

AKURASI PREDIKSI CURAH HUJAN HARIAN OPERASIONAL DI JABODETABEK : PERBANDINGAN DENGAN MODEL WRF

ON THE ACCURACY OF OPERATIONAL DAILY RAINFALL FORECASTS OVER JABODETABEK : A COMPARISON WITH RAW WRF-MODEL OUTPUT

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

*E-mail: indra.gustari@bmkgo.go.id

Naskah masuk: 11 Oktober 2012; Perbaikan terakhir: 17 Desember 2012; Naskah diterima: 21 Desember 2012

ABSTRAK

Akurasi prakiraan curah hujan harian operasional yang dibuat oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dikaji dengan cara diverifikasi berdasarkan kategori hujan dikotomi, lebat dan sangat lebat terhadap data dari 25 titik pengamatan di Jakarta. Prosedur yang sama juga diterapkan pada prakiraan curah hujan model Weather Research and Forecasting (WRF) dengan teknik multi-nesting yang di-downscale dari keluaran global forecast system (GFS). Hasilnya memperlihatkan bahwa kedua metode prediksi tersebut memiliki akurasi yang baik untuk prediksi dikotomi tetapi hampir gagal dalam memprediksi curah hujan lebat dan sangat lebat. Khususnya, kegagalan prediksi operasional dalam mendeteksi tiga kejadian hujan sangat lebat dalam periode kajian. Dalam hal ini, model WRF yang cenderung menghasilkan false alarm memperlihatkan prospek yang bagus untuk pengembangan sistem prediksi cuaca skala lokal/regional yang lebih akurat di Indonesia.

Kata kunci: prediksi, verifikasi, WRF, hujan lebat, hujan sangat lebat.

ABSTRACT

The accuracy of daily rainfall forecasts produced operationally by the Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) has been assessed by verifying the prediction of dichotomous, heavy, and very heavy rain events against observed data at 25 stations in Jakarta. Similar procedure was applied to raw hindcasts performed using the Weather Research and Forecasting (WRF) model with multi-nesting technique up to 3 km resolution downscaled from NOAA global forecast system (GFS) outputs. The results show that both forecasts have quite favorable accuracy for dichotomous rain events but almost no meaningful score for the predictions of heavy and very heavy rain events was obtained. Particularly, none of as many as three observed very heavy rain events was predicted by the operational forecast. In this case, WRF tend produce false alarms indicating a better prospect for future development of more accurate local/regional weather forecasting system in Indonesia.

Keywords: weather prediction, verification, WRF, very heavy rain

1. Pendahuluan

Prediksi curah hujan harian untuk wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Jabodetabek) sudah rutin dikeluarkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, (BMKG), namun prediksi curah hujan yang juga berisi peringatan cuaca buruk tersebut belum diketahui tingkat kualitasnya (atau akurasinya) karena belum pernah diverifikasi dengan baik. Usaha untuk

melakukan verifikasi terhadap prediksi curah hujan harian ini baru mulai dilakukan secara rutin sejak awal 2011.

Perkembangan model cuaca numerik seiring dengan perkembangan kemampuan komputasi dan penambahan jaringan pengamatan telah mencapai akurasi prediksinya yang baik dan sudah banyak digunakan dalam membuat prakiraan cuaca oleh pusat layanan cuaca di banyak negara.

Pola cuaca yang berbeda antar wilayah, mengharuskan dilakukan pengujian model cuaca numerik seperti pemilihan skema parameterisasi, syarat awal, waktu “spin-up” agar mampu menghasilkan prediksi yang terbaik.

Kemampuan model cuaca numerik WRF (*Weather Research and Forecasting*) akan diuji dalam prediksi curah hujan harian di Jabodetabek, untuk mengetahui kemampuan model ini dalam memprediksi curah hujan di daerah ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui akurasi prediksi curah hujan yang sudah dikeluarkan oleh BMKG (operasional) dan prediksi cuaca numerik dengan model WRF untuk wilayah Jabodetabek.

1.1. Prakiraan Curah Hujan

Prakiraan cuaca adalah usaha yang dilakukan untuk mengetahui keadaan cuaca yang akan datang berdasarkan kondisi cuaca terakhir dan lampau. Prakiraan curah hujan merupakan salah satu bagian yang sulit dan masih terus dikaji. Peningkatan akurasi prediksi yang berhasil dilakukan pada parameter cuaca lain seperti suhu, tekanan, dan angin - tidak terjadi pada prediksi curah hujan[1]. Dalam memprediksi curah hujan dapat dilakukan secara objektif dan subyektif. Metode subyektif adalah prediksi yang dibuat berdasarkan pertimbangan atau penilaian prakirawan, sedangkan pada metode objektif, prediksi dibuat menggunakan prosedur statistik atau numerik [2].

Prakiraan cuaca yang dikeluarkan oleh BMKG dibuat berdasarkan hasil pengamatan cuaca terakhir, analisis hasil luaran model resolusi rendah, dan pengalaman prakirawan dalam menganalisis cuaca. Penggunaan kemampuan analisis dan pengalaman prakirawan dalam memberikan penilaian yang mereka nilai terbaik dalam proses prediksi cuaca, menyebabkan prakiraan ini diklasifikasikan sebagai metode subyektif. Keluaran

model yang digunakan dari model *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle* (ARPEGE) dengan resolusi $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ dan *Tropical eXtended Limited Area Prediction System* (TXLAPs) dengan resolusi $0.375^\circ \times 0.375^\circ$. TXLAP adalah bagian dari *Limited Area Prediction System* (LAPs). Contoh prakiraan yang dikeluarkan oleh BMKG untuk tanggal 1 Januari 2010, dapat dilihat dalam Lampiran 1. Dalam pembuatan prakiraan ini telah memasukkan pengamatan atmosfer yang tersedia (peta sinoptik, radar, satelit, dan lain-lain), kondisi cuaca sebelumnya termasuk klimatologi sederhana, serta pengalaman prakirawan dalam situasi meteorologi yang sama. Tipe prakiraan ini dapat dikonversi menjadi tipe dikotomi (*binary events*), yaitu bentuk prakiraan hujan atau tidak hujan, sedangkan verifikasi dapat dilakukan dengan cara visual, dikotomi, kontinyu, probabilistik, dan spasial[3].

Prediksi cuaca numerik sudah dilakukan lebih dari 150 tahun sejak Departemen Meteorologi Inggris (*United Kingdom Meteorological Office*, UKMO) mengeluarkan prakiraan cuaca untuk publik dengan menggunakan peta cuaca pada tahun 1854. Namun, tidak berlangsung dengan baik karena ketidakmampuan memberikan justifikasi atau pembenaran ilmiah[4]. Prakiraan cuaca numerik yang sudah dirintis oleh Fry Richardson sejak 1920-an, mulai berkembang pesat seiring peningkatan jaringan pengamatan cuaca meningkat pesat pada saat perang dunia kedua dalam rangka menyediakan informasi cuaca untuk penerbangan militer, dan dimulainya penggunaan komputer untuk prakiraan cuaca oleh John von Neumann[5].

Saat ini model prediksi cuaca numerik telah banyak digunakan untuk menghasilkan prakiraan cuaca oleh banyak institusi penyedia informasi cuaca, baik skala global yang mencakup seluruh bumi maupun skala regional yang hanya mencakup sebagian bumi. Salah satu model cuaca yang banyak digunakan untuk model regional adalah sistem model WRF yang dikembangkan oleh *The Mesoscale and Microscale Meteorology Division of NCAR*, di Boulder, Colorado.

Tabel 1. Daftar stasiun atau pos pengamatan hujan pada setiap wilayah prakiraan curah hujan di Jabodetabek

No.	Wil. Prakiraan	Stasiun atau pos pengamatan			No.	Wil. Prakiraan	Stasiun atau pos pengamatan		
		Nama	Lintang	Bujur			Nama	Lintang	Bujur
1.	Jakarta Pusat	Kemayoran	-6.1600	106.8600	6.	Tangerang	Curug	-6.2541	106.5555
		Manggarai	-6.2075	106.8487			Cengkareng	-6.1256	106.6591
2.	Jakarta Utara	Tanjung Priok	-6.1100	106.8800	7.	Bogor	Bogor	-6.7300	106.9900
		Kelapa Gading	-6.1581	106.9182			Gunung Mas	-6.6830	107.0100
3.	Jakarta Timur	Halim PK	-6.2800	106.8800	8.	Bekasi	Bekasi	-6.2571	107.0126
		Pulomas	-6.1667	106.8809			Tambun	-6.1900	107.0700
4.	Jakarta Selatan	Pakubono	-6.2500	106.7800	9.	Depok	Depok	-6.3900	106.8500
		Cileduk	-6.2200	106.7134					
		Pasar_Minggu	-6.2961	106.8434					
		Ciganjur	-6.3416	106.8141					

1.2. Verifikasi prakiraan

Verifikasi prakiraan cuaca adalah menilai kualitas prakiraan dengan membandingkannya dengan hasil pengamatan yang bersesuaian. Prediksi cuaca pada rezim iklim yang berbeda akan menghasilkan kemampuan (*skill*) prediksi yang berbeda untuk satu model prediksi[6].

Menurut Ramage[4], verifikasi prakiraan cuaca memberikan manfaat, bukan saja pada saat prakiraan itu benar, tetapi prakiraan yang salah juga dapat dimanfaatkan untuk memahami bagaimana memperbaiki prakiraan. Bahkan tingkat kesalahan prakiraan yang sudah diketahui dari suatu model numerik, dapat digunakan untuk memprediksi kemampuan (*skill*) prakiraan cuaca dari model numerik[7]. Bagus atau tidaknya suatu prakiraan dapat ditinjau dari dua sudut pandang, yaitu prakirawan dan pengguna[8]. Pertama adalah dari sudut pandang prakirawan, yaitu kemiripan antara kondisi yang diprakirakan dan kondisi yang terjadi. Kedua, berdasarkan penilaian pengguna, yaitu peran prakiraan dalam pengambilan keputusan.

Verifikasi prakiraan lebih merupakan permasalahan statistik yang meliputi pengolahan dan penarikan kesimpulan tentang hubungan antara data prakiraan dan pengamatan, serta membuat perbandingan antara kemampuan sistem prakiraan dan prakiraan acuan[9]. Ada beberapa alasan dilakukannya verifikasi prediksi, yaitu alasan administratif, ilmiah, dan ekonomi[10]. Secara administratif, hasil verifikasi prediksi akan digunakan sebagai acuan dalam penilaian kinerja suatu sistem prediksi termasuk prakirawan. Secara ilmiah, hasil verifikasi prediksi digunakan dalam memahami kelemahan dan peluang untuk perbaikan suatu prakiraan,

juga pemahaman terhadap proses-proses yang terlibat, dan perbaikan model. Alasan terakhir adalah ekonomi, tinjauannya sangat tergantung kepada penggunaannya dan penilaian “kebaikan”nya (*goodness*) bisa saling bertolak belakang diantara pengguna yang berbeda.

2. Metode Penelitian

2.1. Data

Data curah hujan yang digunakan adalah hasil pengukuran penakar hujan otomatis dan konvensional di wilayah Jabodetabek. Pengamatan hujan secara otomatis dengan menggunakan penakar hujan Tipe Hellman, *Automatic Weather Station* (AWS) dan *Automatic Rain-Gauge* (ARG) dengan interval waktu 10 menit, yaitu tujuh titik pengamatan (Bekasi, Tomang, Kelapa Gading, Manggarai, Pulomas, Ciomas, dan Ciganjur) namun dalam pengolahan data diakumulasi menjadi curah hujan harian (24 jam). Data dari penakar hujan konvensional berupa data curah hujan harian dari 18 stasiun BMKG dan pos pengamatan (Tabel 1).

Verifikasi terhadap prediksi curah hujan yang sudah dibuat oleh BMKG untuk wilayah Jabodetabek menggunakan arsip prediksi yang lampau. Prediksi tersebut terbagi dalam tiga interval waktu, yaitu pagi (00.05 - 12.00 WIB), siang (12.05 - 18.00 WIB), dan malam (18.05 - 24.00 WIB).

Percobaan prediksi numerik menggunakan model WRF dilakukan dengan syarat awal dan syarat batas menggunakan keluaran dari 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>.

Data dan hasil prediksi BMKG yang digunakan, serta prediksi WRF dilakukan untuk bulan Januari, April, Juli, dan Oktober 2010.

Tabel 2. Kategori prakiraan hujan BMKG.

No.	Kategori	Intensitas Curah Hujan	
		Setiap Jam (mm/jam)	Setiap Hari (mm/hari)
1.	tidak hujan (berawan)	-	-
2.	hujan ringan	0.1 – 4.9	0.1 – 19.9
3.	hujan sedang	5.0 – 9.9	20.0 – 49.9
4.	hujan lebat	10.0 – 20	50.0 – 100
5.	hujan sangat lebat	> 20.0	> 100.0

Tabel 3. Contoh Pengklasifikasian prakiraan hujan dengan beberapa interval waktu menjadi prakiraan hujan harian.

Lokasi	Cuaca			Cuaca harian
	Pagi	Siang	Malam	
Jakarta Pusat	Berawan	Berawan	Berawan	<i>Berawan</i>
Jakarta Utara	Berawan	Berawan	Berawan	<i>Berawan</i>
Jakarta Selatan	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan	<i>Hujan ringan</i>
Jakarta Timur	Berawan	Berawan	Berawan	<i>Berawan</i>
Jakarta Barat	Berawan	Berawan	Berawan	<i>Berawan</i>
Bogor	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Hujan ringan – sedang	<i>Hujan sedang</i>
Tangerang	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan	<i>Hujan ringan</i>
Depok	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan	<i>Hujan ringan</i>
Bekasi	Berawan	Berawan	Berawan	<i>Berawan</i>

Data pengamatan curah hujan yang dapat digunakan dalam melakukan verifikasi masih terbatas, karena sebagian besar data yang tersedia adalah data curah hujan harian (jumlah curah hujan dalam 24 jam), sedangkan prakiraan curah hujan harian BMKG dibuat dalam beberapa interval waktu (pagi, siang dan malam). Sehingga verifikasi dilakukan pada curah hujan harian dan sebelum dilakukan verifikasi, prakiraan curah hujan tersebut dimodifikasi menjadi prakiraan curah hujan harian dengan mengambil prakiraan dengan jumlah curah hujan terbesar dari masing-masing interval dalam satu hari sebagai prakiraan yang akan diverifikasi. Hal ini penting diperhatikan agar sistem prediksi yang dibandingkan berada dalam kondisi yang identik seperti situasi prakiraan, variabel cuaca, dan lokasi [11]. Contoh perubahan klasifikasi prakiraan hujan dari beberapa interval waktu menjadi prakiraan hujan harian, diperlihatkan dalam Tabel 3. Untuk verifikasi prakiraan dimulai dengan membandingkan prediksi hujan harian dengan hasil pengamatan.

2.2. Pengolahan data

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan verifikasi prakiraan curah hujan secara statistik, prediksi curah hujan dengan model cuaca numerik, dan pengujian akurasi hasil prediksi.

2.2.1 Verifikasi prakiraan cuaca

Menurut Wilks (1995) kejadian hujan yang diprakirakan dinilai memiliki sifat eksklusif, yaitu tidak boleh lebih dari satu kejadian yang terjadi, dan sedikitnya satu kejadian akan terjadi dalam satu waktu, sifat ini dikenal juga dengan istilah MECE (*mutually exclusive and collective exclusive*). Sifat eksklusif ini apabila diterapkan dalam prakiraan curah hujan yang dikeluarkan oleh BMKG, maka kejadian hujan akan terdiri dari 5 (lima) kategori, seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.

Prakiraan dibuat berdasarkan batasan kabupaten (atau kota) dan disebut juga wilayah prakiraan, maka curah hujan harian dari masing-masing stasiun dijadikan dasar untuk menyatakan hujan dan tidak-hujan di suatu wilayah prakiraan, daftar stasiun pengamatan yang digunakan untuk verifikasi dapat dilihat di Tabel 3.

Suatu wilayah prakiraan didefinisikan terjadi hujan apabila salah satu titik atau stasiun pengamatan yang berada dalam wilayah tersebut mencatat hujan diatas 1 mm, 50 mm, dan 100 mm dalam satu hari, masing-masing untuk hujan dikotomi, hujan lebat, dan hujan sangat lebat. Selanjutnya prediksi yang benar (*hits*, dan *correct negatives*), dan yang salah (*false alarms* dan *misses*) dimasukkan dalam tabel kontijensi (Tabel 4).

Verifikasi juga dilakukan dengan menggunakan nilai ambang (*threshold*) 50 mm dan 100 mm per hari, untuk memperlihatkan kemampuan (akurasi dan *skill*) metode atau model dalam memprediksi hujan yang berpotensi terjadinya banjir dan ekstrim (sangat lebat).

2.2.2. Akurasi prediksi

Akurasi adalah tingkat kesesuaian antara prakiraan dan pengamatan. Akurasi dapat ditunjukkan dengan beberapa nilai statistik, antara lain bias, akurasi, *threat score* (TS), *probability of detection* (POD), *false alarm ratio* (FAR) dan *Heidke skill score* (HSS) [3,12].

Tabel 4. Tabel kontijensi untuk verifikasi prakiraan

		Observasi	
		Ya	Tidak
Prediksi	Ya	Hits	False Alarms
	Tidak	Misses	Correct Negatives

Bias merupakan perbandingan rata-rata prakiraan terhadap rata-rata pengamatan, dan menunjukkan frekuensi suatu kejadian prakiraan dibandingkan dengan kejadian yang diamati. Nilai Bias dapat menunjukkan bagaimana hubungan antara prediksi kejadian “ya” dengan pengamatan “ya”, dapat diperoleh dengan persamaan (1). Nilainya berada antara 0 sampai 1, dengan bias = 1, merupakan nilai terbaik. Nilai bias dihitung berdasarkan tabel kontijensi (Tabel 4).

$$Bias = \frac{Hits + False\ Alarms}{Hits + Misses} \quad (1)$$

Threat score (TS) dapat menunjukkan perbandingan prakiraan kejadian “ya” dengan pengamatan kejadian “ya”, dihitung dengan persamaan berikut :

$$TS = \frac{Hits}{Hits + False\ Alarms + Misses} \quad (2)$$

Nilai TS berkisar antara 0 dan 1, 0 menunjukkan prediksi tanpa skill dan 1 untuk prediksi yang terbaik.

Sedangkan nilai akurasi menunjukkan bagian prakiraan yang benar secara keseluruhan. Akurasi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Akurasi = \frac{Hits + Correct\ Negatives}{Total} \quad (3)$$

Nilai akurasi antara 0 sampai 1. Prakiraan sempurna, jika akurasi sama dengan 1. Parameter akurasi menunjukkan kebenaran prakiraan secara keseluruhan. Probabilitas kejadian yang dapat dideteksi oleh model prediksi (*Probability of detection*, POD), adalah bagian kejadian yang diamati terjadi (“ya”) serta diprediksi. Nilainya berada antara 0 dan 1, nilai terbaik pada saat POD=1.

$$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses} \quad (4)$$

Jumlah kejadian yang diprediksi akan terjadi (“ya”), tetapi tidak terjadi ditunjukkan dengan rasio false alarm (*false alarm ratio*, FAR). Nilainya berkisar antara 0 dan 1, dengan FAR=0 merupakan nilai terbaik.

$$FAR = \frac{False\ Alarms}{Hits + False\ Alarms} \quad (5)$$

Verifikasi juga akan digunakan *Hiedke skill score* (HSS) yang dapat memberikan akurasi relatif prakiraan terhadap peluang acak (random). Nilai HSS, dihitung dengan persamaan (6).

$$HSS = \frac{(Hits + Correct\ Negatives) - (Expected\ Correct)_{random}}{(Expected\ Correct)_{random}} \quad (6)$$

Dimana,

$$(Expected\ Correct)_{random} = \frac{[(Hits + Misses)(Hits + False\ Alarms) + (Correct\ Negatives + Misses)(Correct\ Negative + False\ Alarms)]}{Total}$$

Interval nilai HSS adalah - sampai 1, Nilai 1, menunjukkan prakiraan sempurna.

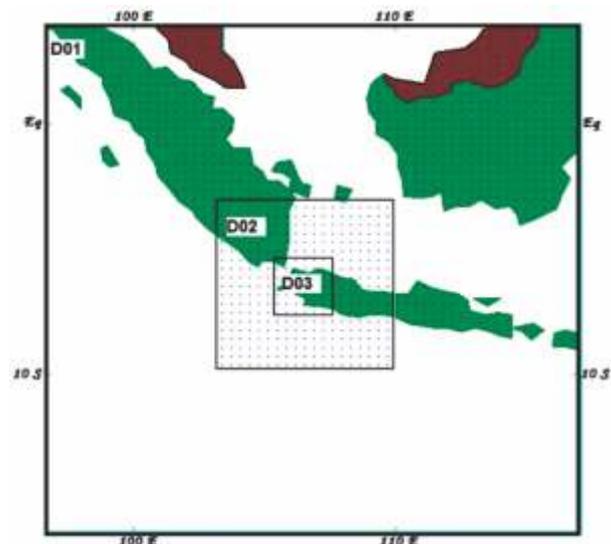
Pengertian dan penggunaan nilai akurasi diatas secara lengkap dijelaskan oleh Wilks [3] dan CAWCR[13].

2.2.3. Model Cuaca numerik dan rancangan percobaan model WRF

Model prediksi cuaca numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah model WRF Ver.3.1 [14].

Dalam prediksi curah hujan, pemilihan parameterisasi konveksi dan mikrofisika lebih besar pengaruh dibandingkan dengan pemilihan skema lapisan batas planeter[15]. Peningkatan akurasi juga dapat diperoleh dari peningkatan resolusi horizontal[16,17, 18]. Namun, penggunaan resolusi 2 km memberikan hasil yang mirip dengan hasil dari resolusi 4 km[19].

Dalam penelitian ini, skema parameterisasi digunakan berdasarkan pada hasil prediksi yang terbaik dari kombinasi semua parameter konveksi (cumulus) dan mikrofisik yang tersedia pada model WRF, yaitu skema mikrofisika Lin dan skema konveksi Kain-Fristch pada domain induk (resolusi rendah) serta secara eksplisit pada domain resolusi tinggi [20].



Gambar 1. Domain model bersarang (*nested model*) yang diteliti. Resolusi domain masing-masing, 27 km (D01), 9 km (D02) dan 3 km (D03).

Desain penelitian ini secara lebih detail yaitu menggunakan skema mikrofisika Lin, yang merupakan skema yang handal untuk simulasi data real dengan resolusi tinggi[21]. 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[22]. Skema Dudhia untuk radiasi gelombang pendek, merupakan integrasi sederhana untuk absorpsi dan *scattering* awan dan langit cerah [23]. Parameterisasi lapisan batas dengan *Yonsei University Scheme* (YSU), merupakan penerus dari *Medium Range Forecast* (MRF)–PBL, suatu skema non-lokal-K dengan suatu lapisan entrainment eksplisit dan profil K parabolik pada lapisan pencampuran tidak stabil[24]. Percobaan juga menggunakan multi-nesting, pada domain kasar (D1, dan D2) digunakan skema konveksi Kain-Fritsch[25], dan tanpa parameterisasi konveksi (eksplisit) pada domain resolusi tinggi (D3).

Beberapa peneliti telah menguji kemampuan model WRF dalam simulasi dan prediksi cuaca khususnya kejadian ekstrim (atau jarang terjadi), antara lain Litta dan Mohanty[15] menggunakan WRF untuk memprediksi indek stabilitas (*stability index*) yang merupakan indikator aktivitas konveksi yang buruk (*severe convection activity*). Rakesh et al[16] untuk aplikasi prakiraan cuaca jangka pendek di India. Routray et al. [17] berhasil membuat simulasi tiga kejadian curah hujan lebat akibat dari Siklon-siklon Troposfer Menengah (*Mid-Tropospheric Cyclones*, MTC) dan beberapa peneliti lainnya sudah menggunakan model WRF dengan asimilasi data, seperti : Xiao et al [18], Xioa dan Sun[19], Xioa et al [20], Abhilash et al [21], Xioa et al [22], Rajeevan et al [23].

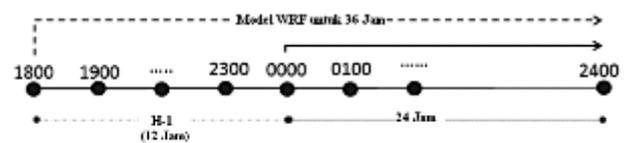
Domain model dapat diturunkan dari domain global menjadi domain yang lebih kecil dan dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, proses ini disebut juga *downscaling*[24]. Dalam penelitian ini, model global GFS yang di-*downscaling* secara dinamik untuk menghasilkan pola cuaca yang lebih detail sesuai dengan kondisi lokal seperti topografi, garis pantai dan lain-lain.

Tabel 5. Perbandingan nilai akurasi prediksi operasional curah hujan harian dikotomi untuk wilayah Jabodetabek pada bulan Januari, April, Juli, Oktober 2010.

Lokasi	Akurasi	POD	Bias	TS	FAR	HSS
Jakarta Utara	0.65	0.92	1.62	0.54	0.43	0.70
Jakarta Pusat	0.62	0.77	1.32	0.49	0.42	0.88
Jakarta Selatan	0.66	0.99	1.48	0.66	0.33	1.02
Jakarta Timur	0.55	0.96	1.90	0.49	0.49	0.77
Jakarta Barat	0.63	0.81	1.31	0.54	0.38	0.89
Tangerang	0.55	0.86	1.75	0.46	0.51	0.88
Bogor	0.74	1.00	1.35	0.74	0.26	0.00
Bekasi	0.70	0.76	0.91	0.66	0.17	0.90
Depok	0.49	0.96	1.96	0.48	0.51	1.02
Jabodetabek	0.62	0.90	1.48	0.57	0.39	0.99

Domain resolusi lebih tinggi yang dibuat memiliki 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 6.57 LS, 106.43 BT. Masing-masing domain memiliki jumlah grid horizontal 85 x 85 (Gambar 1). Data topografi menggunakan *Digital Elevation Model* USGS dengan resolusi 0.033 (2 menit busur) dan sistem proyeksi peta Mercator.

Untuk prediksi curah hujan harian selama empat bulan yaitu Januari, April, Juli, dan Oktober 2010 digunakan syarat awal dan syarat batas untuk D1 dari model prediksi cuaca global GFS. Hasil dari D1 digunakan sebagai syarat awal dan syarat batas untuk D2, dan D3 menggunakan hasil D2.



Gambar 2. Skema Prediksi dengan Model WRF

Parameter analisis seperti suhu, kelembaban, tinggi geopotensial, dan angin diinterpolasi ke grid skalameso dengan proses inisialisasi standar WRF, menggunakan komponen pra-pengolahan *WRF Preprocessing System* (WPS).

Prediksi curah hujan harian (24 jam) juga menggunakan waktu *spin up* 12 jam. *Spin up* berguna untuk menghindari proses konveksi yang tidak realistis [25, 26]. Analisis dan verifikasi dilakukan terhadap hasil simulasi domain 3 (D3) terutama saat kejadian curah hujan (ekstrim). Skema prediksi curah hujan ditampilkan dalam Gambar 2.

Verifikasi model WRF dilakukan dengan menggunakan nilai curah hujan harian rata-rata sembilan titik grid, atau curah hujan rata-rata area 6 km x 6 km, hasil ini memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan nilai curah hujan satu titik grid.

Tabel 5. Perbandingan nilai akurasi prediksi operasional curah hujan harian dikotomi untuk wilayah Jabodetabek pada bulan Januari, April, Juli, Oktober 2010.

Lokasi	Akurasi	POD	Bias	TS	FAR	HSS
Jakarta Utara	0.65	0.92	1.62	0.54	0.43	0.70
Jakarta Pusat	0.62	0.77	1.32	0.49	0.42	0.88
Jakarta Selatan	0.66	0.99	1.48	0.66	0.33	1.02
Jakarta Timur	0.55	0.96	1.90	0.49	0.49	0.77
Jakarta Barat	0.63	0.81	1.31	0.54	0.38	0.89
Tangerang	0.55	0.86	1.75	0.46	0.51	0.88
Bogor	0.74	1.00	1.35	0.74	0.26	0.00
Bekasi	0.70	0.76	0.91	0.66	0.17	0.90
Depok	0.49	0.96	1.96	0.48	0.51	1.02
Jabodetabek	0.62	0.90	1.48	0.57	0.39	0.99

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Verifikasi prediksi curah hujan operasional

Verifikasi terhadap hasil prediksi curah hujan harian dikotomi (ya atau tidak) pada bulan Januari, April, Juli, dan Oktober 2010 ditunjukkan dengan beberapa parameter statistik yaitu bias, *threat score*, akurasi, *probability of detection*, *false alarm ratio*, dan *Heidke skill score*.

Verifikasi dilakukan per wilayah prakiraan, kecuali kepulauan seribu karena keterbatasan data pengamatan. Sebelum dilakukan verifikasi, kategori hujan per wilayah prakiraan (kabupaten) ditentukan terlebih dahulu. Suatu wilayah prakiraan dikatakan terjadi hujan, terjadi hujan lebat, atau terjadi hujan sangat lebat apabila salah satu stasiun pengamatan di wilayah prakiraan (kabupaten) tersebut mencatat hujan sesuai dengan nilai ambang (*threshold*) hujan (> 1 mm/hari), hujan lebat (>50 mm/hari), dan hujan sangat lebat (>100 mm/hari).

Hasil verifikasi prakiraan dikotomi (ya/tidak-hujan) seperti diperlihatkan dalam Tabel 5. Berdasarkan parameter akurasi yang digunakan, untuk wilayah Jabodetabek menunjukkan nilai akurasi sebesar 62%, kemampuan mendeteksi kejadian hujan (POD) yang cukup tinggi yaitu 0.90, artinya 90 persen dari hujan yang terjadi adalah dapat diprediksi.

Verifikasi dilakukan per wilayah prakiraan, kecuali kepulauan seribu karena keterbatasan data pengamatan. Sebelum dilakukan verifikasi, kategori hujan per wilayah prakiraan (kabupaten) ditentukan terlebih dahulu. Suatu wilayah prakiraan dikatakan terjadi hujan, atau terjadi hujan lebat, atau terjadi hujan sangat lebat apabila salah satu stasiun pengamatan di wilayah prakiraan (kabupaten) tersebut mencatat hujan sesuai dengan nilai

ambang (*threshold*) hujan (> 1 mm/hari), hujan lebat (>50 mm/hari), dan hujan sangat lebat (>100 mm/hari).

Hasil verifikasi prakiraan dikotomi (ya/tidak-hujan) seperti diperlihatkan dalam Tabel 5. Berdasarkan parameter akurasi yang digunakan, untuk wilayah Jabodetabek menunjukkan nilai akurasi sebesar 62%, kemampuan mendeteksi kejadian hujan (POD) yang cukup tinggi yaitu 0.90, artinya 90 persen dari hujan yang terjadi adalah dapat diprediksi.

Prediksi operasional BMKG cenderung menghasilkan prediksi hujan yang jauh lebih besar dibandingkan jumlah kejadian hujan observasi (*over-forecast*), yang ditunjukkan oleh nilai bias sebesar 1.48. Perbandingan jumlah kejadian yang diprediksi dengan benar terhadap seluruh kejadian yang diamati dan diprediksi ditunjukkan oleh nilai *threat score*, dengan nilai 0.57, dan perbandingan kejadian yang tidak terdeteksi (tidak diprediksi) terhadap total prediksi kejadian yang direpresentasikan dengan nilai FAR sebesar 0.37. Sedangkan akurasi prakiraan relatif terhadap peluang random, ditunjukkan oleh nilai *HSS* yaitu 0.99.

Berdasarkan parameter diatas, kecuali hasil prediksi yang cenderung *over-forecast*, secara umum dapat dikatakan bahwa prediksi operasional BMKG memiliki kemampuan yang cukup baik untuk memprediksi kejadian hujan di Jabodetabek.

Apabila kemampuan metode ini dilihat per wilayah prakiraan, ditemukan perbedaan kemampuan pada masing-masing wilayah. Prediksi operasional lebih handal di beberapa wilayah prakiraan, yaitu Bogor, Bekasi, dan Jakarta Selatan, dibandingkan wilayah Depok, Tangerang dan Jakarta Timur.

Tabel 6. Kejadian hujan lebat dan sangat lebat bulan Januari, April, Juli dan Oktober 2010 di Jabodetabek.

Tanggal	Jakarta Utara	Jakarta Selatan	Jakarta Timur	Jakarta Barat	Bogor	Tangerang	Bekasi	Depok
03-Jan-10							92.0	
08-Jan-10		61.0						
10-Jan-10	54.0				70.0		64.0	
14-Jan-10							80.0	
15-Jan-10	71.0				61.0			
17-Jan-10		50.0						
18-Jan-10	71.0					64.0		
19-Jan-10	75.0	74.0	76.2	53.0		79.0	72.0	
20-Jan-10					58.5			
22-Jan-10	83.0							
26-Jan-10			67.4			56.0		
28-Jan-10					99.0			
09-Apr-10						67.0		
15-Apr-10		59.0						
30-Apr-10								70.0
04-Jul-10				96.6				
09-Jul-10				92.0				
20-Jul-10		53.0		61.0	66.0			
22-Jul-10		61.0						
03-Okt-10		50.0		59.0				
04-Okt-10	52.0	81.0		64.0				62.0
07-Okt-10		73.0			70.0			
08-Okt-10						50.0		
09-Okt-10					150.0			
15-Okt-10		57.0			78.0			
18-Okt-10								84.0
19-Okt-10					60.0			
21-Okt-10					78.0			
22-Okt-10		58.5			60.0			63.0
23-Okt-10		50.0						86.0
25-Okt-10				64.0				
26-Okt-10	51.0	155.5	84.0	167.0		67.0		
27-Okt-10				58.0				
28-Okt-10								50.0
JUMLAH KEJADIAN	7	13	3	9	11	6	4	6

Hasil pengamatan selama empat bulan (Januari, April, Juli, dan Oktober 2010) mencatat 33 hari kejadian hujan lebat. Berdasarkan lokasi (wilayah prakiraan) hujan lebat paling sering terjadi di Bogor dengan sebelas kejadian diikuti oleh Jakarta Selatan, dan Jakarta Barat masing-masing dengan sepuluh dan sembilan kejadian. Sedangkan daerah lainnya kurang dari tujuh kejadian.

Secara keseluruhan terdapat 61 kejadian hujan lebat di wilayah ini (Tabel 6).

Prediksi operasional tersebut memperlihatkan kualitas prediksi yang sangat rendah, dimana kemampuan memprediksi hujan lebat dengan benar (*hits*) adalah 2 kejadian (Tabel 7). Ketidakkampuan ini secara

kuantitatif juga dapat ditunjukkan oleh nilai bias, *threat score*, POD, dan FAR masing-masing adalah 0.13, 0.03, 0.04, dan 0.75. Hal ini memperlihatkan bahwa prediksi operasional *under-forecast* terhadap curah hujan lebat, hanya mampu mendeteksi empat persen kejadian (dan melewatkan 96 persen).

Tabel 7. Kemampuan prediksi operasional curah hujan lebat dan sangat lebat harian di Jabodetabek pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober 2010.

	Hujan lebat	Hujan sangat lebat
<i>HITS</i>	2	0
<i>FALSE ALARMS</i>	6	0
<i>Correct Neg.</i>	-	-
<i>MISSes</i>	59	3

Kualitas prediksi yang rendah dari metode ini juga diperlihatkan dalam prediksi hujan sangat lebat. Selama periode kajian tercatat tiga kejadian hujan sangat lebat atau intensitas curah hujan 100 mm/hari (Tabel 7), tetapi tidak ada satupun kejadian tersebut yang berhasil diprediksi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode operasional dalam prediksi hujan sangat lebat di daerah ini belum mampu untuk menghasilkan prediksi curah hujan dengan klasifikasi tersebut (*hits dan false alarms*) sama dengan nol. Hal ini memperlihatkan bahwa disamping perbaikan metode pengambilan keputusan oleh prakirawan, kajian tentang penyebab terjadinya hujan sangat lebat di wilayah ini masih harus dikembangkan untuk menemukan prekursor yang lebih baik untuk prediksi curah hujan sangat lebat.

3.2. Verifikasi prediksi curah hujan model WRF

Prediksi curah hujan dengan model WRF menggunakan skema konveksi Kain-Fritsch (KF) di domain luar (D1, dan D2) dan eksplisit di domain resolusi tinggi (D3). Sedangkan, skema mikrofisika menggunakan skema Lin. Prediksi dimulai pada pukul 12.00 Z selama 36 jam

ke depan, dan hasil prediksi 12 jam pertama diabaikan (proses “*spin up*”). Hasil prediksi setelah pukul 00.00 Z sampai 24.00 Z diperhitungkan sebagai curah hujan satu hari. Syarat batas dan syarat awal yang digunakan adalah keluaran model global GFS yaitu *cycle 1200Z*. Verifikasi terhadap hasil prediksi curah hujan harian Model WRF dilakukan dengan prosedur yang sama seperti yang dilakukan dalam verifikasi prediksi BMKG diatas (bagian 3.1) dan hasil verifikasi prakiraan dikotomi (ya/tidak-hujan) untuk model WRF diperlihatkan dalam Tabel 8.

Hasil verifikasi memperlihatkan model WRF memiliki akurasi 56 persen dan cenderung *under-forecast* berdasarkan nilai bias sebesar 0.78. Sementara *threat score*, akurasi, dan *POD* dari prediksi operasional BMKG adalah lebih baik, sedangkan nilai bias, FAR, dan HSS memperlihatkan hasil prediksi model WRF yang lebih baik.

Dalam penelitian ini juga dilakukan verifikasi terhadap hujan lebat dan sangat lebat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan metode ini memprediksi hujan harian untuk kategori hujan yang lebih berpotensi menimbulkan bencana alam seperti banjir dan longsor. Berdasarkan prosedur verifikasi yang sama dengan prediksi dikotomi, hasilnya menunjukkan prediksi curah hujan lebat (50 mm - 100 mm/hari) dari prediksi operasional memiliki kualitas prediksi yang sangat rendah, jauh di bawah kemampuannya memprediksi hujan dikotomi.

Apabila nilai akurasi dilihat per wilayah prakiraan, ditemukan sedikit perbedaan. Prediksi operasional lebih handal di sebagian besar wilayah prakiraan (Jakarta Utara, Jakarta Pusat, Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Barat dan Bekasi), sedangkan model WRF lebih handal di wilayah Tangerang dan Depok. Untuk wilayah Bogor, kemampuan kedua metode hampir sama.

Dalam memprediksi hujan lebat dan sangat lebat, model WRF mampu memprediksi hujan lebat sebanyak 4 kejadian dan sama sekali belum mampu mendeteksi.

Tabel 8. Sama dengan Tabel 5 tetapi untuk Model WRF.

Lokasi	Akurasi	POD	Bias	TS	FAR	HSS
Jakarta Utara	0.52	0.32	0.70	0.23	0.54	0.95
Jakarta Pusat	0.47	0.27	0.63	0.20	0.57	0.96
Jakarta Selatan	0.58	0.58	0.81	0.48	0.27	0.92
Jakarta Timur	0.52	0.37	0.78	0.26	0.53	0.94
Jakarta Barat	0.57	0.35	0.52	0.31	0.31	0.90
Tangerang	0.56	0.57	1.14	0.36	0.50	0.92
Bogor	0.73	0.90	1.15	0.71	0.22	0.95
Bekasi	0.46	0.30	0.32	0.30	0.05	0.07
Depok	0.64	0.61	0.94	0.46	0.35	0.87
Jabodetabek	0.56	0.50	0.78	0.39	0.36	0.99

Dalam memprediksi hujan lebat dan sangat lebat, model WRF mampu memprediksi hujan lebat sebanyak 4 kejadian dan sama sekali belum mampu mendeteksi akan terjadi hujan sangat lebat dengan benar. Nilai bias, *threat score*, POD dan FAR menunjukkan kemampuan model WRF dalam memprediksi hujan lebat lebih baik dibandingkan dengan prediksi hujan sangat lebat. Hal ini dapat dilihat dari nilai *hits* yang lebih rendah dan *false alarms* yang besar (Tabel 9).

Prediksi hujan lebat dengan model WRF seperti metode objektif lainnya mampu mendeteksi lebih banyak kejadian (POD tinggi) dan cenderung *over-forecast* (FAR tinggi) dibandingkan dengan prediksi operasional. Hasil seperti ini juga diperoleh untuk prediksi badai guntur [27]. Jumlah *False alarms* yang tinggi dalam prediksi curah hujan lebat dan sangat lebat merupakan masalah yang biasa ditemukan dalam prediksi kejadian ekstrim atau jarang terjadi [28].

Prediksi yang menggunakan metode WRF dan prediksi operasional BMKG diatas khususnya untuk prediksi hujan sangat lebat (ekstrim), belum memberikan hasil prediksi yang baik. Hasil ini memperlihatkan bahwa prediksi curah hujan lebat dan sangat lebat masih membutuhkan usaha dan kajian untuk menghasilkan kualitas prediksi yang lebih baik.

Tabel 9. Sama dengan Tabel 7, tetapi untuk Model WRF

	Hujan lebat	Hujan sangat lebat
<i>HITS</i>	4	0
<i>FALSE ALARMS</i>	35	7
<i>Correct Neg.</i>	-	-
<i>MISSes</i>	57	3

4. Kesimpulan

Berdasarkan verifikasi yang dilakukan terhadap prediksi operasional (BMKG), prediksi dan verifikasi dengan model WRF untuk curah hujan harian pada bulan Januari, April, Juli, dan Oktober 2010 di Jabodetabek dapat disimpulkan:

1. Kemampuan (akurasi) metode prediksi yang sudah operasional di BMKG dalam memprediksi curah hujan dikotomi (ya/tidak) sudah cukup baik dibandingkan untuk prediksi curah hujan lebat, dan hujan sangat lebat.
2. Model WRF mampu menghasilkan prediksi yang mendekati hasil prediksi operasional, dan juga mampu memprediksi curah hujan lebat dan sangat lebat walaupun cenderung menghasilkan prediksi yang *over-forecast*.
3. Kemampuan prediksi kedua metode tersebut berbeda pada masing-masing wilayah prakiraan. Hal ini memperlihatkan pentingnya prediksi dengan resolusi tinggi untuk wilayah Jabodetabek.

Hasil ini memperlihatkan bahwa prediksi curah hujan harian terutama untuk kategori hujan lebat dan sangat lebat masih membutuhkan usaha dan kajian yang lebih lanjut untuk menghasilkan kualitas prediksi yang baik. Penelitian terhadap faktor-faktor pembangkit cuaca di wilayah Jabodetabek khususnya curah hujan sangat lebat diharapkan dapat meningkatkan akurasi prediksi curah hujan sangat lebat. Pengujian lebih lanjut terhadap skema mikrofisika dan konveksi dengan lebih banyak kasus sebelum digunakan, serta peningkatan kualitas syarat awal dengan asimilasi data pengamatan dan resolusi tinggi untuk memperbaiki syarat awal juga dapat dilakukan untuk meningkatkan akurasi prediksi curah hujan dari model cuaca numerik [29], terutama pemodelan cuaca numerik resolusi tinggi [30].

Daftar Pustaka

- [1] Olson, D. A., N. W. Junker, & B. Korty, (1995). Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea. Forecasting*, 10, 498–511.
- [2] Murphy, A. H. & Brown, B. G. (1984), A comparative evaluation of objective and subjective weather forecasts in the united states. *J. Forecast.*, 3, 369–393
- [3] Wilks, D. S., (1995). *Statistical methods in atmospheric sciences: an introduction*, Academic Press, New York.
- [4] Ramage, C. S (1993). Forecasting in meteorology, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 1863–1871.
- [5] Harper, K., L. W. Uccellini, E. Kalnay, K. Carey, & L. Morone, (2007). 50th Anniversary of operational numerical weather prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 639–650
- [6] Tartaglione, N., (2010). Relationship between precipitation forecast errors and skill scores of dichotomous forecasts, *Wea. Forecasting*, 25, 355-365
- [7] Leslie, L. M., K. Fraedrich, & T. J. Glowacki (1989). Forecasting skill of a regional numerical weather prediction model, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 550-557.
- [8] Murphy, A. H., 1993. What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting. *Wea. Forecasting*, 8, 281–293.
- [9] Potts, J. M., (2003). *Basic concept forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. Edited by I.T. Jolliffe and D.B. Stephenson), John Wiley & Sons, Ltd, 13-36
- [10] Jolliffe, I.T., & D.B. Stephenson (2003). *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. Edited by I.T. Jolliffe and D.B. Stephenson 2003 John Wiley & Sons, Ltd ISBN: 0-49759-2
- [11] Murphy, A. H., (1991). Forecast verification : its complexity and dimensionality, *Mon. Wea. Rev.*, 119, 1590-1601

- [12]Fowle, M. A., & P. J. Roebber, (2003). Short-range (0–48 h) numerical prediction of convective occurrence, mode, and location. *Wea. Forecasting*, 18, 782–794
- [13]CAWCR-The Centre for Australian Weather and Climate Research, (2010). Forecast verification: issues, methods and FAQ, (<http://www.cawcr.gov.au/-projects/verification>), diakses tanggal 22 April 2010.
- [14]Wang, W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H. C. Lin, et.al. (2010). ARW version 3 modeling system user's guide, (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>). diakses tanggal 09 Mei 2010.
- [15]Jankov, I., W. A. Gallus, M. Segal, B. Shaw, & 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.
- [16]Davis, C., B. Brown, & R. Bullock, (2006). Object-based verification of precipitation forecasts. part ii: application to convective rain systems. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1785–1795.
- [17]Gilliland, E. K., & C. M. Rowe, (2007): A comparison of cumulus parameterization schemes in the WRF model. Preprints, 21st Conf. on Hydrology, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., P2.16.
- [18]Weisman, M. L., C. Davis, W. Wang, K. W. Manning, & J. B. Klemp, (2008): Experiences with 0–36-h explicit convective forecasts with the WRF-ARW model. *Wea. Forecasting*, 23, 407–437.
- [19]Schwartz, C. S., J. S. Kain, S. J. Weiss, M. Xue, D. R. Bright, F. Kong, K. W. Thomas, J. J. Levit, & M. C. Coniglio (2009). Next-day convection-allowing wrf model guidance: a second look at 2-km versus 4-km grid spacing. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 3351–3372.
- [20]Indragustari, T. W. Hadi, S. Hadi, & F. Renggono, (2012) : *Prediksi curah hujan harian gengan model WRF di wilayah Jabodetabek*. Laporan Kemajuan II. Program Doktor Sains Kebumihan, Insitut Teknologi Bandung
- [21]Lin, Y.-L., R. D. Farley, & H. D. Orville, (1983). Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065–1092.
- [22]Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, & 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
- [23]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.
- [24]Hong, S.-Y., Y. Noh, & J. Dudhia, (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
- [25]Kain, J. S., (2004). The Kain–Fritsch convective parameterization: an update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
- [26]Litta, A. J., & U. C., Mohanty (2008) : Simulation of a severe thunderstorm event during the field experiment of STORM programme 2006, using WRF–NMM model. *Current Science*, 95, 204–215.
- [27]Rakesh, V., R. Singh, & P. C. Joshi (2009) : Intercomparison of the performance of MM5/WRF with and without satellite data assimilation in short-range forecast applications over the Indian region. *Meteorol. Atmos. Phys.* 105. 133–155
- [28]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 syste. *Meteorol. Atmos. Phys.* 102. 107-125
- [29]Xiao, Q., N. Y. H. Kuo, J. Sun, W. C. Lee, E. Lim, Y. R. Guo, et al (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.
- [30]Xiao, Q., & J. Sun, (2007): Multiple radar data assimilation dan short-range QPF of a squall line observed during IHOP_2002. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3381–3404.
- [31]Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, D. M. Barker, & E. Lim, (2007). 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.
- [32]Abhilash, S., S. Das, S. R. Kalsi, M. D. Gupta, K. Mohankumar, J. P. George, et.al. (2007). Assimilation of Doppler Weather Radar observations in a Mesoscale model for the prediction of intense rainfall events associated with mesoscale convective systems using 3DVAR; *J. Earth Syst. Sci.* 116(3), 275–304.
- [33]Xiao, Q., E., Lim, D. Won, J. Sun, W. C. Lee, M. S. Lee, W. J. Lee, J. Y. Cho, Y. H. Kuo, D. M. Barker, D. K. Lee, & H. S. Lee (2008). Doppler radar data assimilation in KMA's operational forecasting. *Am. Wea. Rev.* 39-43. Doi:10.1175/BAMS-89-1-39.
- [34]Rajeevan, M., A. Kesarkar, S. B. Thampi, T. N. Rao, B. Radhakrishna, & M. Rajasekhar, (2010). Sensitivity of WRF cloud microphysics to simulations of a severe thunderstorm event over Southeast India, *Ann. Geophys.*, 28, 603–619.
- [35]Pielke, R. A., Sr (2002). *Mesoscale meteorological modeling*. 2nd Edition, New York: Academic Press.
- [36]Karyampudi, V. M, G. S. Lai, & J. Manobianco, (1998). Impact of initial conditions, rainfall

assimilation, and cumulus parameterization on simulations of hurricane florence (1988). *Mon. Wea. Rev.*, 126, 3077–3101

- [37]Zhao, Q, J. Cook, Q. Xu, & P. R. Harasti, (2008). Improving short-term storm predictions by assimilating both radar radial-wind and reflectivity observations. *Wea. Forecasting*, 23, 373–391.
- [38]Giaiotti, D., & F. Stel, (2001). *A comparison between subjective and objective thunderstorm forecasts.* *Atmos. Res.*, 56, 111–126
- [39]Murphy, A. H., (1991). Probabilities, odds, and

forecasts of rare events, *Wea. Forecasting*, 6, 302-307

- [40]Kalnay, E (2003). Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge: Cambridge Univ Press.
- [41]Sun, J., & 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.

Lampiran



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
DEPUTI BIDANG METEOROLOGI
 JL. Angkasa I. No.2, Kemayoran, Jakarta Pusat, 10720, Telp : 021 4246321,
 Fax : 021 4246703 P.O. Box 3540 Jkt, Website : <http://meteo.bmg.go.id>

PRAKIRAAN CUACA WILAYAH JABODETABEK
TANGGAL 01 JANUARI 2010

LOKASI	CUACA		
	PAGI (00.05 – 12.00)	SIANG (12.05 – 18.00)	MALAM (18.05 – 24.00)
JAKARTA PUSAT	Berawan	Berawan	Berawan dan hujan ringan
JAKARTA UTARA	Berawan	Berawan	Berawan dan hujan ringan
JAKARTA SELATAN	Berawan	Berawan dan hujan ringan-sedang	Berawan dan hujan ringan
JAKARTA TIMUR	Berawan	Berawan dan hujan ringan-sedang	Berawan dan hujan ringan
JAKARTA BARAT	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan
JAKARTA KEPULAUAN SERIBU	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan	Berawan
BOGOR	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan-sedang	Berawan dan hujan ringan
TANGERANG	Berawan	Hujan ringan kadang sedang	Berawan dan hujan ringan
DEPOK	Berawan	Berawan dan hujan ringan-sedang	Berawan dan hujan ringan
BEKASI	Berawan	Berawan dan hujan ringan	Berawan dan hujan ringan

Peringatan Dini : Waspada potensi hujan ringan-sedang yang disertai kilat/petir dan angin kencang berdurasi singkat terutama di wilayah Bogor, Tangerang, Depok, Jakarta Selatan, dan Jakarta Timur.

CATATAN:

Intensitas hujan:

- Hujan ringan : 1.0 – 5.0 mm/jam 5 – 20 mm/hari
- Hujan sedang : 5.0 – 10 mm/jam 20 – 50 mm/hari
- Hujan lebat : 10 – 20 mm/jam 50 – 100 mm/hari
- Hujan sangat lebat : > 20 mm/jam > 100 mm/hari

Lampiran 1. Contoh Prediksi cuaca harian di Jabodetabek yang dikeluarkan oleh BMKG.