribusi hujan berpusat di barat daya Pulau Jawa. Perbaikan hasil prediksi ini dikarenakan pengaruh data *masukan* satelit yang lebih mampu menggambarkan perawanan (*Cloudness*) dan data *masukan* suhu puncak awan dari observasi satelit yang lebih banyak kuantitasnya (Gambar 3-2e).

Dari semua model yang dijalankan untuk menghasilkan distribusi spasial

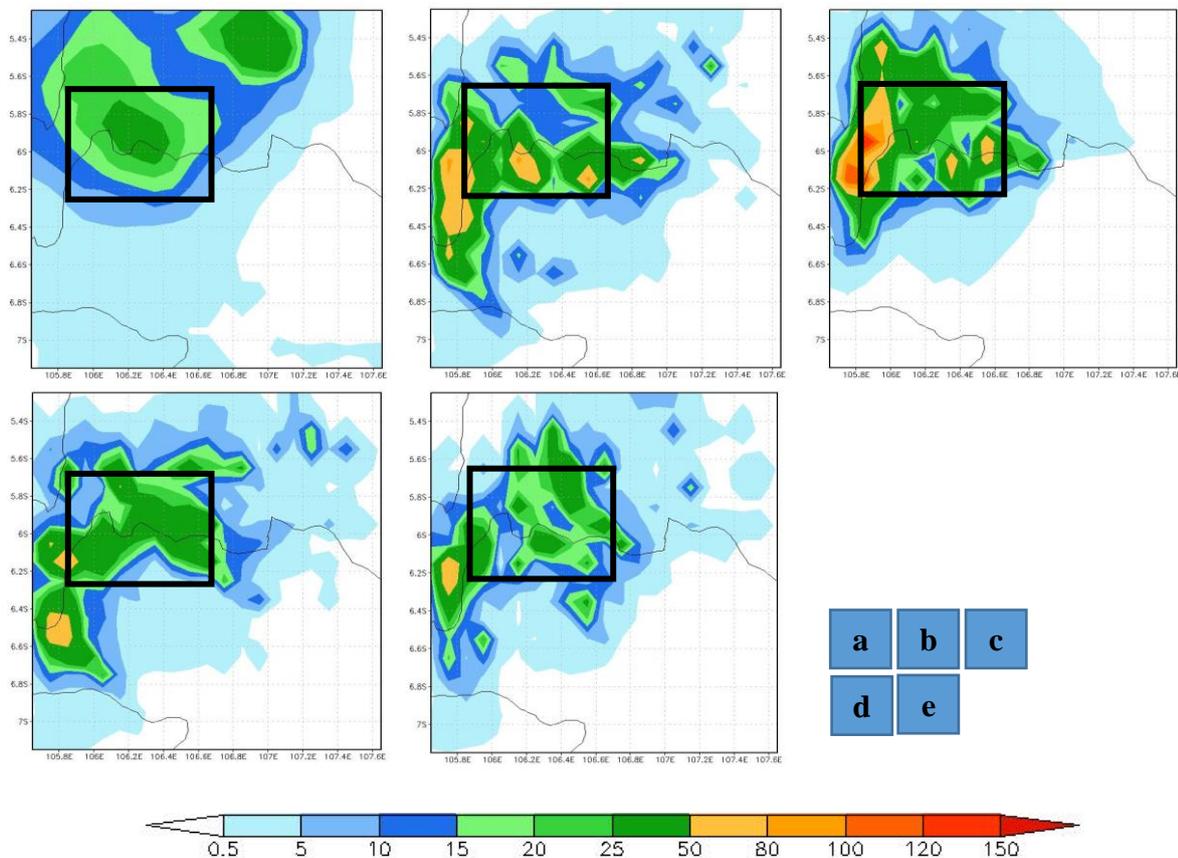
hujan pukul 21.00 UTC, model asimilasi (e) yang menggunakan data satelit dan yang menggunakan data reflektifitas radar (d) lebih mendekati hasil luaran dari observasi GSMaP dikarenakan data masukan yang banyak dan lebih rapat untuk tiap grid. Pola distribusi terlihat serupa namun tetap *overestimate* untuk intensitasnya dan luasannya.

Sedangkan dari bias akumulasi curah hujan harian 24 Jam tanggal 24 Januari 2016 yang didapatkan dengan meng-*overlay* hasil prediksi asimilasi dan tanpa asimilasi terhadap data observasi GSMaP seperti pada Gambar 3-3. Terlihat warna putih menandakan model cuaca memprediksi tepat, warna coklat menandakan model cuaca *overestimate* dan warna biru menandakan model cuaca *underestimate*. Terlihat di sekitar Jabodetabek bahwa bias hujan WRF tanpa asimilasi data jauh *overestimate* untuk wilayah yang di kotak hitam (ditandai dengan warna coklat yang luas) pada

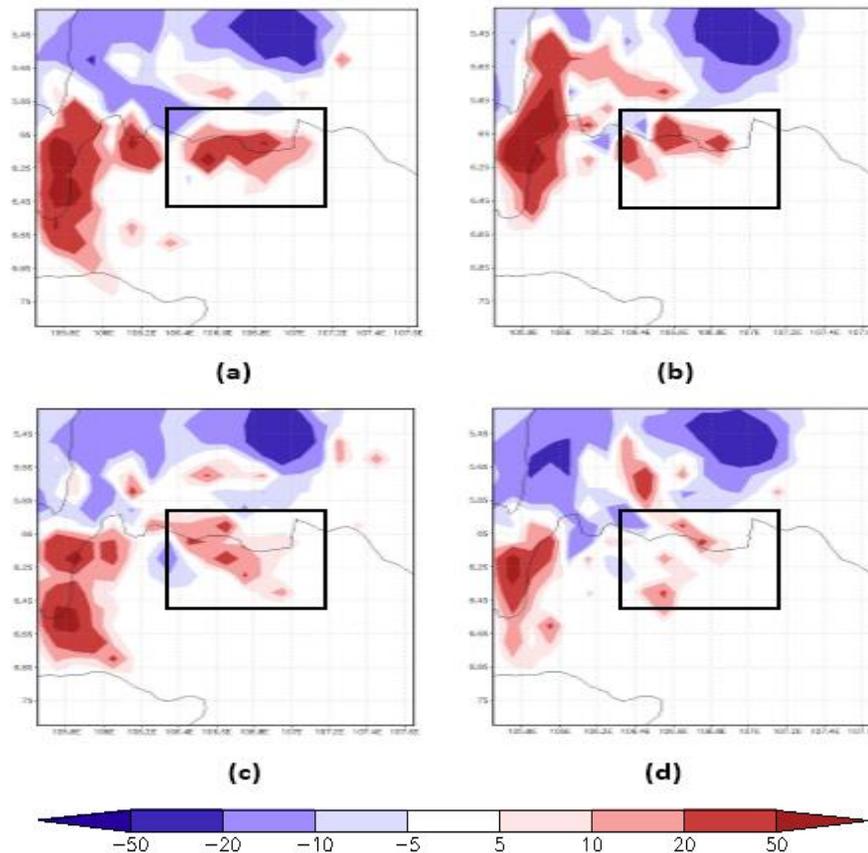
Gambar 3-3a.

Pada bias akumulasi antara WRF asimilasi data sinop dengan GSMaP (Gambar 3-3b), terlihat berkurangnya bias dibandingkan model tanpa asimilasi pada wilayah di kotak hitam. Hal ini ditandai dengan warna coklat yang semakin muda dan lokasinya yang semakin mengecil. Namun wilayah di luar kotak hitam terlihat dominan *overestimate* dibandingkan model tanpa asimilasi.

Dari bias total akumulasi curah hujan harian untuk model asimilasi data reflektifitas radar (Gambar 3-3c), terlihat bahwa bias hujan WRF hasil asimilasi data radar lebih akurat jika dibandingkan terhadap WRF tanpa asimilasi dan asimilasi data sinop. Warna coklat yang menandakan model cuaca *overestimate* terlihat di sekitar Jabodetabek yang di kotak hitam semakin berkurang.



Gambar 3-2: Analisaisspasial total curah hujan per tiga jam pada pukul 21.00 UTC (a) GSMaP (b) WRF tanpa asimilasi (c) Asimilasi data sinop (d) Asimilasi data radar (e) Asimilasi data satelit



Gambar 3-3: Bias total curah hujan harian pada tgl 24 Januari 2016 00 Z (a) WRF tanpa asimilasi-GSMaP (b) asimilasi data sinop-GSMaP (c) asimilasi data radar-GSMaP (d) asimilasi data satelit-GSMaP

Untuk wilayah lainnya juga terdapat perbaikan terutama yang berada di barat Pulau Jawa, di mana bias hujan WRF asimilasi data radar semakin berwarna putih.

Untuk asimilasi data satelit menunjukkan akurasi yang paling baik (ditandai dengan warna putih yang lebih luas pada wilayah kotak hitam) pada gambar 3-3d. Untuk wilayah lainnya juga terdapat perbaikan terutama yang berada di barat dan utara Pulau Jawa, di mana bias hujan WRF asimilasi data radar semakin berwarna putih. Semakin sedikit warna merah maupun biru, semakin sedikit bias hasil prediksi.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan adanya perbaikan hasil prediksi curah hujan antara model WRF asimilasi dibandingkan dengan model tanpa asimilasi dari hasil analisis spasial curah hujan per tiga jam dan bias terhadap hasil observasi dari GSMaP pada kasus kejadian hujan tanggal

24 Januari 2016. Perbaikan hasil prediksi model memang belum terlihat signifikan.

Hasil analisis terhadap model prediksi asimilasi data WRF menunjukkan bahwa model prediksi dengan menggunakan asimilasi data satelit memberikan pengaruh yang paling baik jika dibandingkan model asimilasi lainnya. Namun secara keseluruhan nilai yang didapatkan masih *overestimate* dibandingkan data observasinya. Hal ini disebabkan karena pengguna data primer lainnya seperti data BE dan data inisial GFS yang belum maksimal sehingga memberikan data prediksi yang belum memberikan hasil yang akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dalam hal ini mengucapkan terima kasih yang ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis baik penyediaan data, pengerjaan data, terutama rekan-rekan di Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, serta Tim

Redaksi Jurnal Penginderaan Jauh dan Mitra Bestari.

DAFTAR RUJUKAN

- BMKG, 2010. *Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan & Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrim Badan Meteorologi, Kimatologi, dan Geofisika*. Cited in [http:// hukum.bmkg.go.id/vifiles/Prosedur %20Standar%20Operasional%20Pelaksanaan%20Peringatan%20Dini,Pelaporan,&%20Diseminasi%20Informasi%20Cuaca%20Ekstrim.pdf](http://hukum.bmkg.go.id/vifiles/Prosedur%20Standar%20Operasional%20Pelaksanaan%20Peringatan%20Dini,Pelaporan,&%20Diseminasi%20Informasi%20Cuaca%20Ekstrim.pdf) [20 Februari 2017].
- Dash, S. K., Sahu, D.K., Sahu, S.C., 2013. *Impact of AWS Observation in WRF-DVAR Data Assimilation System: a Case Study On Abnormal Warming Condition in Odisha*. *Nethazard*. 65, 767-798.
- Goodrum G., Kidwell K. B., Winston W., 1999. *NOAA KLM user's guide* (US: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Satellite Services Branch). Cited in <https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/satellite/publications/podguides/N-15%20thru%20N-19/pdf/0.0%20NOAA%20KLM%20Users%20Guide.pdf> [20 Februari 2017].
- Gustari, I., 2014. *Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Hujan Sangat Lebat Terkait dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-Band*. Disertasi Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Handoyo M. F., 2015. *Analisa Dinamika Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat Menggunakan Simulasi Model WRF-ARW (Studi Kasus Bengkulu Tanggal 27 Agustus 2014)*. Skripsi Diploma IV Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Hou, T., Kong, F., Chen, X. and Lei, H., 2013. *Impact of 3DVAR Data Assimilation on the Prediction of Heavy Rainfall Over Southern China*. *Advances in Meteorology*. 1-17.
- Jankov, I., W. A. Gallus, M. Segal, B. Shaw, and S. E. Koch, 2005. *The Impact of Different WRF Model Physical Parameterizations and their Interactions on Warm Season MCS Rainfall*. *Wea. Forecasting*, 20, 1048-1060, doi: 10.1175/WAF888.1.
- Junnaedhi I., 2008. *Pengaruh Asimilasi Data dengan Metode 3DVAR Terhadap Hasil Prediksi Cuaca Numerik di Indonesia*. Meteorologi ITB. Bandung.
- Kain J. S. and J. M. Fritsch, 1990. *A One-Dimensional Entraining or Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization*. *J. Atmos. Sci.*, 47, No. 23, 2784-2802.
- Kalnay, E., 2003. *Atmospheric Modelling, Data Assimilation and Predictability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lin, Y.-L., R. D., Farley, and H. D., Orville, 1983. *Bulk Parameterization of the Snow Field in a Cloud Model*. *J. Climate Appl. Meteor*, 22, 1065-1092.
- Liu, Z., 2006. *Radiance Data Assimilation in WRFDA*. Summer WRFDA tutorial. Cited in http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrfda/Tutorials/2011_July/docs/WRFDA_radiance.pdf [20 Februari 2017].
- National Centers for Environmental Prediction/ NCEP Department of Commerce, 2008. *NCEP ADP Global Upper Air, GDAS Satellite Data and Surface Weather Observations May 1997 - Continuing Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory Boulder CO*. Cited in <http://rda.ucar.edu/datasets/ds337.0/> [20 Februari 2017].
- Paski, J.A.I., 2016. *Pengaruh Asimilasi Data Radar C-Band dalam Prediksi Cuaca Numerik (Studi Kasus di Lampung)*. Skripsi Diploma IV Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Paski, J.A.I., A. Sepriando, & D.A.S., Pertiwi, 2017a. *Pemanfaatan Teknik RGB pada Citra Satelit Himawari-8 untuk Analisa Dinamika Atmosfer Kejadian Banjir Pulau Jawa 20 - 21 Februari 2017*. Prosiding Seminar Nasional HMD 67 STMKG. Jakarta.

- Paski, J.A.I., A., Sepriando, A. E., Sakya, A. S., Handayani, D. A. S., Pertiwi, S. Noviati, 2017b. *Identifikasi Northerly Cold Surge (NCS) Memanfaatkan Numerical Weather Prediction (NWP) dan Teknik RGB Airmass pada Satelit Himawari-08*. Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer LAPAN. Bandung.
- Pielke, R. A. Sr., Matsui, T., Leoncini, G., Nobis, T., Nair, U. S., Lu, E., Eastman, J., Kumar, S., Peters-Lidard, C. D., Tian, Y., dan Walku, R. L., 2006. *A New Paradigm for Parameterizations in Numerical Weather Prediction and Other Atmospheric Models*, National Weather Digest, 30, 93-99.
- Rutledge G. K., Alpert J., Ebuisaki W., 2006. *NOMADS: A Climate and Weather Model Archive at the National Oceanic and Atmospheric Administration Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 327-341.
- Sagita, N., Hidayati, R., Hidayat, R., & Gustari, I., 2017. *Satellite Radiance Data Assimilation for Rainfall Prediction in Java Region*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Sahu, D.K., Dash, S.K., Bhan, S.C., 2014. *Impact of Surface Observations on Simulation of Rainfall Over NCR Delhi Using Regional Background Error Statistic in WR-3DVAR Model*. Meteorolo Atmos Phys. 125, 17-42.
- Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., and Powers J.G., 2005. *A Description of the Advanced Research WRF version 2 (No. NCAR/TN-468+ STR)*. National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div.
- Sun, J., 2010. *Doppler Radar Data Assimilation with WRFDA*. NCAR. Cited in http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrfda/Tutorials/2010_Feb/docs/WRFVAR_Tut_RADAR_Feb10.pdf [20 Februari 2017]
- Talagrand O., 1997. *Assimilation of Observation, an Introduction*. J. Met.Soc Japan Special 75, 191-209.
- Tian, Y., C. D., Peters-Lidard, R. F., Adler, T., Kubota, and T., Ushio, 2010. *Evaluation of GSMaP Precipitation Estimates over Contiguous U.S.* J. Hydrometeor., 11, 566-574.