

PREDIKSI CURAH HUJAN JANGKA PENDEK DENGAN ASSIMILASI DATA REFLEKTIVITAS RADAR DOPPLER C- BAND DI WILAYAH JAKARTA

Indra Gustari^{1,2}, Tri Wahyu Hadi², Safwan Hadi², dan Findy Renggono³

¹Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Jakarta 10720

²Sains Kebumihan, FITB, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

³Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jl. MH. Thamrin No. 8, Jakarta, 10340

indra.gustari@bmet.go.id

Abstract

The first prerequisite for model-meso-scale numerical weather can be improved by assimilating observational data at the output of a global model, such as data reflectivity and radial velocity Doppler weather radar. It is expected to provide a positive influence on curvation weather, especially rainfall. In this research, the data assimilation of radar reflectivity to improve global model output Forcas system (GFS) before being used as a condition of initial and boundary conditions in the prediction of weather in Jakarta, especially for rainfall prediction. Verification of the model output to predict rainfall in Jakarta using data radar reflectivity and precipitation observations from several observation stations in the region showed a positive outlook for the assimilation of radar data to improve the accuracy of quantitative precipitation forecasts (Quatitative Precipitation Forecast, QPF).

Keywords : doppler, models, prediction, rainfall, radar.

Abstrak

Syarat awal untuk model cuaca numerik skala-meso dapat diperbaiki dengan asimilasi data pengamatan pada keluaran model global, seperti data reflektivitas dan kecepatan radial radar cuaca Doppler. Hal ini diharapkan mampu memberikan pengaruh positif terhadap kurasi prakiraan cuaca, khususnya curah hujan. Dalam penelitian ini dilakukan asimilasi data reflektivitas radar untuk memperbaiki keluaran model *global forcas system* (GFS) sebelum digunakan sebagai syarat awal dan syarat batas dalam prediksi cuaca di Jakarta, khususnya untuk prediksi curah hujan. Verifikasi keluaran model dalam memprediksi curah hujan di Jakarta dengan menggunakan data reflektivitas pengamatan radar dan hasil pengamatan curah hujan dari beberapa stasiun pengamatan di wilayah tersebut memperlihatkan prospek positif asimilasi data radar dalam meningkatkan akurasi prakiraan presipitasi kuantitatif (*Quatitative Precipitation Forecast, QPF*).

Kata kunci : Doppler, model, prediksi, curah hujan, radar.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan model prediksi cuaca numerik (*Numerical Weather Prediction, NWP*) yang pesat seiring dengan perkembangan peralatan komputer, telah digunakan dalam simulasi cuaca resolusi tinggi. Saat ini pemodelan dengan resolusi tinggi, baik model global maupun model regional telah mampu menjelaskan fenomena cuaca dengan lebih baik (Roberts dkk, 2008).

Keluaran (*output*) dari model global dengan resolusi rendah banyak digunakan sebagai syarat awal (*initial condition*) dan syarat batas (*boundary condition*) untuk pemodelan regional. Syarat awal tersebut dapat diperbaiki dengan asimilasi data dari berbagai sumber pengamatan yang baru atau belum digunakan dalam model global. Hasil dari Xiao dkk., (2005), Rajeevan dkk., (2010), dan Routray dkk., (2010) memperlihatkan pengaruh positif dari asimilasi data pengamatan terhadap peningkatan akurasi prakiraan cuaca. Penggunaan lebih banyak data pengamatan (*fine grids*) sebagai syarat awal terbukti memberikan pengaruh positif terhadap hasil pemodelan, dan merupakan keharusan pada model resolusi tinggi (Sun dan Crook, 1997).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang kemampuan prakiraan curah hujan dengan model WRF sebelum dan setelah dilakukan asimilasi data radar di wilayah Jakarta. Data reflektivitas akan digunakan sebagai syarat awal prediksi dan simulasi model WRF dengan sistem asimilasi data 3DVAR (*The three-dimensional variational data assimilation*), tujuannya untuk membentuk syarat awal yang lebih baik (resolusi tinggi) dan melihat pengaruh asimilasi data Radar dalam simulasi dan prakiraan cuaca di Jakarta, khususnya curah hujan.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Curah Hujan

Data curah hujan per jam yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Data tersebut diukur dengan menggunakan penakar hujan Tipe Hellman.

Radar Cuaca Doppler

Data reflektivitas radar diperoleh dari pengamatan radar Doppler C-band yang berlokasi Serpong (6.40° LS, 106.70° BT) yang dioperasikan oleh *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC) dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Syarat Awal dan Syarat Batas

Simulasi model WRF pada kejadian hujan sangat lebat tanggal 18 Januari 2010 dilakukan dengan syarat awal dan syarat batas menggunakan keluaran model *Global Forecast System* (GFS) dengan resolusi 0.5° x 0.5° setiap tiga jam yang disediakan oleh *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA) dan dapat diunduh di situs web <http://nomads.ncdc.noaa.gov>.

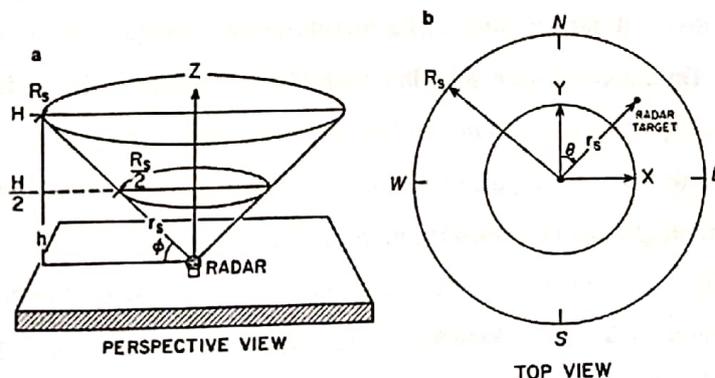
2.2 Metode

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan pengolahan data radar sesuai dengan format data asimilasi WRF-Var, prediksi curah hujan dengan model cuaca numerik, dan pengujian akurasi hasil prediksi. Model yang digunakan adalah model WRF dengan syarat awal dan syarat batas dari *National Centers for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR).

2.2.1 Pengolahan Data RAW Radar

Dalam meteorologi digunakan satu dari dua mode scanning radar, yaitu *Plan Position Indicator* (PPI), dan *Range Height Indicator* (RHI) (University Illinois, 1997). Mode PPI melakukan scanning dengan menggunakan sudut elevasi yang tetap dan sudut azimuth yang bervariasi, dengan putaran scanning 360 derajat disebut juga "*surveillance scan*" atau kurang dari 360 derajat yang disebut juga "*sector scan*", data PPI merupakan "*echo*" yang diterima radar sepanjang radius radar dengan proyeksi pada bidang horizontal. Mode scanning RHI dilakukan pada sudut azimuth yang tetap tetapi sudut elevasinya bervariasi, data RHI merupakan "*echo*" yang diterima radar sepanjang radius radar dengan proyeksi pada bidang vertikal. Keduanya menggunakan koordinat polar dan sudut elevasi normalnya berotasi dari dekat horizon ke arah zenith.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radar mode scanning PPI secara "*surveillance scans*" dengan 18 sudut elevasi. Setiap scanning PPI membutuhkan waktu sekitar 6 menit. Sudut elevasi (ϕ) yang digunakan adalah 0.6, 1.1, 1.7, 2.4, 3.2, 4.1, 5.1, 6.3, 7.8, 9.6, 11.8, 14.5, 17.8, 21.8, 26.6, 32.6, 40.0, dan 50.0,



Gambar 1. Mode scanning *Plan Position Indicator* (a) Scan radarpada sumbu vertikal, Z , pada suatu sudut elevasi tetap, ϕ ; (b) posisi (a)jika dilihat dari atas, R_s merupakan *slant range* (pada permukaan konikal) dari batas *display* ke ketinggian H diatas tanah. Posisi tiga dimensi (x, y, h) dari volume *scattering* radar ("target") dihitung dari sudut azimuth radar θ , sudut elevasi ϕ , dan *slant range* r_s . (Brown dan Wood, 2007)

Data PPI diolah dengan bantuan perangkat lunak IRISRead, yang mengkonversi data dari format RAW data menjadi ascii, terdiri dari elevasi, azimuth, range, reflektivitas, dan kecepatan radial.

```

RADAR      106.700 -6.400  125.0 2009-01-15_03:00:00 111    5
#-----#
FM-128 RADAR 2009-01-15_30:00:00 -5.719  106.172 125.0  3
    1113.3  4.230 0  1.000  28.000 0  1.000
    1932.0  3.620 0  1.000  24.000 0  1.000
    2932.2  4.080 0  1.000  22.500 0  1.000
FM-128 RADAR 2009-01-15_30:00:00 -5.719  106.199 125.0  2
    1109.3  4.230 0  1.000  20.000 0  1.000
    1934.4  4.530 0  1.000  19.000 0  1.000
....
    
```

Gambar 2. Contoh data radar sesuai format WRF-Var untuk tanggal 15 Januari 2009, pukul 03.00Z.

Keluaran perangkat lunak IRISRead adalah data kecepatan radial dan reflektivitas pada setiap azimuth, elevasi, dan *range*(bin) dalam format ascii. Selanjutnya data tersebut disusun sesuai dengan format data WRF-Var, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.

2.2.2 Pemilihan Parameter Radar untuk Asimilasi

Parameter radar yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai reflektivitas (dBZ) dalam bentuk scanning PPI. Data ini tersedia dengan resolusi spasial $\sim 0.005^\circ$ atau 500 meter setiap 6 menit. Resolusi radar tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan resolusi model atau syarat awal yang digunakan. Dalam penelitian ini, data radar tersebut akan diasimilasi pada domain 3, yang memiliki resolusi spasial 3 x 3 km. Untuk memilih parameter radar agar sesuai dengan resolusi model dapat dilakukan beberapa cara, antara lain menggunakan nilai rata-rata dalam setiap domain 3 x 3 km dan menggunakan nilai maksimum dalam setiap domain.

Setelah didapatkan nilai reflektivitas pada setiap grid (3 km x 3 km) dan berbagai ketinggian, selanjutnya data tersebut disusun sesuai dengan format data radar untuk asimilasi dengan WRF-Var, seperti dalam Gambar 2.

Pada penelitian ini digunakan asumsi bahwa data radar yang diperoleh sudah dikoreksi dan untuk menghindari nilai yang tidak wajar, pada proses asimilasi data radar dilakukan pembatasan parameter radar yang dilibatkan, yaitu yang mengacu kepada nilai inovasi O-B maksimal

(*check_max_iv*), yaitu observasi yang memberikan inovasi maksimal terhadap nilai *background*. Dalam penelitian ini menggunakan nilai batas O-B lebih kecil dari reflektivitas 3 dbz. Hal ini berarti nilai reflektivitas diatas nilai batas tersebut akan ditolak.

2.3 Model WRF dan Desain Percobaan

2.3.1 Model WRF

Menurut Wang dkk (2010), sistem pemodelan WRF terdiri dari tiga komponen utama, yaitu komponen pra-pengolahan (*WRF Preprocessing System, WPS*), komponen pengolahan dan asimilasi data (*WRF-Var dan ARW solver*), dan komponen pasca-pengolahan dan visualisasi (*Post-processing tools*).

Komponen pra-pengolahan (*The WRF Preprocessing System, WPS*) umumnya digunakan untuk simulasi *real-data*. Komponen ini mencakup pendefinisian domain simulasi, interpolasi data terestrial (seperti *terrain*, tataguna lahan, dan tipe tanah) untuk domain yang disimulasi, dan *detraining* dan interpolasi data meteorologi dari model lainnya ke domain simulasi. Fungsi lainnya adalah pemilihan proyeksi peta (polar stereographic, Lambert-Conformal, Mercator, dan *latitude-longitude*), *nesting*, penentuan data input statik lainnya.

WRF-Var merupakan bagian sistem model WRF yang digunakan untuk memasukkan data pengamatan ke dalam hasil analisis yang dihasilkan oleh WPS dan digunakan untuk memperbaharui syarat awal dan syarat batas model WRF. Dalam penelitian ini data reanalisis global dari NCEP-NCAR yang diolah dengan WPS akan diasimilasi dengan data radar cuaca Doppler C-Band, tujuannya adalah untuk meningkatkan resolusi syarat awal.

Komponen terakhir adalah bagian *post-processing* dan visualisasi. Disini dilakukan pemilihan variabel dan tipe data keluaran model yang disesuaikan dengan perangkat lunak yang digunakan, dalam penelitian ini akan digunakan ARWPost dan *Grads*.

2.3.2 Desain Percobaan Model WRF

Domain model diturunkan dari domain global menjadi domain yang lebih kecil atau domain regional dengan *muti-nesting*, yaitu ke dalam tiga domain dengan ukuran grid horizontal yang berbeda, yaitu 27 km untuk domain 1 (D1), 9 km untuk domain 2 (D2), dan 3 km untuk domain 3 (D3), dengan titik pusat di lokasi radar (6.57° LS, 106.43 ° BT). Masing-masing domain memiliki jumlah grid horizontal 85 x 85. Data topografi menggunakan *Digital Elevation Model USGS* dengan resolusi 10 menit, 20 menit, dan 30 detik, masing-masing untuk D1, D2, dan D3. Proyeksi peta menggunakan sistem Mercator, yang baik untuk lintang rendah (Wang dkk, 2010).

Dalam penelitian ini, digunakan skema mikrofisika Lin, yang merupakan skema yang handal untuk simulasi data real dengan resolusi tinggi (Lin dkk., 1983). Skema radiasi gelombang panjang menggunakan *Rapid Radiative Transfer Model* (RRTM) yang menggunakan suatu *lookup tables* untuk efisiensi perhitungan untuk berbagai *bands*, *trace gases*, dan skema mikrofisika (Mlawer dkk, 1997). Skema Dudhia untuk radiasi gelombang pendek, merupakan integrasi sederhana untuk absorpsi dan *scattering* awan dan langit cerah (Dudhia 1989). Parameterisasi lapisan batas dengan *Yonsei University Scheme* (YSU), merupakan penerus dari *Medium Range Forecast* (MRF)-PBL. Merupakan skema non-lokal-K dengan suatu lapisan entrainment eksplisit dan profil K parabolik pada lapisan pencampuran tidak stabil (Noh dkk., 2003).

Pada percobaan yang menggunakan multi-nesting, pada domain kasar (D1, dan D2) digunakan skema konveksi Kain-Fritsch (Kain, 2004), dan tanpa parameterisasi atau eksplisit pada domain resolusi tinggi (D3). Parameter analisis seperti suhu, kelembaban, tinggi geopotensial, dan angin diinterpolasi ke dalam grid skalameso dengan proses inialisasi standar WRF, yaitu dengan komponen pra-pengolahan *WRF Preprocessing System* (WPS). Asimilasi data dilakukan dengan teknik 3DVar.

3. Hasil dan Pembahasan

Model WRF dijalankan untuk prediksi kasus hujan sangat lebat pada tanggal 18 Januari 2010. Prediksi awan dari model WRF diperlihatkan oleh nilai reflektivitas (dBZ). Nilai reflektivitas mencerminkan ukuran partikel awan (hidrometeor) dari *echo* radar, selanjutnya dibandingkan dengan distribusi spasial dan temporal reflektivitas yang diamati oleh radar pada waktu dan ketinggian yang sama.

Verifikasi terhadap prediksi awan dilakukan pada tiga stasiun pengamatan yaitu Citeko, Kemayoran, dan Pondok Betung. Posisi ketiga stasiun tersebut yang tersebar diharapkan dapat mewakili domain prediksi. Analisis dilakukan membandingkan perubahan spasial awan terhadap waktu, yaitu rata-rata zonal dan meridional dengan lebar enam titik grid (18 km atau sekitar 0.185°) dengan posisi stasiun sebagai titik tengahnya, dan di plot sepanjang 1° .

Asimilasi data reflektivitas untuk meningkatkan syarat batas dan syarat awal dari keluaran model GFS. Eksperimen prediksi sepanjang 21 jam kedepan pada tanggal 18 Januari 2010 dengan asimilasi data radar. Hasilnya dibandingkan dengan hasil observasi.

Perbandingan curah hujan prediksi untuk daerah Citeko pada tanggal 18 Januari 2010 selama 12 jam, prediksi model WRF setelah asimilasi data reflektivitas radar mengalami perbaikan, curah hujan yang turun lebih mendekati observasi (23.0 mm) dibandingkan sebelum asimilasi data radar.

Curah hujan hasil prediksi dengan data reflektivitas menghasilkan prediksi curah hujan yang meningkat, menjadi 10.41 mm, dibandingkan sebelum asimilasi yang hanya 0.97 mm. Waktu terjadi puncak curah hujan prediksi dibandingkan observasi di Citeko adalah mundur 4-5 jam pada kasus 18 Januari 2010.

Sedikit peningkatan akurasi prediksi dengan model WRF setelah diasimilasi juga diperlihatkan dalam prediksi curah hujan di Kemayoran. Prediksi curah hujan setelah asimilasi data reflektivitas lebih mendekati observasi, mengalami sedikit perbaikan dari 0.00 mm sebelum asimilasi menjadi 0.60 mm, sedangkan observasi tercatat sebesar 5.0 mm. Sedangkan di Kemayoran hampir tidak ada perubahan jumlah curah setelah asimilasi, karena tidak curah hujannya yang dicatat (0 mm).

Perbedaan waktu terjadinya puncak hujan antara prediksi dan observasi juga cukup besar yaitu lebih dari 6 jam di kedua titik pengamatan ini, khusus untuk Pondok Betung pada kasus 18 Januari 2010 dengan puncak hujan mundur (*delay*) selama empat jam.

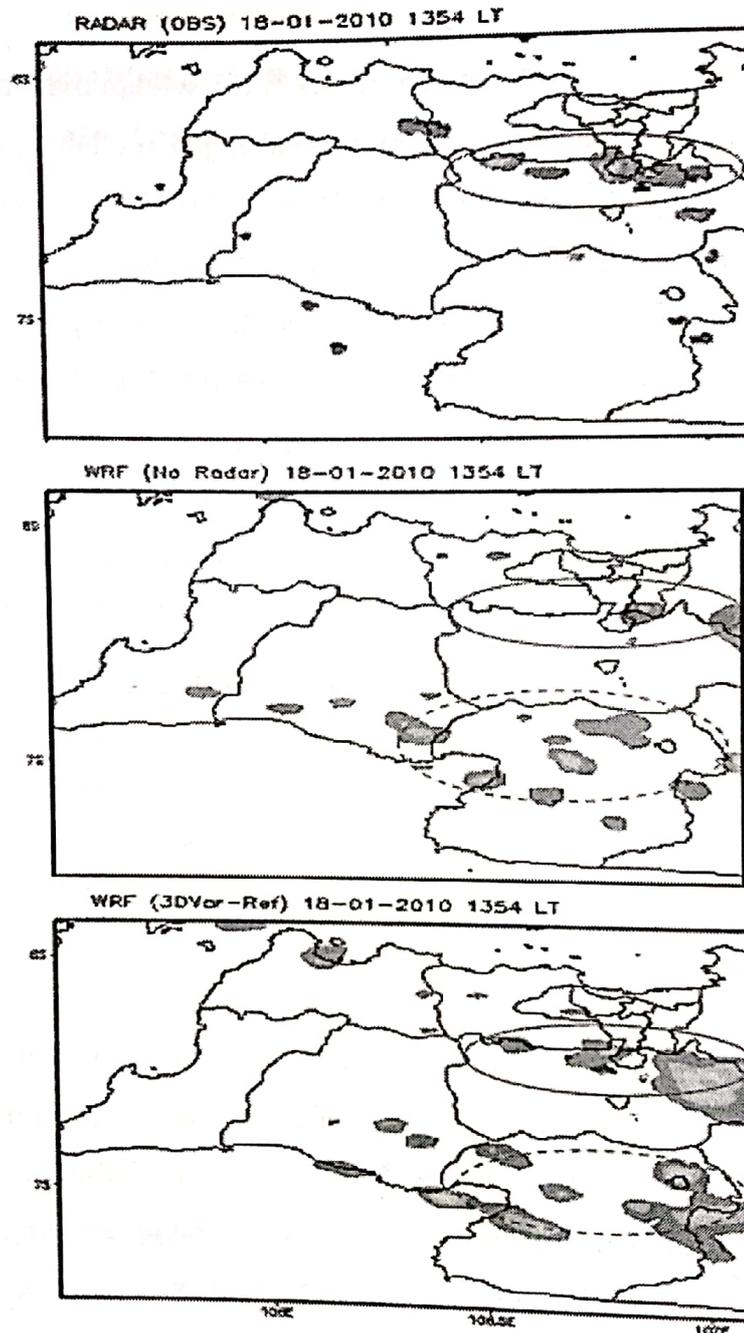
Tabel 1. Perbandingan prediksi curah hujan tanggal 18 Januari 2010 dengan model WRF tanpa asimilasi data radar dan dengan asimilasi data radar, di Citeko, Kemayoran dan Pondok Betung.

Lokasi	Sebelum Asimilasi	Setelah Asimilasi	Observasi
Citeko	0.97	10.41	23.10
Kemayoran	0.01	0.04	0.00
Pondok Betung	0.00	0.60	5.00

Verifikasi hasil prediksi awan oleh model WRF sebelum dan setelah asimilasi data dengan data pengamatan reflektivitas dari radar Doppler C-band juga dilakukan secara subjektif. Verifikasi tersebut dilakukan dengan membandingkan nilai reflektivitas dan lokasinya pada waktu dan ketinggian yang sama. Secara spasial perbandingan prediksi sebelum dan setelah asimilasi juga menunjukkan perbedaan, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3 yaitu nilai reflektivitas untuk tanggal 18 Januari 2010 pukul 13.54 WIB (*Local Time, LT*) pada ketinggian sekitar 2000 m atau (800 hPa). Reflektivitas hasil pengamatan radar Doppler C-band ditunjukkan pada panel atas. Pengamatan radar memperlihatkan konsentrasi awan berada di bagian selatan Jakarta atau sekitar wilayah Bogor (lingkaran merah). Sementara itu, hasil prediksi model WRF tanpa asimilasi data radar memprediksi adanya awan disekitar daerah tersebut, tetapi dengan lokasinya sedikit lebih ke timur. Perbaikan prediksi lokasi awan dihasilkan setelah dilakukan asimilasi data reflektivitas radar, seperti diperlihatkan dalam lingkaran merah pada panel bawah Gambar 3.

Kemampuan model WRF dalam memprediksi awan dan perbaikan yang dihasilkan setelah asimilasi data radar masih meninggalkan catatan untuk diperhatikan, yaitu prediksi model WRF yang cenderung lebih besar dibandingkan observasi (*overforecast*). Model WRF memprediksi

terbentuk dan berkembangnya awan di daerah yang langitnya cerah (*clear*) seperti ditunjukkan dalam oleh lingkaran putus-putus merah.



Gambar 3. Prediksi reflektivitas awan pada 18 Januari 2010 pukul 12.48 WIB. Observasi radar (panel atas), prediksi tanpa asimilasi (panel tengah), prediksi dengan parameter reflektivitas (panel bawah)

Perbaikan akurasi prediksi yang belum signifikan dari penelitian ini, dimana hasil prediksi kuantitatif belum mendekati hasil observasi dan kecenderungan prediksi yang dihasilkan adalah *overforecast* memperlihatkan bahwa masih perlunya kajian lebih lanjut dibidang ini. Penelitian

lebih lanjut dengan menambah parameter radar yang diasimilasi yaitu melibatkan kecepatan radial, serta penggunaan teknik asimilasi yang lebih canggih (4DVar dan EnKF) perlu dipertimbangkan.

4. Kesimpulan

Prediksi curah hujan dengan model WRF setelah asimilasi reflektivitas radar dan verifikasi terhadap observasi dengan menggunakan data reflektivitas radar dan curah hujan per jam di Citeko, Kemayoran dan Pondok Betung menunjukkan hasil sebagai berikut :

1. Berdasarkan distribusi awan (reflektivitas), prediksi model WRF untuk tanggal 18 Januari 2010 setelah asimilasi data radar lebih baik dibandingkan sebelum asimilasi data radar.
2. Akurasi prakiraan curah hujan kuantitatif (*Quantative Precipitation Forecast*, QPF) secara umum memperlihatkan pengaruh positif dari asimilasi data radar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih untuk penggunaan data dalam penelitian ini, yaitu BPPT dan JAMSTEC untuk data radar, NCEP untuk data FNL, dan BMKG untuk data pengamatan hujan.

Daftar Pustaka

- Brown, R. A., dan V. T. Wood (2007) : A Guide for Interpreting Doppler Velocity Patterns: Northern hemisphere edition, NOAA/National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma, 2nd Edition.
- Hong, S-Y., K-S. S. Lim, Y-H. Lee, J-C. Ha, H-W. Kim, S-J. Ham, dan J. Dudhia, (2010): Evaluation of the WRF Double-Moment 6-Class Microphysics Scheme for Precipitating Convection, *Advances in Meteorology*, 1-10, Article ID 707253, doi:10.1155/2010/707253
- Dudhia, J., (1989): Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077–3107.
- Hong, S-Y., Y. Noh, dan J. Dudhia, (2006): A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
- Kain, J. S., 2004: The Kain–Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley, dan H. D. Orville, (1983): Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065–1092.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, dan S. A. Clough (1997): Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16.663–16.682
- Roberts, N. M., dan H. W. Lean, (2008) : Scale-Selective Verification of Rainfall Accumulations from High-Resolution Forecasts of Convective Events, *Wea. Forecasting*, 136, 78-97.
- Routray, A., U. C. Mohanty, D. Niyogi, S. R. H. Rizvi, K. K. Osuri (2010) : Simulation of heavy rainfall events over Indian monsoon region using WRF-3DVAR data assimilation system. *Meteorol. Atmos. Phys.* 102. 107-125
- Sun, J., dan N. A. Crook, (1997) : Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *J. Atmos. Sci.*, 54, 1642–1661.

- Xiao, Q., N. Y. H. Kuo, J. Sun, W. C. Lee, E. Lim, Y. R. Guo, dan D. M. Barker, (2005) : Assimilation of Doppler Radar Observations with a Regional 3D-Var System: Impact of Doppler Velocities on Forecasts of a Heavy Rainfall Case. *J. Appl. Met.*, 44(6), 768-788.
- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, D. M. Barker, dan E. Lim, (2007a): An approach of radar reflectivity data assimilation and its assessment with the inland QPF of Typhoon Rusa (2002) at landfall. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 46, 14-22.

Pustaka dari Situs Internet :

- Wang, W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H. C. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi, dan X. Zhang, (2010) : ARW Version 3 Modeling System User's Guide, Tersedia di <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>. diunduh tanggal 09 Mei 2010.
- University of Illinois, (1997) : Radar Meteorology online Remote Sensing, <http://ww2010.atmos.uiuc.edu/%28Gh%29/guides/rs/rad/home.rxml>, , diunduh tanggal 27 Juli 2012