

Pemanfaatan Model WRF-ARW untuk Simulasi Hujan Sangat Lebat di Bandara I Gusti Ngurah Rai Bali (Studi Kasus Tanggal 12 Januari 2019)

Gede Gangga Wisnawa^{1)*} Asih Dwi Utami¹⁾ Shandy Adhitya Prayudhi¹⁾ Fitria Puspita Sari¹⁾

¹⁾Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jalan Perhubungan I No.5, Kec. Pondok Aren, Kota Tangerang Selatan
*E-mail : gangga.wisnawa@gmail.com

Intisari – Dalam harian *Tribun-Bali.com* tanggal 12 Januari 2019, disebutkan telah terjadi hujan sangat lebat yang mengakibatkan kebocoran dan jatuhnya plafon pada beberapa lokasi di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai. Kondisi atmosfer wilayah tropis yang dinamis serta terbatasnya kesediaan alat untuk mengukur parameter cuaca di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai menjadi suatu tantangan dalam mensimulasikan kondisi atmosfer saat kejadian hujan sangat lebat di wilayah tersebut. Sehingga diperlukan model cuaca numerik *Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF (WRF-ARW)* untuk mensimulasikan kondisi atmosfer pada saat kejadian tersebut. Uji parameterisasi menggunakan sembilan konfigurasi skema pada parameterisasi mikrofisik dan kumululus dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan skema yang dapat mensimulasikan dengan baik kondisi atmosfer pada saat kejadian. Data keluaran dari sembilan skema parameterisasi diverifikasi dengan data observasi Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai menggunakan metode statistika sederhana, diantaranya *Root Mean Square Error (RMSE)*, koefisien korelasi, dan *mean error (ME)*. Hasil verifikasi menunjukkan skema dengan kombinasi antara *Kassler (KS)* untuk parameterisasi mikrofisik, dan *Kain-Fritsch (KF)* untuk parameterisasi kumululus memiliki performa yang paling baik dalam merepresentasikan kejadian hujan sangat lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai, walaupun memiliki nilai yang cenderung *underestimate* terhadap hasil observasi. Pada analisis keluaran skema *KS-KF*, diketahui bahwa kondisi atmosfer sebelum dan saat kejadian, mendukung untuk pertumbuhan awan konvektif yang berpotensi menghasilkan hujan sangat lebat. Hal ini ditunjukkan dari nilai *CAPE* antara 1000 sampai >2200 *Joule/Kg* dan kandungan uap air di atmosfer sebesar 80 sampai >100% hingga lapisan 500 mb serta adanya wilayah konvergensi di atas wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai.

Kata Kunci : hujan sangat lebat, skema *WRF-ARW*, Bandara I Gusti Ngurah Rai

Abstract – On the daily news *Tribun-Bali.com* on January 12, 2019, it is stated that there were several leakages and fallen ceilings at I Gusti Ngurah Rai Airport caused by heavy rain. The dynamic atmospheric conditions of the tropics and also the limited availability of tools to measure weather parameters in the I Gusti Ngurah Rai Airport area becoming a challenge in simulating atmospheric conditions during heavy rain events at these locations. In hence, we need a numerical weather model *Weather Research and Forecasting - Advanced Research WRF (WRF-ARW)* to simulate atmospheric conditions at the time of the incident. Parameterization test using nine schematic configurations on microphysical and cumulus parameterization is performed first to determine the scheme that can properly simulate atmospheric conditions at the time of the event. The output data from nine parameterization schemes was verified with observational data from Meteorological Station I Gusti Ngurah Rai using simple statistical methods, including *Root Mean Square Error (RMSE)*, correlation coefficient, and *mean error (ME)*. Verification results shows a scheme with a combination of *Kassler (KS)* for microphysical parameterization, and *Kain-Fritsch (KF)* for cumulus parameterization has the best performance in representing very heavy rainfall events in the I Gusti Ngurah Rai Airport area, although it has a value that tends to *underestimate* on the results of observations. In the *KS-KF* scheme output analysis, it is known that the atmospheric conditions before and during the event, support for the growth of convective clouds that have the potential to produce very heavy rain. This is shown from the *CAPE* value between 1000 to > 2200 *Joules / Kg* and water vapor content in the atmosphere of 80 to > 100% to the 500 mb layer and the region of convergence above the I Gusti Ngurah Rai Airport area.

Key Word : very heavy rain, schemes of *WRF-ARW*, I Gusti Ngurah Rai Airport

I. PENDAHULUAN

Dalam harian *Tribun-Bali.com*, pada tanggal 12 Januari 2019 disebutkan telah terjadi hujan dengan intensitas yang sangat lebat di beberapa wilayah Bali termasuk di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai pada jam 15.00 – 16.00 WITA yang berdampak pada kebocoran dan jatuhnya plafon pada beberapa lokasi di bandara. Kondisi ini juga diperkuat dengan laporan cuaca dari Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai yang melaporkan curah hujan yang terjadi di wilayah tersebut sebesar 37 mm/jam dengan jarak pandang sekitar 400-7000 meter. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), suatu fenomena hujan dapat dikatakan sangat lebat apabila memiliki intensitas curah hujan lebih dari 20 mm/jam. Namun, dengan ketersediaan alat pengukur parameter cuaca yang terbatas, menjadi suatu tantangan untuk dapat mensimulasikan kondisi atmosfer saat kejadian hujan lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai. Selain itu, kondisi atmosfer di wilayah tropis yang sangat dinamis juga menyebabkan sulitnya melakukan simulasi kondisi cuaca di wilayah tropis.

WRF-ARW merupakan suatu program model cuaca numerik yang dapat memodelkan kondisi atmosfer di suatu wilayah sehingga dapat membantu dalam mempelajari suatu kejadian meteorologi dengan lebih baik [7]. Model WRF-ARW tidak sepenuhnya dapat menyelesaikan persamaan atmosfer secara eksplisit, namun perlu adanya parameterisasi untuk menghitung proses yang terjadi di atmosfer tanpa harus memodelkannya secara langsung [4]. Parameterisasi tersebut bertujuan untuk memprakirakan efek yang mempunyai pengaruh cukup besar dari suatu kejadian di atmosfer namun terlalu kecil dan atau terlalu rumit untuk dijelaskan secara eksplisit.

Model WRF-ARW memiliki banyak pilihan skema parameterisasi yang dapat dimanfaatkan untuk mensimulasikan kondisi atmosfer pada suatu kejadian tertentu. Parameterisasi mikrofisik yang mencakup uap air, awan, dan proses presipitasi yang diselesaikan secara eksplisit. Parameterisasi ini cukup mampu untuk mengakomodasi sejumlah variabel rasio pencampuran massa, dan kuantitas lain seperti jumlah konsentrasi dalam pembentukan awan. Sedangkan parameterisasi kumululus dirancang untuk menggambarkan transport panas laten yang merupakan sumber sirkulasi umum di daerah tropis, mengurangi ketidakstabilan termodinamika dengan cara menyusun nilai temperatur dan kelembaban pada kolom-kolom grid [11]. Oleh karena itu, parameterisasi mikrofisik dan kumululus yang menjelaskan tentang proses pertumbuhan awan konvektif dan hujan di dalam model, dapat digunakan untuk mengkaji fenomena hujan sangat lebat.

Terdapat beberapa skema parameterisasi kumululus

yang dapat digunakan pada model WRF-ARW. Namun dalam kajian ini, penulis hanya menggunakan 3 skema parameterisasi kumululus dan 3 skema parameterisasi mikrofisik yang sering digunakan di Indonesia. Tiga skema parameterisasi mikrofisik yang dipilih pada penelitian ini adalah Kessler, Purdue Lin, dan WRF Single-Moment 3-Class (WSM3). Skema *Kessler* dipilih karena pada penelitian yang dilakukan oleh Kessler [5] menyebutkan parameterisasi ini merupakan parameterisasi mikrofisik yang dianggap sesuai dengan jenis dan kondisi awan yang terjadi di daerah tropis. Hal ini dikarenakan pada Skema Kessler dibangun dari persamaan kontinuitas dasar yang melibatkan partikel awan, uap air dan presipitasi dalam bentuk hujan dan skema awan hangat [5]. Skema *Purdue Lin* dipilih karena skema ini merupakan skema yang handal untuk simulasi data *real* dengan resolusi tinggi [9]. Sedangkan skema WSM3 merupakan skema yang efisien dan sederhana dengan pengukuran es dan salju yang cocok untuk ukuran grid skala meso [11]. Sedangkan untuk parameterisasi kumululus juga digunakan tiga skema yaitu *Kain-Fritsch* (KF), *Betts Miller Janjic* (BMJ), dan *Grell Devenyi* (GD). Ketiga skema ini dipilih berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan memperoleh hasil yang berbeda-beda pada setiap daerah di Indonesia. Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan [10] menyimpulkan bahwa skema BMJ dan GD merupakan skema terbaik untuk prakiraan kecepatan dan arah angin di wilayah Surabaya dan Jakarta. Uji sensitivitas parameterisasi kumululus oleh [1] diperoleh bahwa skema BMJ paling baik digunakan di Pulau Bawean dan Tuban, skema KF baik digunakan di wilayah Panarukan dan Banyuwangi, serta skema *Grell-Devenyi* sebagai skema terbaik dalam analisa hujan ekstrem di hampir seluruh wilayah Jawa Timur. Uji sensitivitas parameter kumululus yang dilakukan oleh [2] menyimpulkan bahwa skema BMJ merupakan skema terbaik untuk prediksi hujan di Lampung pada hari hujan Bulan Maret 2015.

Dengan memanfaatkan konfigurasi dari skema parameterisasi mikrofisik dan kumululus yang terbaik, diharapkan keluaran model WRF-ARW mampu mensimulasikan dengan baik kondisi atmosfer saat kejadian hujan sangat lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019 jam 15.00 – 16.00 WITA.

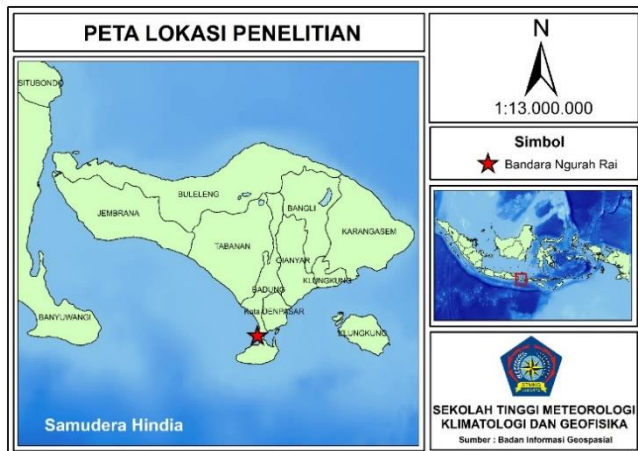
II. METODE PENELITIAN

Dalam mensimulasikan kejadian hujan lebat pada tanggal 12 Januari 2019 jam 15.00 – 16.00 WITA atau 07.00 – 08.00 UTC, penulis menggunakan data *Final Analysis* (FNL) 11 Januari 2019 jam 12.00 UTC sampai dengan 13 Januari 2019 jam 00.00 UTC sebagai *Initial* dan *boundary condition* dari model WRF-ARW yang diperoleh dari *website* <http://rda.ucar.edu> dengan format data .grib2. Data FNL tersebut memiliki resolusi

spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ dengan resolusi temporal 6 jam. Dalam penelitian ini, panjang data yang digunakan adalah 36 jam, dengan 12 jam waktu untuk spin-up time dan 24 jam berikutnya untuk analisis kejadian. Data Observasi setiap jam selama 24 jam dari tanggal 11 Januari 2019

jam 18.00 UTC sampai 13 Januari 2019 jam 00.00 UTC diperoleh dari Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai yang meliputi data suhu udara permukaan, kelembapan relatif permukaan, tekanan udara permukaan, serta curah hujan.

untuk menentukan skema parameterisasi terbaik dalam merepresentasikan nilai parameter cuaca yang dibandingkan. metode statistik sederhana yang digunakan antara lain *Root Mean Square Error* (RMSE), koefisien korelasi, dan *Mean Error* (ME).



Gambar 1. Peta titik lokasi penelitian pada model WRF

Tabel 1 menunjukkan wilayah dan resolusi setiap domain yang dijalankan model. Titik pusat penelitian berada pada domain 3 tepatnya di Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai dengan kordinat 115.162 BT dan 8.743 LS yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Lokasi dan resolusi spasial tiap domain pada model

Nama Domain	Lokasi	Resolusi Spasial
Domain 01	90.76 – 139.05 BT; 18.20 – 08.97 LS	50 Km
Domain 02	108.63 - 121.62 BT; 11.84 - 5.24 LS	10 Km
Domain 03	113.11 - 117.06 BT dan 9.48 - 7.72 LS	2 Km

Dari tiga skema mikrofisis dan tiga skema kumulatif yang dipilih, peneliti membuat 9 konfigurasi skema WRF-ARW yang akan dijalankan untuk memperoleh konfigurasi skema terbaik yang selanjutnya akan digunakan untuk mensimulasikan kondisi atmosfer saat kejadian hujan sangat lebat. Sembilan skema tersebut ditunjukkan oleh Tabel 3.

Setelah seluruh konfigurasi skema sukses dijalankan oleh model WRF-ARW, hasil keluaran model kemudian di bandingkan dengan data hasil observasi untuk dianalisis dengan metode statistika sederhana

1 Sangat Tinggi

$$r = \frac{\sum(F - \bar{F})(o - \bar{o})}{\sqrt{\sum(F - \bar{F})^2 \sum(o - \bar{o})^2}}$$

a. *Root Mean Square Error* (RMSE)

Memiliki rentang nilai dari 0 sampai tak hingga yang bergantung pada nilai *error* yang diperoleh dari parameter yang dibandingkan. Suatu unsur hasil skema WRF-ARW dapat dianggap baik bila memiliki nilai *error* yang kecil terhadap unsur cuaca hasil observasi, maka nilai RMSE akan mendekati 0. Berikut ini merupakan persamaan dalam menentukan nilai RMSE,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2}{N}}$$

dengan N= Banyak Data, f_i = Nilai unsur keluaran WRF-ARW ke-i, o_i = Nilai unsur cuaca hasil observasi ke - i.

b. Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi menyatakan nilai hubungan linier antara nilai keluaran skema terhadap nilai unsur cuaca hasil observasi, dengan rentang nilai 1 sampai dengan -1. Nilai koefisien korelasi yang mendekati 0 menyatakan bahwa hasil skema oleh WRF-ARW oleh terhadap nilai hasil observasi memiliki hubungan linier yang lemah. Koefisien korelasi yang bernilai 1, menunjukkan hubungan positif sempurna. Sedangkan koefisien korelasi bernilai -1, menunjukkan hubungan negatif sempurna. Tabel 2 menunjukkan interval koefisien korelasi menurut Usman dkk [8] dengan persamaan sebagai berikut,

Tabel 2. Interval Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0	Tidak Berkorelasi
0,01 – 0,20	Sangat Rendah
0,41 – 0,60	Agak Rendah
0,61 – 0,80	Cukup
0,81 – 0,99	Tinggi

Dengan r adalah nilai korelasi, F adalah nilai keluaran WRF-ARW, dan o merupakan nilai unsur cuaca observasi.

c. *Mean Error* (ME)

Menyatakan kecenderungan suatu nilai keluaran WRF-ARW terhadap nilai observasi. Nilai kecenderungan tersebut diperoleh dengan melihat nilai keluaran skema oleh WRF-ARW yang lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai observasi. Nilai positif menunjukkan kecenderungan yang *overestimate* dan nilai negatif menunjukkan kecenderungan yang *underestimate*. Dengan N adalah banyak data, f_i mewakili nilai keluaran model WRF-ARW, dan o_i merupakan nilai observasi

underestimate. Berikut merupakan persamaan dalam menentukan nilai Mean Error (ME),

$$\text{Mean Error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)$$

Tabel 3. Sembilan Konfigurasi Skema yang Dipilih

Nama Skema	Skema	
	Mikrofisis	Kumulatif
Skema 11	Kassler Scheme	Kain-Fritsch
Skema 12		Betts Miller Janjic
Skema 13		Grell Devenyi
Skema 21	Lin et al. Scheme	Kain-Fritsch
Skema 22		Betts Miller Janjic
Skema 23		Grell Devenyi
Skema 31	WRF Single-Moment (WSM) 3-Class	Kain-Fritsch
Skema 32		Betts Miller Janjic
Skema 33		Grell Devenyi

Setelah diperoleh skema dengan konfigurasi terbaik dari hasil analisis statistik di atas, kemudian dengan menggunakan skema tersebut, dilakukan analisis terhadap kondisi atmosfer pada saat kejadian hujan sangat lebat di Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menentukan Skema Parameterisasi Terbaik

Berdasarkan nilai RSME pada Tabel 3, secara umum skema yang diuji baik digunakan dalam memprediksi tekanan udara permukaan, dengan nilai galat rata-rata kurang dari 1. Selain dalam memprediksi tekanan udara permukaan, semua skema yang diuji juga memprediksi nilai suhu udara permukaan dengan nilai galat rata-rata kurang dari 2. Skema dengan nilai galat terkecil dalam memprediksi suhu udara permukaan adalah skema 21 dengan nilai 1,13. Dalam memprediksi kelembapan relatif, semua skema yang diuji menghasilkan galat yang lebih besar dibandingkan dengan unsur suhu dan tekanan udara permukaan. Nilai galat paling kecil pada kelembapan relatif dihasilkan oleh skema 11 dan 211 dengan nilai galat kurang dari 4. Nilai galat terbesar dihasilkan oleh skema 12, 13 dan 32 dengan nilai galat 8,36. Dalam memprediksi curah hujan, semua skema

yang diuji memiliki nilai galat yang paling besar dibandingkan dengan unsur cuaca yang dijelaskan sebelumnya. Nilai galat yang dihasilkan dalam prediksi curah hujan memiliki nilai antara 11,42 hingga 32,78. Nilai galat terkecil dihasilkan oleh skema 11, dan skema dengan nilai galat tertinggi dihasilkan oleh skema 32.

RMSE yang nilainya semakin mendekati 0 (nol) menunjukkan bahwa tingkat akurasi nilai prediksi suatu skema semakin akurat dan semakin mendekati nilai hasil observasi. Pada penelitian ini, RMSE terkecil dihasilkan oleh skema 11 yang menandakan tingkat akurasi yang baik.

Tabel 4 juga menunjukkan koefisien korelasi antara nilai keluaran model WRF-ARW dengan nilai observasi. Analisis korelasi yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan rentang yang dikemukakan Usman dkk [8]. Berdasarkan rentang nilai tersebut, secara umum nilai koefisien korelasi pada penelitian ini memiliki rentang nilai dari rentang sangat rendah hingga korelasi sempurna.

Tabel 4. Nilai RSME, Koefisien korelasi, dan ME hasil keluaran model WRF-ARW terhadap hasil observasi

Nama Skema	RSME				Koefisien Korelasi				Mean Error			
	T	RH	P	CH	T	RH	P	CH	T	RH	P	CH
S.11	1.38	3.97	0.75	11.42	0.82	0.81	0.72	0.87	-0.56	-0.93	-0.18	-5.63
S.12	1.65	8.36	0.75	29.05	0.80	0.79	0.69	0.81	-1.27	-7.29	-0.05	-24.34
S.13	1.41	8.36	1.00	30.11	0.55	0.06	0.49	0.97	-0.32	-3.72	-0.37	19.83
S.21	1.13	2.88	0.79	14.62	0.68	0.87	0.60	0.73	-0.07	-0.90	-0.27	-4.14
S.22	1.35	7.81	0.77	32.78	0.77	0.81	0.66	0.78	-0.25	-5.43	-0.08	-22.47
S.23	1.51	6.01	0.80	14.68	0.74	0.59	0.69	0.91	-0.62	-2.59	0.17	-9.47
S.31	1.42	4.16	1.02	29.12	0.52	0.74	0.57	0.88	-1.62	-0.90	0.47	-19.94
S.32	1.20	8.36	0.80	32.73	0.93	1.00	0.80	0.46	-0.11	-5.88	-0.05	-22.27
S.33	1.42	4.16	1.02	29.12	0.66	0.79	0.81	0.83	0.00	-0.90	0.47	-19.94

Dalam memprediksi suhu udara permukaan, skema 11 memiliki korelasi paling tinggi dengan nilai 0,82. Berbeda halnya nilai korelasi dalam memprediksi kelembapan relatif, skema 32 memiliki korelasi yang sempurna dengan nilai 1,0; serta skema 13 yang menunjukkan nilai korelasi sangat rendah dengan nilai 0,06. Hal ini menunjukkan hubungan linier skema 13 dengan nilai kelembapan relatif observasi sangat rendah. Skema yang diuji dalam memprediksi nilai tekanan udara permukaan memiliki korelasi yang tinggi pada skema 33. Pada prediksi nilai curah hujan, hampir semua skema yang diuji memiliki nilai korelasi positif dengan nilai yang paling baik dari parameter sebelumnya. Skema 12, 11, 13, 23, 31, dan 33 memiliki nilai korelasi pada kategori tinggi serta skema 32 memiliki korelasi yang paling kecil dengan nilai 0,45 yang tergolong agak rendah.

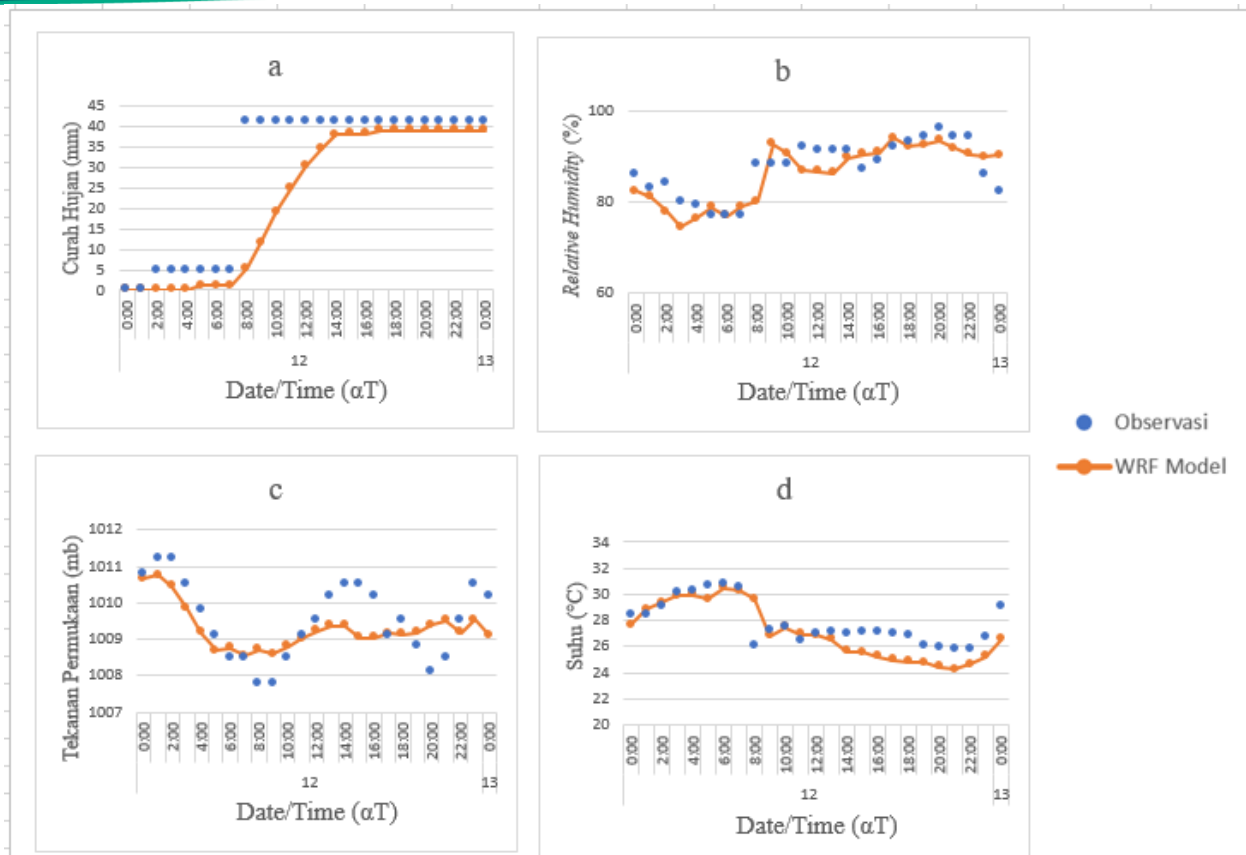
Dari seluruh skema yang jalankan, skema 11 mampu menghasilkan nilai korelasi yang paling baik dibandingkan dengan skema yang lain. Dari verifikasi empat unsur cuaca, skema 11 mampu menghasilkan prediksi nilai curah hujan, kelembapan relatif, dan suhu udara permukaan dengan nilai korelasi yang tinggi. Skema 11 juga mampu memprediksi nilai tekanan udara permukaan dengan nilai korelasi yang cukup baik.

Kecenderungan nilai keluaran suatu skema dalam memprediksi nilai unsur cuaca ditampilkan pada Tabel 4. Suatu hasil keluaran skema pada model WRF-ARW tergolong *underestimate* bila bernilai negatif atau *overestimate* bila bernilai positif. Pada unsur suhu udara permukaan, skema 33 menghasilkan nilai Mean error 0,0 yang artinya skema 33 mampu memprediksi nilai suhu udara permukaan dengan sangat baik. Skema 11, 13, 23, 21, dan 32 memiliki nilai prediksi yang cenderung *underestimate* dibandingkan dengan nilai

observasi dengan nilai *Mean Error* kurang dari 1. Secara umum prediksi kelembapan relatif dari skema yang dijalankan menghasilkan nilai lebih rendah dari nilai observasi. Skema 11, 21, 31 dan 33 memiliki nilai ME yang kurang dari 1, sedangkan skema lainnya memiliki nilai ME yang lebih besar antara 2,59 sampai dengan 7,29. Dibandingkan dengan unsur cuaca lainnya, seluruh skema yang diuji mampu memprediksi nilai tekanan udara permukaan dengan nilai ME kurang dari 0,5. Nilai prediksi yang dihasilkan memiliki kecenderungan *overestimate* pada beberapa skema seperti skema 21, 23, 31, dan 33, serta *underestimate* pada skema lainnya. Pada estimasi nilai curah hujan, skema 11 dan 22 mampu menghasilkan nilai ME paling rendah diantara skema yang lain. Secara umum, seluruh skema menghasilkan nilai prediksi curah hujan yang *underestimate*, namun berbeda pada skema 23 yang cenderung *overestimate* dengan nilai yang cukup tinggi, 19,83.

Dalam analisis nilai ME, skema 11 dan 21 memiliki performa prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan skema yang lain. Skema 11 mampu memprediksi nilai unsur cuaca dengan nilai galat yang kecil walau pun dengan kecenderungan nilai yang *underestimate*. Dibandingkan dengan skema 11, skema 21 mampu mencapai nilai ME yang lebih kecil pada unsur curah hujan, kelembapan relatif, dan suhu udara permukaan.

Dari analisis tabel 4 dapat ditarik kesimpulan awal bahwa performa prediksi nilai suatu unsur cuaca memiliki kecenderungan akurasi yang tinggi jika menggunakan skema 11 dengan rincian skema KS-KF, hal tersebut berdasarkan nilai korelasi yang cenderung tinggi dan RMSE yang paling rendah dalam memprediksi nilai kelembapan relatif, curah hujan, suhu, dan tekanan udara permukaan.



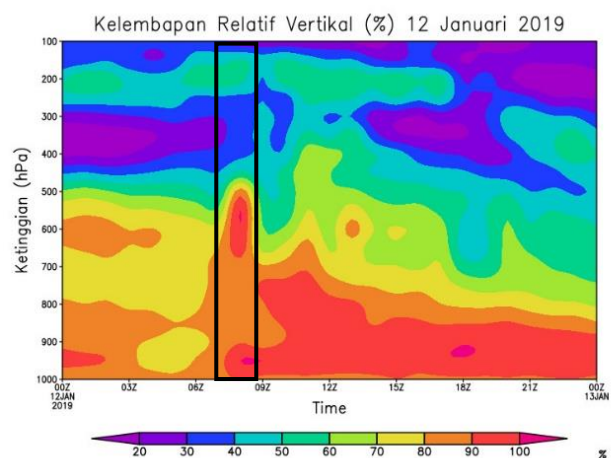
Gambar 2. Perbandingan nilai hasil skema parameterisasi dan nilai observasi a) curah hujan, b) kelembapan relatif permukaan, c) tekanan udara permukaan, dan d) suhu udara permukaan.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa pada seluruh parameter cuaca yang diuji, hasil prediksi skema 11 memiliki pola yang mirip dengan nilai observasi di Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2018 jam 00.00 UTC sampai dengan 13 Januari 2019 jam 00.00 UTC. Nilai prediksi skema parameterisasi 11 secara umum memiliki nilai *underestimate* terhadap nilai parameter cuaca observasi yang diuji. Hal ini terlihat dari posisi titik nilai observasi pada Gambar 2 secara umum berada di atas garis nilai keluaran model pada skema 11. Namun terlihat pula beberapa waktu nilai prediksi skema 11 mengalami *overestimate* terhadap nilai observasi.

Pada Gambar 2c, skema 11 sayangnya belum dapat mengikuti pola perubahan yang signifikan saat mengalami peningkatan atau penurunan tekanan udara. Kemudian Gambar 2d, pada grafik suhu udara permukaan, skema 11 sudah mampu menghasilkan nilai dengan pola yang hampir sama dengan nilai hasil observasi. Hal yang sama juga ditunjukkan pada grafik curah hujan dan kelembapan relatif. Namun pada grafik curah hujan, walaupun memiliki nilai galat yang relatif kecil dibandingkan dengan skema yang lain dan pola yang hampir sama dengan nilai observasi, skema 11 masih belum mampu mengetimasi nilai curah hujan yang berubah secara signifikan pada waktu yang relatif singkat. Senada dengan hasil penelitian [6] yang menyimpulkan bahwa suatu model tidak cukup mampu

merepresentasikan intensitas hujan dan waktu terjadinya dengan sesuai. Ketidakkampuan model ini bisa diakibatkan oleh beberapa hal, seperti penggunaan skema parameterisasi di luar mikrofisik dan kumululus yang mungkin kurang sesuai, data input model yang kurang akurat, serta kurang sesuainya setting konfigurasi model dengan topografi lokasi yang menjadi domain.

B. Analisis Kejadian Hujan Sangat Lebat berdasarkan Konfigurasi Skema Terpilih

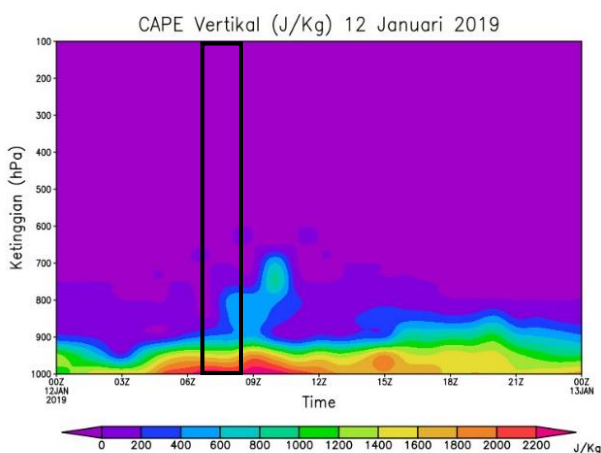


Gambar 3. RH Vertikal Lapisan 1000 sampai 100 mb (J/Kg) tanggal 12 Januari 2019

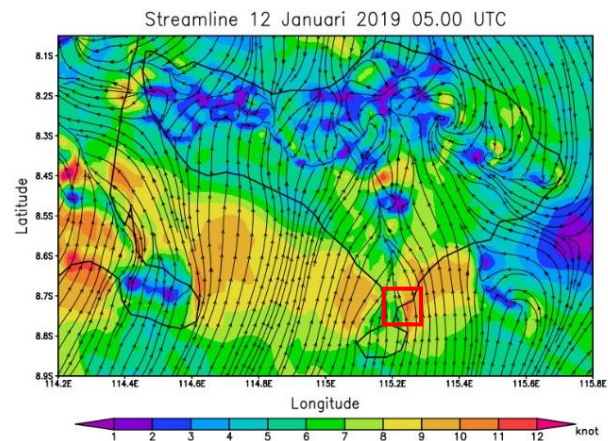
Pada gambar 3 menggambarkan kondisi kelembapan relatif dari lapisan permukaan sampai dengan lapisan 100 mb di Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019. Kelembapan relatif menyatakan banyaknya uap air yang terkandung di atmosfer dalam satuan persen.

Kondisi atmosfer pada saat kejadian hujan sangat lebat jam 07.00 – 08.00 UTC berdasarkan hasil skema KS-KF menunjukkan kandungan uap yang cukup basah di dekat permukaan sampai lapisan 500 hPa dengan kelembapan 80% sampai lebih besar dari 100 % dan cenderung meningkat sejak 05.00 UTC. Peningkatan nilai kelembapan relatif dari permukaan sampai dengan lapisan 500 hPa, menunjukkan meningkatnya kandungan uap air di atmosfer pada lapisan tersebut serta mengindikasikan adanya proses pertumbuhan awan konvektif yang berpotensi menyebabkan hujan sangat lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019 jam 07.00 – 08.00 UTC.

Gambar 4 menunjukkan nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) vertical pada tanggal 12 Januari 2019 jam 00.00 UTC sampai 13 Januari 2019 jam 00.00 UTC di Bandara I Gusti Ngurah Rai. Nilai CAPE menggambarkan besarnya energi angkat dalam proses pertumbuhan awan konvektif (Syaifullah, 2013). Nilai CAPE pada Gambar 4 yang >2000 Joule/Kg dimulai dari pukul 05.00 UTC sampai pukul 11.00 UTC, nilai CAPE maksimum terjadi pada pukul 06.00 – 09.00 UTC pada lapisan 1000 – 900 hPa. Kondisi ini diperkirakan dapat mendukung pertumbuhan awan konvektif dan terbentuknya badai. Berdasarkan batas indeks stabilitas atmosfer yang dikemukakan oleh Zakir dkk (2012), nilai CAPE di wilayah Bandar I Gusti Ngurah Rai tergolong ke dalam kategori Moderat (1000-2500) Joule/Kg dari pukul 05.00 – 11.00 UTC, hal ini mengindikasikan terdapat adanya potensi aktivitas pertumbuhan badai dengan intensitas sedang di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai dan sekitarnya.



Gambar 4. CAPE Vertikal Lapisan 1000 sampai 100 mb (J/Kg) tanggal 12 Januari 2019



Gambar 5. Arah dan Kecepatan Angin tanggal 12 Januari 2019

Gambar 5 menunjukkan pola aliran angin (*Streamline*) pada tanggal 12 Januari 2019. Streamline jam 05.00 UTC dipilih berdasarkan analisis peningkatan nilai CAPE pada Gambar 4 yang mulai mencapai nilai >2000 Joule/Kg pada jam tersebut. Secara umum angin dominan bergerak dari selatan. Pada wilayah bagian selatan pulau Bali disekitar Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai, terlihat adanya wilayah konvergensi yang ditandai dengan adanya pola pertemuan massa udara yang disertai penurunan kecepatan angin dari sekitar 7-8 knots menjadi sekitar 4-5 Knot. Pada kondisi ini, daerah tersebut berpotensi akan tumbuhnya awan konvektif karena adanya massa udara yang berkumpul sehingga akan memungkinkan terjadinya kondisi cuaca buruk di wilayah tersebut.

IV. KESEMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa;

- A. Dari sembilan konfigurasi skema kumululus dan mikrofisik pada model WRF-ARW yang diverifikasi terhadap nilai suhu udara permukaan, kelembapan udara, tekanan udara permukaan, dan curah hujan hasil observasi, skema KS-KF memiliki performa paling baik dalam merepresentasikan kejadian hujan sangat lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019, meskipun hasil skema KS-KF cenderung *underestimate* terhadap hasil observasi.
- B. Berdasarkan hasil keluaran skema KS-KF, diperoleh kondisi atmosfer yang mendukung terjadinya hujan sangat lebat di wilayah Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tanggal 12 Januari 2019. Pada jam 05.00-08.00 UTC kondisi atmosfer cukup basah dengan nilai RH yang terus meningkat sampai lapisan 500 hPa. Nilai CAPE yang menunjukkan adanya potensi aktivitas badai sedang. Dari pola aliran angin, menunjukkan

adanya wilayah konvergensi di atas Bandara I Gusti Ngurah Rai.

PUSTAKA

- [1] A. Fadianika, Uji Sensitivitas Parameterisasi Cumulus Untuk Prediksi Hujan di Jawa Timur. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol 11. No. 1, 2015, pp. 6-14.
- [2] A. R. Pahlevi, Skema Parameterisasi Kumulus Untuk Prediksi Hujan Di Wilayah Bandar Lampung. *Seminar Nasional Sains Atmosfer*, LAPAN, 2016.
- [3] A. Zakir, W. Sulistya, dan M. K. Khotomah, *Perspektif Oprasional Cuaca Tropis*. Puslitbang BMKG: Jakarta, 2010
- [4] COMET Program, 2006. Website: <https://www.meted.ucar.edu/nwp/>. Diakses tanggal 19 September 2019.
- [5] E. Kessler, On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation, *Meteor. Monogr.*, Vol. 32, 1969, 84 pp. 84
- [6] F. P. Sari, Sensitivitas Skema Mikrofisik Awan pada Model WRF untuk Simulasi Hujan Deras di Purworejo Jawa Tengah 20 Desember 2013. *Jurnal Fisika & Aplikasinya*. Vol. 11. No. 2, 2015, pp. 51-59
- [7] G. Sulung, M. Priyanka, N. Saraswati, *Pengaruh Parameterisasi Kumulus Terhadap Simulasi Angin Kencang Di Makasar Dengan Menggunakan WRF*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [8] H. Usman, dan R. P. S. Akbar, *Pengantar Statistika*, Edisi Kedua, Bumi Aksara, Jakarta, 2011.
- [9] I. Gustari, W. T. Hadi, S. Hadi, dan F. Renggono, Akurasi Prediksi Curah Hujan Harian Operasional Di Jabodetabek: Perbandingan Dengan Model WRF, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* Vol 13. No 2, 2012, pp. 119 – 130.
- [10] R. Kurniawan, Penggunaan Skema Konvektif Model Cuaca WRF (Betts Miller Janjic, Kain Fritsch dan Grell 3D Ensemble). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 15. No. 1, 2014, pp. 25-36.
- [11] W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Huang, W. Wang, dan J. G. Powers, *A Description of The Advanced Research WRF Version 3*, NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, Colorado, 2008