

SKEMA PARAMETERISASI KUMULUS UNTUK PREDIKSI HUJAN DI WILAYAH BANDAR LAMPUNG

Achmad Rafli Pahlevi

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

Pos-el : raflithium@hotmail.com

Abstract

Weather Research and Forecasting Model - Advanced Weather Research (WRF - ARW) is one of the Numerical Weather Prediction (NWP) models, which is not completely solved the atmosphere equations explicitly. Because of that, the need for parameterization which capable to calculate the processes occurring in the atmosphere without having to model it directly. One parameterization contained in the model WRF - ARW is the cumulus parameterization, which is the scheme Kain - Fritsch (KF), Betts - Miller - Janjic (BMJ), Grell 3D ensemble, and Multi Scale Kain-Fritsch (MSKF) with the aim to get the forecast rain more accurate with the selection scheme of parameterization of cumulus the highest accuracy. Verification is done by comparing schemes temporally to see if they work within the scope of the city of Bandar Lampung in Lampung Maritime Meteorology Station. From this research, it was found that the BMJ scheme has the best prediction accuracy with the lowest error value compared to other schemes; with RMSE 11.12, MAE 7.58, and TS 100. BMJ scheme can predict whether it rain or not, but BMJ can predict rain intensity accurately.

Keywords : WRF-ARW Model, Cumulus Parameterizations, Verification, BMJ Scheme

Abstrak

Model *Weather Research and Forecasting - Advanced Research Weather (WRF - ARW)* adalah salah satu model *Numerical Weather Prediction (NWP)* yang belum sepenuhnya dapat menyelesaikan persamaan atmosfer secara eksplisit. Untuk itu, perlu adanya parameterisasi yang mampu menghitung proses yang terjadi di atmosfer tanpa harus memodelkannya secara langsung. Salah satu parameterisasi yang terdapat dalam model WRF - ARW adalah parameterisasi kumululus, yaitu skema Kain - Fritsch (KF), Betts - Miller - Janjic (BMJ), Grell 3D ensemble, dan Multi Scale Kain-Fritsch (MSKF) dengan tujuan untuk mendapatkan hasil prediksi hujan yang lebih akurat dengan pemilihan skema parameterisasi kumululus yang akurasi paling tinggi. Verifikasi skema dilakukan dengan membandingkan secara temporal untuk mengetahui kecocokannya dalam lingkup wilayah Kota Bandar Lampung dengan Stasiun Meteorologi Maritim Lampung. Dari penelitian ini, didapatkan bahwa skema BMJ memiliki akurasi prediksi yang paling baik dengan nilai *error* yang terendah dibandingkan skema lain; dengan nilai RMSE 11.12, MAE 7.58, dan TS 100. Skema BMJ sudah mampu memprediksi terjadinya hujan atau tidak, meskipun nilai intensitas yang dihasilkan belum sama dengan kejadian sebenarnya.

Kata Kunci : Model WRF-ARW, Parameterisasi Kumulus, Verifikasi, Skema BMJ

1. PENDAHULUAN

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), hujan lebat adalah hujan dengan intensitas paling rendah 50 mm/hari dan/atau 20 mm/jam.¹ Hujan lebat dapat menyebabkan banyak bencana, diantaranya adalah hujan lebat di wilayah yang drainasenya kecil dapat

menyebabkan banjir bandang.² Selain banjir, hujan dapat memicu tanah longsor di perbukitan yang mengalami deforestasi dan menyebabkan hilangnya nyawa dan properti.³ Wilayah Bandar Lampung yang terletak di dekat Selat Sunda, menjadikan wilayah ini penting sebagai daerah yang menghubungkan antara Pulau Sumatera dan Pulau Jawa. Adanya pelabuhan dan bandara di wilayah Bandar Lampung, menjadikan informasi dan prakiraan cuaca sangat dibutuhkan.

Prakiraan cuaca untuk wilayah Indonesia yang berada di sekitar ekuator memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan prakiraan cuaca untuk daerah dengan lintang tinggi.⁸ Banyak model prakiraan cuaca telah dikembangkan oleh para ahli dengan pendekatan perhitungan yang bervariasi, baik untuk skala global maupun regional. Prakiraan cuaca numerik sudah dirintis sejak tahun 1920 dan berkembang pesat seiring dengan peningkatan jaringan pengamatan cuaca pada saat perang dunia kedua dalam rangka untuk menyediakan informasi cuaca penerbangan militer, serta dimulainya penggunaan komputer untuk operasional prakiraan cuaca. Salah satu model cuaca yang banyak digunakan untuk skala regional saat ini adalah model cuaca numerik *Weather Research and Forecasting*.

Model *Weather Research and Forecasting-Advanced Research WRF (WRF-ARW)* adalah sistem prediksi cuaca numerik dan simulasi atmosfer yang didesain baik untuk kebutuhan penelitian maupun operasional. Kelebihan WRF-ARW adalah aplikasinya yang fleksibel dan efisien karena dapat dijalankan pada semua jenis komputer, mulai dari *supercomputer* hingga laptop. Selain itu, model WRF-ARW juga dapat digunakan untuk mempelajari berbagai interaksi dinamis dengan skala meter hingga ribuan kilometer.⁴

Model WRF-ARW tidak sepenuhnya dapat menyelesaikan persamaan atmosfer secara eksplisit. Untuk itu, perlu adanya parameterisasi yang mampu menghitung proses yang terjadi di atmosfer tanpa harus memodelkannya secara langsung. Parameterisasi melibatkan secara algoritmik atau statistik hubungan dari efek proses fisis yang tidak dapat direpresentasikan secara langsung dengan model.⁴

Untuk wilayah tropis, konveksi memainkan peranan penting dalam proses pembentukan sistem cuaca. Konveksi mempengaruhi sirkulasi tropis dengan melepaskan panas laten, transpor vertikal panas, dan kelembaban melalui interaksi awan dengan radiasi. Oleh karena itu, peran proses konveksi dalam model numerik sangat penting.⁴ Atas dasar pertimbangan inilah penulis tertarik untuk mengetahui parameterisasi kumulus apa yang sesuai untuk membuat prediksi terjadinya hujan pada musim hujan maupun masa transisi. Skema konvektif yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Skema *Betts-Miller Janjic*

Skema Betts-Miller Janjic (BMJ) dibuat untuk mewakili kondisi *quasi-equilibrium* (awan konvektif yang menjaga struktur suhu dan kelembaban di dalam atmosfer) yang terjadi pada konvektif dalam, dan menghindari ketidakpastian yang timbul akibat penentuan parameter-parameter secara tidak langsung menggunakan persamaan model awan yang rumit. Presipitasi pada parameterisasi dihitung dengan cara berikut⁵:

$$P = \int_{P_B}^{P_T} \frac{q_R - q}{\tau g} dp' \quad (1)$$

Keterangan:

- P = Presipitasi
- P_T dan P_B = Tekanan pada puncak dan bawah awan
- τ = Skala waktu
- q = kelembaban spesifik pada titik *grid*

- q_R = kelembaban spesifik berdasarkan profil *deep-convection*
 g = gravitasi
 dp' = perbedaan tekanan

2. Skema Grell 3D Ensemble

Skema parameterisasi konvektif ini didasarkan pada skema Grell yang dikembangkan pada tahun 1993. Saat ini skema Grell 3D *ensemble* digunakan dalam model *Rapid Update Cycle* (RUC) dengan resolusi 20 km dan menunjukkan hasil yang cukup baik dalam hal prakiraan curah hujan.⁶ Seperti skema-skema konvektif sebelumnya, persamaan-persamaan yang digunakan dalam skema ini juga memperhitungkan efek pembentukan/peluruhan, *updraft/downdraft* awan. Perbedaan yang paling mendasar dari skema ini adalah penggunaan pendekatan *ensemble* terhadap beberapa parameter fisis yang terjadi dalam awan, antara lain: *quasi-equilibrium, removal of instability, moisture conservation, low level mass flux* dan *downdraft strength*.⁵ Penambahan pendekatan prakiraan eksplisit curah hujan melalui peluruhan awan hujan serta partikel es pada puncak dan sisi awan membuat skema ini cocok digunakan pada resolusi yang tinggi. Rumus perhitungan presipitasi tiap grid adalah sebagai berikut⁵:

$$P = Im(1 - \beta)(1.2) \quad (2)$$

Keterangan:

- P = Presipitasi
 I = Kondensasi akibat *updraft*
 m = fluks massa *updraft* pada dasar awan
 $(1 - \beta)$ = Efisiensi presipitasi

3. Skema Kain – Fritsch

Skema Kain Fritsch (KF) berasal dari skema Fritsch-Chappell CPS, dimana kerangka dasar dan asumsi penghentian konvektif dijelaskan oleh Fritsch dan Chappell. Kain-Fritsch memodifikasi model *updraft* dalam skema Fritsch-Chappell sehingga akhirnya menjadi sangat berbeda dari skema tersebut. Hal ini dibedakan dari algoritma induknya dengan mengacu pada kode yang lebih rumit seperti skema KF, dimulai pada awal 1990-an. Skema KF merupakan sebuah skema parameterisasi fluks massa yang menggunakan metode massa udara termasuk persamaan dinamis vertikal momentum untuk menjelaskan ketidakstabilan massa udara dan menjelaskan variabel-variabel apa yang mungkin terjadi dalam awan. Perhitungan presipitasi konvektif⁵:

$$P = ES \quad (3)$$

Keterangan:

- P = Presipitasi
 E = Efisiensi
 S = Jumlah fluks vertikal antara uap air dan cairan pada level 150 hPa di atas LCL

Kurniawan dkk.⁷ melakukan evaluasi penggunaan beberapa skema konvektif pada model WRF untuk prediksi cuaca di wilayah Indonesia. Terdapat tiga skema konvektif yang dievaluasi yaitu: skema konvektif kumulatif Betts-Miller-Janjic (BMJ), Kain-Fritsch (KF), dan Grell 3D *ensemble*. Data yang digunakan untuk evaluasi adalah data curah hujan per 3 jam dan data angin per 12 jam (level ketinggian: permukaan, 850 mb, 500 mb, dan 250 mb) dari hasil pengolahan

model WRF dan observasi selama periode bulan Agustus 2011 dan Februari 2012 di stasiun Juanda-Surabaya dan Cengkareng-Jakarta. Berdasarkan analisis hasil verifikasi yang diperoleh, skema konvektif kumululus BMJ cenderung lebih baik dari skema KF dan Grell 3D *ensemble* untuk diaplikasikan pada model WRF.

Indriyani⁸ melakukan simulasi menggunakan model WRF-ARW untuk mengetahui bagaimana kondisi meteorologis pada saat terjadinya hujan lebat tanggal 5 Januari 2013 di Maros, Sulawesi Selatan. Skema parameterisasi kumululus yang dibandingkan antara lain skema parameterisasi Kain-Fritsch (KF), Betts-Miller-Janjic (BMJ), dan Grell-Devenyi (GD), sedangkan pengaturan konfigurasi WRF-ARW yang lain menggunakan konfigurasi *default*. Hasil analisis menunjukkan bahwa skema parameterisasi KF memiliki nilai verifikasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan skema parameterisasi BMJ dan GD. Skema parameterisasi KF memiliki pola fluktuasi yang hampir sama dengan pola fluktuasi data observasinya untuk parameter temperatur dan tekanan udara. Berdasarkan analisis dari hasil keluaran model WRF-ARW dengan skema parameterisasi KF, keadaan atmosfer pada saat terjadinya hujan lebat menunjukkan adanya kelembaban relatif per lapisan yang lembap, *Convective Available Potential Energy* (CAPE) yang tinggi, serta adanya pola konvergensi, dimana ketiganya mendukung untuk terjadinya pertumbuhan awan-awan konvektif yang dapat menyebabkan hujan lebat bahkan disertai kilat dan petir.

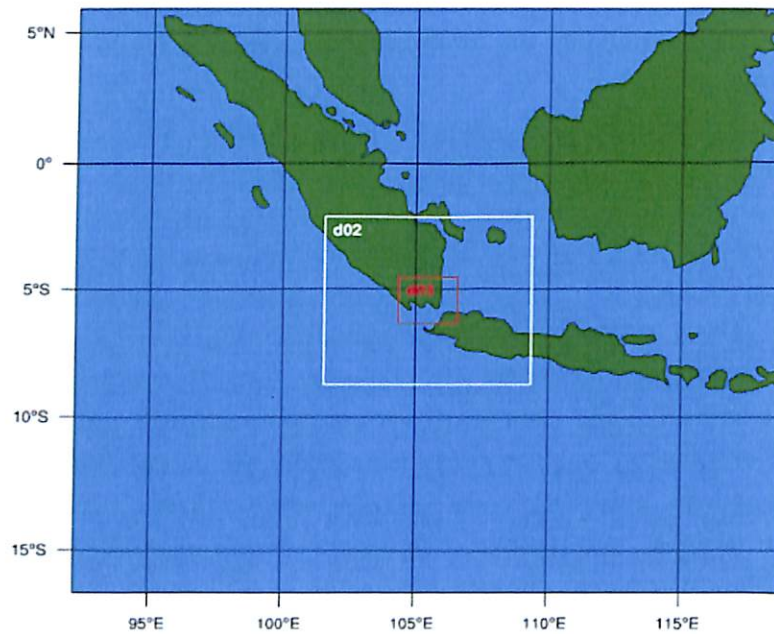
Kumar dkk.⁹ melakukan simulasi hujan lebat yang menyebabkan banjir di beberapa wilayah Andhra Pradesh (AP), India pada tanggal 29 September-2 Oktober 2009. Model WRF-ARW dipusatkan di stasiun Amaravathi dan diverifikasi dengan curah hujan terukur yang diamati oleh *India Meteorological Department* (IMD) dan data satelit KALPANA-1. Model WRF-ARW mampu mengidentifikasi adanya perubahan sirkulasi, CAPE yang tinggi, dan *Convective Inhibition Energy* (CINE) yang rendah pada saat terjadinya hujan lebat.⁹ Curah hujan pada model menunjukkan adanya *underestimate* sebesar 9,5%. Pada penelitian ini, skema KF lebih baik daripada skema BMJ dan GD.

Gustari melakukan penelitian untuk memperoleh sistem prediksi yang lebih akurat untuk prediksi curah hujan sangat lebat di Jabodetabek pada studi kasus tanggal 18 Januari 2010 dan 13 Februari 2010. Perbaikan prediksi dilakukan dengan melakukan asimilasi data radar Doppler C-band dan dikombinasikan dengan skema parameterisasi konveksi (KF, BMJ, Grell 3d) dan skema mikrofisika (Kessler, Lin, WSM3, Eta, WSM6). Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi skema mikrofisika Lin dan parameterisasi konveksi KF (D1 dan D2) serta konveksi eksplisit pada D3 mampu menghasilkan prediksi kejadian hujan yang paling konsisten. Asimilasi data radar Doppler C-band mampu memperbaiki prediksi curah hujan untuk tiga sampai enam jam ke depan.¹⁰

2. METODE PENELITIAN

Waktu penelitian dilakukan pada hari hujan bulan Maret 2015, karena bulan Maret merupakan musim pancaroba di wilayah Lampung, sehingga dapat digunakan untuk melihat sensitivitas dari parameterisasi kumululus di wilayah tersebut. Wilayah yang menjadi fokus penelitian adalah wilayah Bandar Lampung (Pelabuhan Panjang) pada kordinat 50 28' 16'' LS dan 1050 19' 17.22'' BT. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data Global Forecasting System (GFS) dari NOAA dengan interval waktu selama 3 jam, yang memiliki resolusi $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ yang dapat diunduh melalui situs <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfs4>. Data yang digunakan adalah data prakiraan 24 jam pada *cycle* 00.
2. Data observasi dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Karang Lampung pada tanggal 2, 3, 5, 9, 10, 11, 12, 17, 22, 24, 25, dan 27 Maret 2015



Gambar 1. Domain penelitian

Model WRF di *running* dengan *setting* sebagai berikut :

Tabel 1. Konfigurasi WRF-ARW

Max Dom	3 domain
Pusat Lintang	-5.457
Pusat Bujur	105.483
Resolusi Grid pada Sumbu X	29.700; 9.900; 3.300
Resolusi Grid pada Sumbu Y	29.700; 9.900; 3.300
Time Step	120 detik
Opsi Cumulus	KF, BMJ, G3DE, dan MSKF

Verifikasi Luaran Model WRF dengan data observasi dimana parameter yang diuji secara statistik meliputi curah hujan, tekanan, RH, dan suhu permukaan dimana data model WRF menggunakan 3 skema konvektif yang masing-masing akan diverifikasi menggunakan data observasi. Untuk verifikasi dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i - O_i| \quad (5)$$

dengan F adalah *forecast* dan O adalah observasi. Untuk data tekanan, RH, dan suhu permukaan verifikasi juga dilakukan menggunakan nilai korelasi:

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F}) \times (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \quad (6)$$

Metode prakiraan dikatakan baik jika memiliki RMSE dan MAE yang rendah, serta korelasi yang tinggi. Selain itu dalam verifikasi curah hujan digunakan juga perhitungan nilai *Threat Score* (TS):

$$Threat\ Score = \frac{N_{hit}}{N_{hit} + N_{pass} + N_{false}} \quad (7)$$

dengan N_{hit} adalah jumlah hit, N_{pass} adalah jumlah *pass*, dan N_{false} adalah jumlah *false alarm*. TS merupakan nilai yang memperlihatkan bagaimana akurasi suatu model terhadap nilai observasinya. Semakin besar nilai TS, berarti semakin akurat suatu model.

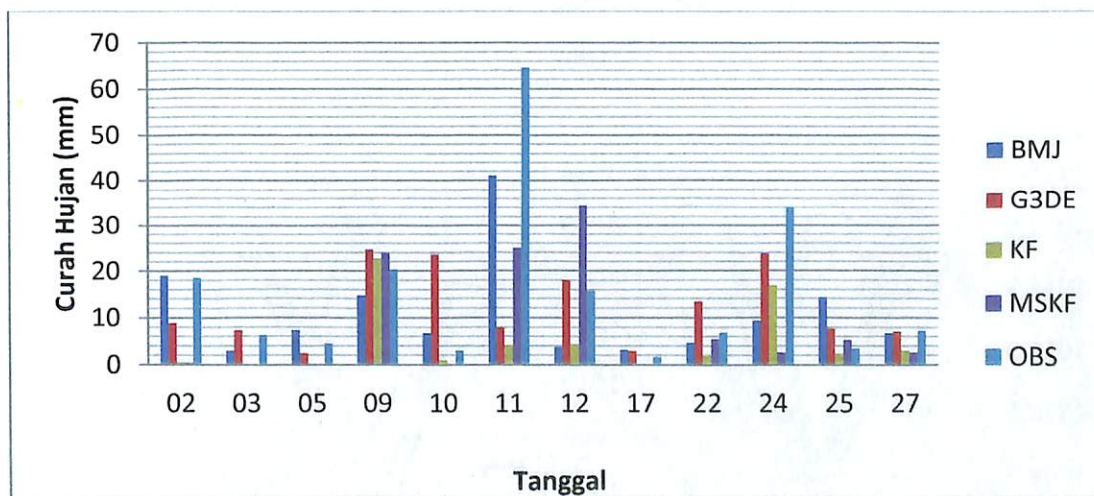
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil verifikasi data curah hujan

Verifikasi data curah hujan hasil luaran WRF seperti pada tabel 2. di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Karang Lampung untuk empat skema, yaitu BMJ, G3DE, KF dan MSKF. Pada skema BMJ mempunyai nilai TS mencapai 100%, berarti keakurasinya BMJ cukup baik, nilai RMSE dan MAE untuk skema ini adalah 11,12 dan 7,58, menandakan bahwa nilai *error* yang rendah dari model ini. Pada skema G3DE mempunyai nilai *TS* mencapai 100% dengan nilai RMSE dan MAE untuk skema ini adalah 18,08 dan 9,91. Pada skema KF nilai *TS* mencapai 83%, dengan nilai RMSE dan MAE untuk skema ini adalah 19,39 dan 11,15. Pada skema MSKF nilai *TS* mencapai 75%, dengan nilai RMSE dan MAE untuk skema ini adalah 16,72 dan 11,2.

Tabel 2 Perbandingan nilai *error* untuk masing-masing skema

	BMJ	G3DE	KF	MSKF
RMSE	11,12	18,08	19,39	16,72
MAE	7,58	9,91	11,15	11,24
TS	100%	100%	83.33%	75%



Gambar 2. Curah hujan berdasarkan prediksi dengan masing-masing skema dan hasil observasinya

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, skema BMJ dan G3DE cukup baik untuk memprediksikan hujan di wilayah Bandar Lampung, karena nilai *TS* yang mencapai 100%. Skema

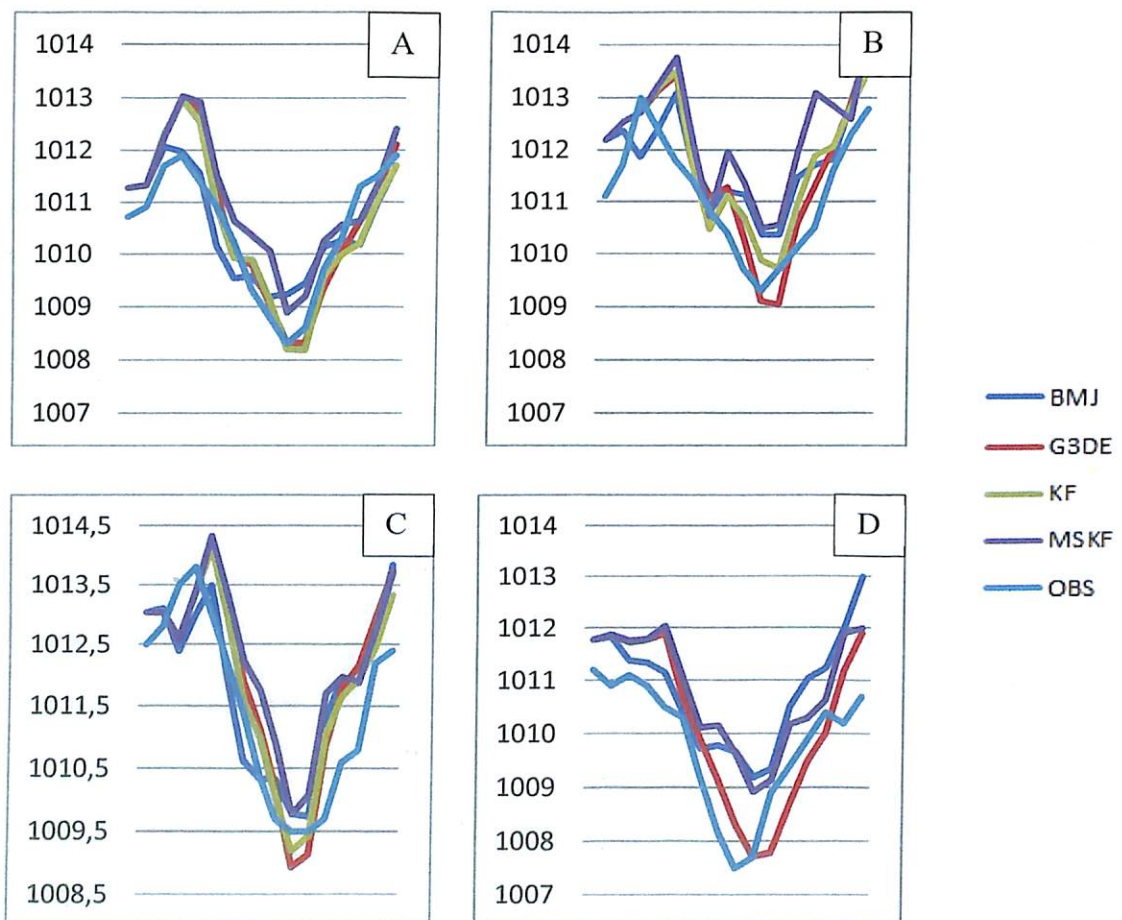
BMJ merupakan skema terbaik dalam menentukan hujan beserta intensitasnya, karena memiliki nilai RMSE dan MAE yang paling rendah.

3.2 Hasil Verifikasi Tekanan

Verifikasi data tekanan hasil luaran dari model WRF ditunjukkan pada Tabel 3 di Stasiun Meteorologi Maritim Lampung untuk masing – masing skema. Pada skema BMJ nilai RMSE sebesar 0,85 dan nilai korelasinya 0,88. Pada skema G3DE nilai RMSE 0,82 dan nilai korelasinya 0,92. Pada skema KF nilai RMSE 0,77 dan nilai korelasinya 0,92. Sementara itu, pada skema MSKF nilai RMSE terbesar dibandingkan dengan tiga skema lainnya yaitu 1,10 dan nilai korelasinya 0,9.

Tabel 3. Perbandingan nilai *error* untuk masing-masing skema untuk parameter tekanan

	BMJ	G3DE	KF	MSKF
RMSE	0,85	0,82	0,77	1,10
Korelasi	0,88	0,92	0,92	0,90



Gambar 3. Grafik tekanan dengan masing-masing skema dan hasil observasi pada A) 02 Maret, B) 09 Maret, C) 12 Maret, dan D) 24 Maret 2016

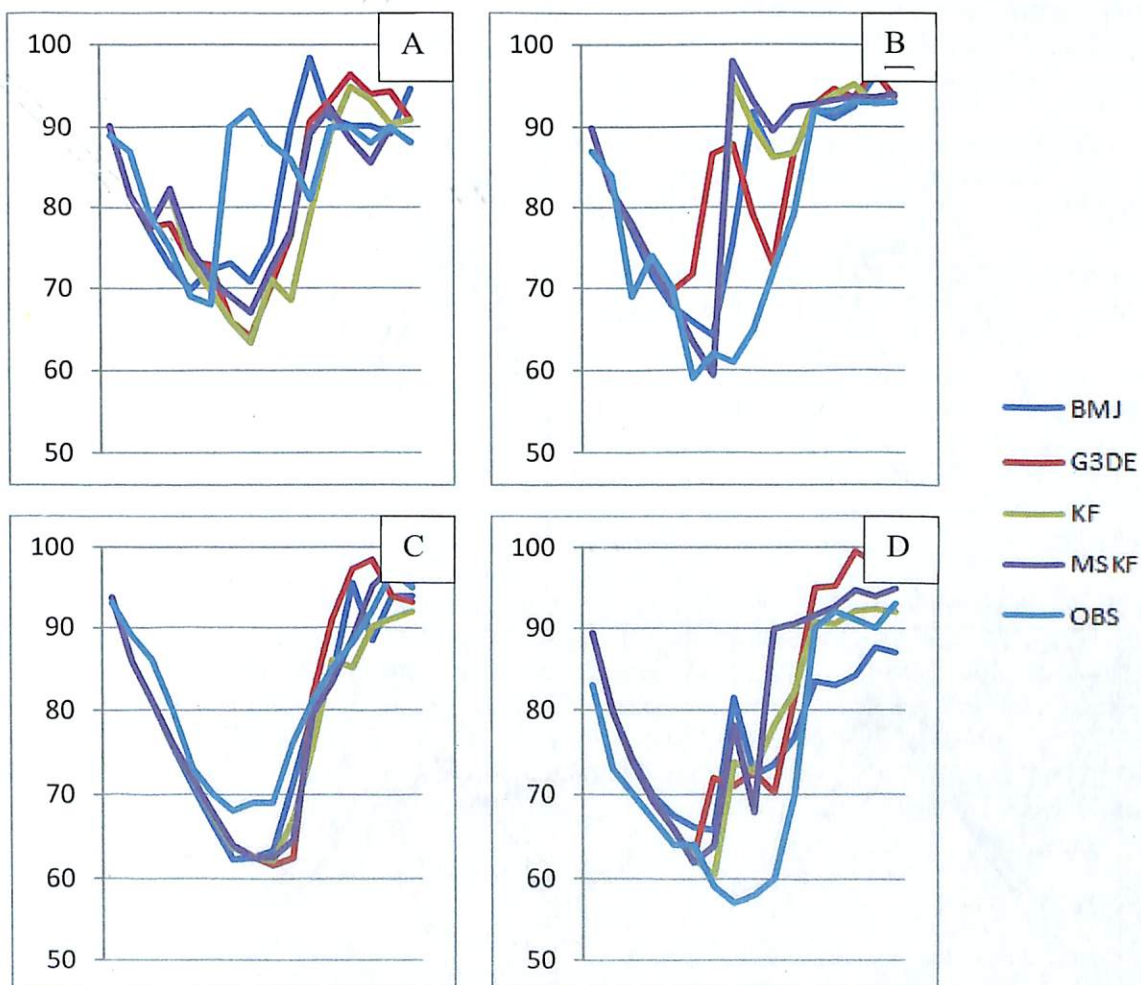
Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 3, WRF-ARW dengan keempat skema tersebut dapat memprediksi dengan baik nilai tekanan di wilayah Bandar Lampung. Skema terbaik untuk memprediksi perubahan tekanan adalah skema KF dengan nilai RMSE terendah dan nilai korelasi tertinggi dibandingkan tiga skema lainnya.

3.3 Hasil Verifikasi RH

Hasil verifikasi RH keluaran WRF pada Tabel 4 dan Gambar 4 menunjukkan pada kasus hujan lebat RH *error* prakiraan RH menjadi lebih kecil. Kelemahan prakiraan RH dengan menggunakan model WRF-ARW adalah model ini tidak cukup baik memprediksi RH apabila nilai RH yang tiba-tiba naik akibat adanya hujan. Selain itu, terdapat *over-forecast* nilai RH saat siang hari mencapai 5 - 10%.

Tabel 4. Perbandingan nilai *error* untuk masing-masing skema untuk parameter RH

	BMJ	G3DE	KF	MSKF
RMSE	6,98	7,96	8,38	9,05
Korelasi	0,81	0,77	0,71	0,69



Gambar 4. Grafik RH dengan masing-masing skema dan hasil observasi pada A) 02 Maret, B) 09 Maret, C) 12 Maret, dan D) 24 Maret 2016

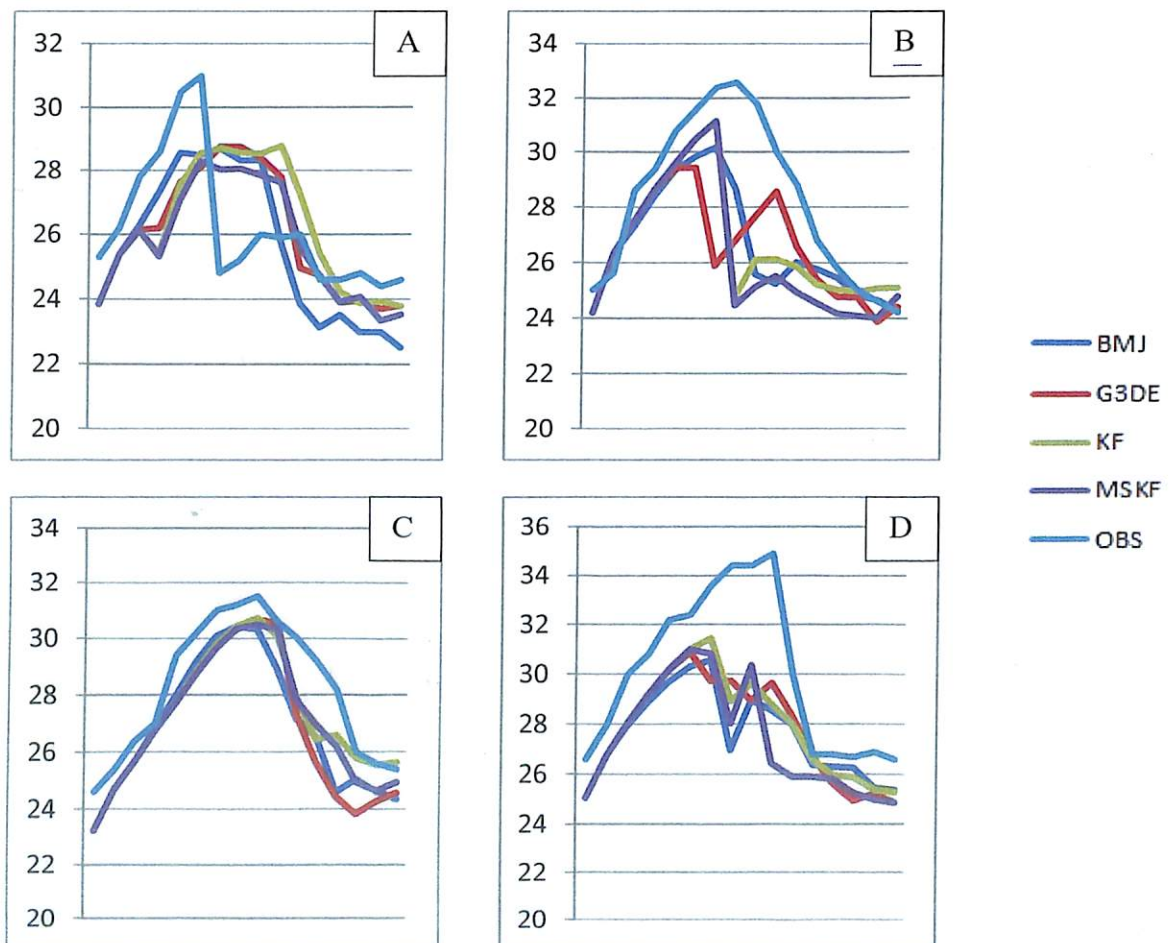
Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 4 model WRF-ARW dapat memprediksi RH dengan baik di wilayah Bandar Lampung untuk masing-masing skema. Skema terbaik yang digunakan untuk memprediksi RH adalah skema BMJ dengan nilai RMSE 6,98 dan nilai korelasinya 0,80.

3.4 Hasil Verifikasi Suhu

Hasil verifikasi suhu keluaran WRF pada Tabel 5 dan Gambar 5 menunjukkan pada kasus hujan lebat *error* prakiraan suhu menjadi lebih kecil. Kelemahan prakiraan suhu dengan menggunakan model WRF-ARW adalah model ini tidak cukup baik memprediksi suhu pada siang hari. Sering kali prediksi suhu udara pada siang hari *under-forecast*, model ini tidak dapat menggambarkan dengan baik suhu maksimum yang melebihi 30 °C. Skema terbaik untuk memprediksi suhu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 adalah skema BMJ dengan RMS 2,3 dan nilai korelasi 0,84.

Tabel 5. Perbandingan nilai error untuk masing-masing skema untuk parameter suhu udara

	BMJ	G3DE	KF	MSKF
RMSE	2,31	2,41	2,33	2,65
Korelasi	0,84	0,81	0,76	0,74



Gambar 5. Grafik RH dengan masing-masing skema dan hasil observasi pada A) 02 Maret, B) 09 Maret, C) 12 Maret, dan D) 24 Maret 2016

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, menggunakan skema kumulat untuk prediksi hujan di wilayah Bandar Lampung, secara umum keempat skema tersebut mampu memprediksi terjadinya hujan dengan nilai TS di atas 70%. Skema BMJ dan G3DE merupakan skema yang cocok dengan TS mencapai 100%. Skema terbaik yang dapat digunakan dalam memprediksi cuaca di wilayah Bandar Lampung, baik itu curah hujan dengan nilai RMSE 11,12 MAE 7,58, dan TS 100%; prediksi tekanan dengan nilai RMSE 0,85 dan korelasi 0,88; prediksi RH dengan nilai RMSE 6,98 dan korelasi 0,81; serta prediksi suhu dengan nilai RMSE 2,3 dan korelasi 0,84 adalah skema BMJ.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sehubungan dengan diselesaikannya paper ini, saya mengucapkan terima kasih kepada Ayu Zulfiani yang telah memberikan dukungan penuh dalam pembuatan paper ini dan kepada Andika Fauziah Hapsari dan Ilham Syarif Putra yang telah memberikan data Stasiun Meteorologi Maritim yang menjadi data verifikasi dalam paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹BMKG, 2010. *Perka BMKG Nomor: KEP. 009 Tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem*. Jakarta : BMKG
- ²Afandi, G.E., M. Morsy, dan F.E. Hussieny, 2013. Heavy Rainfall Simulation over Sinai Peninsula Using the Weather Research and Forecasting Model. *International Journal of Atmospheric Sciences*, Article ID 241050, Volume 2013, 11 halaman, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/241050>.
- ³Ahasan, M.N., M.A.M. Chowdhury, dan D.A. Quadir, 2013. Simulation of High Impact Rainfall Events Over Southeastern Hilly Region of Bangladesh Using MM5 Model. *International Journal of Atmospheric Sciences*, Article ID 657108, Volume 2013, 13 halaman, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/657108>.
- ⁴Skamarock, W.C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Huang, W. Wang, dan J. G. Powers, 2008. *A Description of The Advanced Research WRF Version 3*, NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, Colorado.
- ⁵Warner, T.T., 2011. *Numerical Weather and Climate Prediction*. Cambridge : Cambridge University Press
- ⁶Dodla, V. B. R., S.B. Ratna, dan Desamsetti, S., 2013. An Assessment of Cumulus Parameterization Schemes in the Short Range Prediction of Rainfall during the Onset Phase of the Indian Southwest, *Atmospheric Research*, Vol 120-121: pp.249-267, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.002>.
- ⁷Kurniawan, R., Hanggoro, W., Anggraeni, R., Novianti, S., Fitriani, W., dan Sudewi, R. S. S., 2014. Penggunaan Skema Konvektif Model Cuaca WRF (Betts Miller Janjic, Kain Fritsch, dan Grell 3D Ensemble). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol 15: hal 25-36.
- ⁸Indriyani, N. J., 2015. *Simulasi Kejadian Hujan Lebat Menggunakan Model WRF-ARW (Studi Kasus Tanggal 5 Januari 2013 di Maros, Sulawesi Selatan)*. Skripsi. Meteorologi. Jakarta : STMKG.
- ⁹Kumar, O. S. R. U. B., Suneetha, P., Rao, S. R., dan Kumar, M. S., 2012. Simulation of Heavy Rainfall Events during Retreat Phase of Summer Monsoon Season over Parts of Andhra Pradesh. *International Journal of Geosciences*, Vol 3: pp. 737-748, <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.34074>.
- ¹⁰Gustari, I., 2014. *Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Curah Hujan Sangat Lebat Terkait Dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-band*. Disertasi. Sains Kebumihan. Bandung : ITB.