

SIMULASI HUJAN EKSTRIM PADA KEJADIAN BANJIR DI MATARAM TANGGAL 10 JANUARI 2009 MENGGUNAKAN WRF-EMS (EXTREME RAINFALL SIMULATION ON JANUARY 10, 2009 MATARAM FLOOD USING WRF-EMS)

Wido Hanggoro^{1*}, Iis Widya Harmoko², Erwin E.S. Makmur³

¹Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran Jakarta Pusat 10720

²Jurusan Meteorologi, AMG Jakarta, Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung Bintaro 15211

³Subbid Peringatan Dini Iklim BMKG, Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran Jakarta Pusat 10720

*Email: wido.hanggoro@bmkgo.id

Naskah masuk: 18 April 2012; Perbaikan terakhir: 5 November 2012; Naskah diterima: 30 Nopember 2012

ABSTRAK

Kejadian hujan ektrim pada tanggal 10 Januari 2009 yang mengakibatkan banjir di Mataram disimulasikan secara numerik dengan menggunakan dua model. Pertama, digunakan model WRF EMS (Weather Research and Forecasting Environmental Modeling System) dengan resolusi 5 dan 15 km. Kedua, menggunakan model IDW (Inverse Distance Weighted) dengan resolusi 15 km. Hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan pola distribusi curah hujan hasil pengamatan pada tanggal-tanggal yang sama. Hasil simulasi keduanya menunjukkan kesamaan dengan nilai korelasi mencapai R 0,43 dan RSME 83,24 untuk kasus hujan pada tanggal 10 Januari 2009, sedangkan simulasi hujan untuk tanggal 5 – 11 Januari 2009 menunjukkan nilai rata-rata korelasi, koreksi dan RSME masing-masing 0,30; 5,25 dan 41,60.

Kata kunci :WRF EMS, IDW, simulasi, hujan ektrim

ABSTRACTS

Two numerical simulation models were used to simulate extreme rainfall on January 10, 2009 that caused flood in Mataram, i.e. WRF EMS (Weather Research and Forecasting Environmental Modeling System) and IDW (Inverse Distance Weighted), respectively. The result based on 15 km and 5 km resolutions were compared with the distribution pattern on the same date. The 15 km resolution on IDW method showed value of R 0.43 and RMSE 83.24 for January 10, 2009, whilst the average correlation, correction and RMSE for January 5-11, 2009 are respectively 0.30, 41.60 and -5.25 m, respectively.

Key words: WRF EMS, ID, numerical simulation, extreme rainfall

1. Pendahuluan

Peristiwa banjir yang dipicu oleh curah hujan ektrim seperti terjadi di kota Mataram, Nusa Tenggara Barat tanggal 10 Januari 2009, berdampak sangat merugikan. Tidak saja dari segi infrastruktur saja tetapi juga terhentinya aktifitas ekonomi masyarakat.

Beberapa definisi mengenai kejadian hujan ektrim dinyatakan sebagai kejadian yang dicirikan oleh penyimpangan intensitas yang besar dari kondisi rata-rata [1]. Departemen Meteorologi India menyebutkan bahwa hujan dengan intensitas lebih dari 64.5 mm per hari disebutkan sebagai hujan lebat [2]. Sedangkan BMKG, hujan lebat adalah hujan dengan intensitas paling rendah 50 mm per 24 jam atau 20 mm per jam [3], dan untuk hujan ektrim adalah 100 mm per hari [4].

Hasil observasi curah hujan pada saat tanggal kejadian di dua titik pos pengamatan hujan yang berada kota Mataram (Majeluk dan Cakranegara) terukur lebih dari 150 mm/hari, sedangkan rata-rata bulanan dari kedua pos pengamatan tersebut adalah 350 mm.

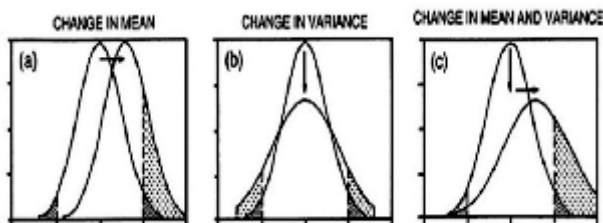
Hujan lebat yang mengguyur Pulau Lombok malam hari sejak tanggal 9 Januari 2009 tersebut telah mengakibatkan sejumlah wilayah di Kota Mataram terendam banjir. Titik banjir di Kota Mataram meliputi Kampung Banjar, Sintung, Babakan, Karang Panas, Selaparang, Rembiga dan Sekarbela.

Faktor kerugian yang dipicu oleh kejadian banjir dapat ditekan, jika masyarakat dan para pihak yang berwenang mendapatkan informasi peringatan dini lebih awal, yang

memungkinkan untuk melakukan tindakan pencegahan.

Prakiraan cuaca yang cepat, akurat, tepat dan menjangkau seluruh wilayah atau paling tidak wilayah lokal sangat strategis, penting dan dibutuhkan, terutama pada tatanan operasional di lapangan.

Perkembangan pemodelan prakiraan cuaca numerik sebagai alat untuk pelayanan prakiraan cuaca telah mulai dikembangkan. Beberapa lembaga telah mengintegrasikannya sebagai bagian dari kegiatan operasional pelayanan prakiraan cuaca harian.



Gambar 1. Diagram perubahan nilai ekstrim [1]

Beberapa model cuaca yang seringkali digunakan untuk keperluan prakiraan ataupun simulasi cuaca antara lain WRF, LM, MM5, COAMPS, ARPS [5]. Namun demikian, perangkat lunak tersebut pada umumnya dikembangkan di negara-negara di posisi lintang tinggi, yang secara geografis, letak lintang dan dinamika cuaca fisinya berbeda dengan di Indonesia yang terletak di katulistiwa, lintang 0 derajat, dan negara kepulauan.

Oleh karenanya, kajian kesahihan model-model tersebut diperlukan agar dapat diimplementasikan untuk menunjang kebutuhan operasional. Salah satu aspek kajian yang sering dilakukan adalah terkait dengan jenis dan resolusi data yang digunakan sebagai pijakan awal untuk melakukan simulasi atau prakiraan.

Data yang tersedia bebas seperti *Global Forecast System* (GFS) atau *Final Reanalysis* (FNL) telah banyak digunakan [6]. Untuk keperluan prakiraan lokal diperlukan data dengan resolusi 1° dan 0.5°, oleh karena itu digunakan teknik *downscaling*. Output model dalam skala besar dilengkapi dengan menambahkan informasi pada skala yang lebih kecil [7].

Di dalam tulisan ini, model numerik WRF EMS diaplikasikan untuk kajian akurasi prakiraan terhadap kejadian di Mataram. Untuk keperluan prakiraan lokal simulasi kejadian ekstrim lokal teknik *downscaling* diterapkan agar diperoleh resolusi mencapai 15 km dan 5 km. Hasil prakiraan numerik tersebut sebagai uji validasi dan akurasi dibandingkan dengan data observasi pada lokasi kejadian.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil model WRF EMS resolusi 15 dan 5 km dengan data observasi pada saat kejadian hujan ekstrim di wilayah Lombok.

1.1. Simulasi cuaca menggunakan WRF EMS

Model *Numerical Weather Prediction* (NWP) adalah sekumpulan kode komputer yang mempresentasikan secara numerik persamaan-persamaan atmosfer, digunakan untuk memprediksi kondisi atau status atmosfer yang akan datang dengan menggunakan kemampuan komputer yang tinggi. Prediksi atau ramalan cuaca dirumuskan dengan menyelesaikan persamaan pergerakan atmosfer. Persamaan-persamaan tersebut meliputi persamaan *non-linier time-dependent differential partial* angin, temperatur, kelembaban dan tekanan [8].

Terdapat tiga pendekatan umum yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut [9], yaitu: pertama mendapatkan penyelesaian eksak untuk menyederhanakan persamaan awal, seperti keseimbangan angin geostropik, keseimbangan termal angin dan keseimbangan angin gradien. Kedua menggunakan penyederhanaan model fisik, atau sering disebut model filter. Penyelesaian analitik dapat ditentukan dalam banyak kondisi atau asumsi. Metode numerik digunakan jika persamaan filter digunakan pada permasalahan komputasi yang rumit. Seperti persamaan kuasi geostropik, persamaan barotropik *vorticity* yang digunakan dalam operasional model NWP beberapa dekade yang lampau. Ketiga mendapatkan pendekatan penyelesaian numerik untuk persamaan *non-linier* dan digunakan operasional model NWP saat ini.

Walaupun banyak model NWP yang berkembang saat ini, namun biasanya mempunyai konfigurasi yang sama. Biasanya perbedaan mendasar yang sering terlihat adalah model grid serta pendekatan fisik maupun dinamik atmosfer yang digunakan pada tiap-tiap model. Melalui penemuan komputer yang canggih diawal 1960-an, operasional model *multi-layer* atmosfer dapat dilakukan [10]. Beberapa pusat operasional memulai untuk menjalankan model numerik global, regional untuk menyediakan ramalan beberapa hari hingga mingguan. Saat ini, banyak pusat meteorologi menggunakan model NWP dan super komputer untuk menghitung ramalan cuaca dalam 10 hari atau lebih ke depan.

Menurut Rozumalski [11] dalam *A Nearly Guide to the WRF EMS V3, Model Weather Research and Forecast Environmental Modeling System* atau disingkat WRFEMS, merupakan model NWP yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) bekerjasama dengan *National Weather Service* (NWS), *Forecast Decision Training Branch* (FDTB) dan *Science Operations Officer and Training Resource Center* (SOO/STCR). Untuk keperluan prediksi cuaca model WRF EMS dinilai sebagai model yang lengkap dan merupakan *state-of-the-science* dari produk NWP serta merupakan gabungan dari dua model dinamis yang umum digunakan di dunia pemodelan yaitu *Advanced Research WRF* (ARW) yang dikembangkan oleh *National Center for Atmospheric*

Research (NCAR) dan non-Hydrostatic Mesoscale Model (NMM) yang dikembangkan oleh National Center for Environmental Prediction (NCEP). Semua fitur-fitur yang terdapat pada kedua binary tersebut terdapat dalam model WRF EMS dan sudah disederhanakan dari mulai proses instalasi, konfigurasi dan eksekusinya, hal tersebut bertujuan agar penggunaan model ini dapat dengan mudah dilakukan.

1.2. Inverse Distance Weighted

Untuk mengolah dan menganalisa data secara spasial, biasanya menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Menurut Pramono [12], didalam analisa spasial baik dalam format vektor maupun raster, diperlukan data yang meliputi seluruh area penelitian. Oleh sebab itu, proses interpolasi perlu dilaksanakan untuk mendapatkan nilai diantara titik sampel. Hal ini bertujuan agar dalam perbandingan nilai dari titik observasi dan titik model bisa berimbang.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan interpolasi seperti *Trend*, *Spline*, *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan *Kriging*. Setiap metode ini akan memberikan hasil interpolasi yang berbeda. Kajian dalam tulisan ini memfokuskan pencarian nilai titik observasi dari hasil luaran model menggunakan metode IDW dan hasilnya dipetakan lagi menggunakan SIG.

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui [12] [13]. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbentuk peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah.

Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya [13]. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel.

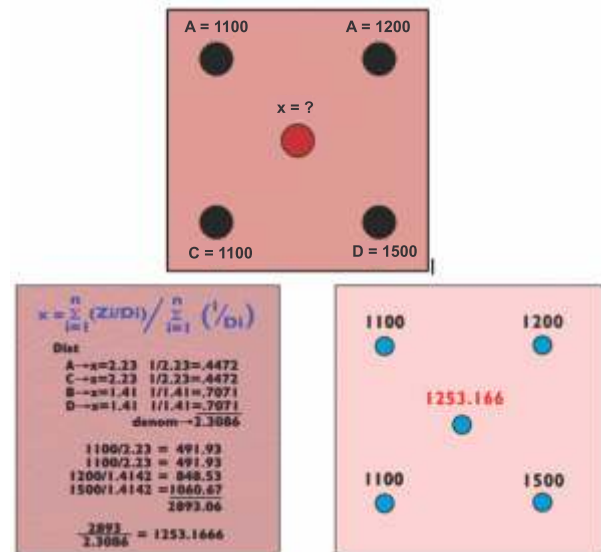
$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i} \right)} \quad (1)$$

Dimana:

x = nilai yang diinterpolasi

Z_i = nilai data, sejumlah data n pada lingkungan Z

D_i = jarak antara x dan tiap data



Gambar 2. Ilustrasi IDW [14]

Koefisien korelasi adalah koefisien yang menggambarkan tingkat keeratan hubungan linear antara satu peubah atau lebih. Koefisien korelasi sering dinotasikan dengan simbol r dan nilainya berkisar antara -1.0 hingga +1.0. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan tersebut adalah:

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})^2}} \quad (2)$$

Dimana:

$r_{Y\hat{Y}}$ = koefisien korelasi antara observasi (data real) dengan hasil prakiraan

Y_i = observasi (data real) pada periode ke- i dengan $i = 1, 2, \dots, n$

$\bar{Y}$ = nilai rata-rata observasi (data real)

$\hat{Y}_i$ = hasil model pada periode ke- i dengan $i = 1, 2, \dots, n$

$\bar{\hat{Y}}$ = nilai rata-rata hasil model

n = panjang periode

Untuk validasi hasil model dengan menggunakan koefisien korelasi, semakin kuat korelasi maka semakin bagus hasil validasi (semakin tinggi tingkat akurasi model).

Root Mean Square Error (RMSE) yang merupakan akar dari rata-rata kuadrat kesalahan atau nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{n}} \quad (3)$$

dimana

Y = observasi (data real) pada periode ke- i dengan $i = 1, 2, \dots, n$

Y = hasil prakiraan pada pada periode ke- i
dengan 1, 2, ..., n
 n = jumlah data

Untuk validasi hasil luaran model WRF EMS, semakin kecil nilai RMSE maka menunjukkan tingginya tingkat kesesuaian antara nilai luaran model dengan hasil observasi di lapangan.

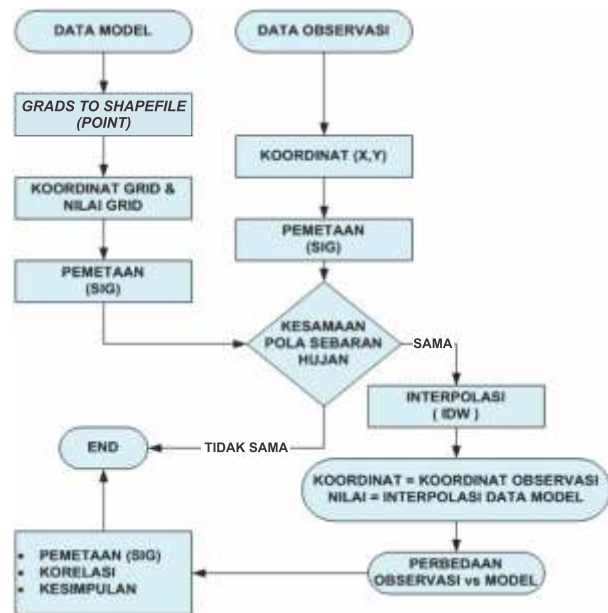
2. Metode Penelitian

Dalam kajian ini digunakan dua jenis data, data global dan data observasi. Data global yang digunakan dalam kajian ini adalah data reanalisis berupa data *Final Analysis* (FNL) tanggal 4-10 Januari 2009 dengan resolusi 1.0° yang diperoleh dari NCEP-NOAA. Pada dasarnya data FNL merupakan juga data prediksi seperti layaknya GFS. Dalam pengumpulan datanya, FNL lebih lambat satu jam dari GFS untuk dapat lebih banyak menggunakan data observasi, walaupun data-data tersebut tidak *real time* seperti halnya GFS [15]. Dengan data tersebut diharapkan kejadian cuaca ekstrim yang terjadi di Mataram tersebut dapat disimulasikan, sehingga didapat gambaran sejauh mana performa model WRFEMS sebelum melakukan prediksi (menggunakan data prediksi seperti GFS). Data observasi yang digunakan adalah Data Curah Hujan Harian Bulan Januari 2009 di Pulau Lombok yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kediri-NTB.

Penggunaan domain penelitian ditunjukkan sesuai pada Gambar 3, dimana domain dengan resolusi 15 km dibatasi dengan kotak kuning yang besar dan domain resolusi 5 km dibatasi dengan kotak kuning kecil. Dalam kajian ini, langkah kerja yang dilakukan setelah memperoleh hasil luaran model sampai dengan perbandingan, menggunakan data observasi hingga memperoleh kesimpulan sesuai dengan Gambar 4.



Gambar 3. Domain penelitian.



Gambar 4. Diagram alur kajian

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil luaran model WRF EMS yang dibahas dalam kajian ini hanya total curah hujan. Selanjutnya ditampilkan contoh hasil luaran WRF EMS untuk parameter curah hujan 10 Januari 2009 pada resolusi 15 km dan resolusi 5 km yang dibandingkan dengan observasi. Analisis umum hasil luaran model WRF EMS terhadap data observasi dilakukan perbandingan secara kualitatif.

Perbandingan antara observasi tanggal 10 Januari 2009 ditunjukkan pada Gambar 5 dengan hasil model resolusi 5 Km pada tanggal yang sama menunjukkan pola sebaran hujan yang tidak sama, sehingga untuk resolusi 5 km tidak dikaji lebih lanjut. Sedangkan pada resolusi 15 km menunjukkan pola sebaran hujan yang sama, walaupun dari intensitas menunjukkan hasil yang jauh berbeda.

Pola sebaran hujan yang sama dan intensitas yang berbeda dikaji lebih dengan mencari nilai hujan berdasarkan hasil model dari titik-titik pengamatan pos hujan kerjasama.

Kajian lebih lanjut berupa mencari nilai titik observasi yang berada di dalam suatu grid model menggunakan metode interpolasi IDW. Ide dasar dalam mencari nilai titik observasi adalah memanfaatkan berkas database model, selanjutnya dispasialkan bersama titik pos hujan kerjasama. Titik-titik yang berada dalam suatu grid dikumpulkan dan dihitung dengan persamaan interpolasi IDW. Konsep interpolasi menggunakan IDW disajikan dalam Gambar 6. Dalam gambar tersebut, menampilkan titik-titik yang teratur adalah grid model, sedangkan titik-titik yang tidak teratur adalah titik pos hujan kerjasama (observasi).

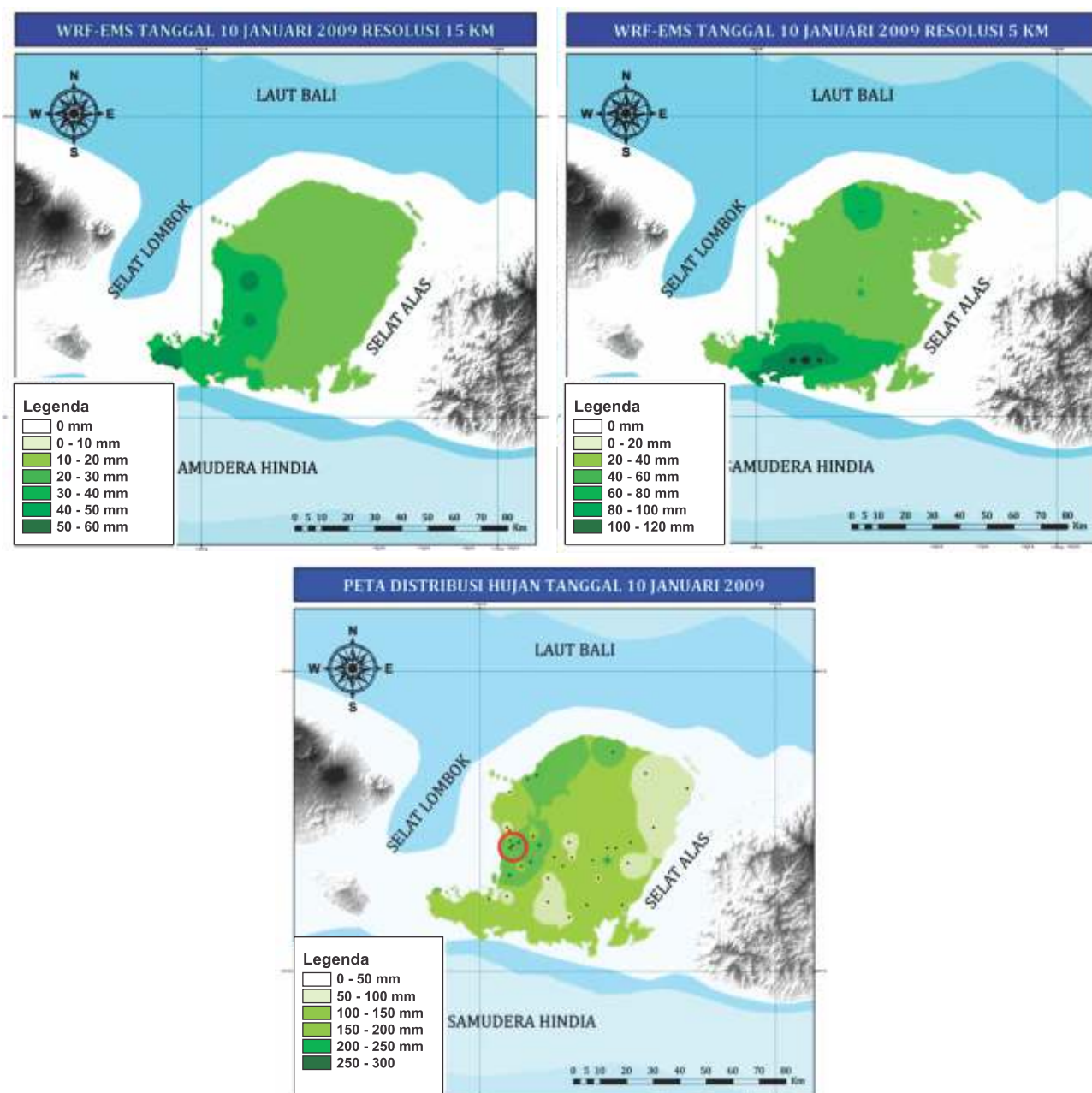
Penghitungan metode interpolasi dilakukan secara manual setelah mengumpulkan grid-grid dan titik-titik yang diperlukan. Hasilnya seperti contoh Tabel 1 :

Tabel 1. Perhitungan manual interpolasi titik observasi

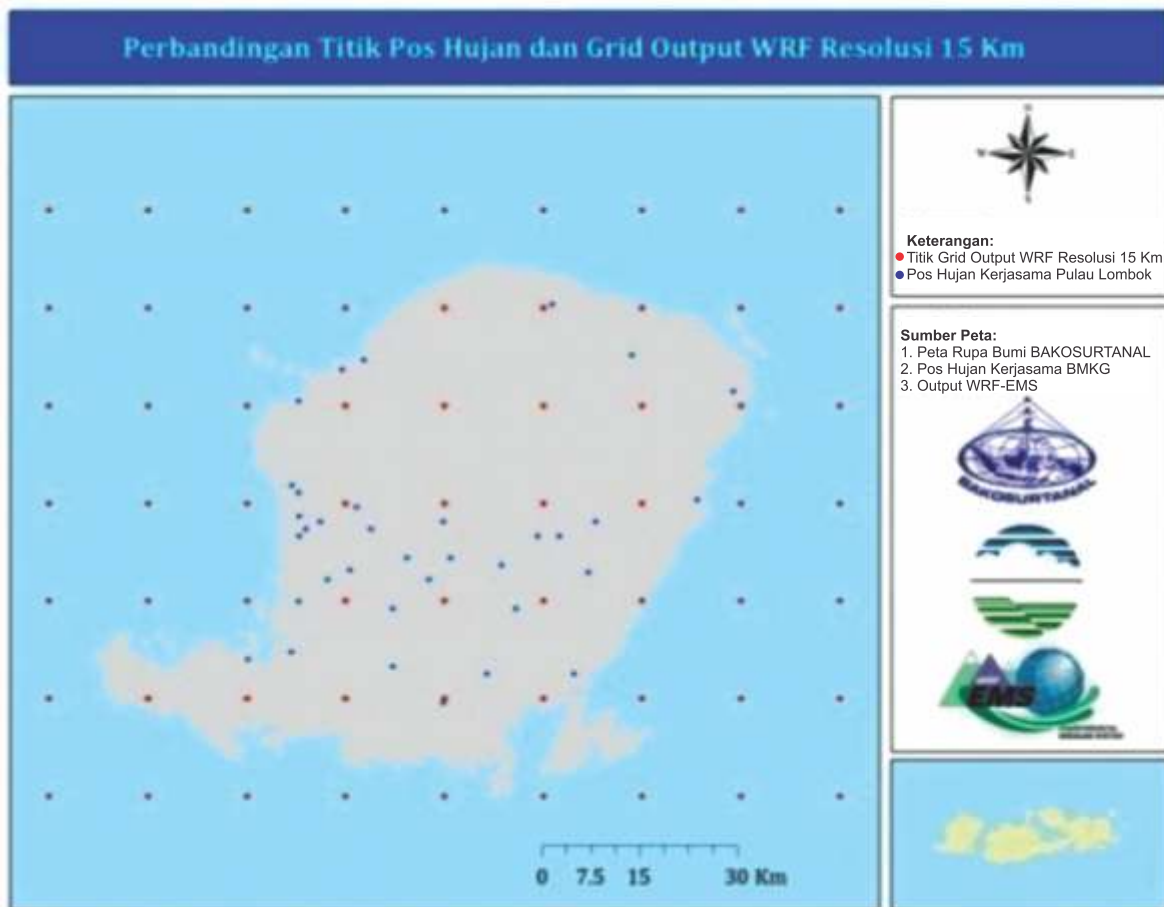
Grid06	Bujur	CH
21	116.0289	41.4600
22	116.1653	33.0900
30	116.0289	50.3400
31	116.1653	37.0100
Selaparang	116.1008	40.1807
Cakra	116.1300	37.8580
Majeluk	116.1100	39.4489
Ampenan	116.1010	40.1648
Rumak	116.1400	37.0625

Nilai pada kolom dengan arsiran warna hijau merupakan nilai hasil interpolasi dari titik observasi, yang lebih lanjut digunakan sebagai perbandingan data observasi.

Hasil dari nilai hujan tersebut dibandingkan kembali dengan hasil observasi untuk melihat perbedaan antara nilai titik observasi dengan nilai titik hasil model.



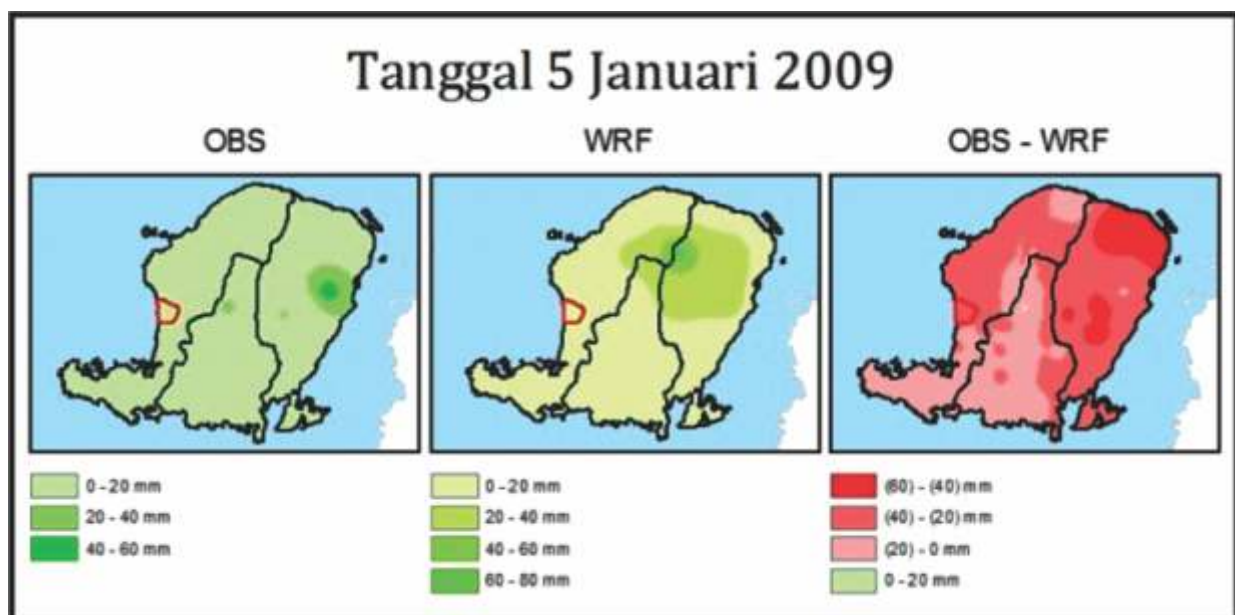
Gambar5. Perbandingan Curah Hujan hasil model dan observasi tanggal 10 Januari 2009 kota Mataram dan sekitarnya (lingkaran merah)



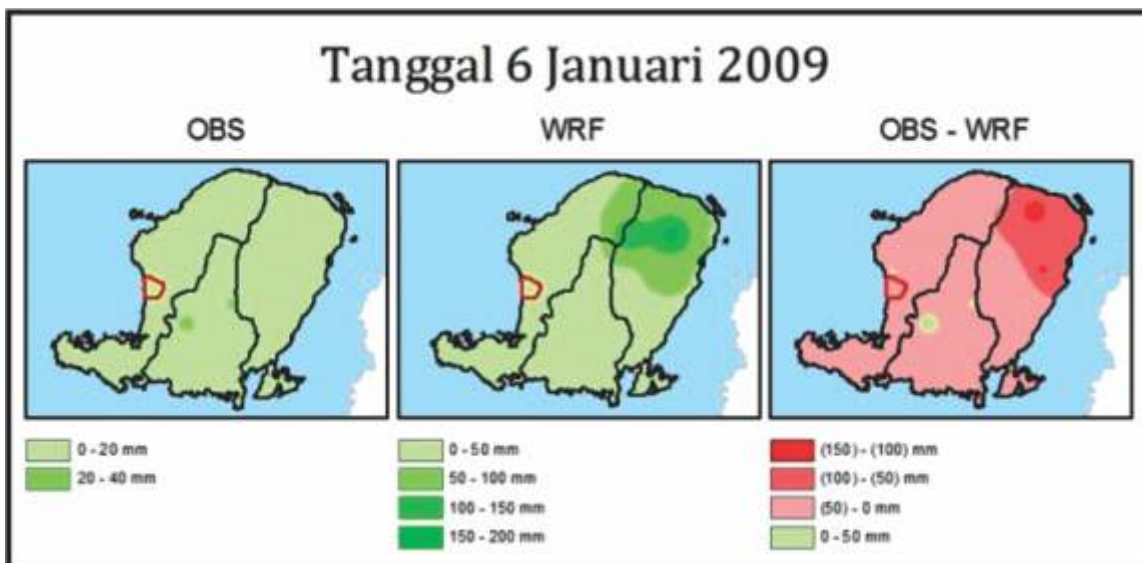
Gambar 6. Konsep interpolasi titik observasi

Hasil perbedaan antara data observasi dan hasil model tidak langsung dijadikan sebagai nilai koreksi, tetapi terlebih dahulu dicari perbedaan pada tanggal-tanggal

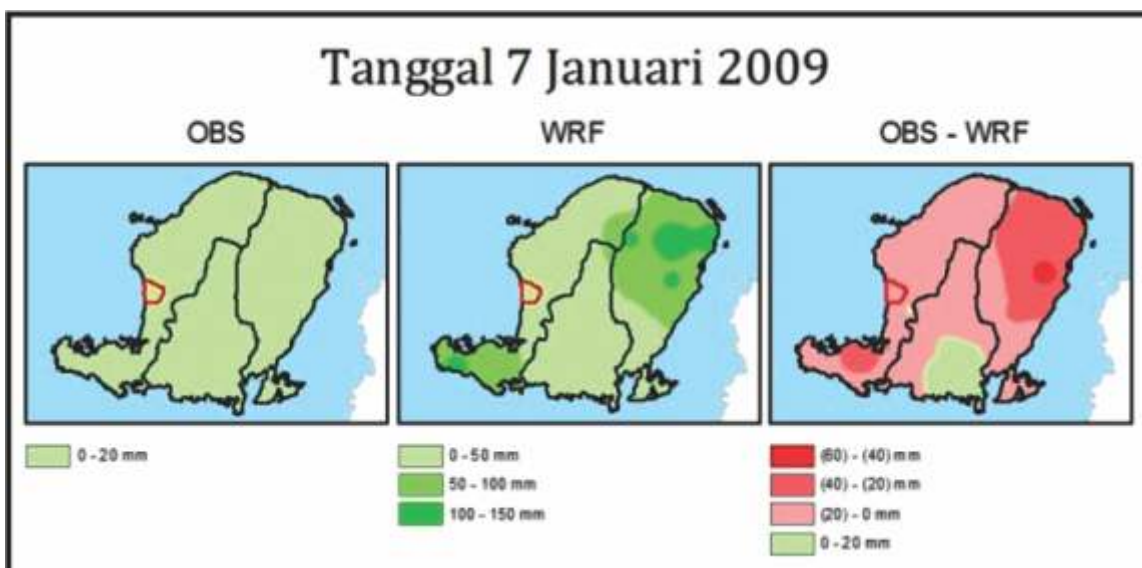
sebelumnya untuk melihat tingkat konsistensi dari nilai koreksi tersebut.



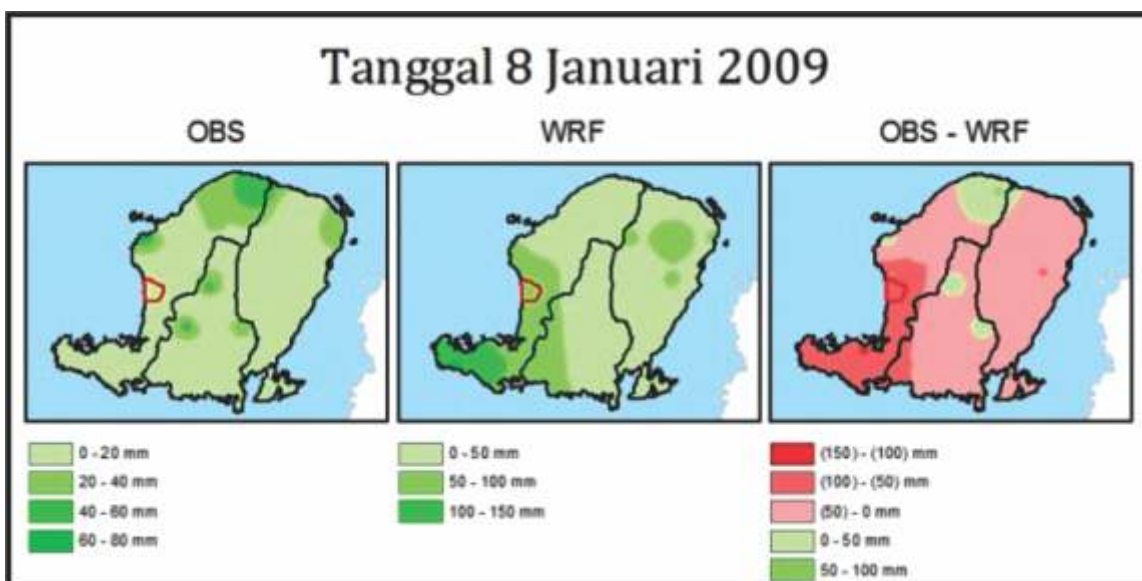
Gambar 7. Perbandingan curah hujan tanggal 5 Januari



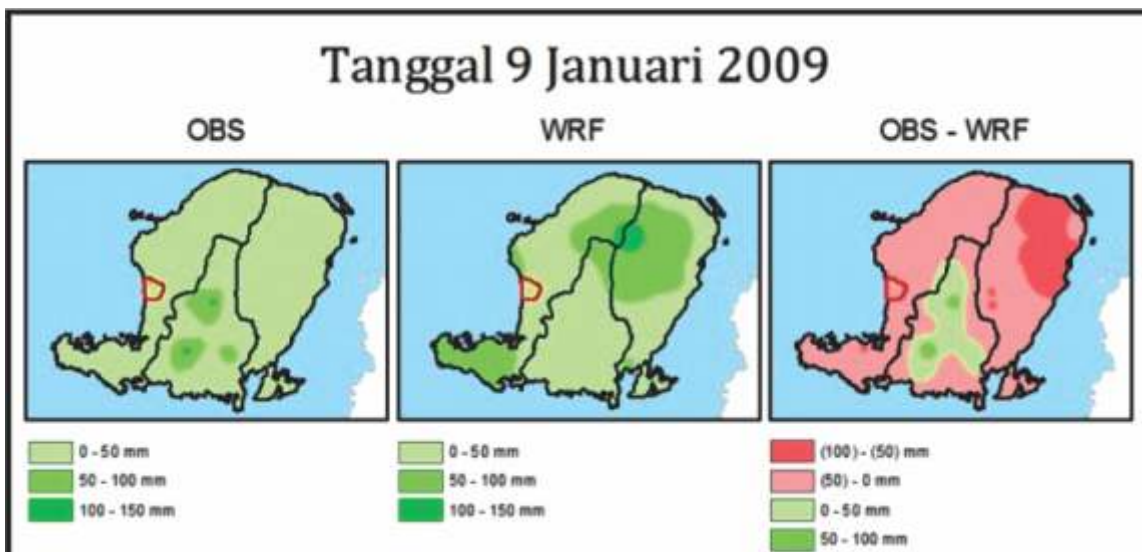
Gambar 8. Perbandingan curah hujan tanggal 16 Januari



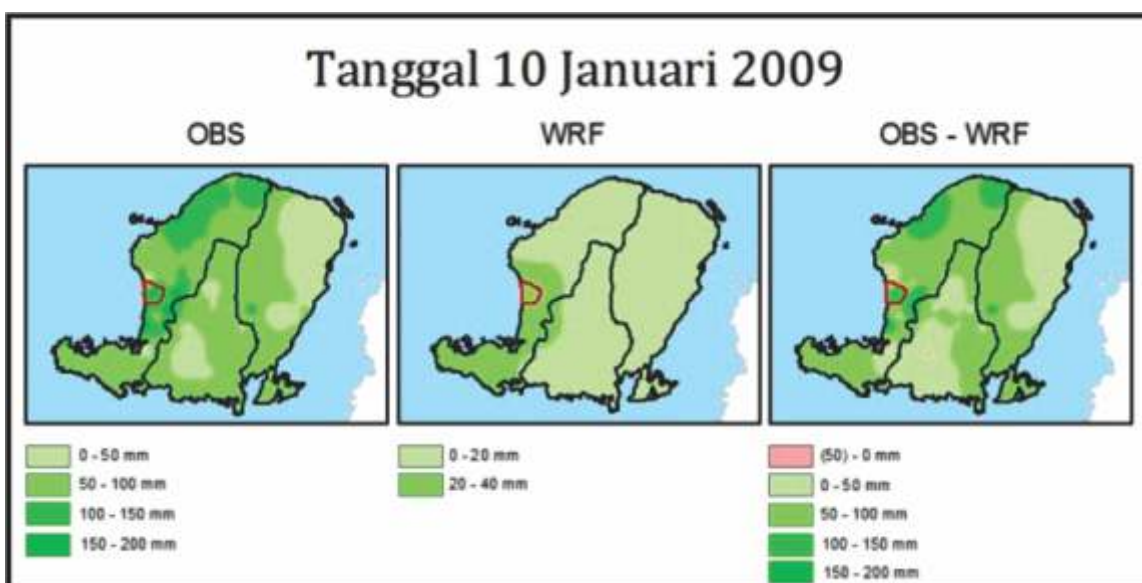
Gambar 9. Perbandingan curah hujan tanggal 7 Januari



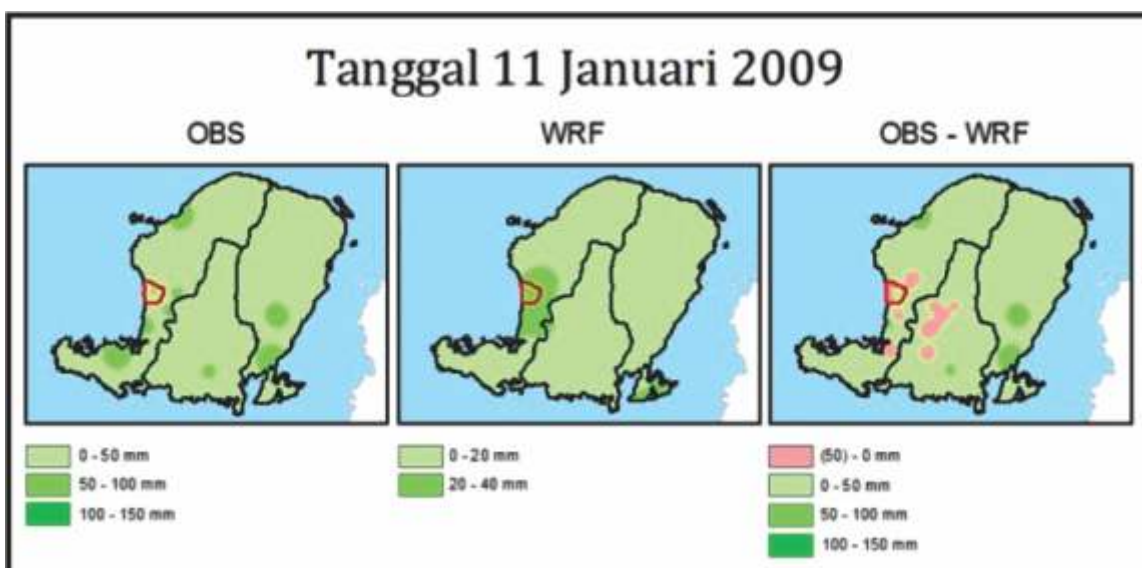
Gambar 10. Perbandingan curah hujan tanggal 8 Januari



Gambar 11. Perbandingan curah hujan tanggal 9 Januari



Gambar 12. Perbandingan curah hujan tanggal 10 Januari



Gambar 13. Perbandingan curah hujan tanggal 11 Januari

Apabila dibandingkan seluruh tanggal kejadian hujan titik observasi dan titik model maka menghasilkan grafik seperti Gambar 14.

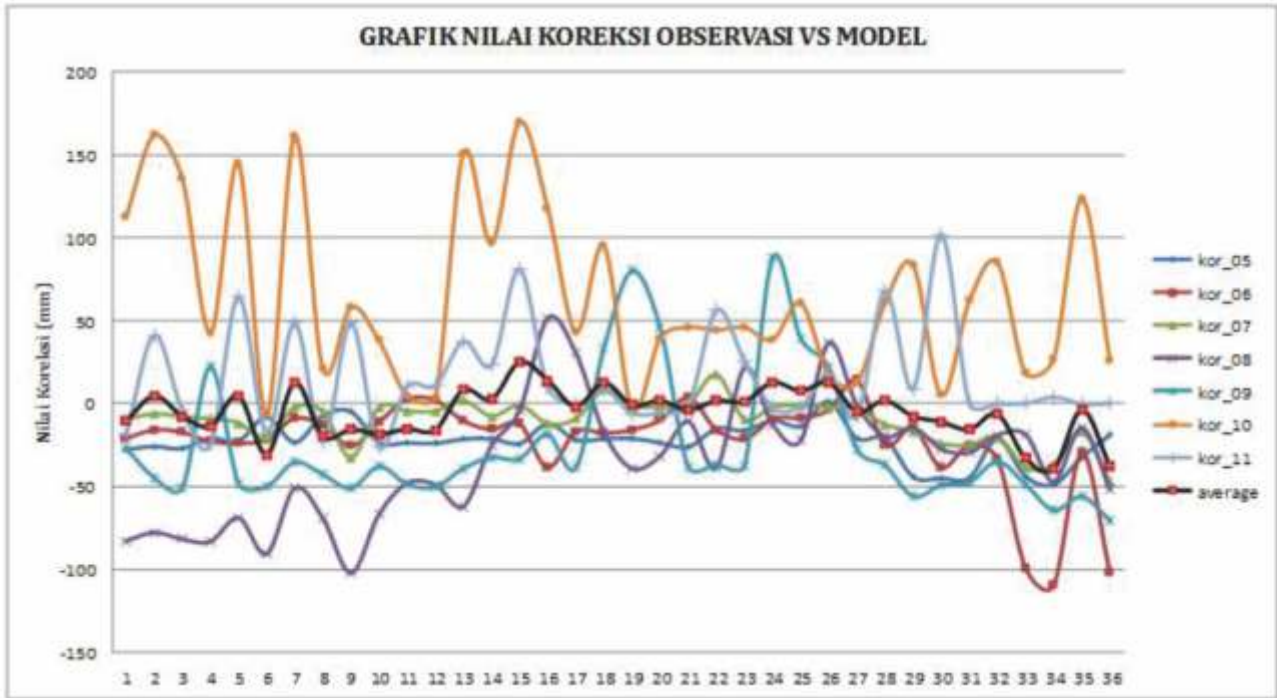
Dari grafik tersebut, nilai koreksi tertinggi terjadi pada tanggal 10 Januari 2009, dimana terjadi banjir di kota Mataram. Hal ini berarti tanggal 10 mempunyai nilai koreksi yang sangat besar dan data hasil observasi lebih besar dari data hasil model.

Nilai-nilai koreksi pada setiap tanggal menunjukkan hasil yang berbeda dan tingkat konsistensi tidak bagus, sehingga hasil model bisa dikatakan sebagai *under estimate* dan *over estimate* apabila menunjukkan perbedaan yang sangat besar baik positif maupun negatif. Positif berarti data observasi lebih besar dari model,

sementara negatif berarti hasil model lebih besar dari data observasi.

Selain tanggal 10, nilai koreksi yang cukup besar terjadi pada tanggal 5 Januari (Gambar 7), dimana peta didominasi oleh warna merah, sehingga hal ini dilakukan pengujian sederhana dengan menggunakan korelasi. Tujuannya untuk mengetahui bahwa hasil model mempunyai hubungan dengan data observasi.

Pola sebaran hujan hasil model pada tanggal 10 Januari 2009 menunjukkan pola yang hampir sama dengan pola sebaran hujan hasil observasi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi yang mempunyai tingkat hubungan cukup kuat walaupun nilai RMSE-nya paling besar. Demikian pula halnya dengan tanggal 5 yang menunjukkan nilai korelasi paling besar.



Gambar 14. Grafik nilai koreksi antara observasi dan model seluruh tanggal kejadian

Menurut Weiss [16], perbandingan antara hasil observasi dengan model pada tanggal 5 Januari diduga karena adanya *spin-out* yang terjadi selama 4-6 jam. Dimana model dalam proses awalnya (hari pertama) belum dalam keadaan stabil, sehingga output yang dihasilkan lebih besar dibanding observasinya.

Sementara untuk hasil model lainnya ada yang menunjukkan koefisien korelasi negatif, dimana nilai data observasi besar dan nilai hasil model kecil atau sebaliknya.

Secara keseluruhan, tingkat akurasi hasil menunjukkan tidak adanya konsistensi dan memiliki perbedaan nilai koreksi yang cukup besar. Sehingga perlu dipertimbangkan lagi penggunaannya untuk keperluan

prediksi cuaca atau diperlukan kajian lanjut dalam mempelajari model prediksi cuaca WRFEMS.

Tabel 2. Tabel Korelasi data observasi dan model

Tanggal	Korelasi	RMSE
5	0.48	25.60
6	0.08	35.31
7	-0.24	16.80
8	-0.22	49.87
9	-0.44	46.41
10	0.43	83.24
11	0.18	33.94

4. Kesimpulan

Pembuktian dari nilai koreksi antara data observasi dan hasil model menunjukkan tidak adanya konsistensi dan mempunyai nilai koreksi yang cukup besar, walaupun hasil model pada tanggal 10 mempunyai koefisien korelasi cukup kuat (0.43) tetapi mempunyai RMSE paling besar (83.24). Dimana hasil perhitungan rata-rata terhadap nilai korelasi sebesar 0.30, nilai RMSE sebesar 41.60 dan nilai koreksi sebesar -5.25 mm.

Selanjutnya perlu kajian lebih lanjut penggunaan perbandingan parameterisasi konvektif atau parameterisasi lain terhadap nilai curah hujan, khususnya untuk domain dengan resolusi tinggi (5 km).

Daftar Pustaka

- [1] Meehl, G.A., Karl, T., Easterling, D.R., Changnon, S., Pielke, R.Jr., Changnon, D., et.al. (2000). An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts, and Model Projections. *Bulletin of AMS*, 81(3), 413-416.
- [2] Guhathakurta, P., Sreejith, O.P., & Menon, P.A. (2011). Impact of climate change in extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal Earth Syst. Sci.*, 120(3), 359-373.
- [3] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2010). KEP.009 Tahun 2010 Tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem.
- [4] Istilah Dalam Prakiraan. (2012). (<http://www.klimatologibanjarbaru.com/pages/publikasi/istilah.php>), diakses tanggal 16 April 2012.
- [5] Skamarock, W. C., & Klemp, J.B. (2007). A Time-split Non Hydrostatic Atmospheric Model for Research and NWP Applications. *Journal Comp. Phys.*, special issue on environmental modeling, 3465-3485.
- [6] Aldrian, E. (2004). Perkembangan dan Aplikasi Teknologi Simulasi dan komputasi Iklim dan Kelautan di Indonesia, *Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi*, 45-60, Jakarta: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Informasi dan Elektronika, BPPT.
- [7] Downscaling of NWP Data. (2012). (https://www.meted.ucar.edu/training_module.php?id=794), diakses tanggal 15 Januari 2012.
- [8] Lynch, P. (2006). *The Emergence of Scientific Weather Forecasting: Richardson's Dream*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Kurniawan, R., Mulyono, T., Pudja, I.P., Suratno, Tjasyono, B., Roswiantiarti, O., et.al. (2011). *Pengembangan Model Prediksi Cuaca Untuk Pelayanan Informasi Cuaca "Model WRF (Weather Research and Forecasting)"*. Jakarta: Puslitbang BMKG.
- [10] Warner, T.T. (2011), *Numerical Weather and Climate Prediction*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Rozumalski, R.A. (2010). *A Nearly Complete Guide to the WRF EMS V3*. NOAA/NWS National SOO Science and Training Resource Coordinator.
- [12] Pramono, G.H. (2008). Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros Sulawesi Selatan. *Forum Geografi*, 22(1), 145-158.
- [13] Hartkamp, D., Beurs, K.D., Stein, A., & White, J.W. (1999). *Interpolation Technique for Climate Variables*, CIMMYT Natural Resource Group, Geographic Information System Series 99-01.
- [14] Inverse Distance Weighted. (2012). (<http://www.uiowa.edu/~geog/health/interp/inv.html>), diakses tanggal 18 Januari 2012.
- [15] CISR Research Data Archive. (2012). (<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>) diakses tanggal 8 Agustus 2012.
- [16] Weiss, S.J., Pyle, M.E., Janjic, Z., Bright, D.R., Kain, J.S., & DiMego, G.J. (2008). *The operational High Resolution Window WRF model runs at NCEP: Advantages Of Multiple Model Runs for Severe Convective Weather Forecasting*. Preprints, 24th Conf. Severe Local Storms, Savannah GA, P10.8.