

Identifikasi Pengaruh Asimilasi Multi-Data Observasi (MDO) Dengan Metode *Three-Dimensional Variational System* (3D-Var) Berdasar Letak Efektif Jangkauan Radar Cuaca

Fitria Puspita Sari

Program Studi D-IV Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), fitria.sari@stmkg.ac.id

Patricia Rachel Mahubessy

Stasiun Meteorologi Klas III Mopah, Merauke, chawcm0703@gmail.com

ABSTRAK, Asimilasi data observasi pada model prediksi cuaca numerik perlu dilakukan untuk perbaikan prediksi cuaca. Namun kebanyakan asimilasi hanya membandingkan satu atau dua jenis data observasi sehingga pada penelitian ini dilakukan identifikasi pengaruh asimilasi multi-data observasi (MDO) berdasar letak efektif jangkauan radar cuaca. Titik lokasi terbagi menjadi tiga area yang terdiri dari lokasi efektif jangkauan radar (<50 km) yang diwakilkan oleh Surabaya dan Bali, area yang masih dalam jangkauan radar (<150 km) seperti Banyuwangi serta lokasi diluar kedua jangkauan radar yang diwakilkan oleh Situbondo. Asimilasi dilakukan dengan metode 3D-Var pada model WRF untuk prediksi hujan 20 Januari 2019. Hasilnya untuk daerah diluar jangkauan radar asimilasi MDO paling signifikan dalam perbaikan parameter kecepatan angin, namun tidak dengan hujan. Sementara untuk area yang berada dalam jangkauan efektif radar asimilasi MDO tidak lebih baik dari asimilasi yang hanya memakai data radar terdekat.

Kata Kunci: Asimilasi, Model PCN, Metode 3D-Var, Multi-data Observasi, Jangkauan Radar

1. PENDAHULUAN

Model prediksi cuaca numerik (PCN) merupakan salah satu alat yang paling banyak dikembangkan dan dipergunakan untuk operasional pembuatan prakiraan cuaca saat ini. Dalam pembuatan prakiraan cuaca sendiri, prediksi yang akurat secara waktu dan tempat sangat penting utamanya untuk pembuatan sistem peringatan dini cuaca, penurunan resiko bencana hingga pembuatan rencana evakuasi setelah bencana. Namun sayangnya model PCN membutuhkan data inisial yang tepat untuk setidaknya mengurangi galat yang dihasilkan akibat pendekatan numerik. Sehingga untuk menyediakan prediksi cuaca yang akurat salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan memperbaiki data inisial model melalui teknik asimilasi data (DA) [1,2].

Terdapat beberapa metode DA yang kerap diaplikasikan untuk perbaikan model PCN, khususnya yang menggunakan pendekatan

berbasis Bayesian seperti metode variational system, ensemble DA, dan monte-carlo [3]. Namun diantara metode-metode tersebut, metode variational system seperti 3D/4D-Var merupakan yang populer dan banyak dikembangkan untuk perbaikan model PCN [4,5]. Hal ini dikarenakan teknik tersebut tidak hanya mempertimbangkan kendala akibat perhitungan fisis, dinamis, dan termodinamik model cuaca skala meso, tapi juga mampu menggabungkan data konvensional dan non-konvensional dari berbagai platform observasi yang memiliki perbedaan interval waktu pengamatan. Namun dibandingkan dengan teknik 4D-Var, 3D-Var lebih banyak dipilih dalam pembuatan prediksi cuaca jangka pendek. Hal ini dikarenakan teknik 3D-Var mampu menghasilkan skill prediksi cuaca yang tinggi dengan penggunaan sumber daya komputasi lebih murah dan efisien [6,7].

Penggunaan metode DA 3D-Var untuk perbaikan prediksi cuaca di Indonesia sudah banyak dilakukan. Misal pemanfaatan data synop permukaan dan udara atas untuk perbaikan prediksi hujan di Pulau Jawa [8]. Kemudian data C-Band Doppler Radar untuk perbaikan prediksi hujan di Jabodetabek [9]. Atau bahkan pemanfaatan data reanalysis satelit untuk perbaikan prediksi angin di seluruh wilayah Indonesia [10]. Namun demikian masih jarang penelitian terkait pemanfaatan multi data observasi (MDO) yang menggabungkan data synop permukaan, udara atas, satelit, dan radar untuk perbaikan prediksi hujan. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh MDO tersebut untuk perbaikan model PCN, khususnya untuk daerah-daerah yang tidak berada di jangkauan radar cuaca.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Asimilasi *Three-Dimensional Variational System* (3D-Var)

Secara umum metode *Variational System* memakai persamaan variasi nilai *increment* antara model dan data observasi [11]. Analisis optimal metode ini kemudian didapatkan dengan meminimalisir *cost function* (J) yang menghitung perbedaan antara model dan data observasi. Adapun perhitungan *cost function* (J) yang dimaksud tertera pada persamaan 2.1 berikut:

$$J(x_0) = \frac{1}{2}(x_0 - x_0^b)^T B^{-1}(x_0 - x_0^b) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \{y_k^0 - H_k[M_k(x_0)]\}^T \times R^{-1} \{y_k^0 - H_k[M_k(x_0)]\} \quad (2.1)$$

Nilai *cost function* (J) ini mengasumsikan jendela waktu asimilasi dapat memuat sejumlah K data observasi (k) dimana x_0 , x_0^b , dan y_k^0 masing-masing merepresentasikan nilai kondisi awal atmosfer pada model, nilai *background error* model, serta nilai observasi. Sementara M_k adalah prediksi non-linear model yang nantinya akan mempropagasi nilai awal model ke sejumlah data k observasi (dimensi waktu) pada jendela asimilasi yang ditentukan. Namun, untuk metode 3D-Var, data inisial hanya diasimilasikan sekali pada waktu awal model mulai dijalankan, sehingga K diatur menjadi 0 dan M_k merupakan matriks identitas. Kemudian variabel H_k adalah matriks operator dari nilai non-linear observasi, B dan R adalah matriks kovarian untuk nilai *error* untuk *background* model dan observasi. Kemudian untuk meminimalisir nilai *cost function* (J) maka dapat digunakan inovasi variabel (d) [12] sejumlah data k observasi dengan formula 2.2 berikut $d_k = y_k^0 - H_k[M_k(x_0)]$.

Kemudian operator H_k dan M_k pada persamaan 2.1 di linearisasi dengan persamaan 2.3 berikut: $H_k[M_k(x_0)] \approx H_k[M_k(x_0^{n-1})] + H_k M_k[x_0^{n-1}] \delta x_0^n$ dengan n dan $n - 1$ merupakan iterasi pada grid horizontal, H_k dan M_k adalah operator tangent linear dari operator H_k dan M_k serta δx merupakan nilai *increment*.

Model Weather Research and Forecasting (WRF-ARW)

Model WRF-ARW merupakan model PCN generasi lanjutan skala meso yang didesain untuk

riset di bidang atmosfer dan aplikasi untuk operasional prakiraan cuaca [13]. Model ini merupakan model non-hidrostatik yang dibangun dari persamaan dinamis berupa adveksi, *pressure-gradient*, *coriolis*, *buoyancy*, dan difusi. Sementara untuk perhitungan fisisnya dilakukan dengan metode parameterisasi sesuai dengan kondisi fisis yang ingin dimodelkan. Secara umum model ini menggunakan teknik beda hingga dengan jenis *Arakawa C-grid staggering* untuk komponen angin/dinamis dan koordinat massa untuk komponen fisis. Sementara untuk integrasi waktu, model ini menggunakan metode penyelesaian Runge-Kutta Orde 3, dan skema adveksi orde tinggi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

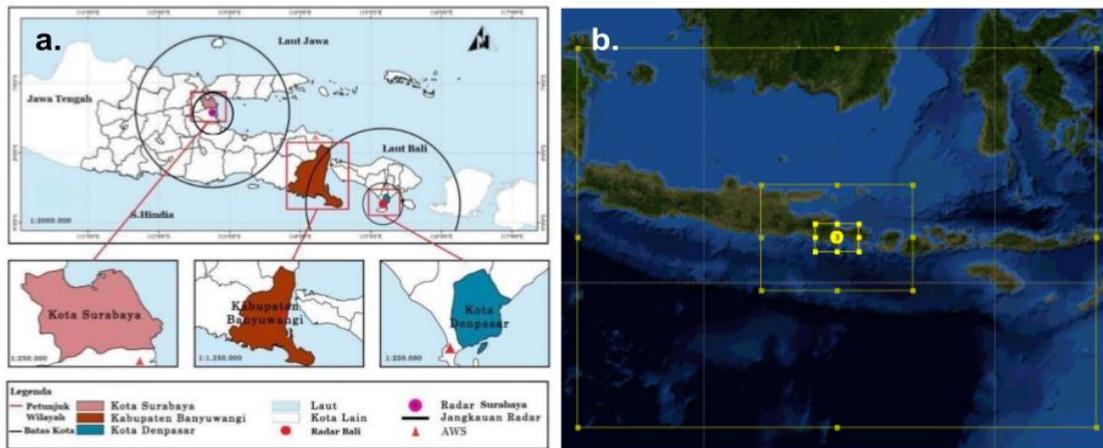
Penelitian ini berfokus pada kejadian hujan tanggal 20 Januari 2019 yang dimana hujan tersebut merupakan tipe hujan *stratiform* dengan ciri daerah hujan luas dan bertahan hingga beberapa jam. Sementara untuk daerah penelitian dipilih empat lokasi yang masing-masing mewakili titik observasi dalam radius efektif radar (<50 km) seperti Bali dan Surabaya, titik yang berada di rentang 150 km dari pusat radar (Banyuwangi) serta titik diluar jangkauan radar (>150 km) seperti Situbondo. Penelitian ini menggunakan data inisial dan batas (*initial and boundary condition*; IBC) dari *Global Forecasting System* (GFS) yang memiliki resolusi spasial 0.25° dan temporal 3 jam (<https://rda.ucar.edu/>) selama 36 jam dimulai dari 19 Januari 2019 pukul 19.00 WIB/20.00 WITA dimana 12 jam pertama dijadikan sebagai waktu pemanasan model (*spin-up time*) dan 24 jam selanjutnya untuk analisis.

Kemudian untuk data observasi digunakan:

- 1) Data radar jenis EEC (Bali) dan radar jenis Gematronik (Surabaya) untuk parameter reflektifitas (Z) dan kecepatan angin (V) produk *Plan Position Indicator* (PPI),
- 2) Data observasi *synop* format PREBUFR (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds377.0/>),
- 3) Data satelit AMSU-A dan MHS format BUFR (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds735.0/>),
- 4) Data *background error* (BE) be.dat

- 5) Data hujan akumulasi harian GSMAP-NRT resolusi 0.25° (<ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp>) dan (6) Data AWS Digi Stamet Ngurah Rai Bali, Banyuwangi, Situbondo dan Maritim Perak II (Gambar 1.a) dengan resolusi data mentah per 10 menit.

statistik, analisis deret waktu serta perbandingan spasial secara *eyeball*. Untuk analisis statistik sendiri digunakan Diagram Taylor [14]- diagram yang dapat menilai kesesuaian observasi (o) dan model (m) dengan mengkuantifikasi nilai korelasi (R) dan rasio variasi (σ) nilai keduanya.



Gambar 1.a. Lokasi penelitian dimana daerah berwarna merupakan area titik observasi sementara lingkaran hitam kecil merupakan jangkauan efektif radar cuaca (50 km) dan lingkaran hitam besar jangkauan terluar (150 km), b. Domain model WRF yang diterapkan untuk asimilasi data observasi

Data-data tersebut selanjutnya dimodelkan menggunakan *Weather Research and Forecasting* (WRF) model versi 3.9 dengan pembagian 3 domain (Gambar 1.b) dimana resolusi induk dan anakan masing-masing 27, 9 dan 3 km. Domain berbentuk persegi dengan jumlah grid horizontal timur-barat dan utara-selatan sama untuk ketiga domain yakni masing-masing 100, 88, 76 serta grid vertikal sebanyak 37 lapisan. Perhitungan fisis pada model menggunakan skema bawaan model WRF (default) kecuali untuk mikrofisika awan menggunakan the *WRF single-moment 6-class* (WSM6) dan kumulus *New Tiedtke Scheme*. Model dijalankan selama 36 jam dengan resolusi output model per 180, 60 dan 30 menit untuk masing-masing domain. Selanjutnya model dijalankan dengan lima skema untuk mengetahui pengaruh perbaikan yang diberikan oleh masing-masing jenis data observasi. Model tanpa asimilasi data observasi merupakan M1, model dengan variasi asimilasi data *synop*, pibal, *sounding*, satelit dan radar (M2, M3 dan M4), serta model yang menggunakan skema MDO dinamakan M5 (Tabel 3.1).

Kemudian untuk mengetahui pengaruh dan performa model asimilasi dilakukan analisis

Tabel 3.1. Konfigurasi skema running model asimilasi

Jenis Model	Data			
	Synop , Rason dan Pibal	Satelit AMSU -A dan MHS	Radar PPI-Z dan PPI-V Surabay a	Radar PPI-Z dan PPI-V Bali
Model 1 (M1)	-	-	-	-
Model 2 (M2)	✓	✓	-	-
Model 3 (M3)	✓	✓	-	✓
Model 4 (M4)	✓	✓	✓	-
Model 5 (M5)	✓	✓	✓	✓

Diagram Taylor dipertimbangkan sebagai metode analisis mengingat diagram ini dapat menyajikan data dengan kompleksitas tinggi terkait evaluasi *skill* model yang dibandingkan. Pada penelitian ini satu jenis Diagram Taylor memuat lima jenis konfigurasi model untuk empat titik observasi yang dimana masing-

masing nilai parameter cuacanya diplot berdasar nilai RMS terpusatnya (centered root-mean-square) dengan persamaan (3.1)

$$E'^2 = \sigma_m^2 + \sigma_o^2 - 2\sigma_m\sigma_oR. \quad (3.1)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Diagnostik Statistik Asimilasi MDO

Mengingat setiap konfigurasi mengasimilasikan jenis data observasi yang berbeda-beda maka pada analisis ini hanya akan ditampilkan ringkasan pada konfigurasi MDO yang memuat semua jenis data observasi. Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa semua data observasi yang diasimilasikan pada model memiliki pengaruh pada setiap parameter dibandingkan

dengan data *background* modelnya. Disini terlihat semua parameter memiliki variasi nilai statistik (maks., min., rata-rata, dan RMSE) kecuali nilai komponen angin (u dan v), tekanan udara dan *mixing ratio* pada data synop serta reflektifitas pada data radar. Sama halnya dengan Gambar 2 (bawah) pengaruh asimilasi berbagai jenis data observasi menghasilkan nilai parameter cuaca yang berbeda dari yang dihasilkan oleh model tanpa asimilasi (M1). Dari hasil statistik ini juga terlihat bahwa untuk data *sounding*, parameter cuaca yang terpengaruh adalah nilai komponen angin dan suhu, sementara untuk *synop* hanya berpengaruh pada nilai suhu. Data pilot balon tentu berpengaruh pada komponen angin mengingat data pibal memang hanya berisi arah dan kecepatan angin saat

<p>Diagnosics of OI for sound</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>t (K)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>q (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>54</td> <td></td> <td></td> <td>54</td> <td></td> <td></td> <td>56</td> <td></td> <td></td> <td>42</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-8.0420</td> <td>1</td> <td>88</td> <td>-4.1530</td> <td>1</td> <td>90</td> <td>-3.6767</td> <td>1</td> <td>85</td> <td>-0.2281E-02</td> <td>1</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>8.5235</td> <td>1</td> <td>93</td> <td>5.0756</td> <td>1</td> <td>60</td> <td>1.3367</td> <td>1</td> <td>28</td> <td>0.2275E-02</td> <td>1</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>0.0616</td> <td></td> <td></td> <td>-0.0966</td> <td></td> <td></td> <td>-0.0462</td> <td></td> <td></td> <td>0.2469E-03</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>3.3038</td> <td></td> <td></td> <td>2.1524</td> <td></td> <td></td> <td>1.0352</td> <td></td> <td></td> <td>0.1084E-02</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	q (kg/kg)	n	k	Number:	54			54			56			42			Minimum(n,k):	-8.0420	1	88	-4.1530	1	90	-3.6767	1	85	-0.2281E-02	1	22	Maximum(n,k):	8.5235	1	93	5.0756	1	60	1.3367	1	28	0.2275E-02	1	27	Average :	0.0616			-0.0966			-0.0462			0.2469E-03			RMSE :	3.3038			2.1524			1.0352			0.1084E-02								
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	q (kg/kg)	n	k																																																																																					
Number:	54			54			56			42																																																																																							
Minimum(n,k):	-8.0420	1	88	-4.1530	1	90	-3.6767	1	85	-0.2281E-02	1	22																																																																																					
Maximum(n,k):	8.5235	1	93	5.0756	1	60	1.3367	1	28	0.2275E-02	1	27																																																																																					
Average :	0.0616			-0.0966			-0.0462			0.2469E-03																																																																																							
RMSE :	3.3038			2.1524			1.0352			0.1084E-02																																																																																							
<p>Diagnosics of OI for synop</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>t (K)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>p (Pa)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>q (kg/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>2.6821</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-4.8381</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-0.8138</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>76.9231</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0.1527E-02</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>2.6821</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-4.8381</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>2.8959</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>76.9231</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0.1527E-02</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>2.6821</td> <td></td> <td></td> <td>-4.8381</td> <td></td> <td></td> <td>1.0411</td> <td></td> <td></td> <td>76.9231</td> <td></td> <td></td> <td>0.1527E-02</td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>2.6821</td> <td></td> <td></td> <td>4.8381</td> <td></td> <td></td> <td>2.1270</td> <td></td> <td></td> <td>76.9231</td> <td></td> <td></td> <td>0.1527E-02</td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	p (Pa)	n	k	q (kg/kg)	Number:	1			1			2			1			1	Minimum(n,k):	2.6821	2	0	-4.8381	2	0	-0.8138	2	0	76.9231	2	0	0.1527E-02	Maximum(n,k):	2.6821	2	0	-4.8381	2	0	2.8959	2	0	76.9231	2	0	0.1527E-02	Average :	2.6821			-4.8381			1.0411			76.9231			0.1527E-02	RMSE :	2.6821			4.8381			2.1270			76.9231			0.1527E-02
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	p (Pa)	n	k	q (kg/kg)																																																																																				
Number:	1			1			2			1			1																																																																																				
Minimum(n,k):	2.6821	2	0	-4.8381	2	0	-0.8138	2	0	76.9231	2	0	0.1527E-02																																																																																				
Maximum(n,k):	2.6821	2	0	-4.8381	2	0	2.8959	2	0	76.9231	2	0	0.1527E-02																																																																																				
Average :	2.6821			-4.8381			1.0411			76.9231			0.1527E-02																																																																																				
RMSE :	2.6821			4.8381			2.1270			76.9231			0.1527E-02																																																																																				
<p>Diagnosics of OI for pilot</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-1.9458</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>-3.3158</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>0.2527</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1.8993</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>-0.6814</td> <td></td> <td></td> <td>-1.1146</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>0.9522</td> <td></td> <td></td> <td>1.8935</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	Number:	12			12			Minimum(n,k):	-1.9458	1	7	-3.3158	1	3	Maximum(n,k):	0.2527	1	4	1.8993	1	10	Average :	-0.6814			-1.1146			RMSE :	0.9522			1.8935																																												
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k																																																																																											
Number:	12			12																																																																																													
Minimum(n,k):	-1.9458	1	7	-3.3158	1	3																																																																																											
Maximum(n,k):	0.2527	1	4	1.8993	1	10																																																																																											
Average :	-0.6814			-1.1146																																																																																													
RMSE :	0.9522			1.8935																																																																																													
<p>Diagnosics of OI for radar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>rv (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rf (dBZ)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rqv (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rsm (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rgr (kg/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>19</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-1.1954</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>0.0000</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>0.0000</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>888888.0000</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>888888.0000</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>2.8515</td> <td>14</td> <td>3</td> <td>0.0000</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>0.0041</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-888888.0000</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-888888.0000</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>0.3383</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0020</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>1.2099</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0023</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>														var	rv (m/s)	n	k	rf (dBZ)	n	k	rqv (kg/kg)	n	k	rsm (kg/kg)	n	k	rgr (kg/kg)	Number:	9			2			19			0			0	Minimum(n,k):	-1.1954	13	1	0.0000	4	1	0.0000	0	0	888888.0000	0	0	888888.0000	Maximum(n,k):	2.8515	14	3	0.0000	4	1	0.0041	0	0	-888888.0000	0	0	-888888.0000	Average :	0.3383			0.0000			0.0020			0.0000			0.0000	RMSE :	1.2099			0.0000			0.0023			0.0000			0.0000
var	rv (m/s)	n	k	rf (dBZ)	n	k	rqv (kg/kg)	n	k	rsm (kg/kg)	n	k	rgr (kg/kg)																																																																																				
Number:	9			2			19			0			0																																																																																				
Minimum(n,k):	-1.1954	13	1	0.0000	4	1	0.0000	0	0	888888.0000	0	0	888888.0000																																																																																				
Maximum(n,k):	2.8515	14	3	0.0000	4	1	0.0041	0	0	-888888.0000	0	0	-888888.0000																																																																																				
Average :	0.3383			0.0000			0.0020			0.0000			0.0000																																																																																				
RMSE :	1.2099			0.0000			0.0023			0.0000			0.0000																																																																																				
<p>Diagnosics of OI for radiance noaa-15-amsua</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>used_nchan:</th> <th>5</th> </tr> <tr> <th>Channel</th> <th>num</th> <th>ave</th> <th>rms</th> <th>min</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>14</td> <td>-0.21</td> <td>0.40</td> <td>-0.88</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>0.01</td> <td>0.14</td> <td>-0.22</td> <td>0.38</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>18</td> <td>0.02</td> <td>0.12</td> <td>-0.17</td> <td>0.28</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>18</td> <td>0.12</td> <td>0.17</td> <td>-0.10</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>18</td> <td>0.01</td> <td>0.17</td> <td>-0.31</td> <td>0.43</td> </tr> </tbody> </table>														used_nchan:	5	Channel	num	ave	rms	min	max	5	14	-0.21	0.40	-0.88	0.25	6	18	0.01	0.14	-0.22	0.38	7	18	0.02	0.12	-0.17	0.28	8	18	0.12	0.17	-0.10	0.32	9	18	0.01	0.17	-0.31	0.43																																														
used_nchan:	5																																																																																																
Channel	num	ave	rms	min	max																																																																																												
5	14	-0.21	0.40	-0.88	0.25																																																																																												
6	18	0.01	0.14	-0.22	0.38																																																																																												
7	18	0.02	0.12	-0.17	0.28																																																																																												
8	18	0.12	0.17	-0.10	0.32																																																																																												
9	18	0.01	0.17	-0.31	0.43																																																																																												
<p>Diagnosics of AO for sound</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>t (K)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>q (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>54</td> <td></td> <td></td> <td>54</td> <td></td> <td></td> <td>56</td> <td></td> <td></td> <td>42</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-7.8117</td> <td>1</td> <td>88</td> <td>-3.7869</td> <td>1</td> <td>90</td> <td>-1.9555</td> <td>1</td> <td>85</td> <td>-0.1538E-02</td> <td>1</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>5.0369</td> <td>1</td> <td>93</td> <td>3.7071</td> <td>1</td> <td>96</td> <td>1.4043</td> <td>1</td> <td>89</td> <td>0.1867E-02</td> <td>1</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>-0.1599</td> <td></td> <td></td> <td>-0.0217</td> <td></td> <td></td> <td>-0.0809</td> <td></td> <td></td> <td>0.5298E-04</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>2.1574</td> <td></td> <td></td> <td>1.4969</td> <td></td> <td></td> <td>0.5958</td> <td></td> <td></td> <td>0.7218E-03</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	q (kg/kg)	n	k	Number:	54			54			56			42			Minimum(n,k):	-7.8117	1	88	-3.7869	1	90	-1.9555	1	85	-0.1538E-02	1	22	Maximum(n,k):	5.0369	1	93	3.7071	1	96	1.4043	1	89	0.1867E-02	1	27	Average :	-0.1599			-0.0217			-0.0809			0.5298E-04			RMSE :	2.1574			1.4969			0.5958			0.7218E-03								
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	q (kg/kg)	n	k																																																																																					
Number:	54			54			56			42																																																																																							
Minimum(n,k):	-7.8117	1	88	-3.7869	1	90	-1.9555	1	85	-0.1538E-02	1	22																																																																																					
Maximum(n,k):	5.0369	1	93	3.7071	1	96	1.4043	1	89	0.1867E-02	1	27																																																																																					
Average :	-0.1599			-0.0217			-0.0809			0.5298E-04																																																																																							
RMSE :	2.1574			1.4969			0.5958			0.7218E-03																																																																																							
<p>Diagnosics of AO for synop</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>t (K)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>p (Pa)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>q (kg/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>3.1874</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-5.5665</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-0.3627</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>57.8135</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0.4438E-03</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>3.1874</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>-5.5665</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>2.5978</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>57.8135</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0.4438E-03</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>3.1874</td> <td></td> <td></td> <td>-5.5665</td> <td></td> <td></td> <td>1.1175</td> <td></td> <td></td> <td>57.8135</td> <td></td> <td></td> <td>0.4438E-03</td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>3.1874</td> <td></td> <td></td> <td>5.5665</td> <td></td> <td></td> <td>1.8547</td> <td></td> <td></td> <td>57.8135</td> <td></td> <td></td> <td>0.4438E-03</td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	p (Pa)	n	k	q (kg/kg)	Number:	1			1			2			1			1	Minimum(n,k):	3.1874	2	0	-5.5665	2	0	-0.3627	2	0	57.8135	2	0	0.4438E-03	Maximum(n,k):	3.1874	2	0	-5.5665	2	0	2.5978	1	0	57.8135	2	0	0.4438E-03	Average :	3.1874			-5.5665			1.1175			57.8135			0.4438E-03	RMSE :	3.1874			5.5665			1.8547			57.8135			0.4438E-03
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	t (K)	n	k	p (Pa)	n	k	q (kg/kg)																																																																																				
Number:	1			1			2			1			1																																																																																				
Minimum(n,k):	3.1874	2	0	-5.5665	2	0	-0.3627	2	0	57.8135	2	0	0.4438E-03																																																																																				
Maximum(n,k):	3.1874	2	0	-5.5665	2	0	2.5978	1	0	57.8135	2	0	0.4438E-03																																																																																				
Average :	3.1874			-5.5665			1.1175			57.8135			0.4438E-03																																																																																				
RMSE :	3.1874			5.5665			1.8547			57.8135			0.4438E-03																																																																																				
<p>Diagnosics of AO for pilot</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>u (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>v (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td>12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-1.0285</td> <td>1</td> <td>7</td> <td>-2.8297</td> <td>1</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>0.8988</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>1.3647</td> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>-0.1371</td> <td></td> <td></td> <td>-0.8689</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>0.5673</td> <td></td> <td></td> <td>1.3594</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>														var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k	Number:	12			12			Minimum(n,k):	-1.0285	1	7	-2.8297	1	11	Maximum(n,k):	0.8988	1	4	1.3647	1	10	Average :	-0.1371			-0.8689			RMSE :	0.5673			1.3594																																												
var	u (m/s)	n	k	v (m/s)	n	k																																																																																											
Number:	12			12																																																																																													
Minimum(n,k):	-1.0285	1	7	-2.8297	1	11																																																																																											
Maximum(n,k):	0.8988	1	4	1.3647	1	10																																																																																											
Average :	-0.1371			-0.8689																																																																																													
RMSE :	0.5673			1.3594																																																																																													
<p>Diagnosics of AO for radar</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>var</th> <th>rv (m/s)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rf (dBZ)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rqv (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rsm (kg/kg)</th> <th>n</th> <th>k</th> <th>rgr (kg/kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Number:</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td>19</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Minimum(n,k):</td> <td>-0.5427</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>0.0000</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>-0.0006</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>888888.0000</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>888888.0000</td> </tr> <tr> <td>Maximum(n,k):</td> <td>1.4610</td> <td>14</td> <td>3</td> <td>0.0000</td> <td>4</td> <td>1</td> <td>0.0023</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-888888.0000</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-888888.0000</td> </tr> <tr> <td>Average :</td> <td>0.2378</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0009</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>RMSE :</td> <td>0.6930</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0013</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> <td></td> <td></td> <td>0.0000</td> </tr> </tbody> </table>														var	rv (m/s)	n	k	rf (dBZ)	n	k	rqv (kg/kg)	n	k	rsm (kg/kg)	n	k	rgr (kg/kg)	Number:	9			2			19			0			0	Minimum(n,k):	-0.5427	13	1	0.0000	4	1	-0.0006	0	0	888888.0000	0	0	888888.0000	Maximum(n,k):	1.4610	14	3	0.0000	4	1	0.0023	0	0	-888888.0000	0	0	-888888.0000	Average :	0.2378			0.0000			0.0009			0.0000			0.0000	RMSE :	0.6930			0.0000			0.0013			0.0000			0.0000
var	rv (m/s)	n	k	rf (dBZ)	n	k	rqv (kg/kg)	n	k	rsm (kg/kg)	n	k	rgr (kg/kg)																																																																																				
Number:	9			2			19			0			0																																																																																				
Minimum(n,k):	-0.5427	13	1	0.0000	4	1	-0.0006	0	0	888888.0000	0	0	888888.0000																																																																																				
Maximum(n,k):	1.4610	14	3	0.0000	4	1	0.0023	0	0	-888888.0000	0	0	-888888.0000																																																																																				
Average :	0.2378			0.0000			0.0009			0.0000			0.0000																																																																																				
RMSE :	0.6930			0.0000			0.0013			0.0000			0.0000																																																																																				
<p>Diagnosics of AO for radiance noaa-15-amsua</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>used_nchan:</th> <th>5</th> </tr> <tr> <th>Channel</th> <th>num</th> <th>ave</th> <th>rms</th> <th>min</th> <th>max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>14</td> <td>-0.07</td> <td>0.25</td> <td>-0.61</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>18</td> <td>0.02</td> <td>0.10</td> <td>-0.12</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>18</td> <td>-0.03</td> <td>0.12</td> <td>-0.25</td> <td>0.23</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>18</td> <td>0.04</td> <td>0.10</td> <td>-0.18</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>18</td> <td>-0.02</td> <td>0.16</td> <td>-0.29</td> <td>0.28</td> </tr> </tbody> </table>														used_nchan:	5	Channel	num	ave	rms	min	max	5	14	-0.07	0.25	-0.61	0.23	6	18	0.02	0.10	-0.12	0.26	7	18	-0.03	0.12	-0.25	0.23	8	18	0.04	0.10	-0.18	0.17	9	18	-0.02	0.16	-0.29	0.28																																														
used_nchan:	5																																																																																																
Channel	num	ave	rms	min	max																																																																																												
5	14	-0.07	0.25	-0.61	0.23																																																																																												
6	18	0.02	0.10	-0.12	0.26																																																																																												
7	18	-0.03	0.12	-0.25	0.23																																																																																												
8	18	0.04	0.10	-0.18	0.17																																																																																												
9	18	-0.02	0.16	-0.29	0.28																																																																																												

Gambar 4.1 Hasil diagnostik statistik data Observasi *Minus Background* (OMB; atas) dan Observasi *Minus Kondisi Awal Model* (OMA; bawah) untuk gabungan data radiosonde, synop, pibal, radar dan satelit AMSU-A (MDO(M5))

dilaporkan. Selanjutnya untuk radar dia hanya berpengaruh pada kecepatan angin radial dan dijalankan hingga 36 jam kedepan.

normal bahkan cenderung lebih kecil untuk semua parameter [15-17] kecuali tekanan udara yang mendekati NAB ± 6 hPa [18]. Oleh karena

Mean of gridded analysis increments							
Lvl	u(m/s)	v(m/s)	t(K)	p(Pa)	q(kg/kg)	q _{cw} (kg/kg)	q _{zn} (kg/kg)
1	-0.2984	-0.2125	-0.0466	-15.5769	0.1439E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
2	-0.3776	-0.2881	-0.1851	-15.4625	0.1511E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
3	-0.4459	-0.3624	-0.3626	-15.3128	0.1540E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
4	-0.5124	-0.4016	-0.5497	-15.1173	0.1522E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
5	-0.5879	-0.3651	-0.6994	-14.8626	0.1433E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
6	-0.6664	-0.2407	-0.7845	-14.5327	0.1284E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
7	-0.7203	-0.0836	-0.8440	-14.1094	0.1152E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
8	-0.7168	0.0470	-0.8484	-13.5740	0.1108E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
9	-0.6175	0.1178	-0.7845	-12.9096	0.1369E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
10	-0.4607	0.1287	-0.6749	-12.1056	0.2334E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
11	-0.4001	0.2199	-0.4675	-11.1624	0.4106E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
12	-0.4921	0.3949	-0.2778	-10.0948	0.5234E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
13	-0.6407	0.5720	-0.1903	-8.9329	0.5572E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
14	-0.7392	0.6722	-0.1635	-7.7169	0.5130E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
15	-0.6455	0.6146	-0.0509	-6.4835	0.3799E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
16	-0.3951	0.4142	0.1433	-5.2655	0.2251E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
17	-0.2492	0.1825	0.0823	-4.0985	0.1563E-03	0.0000E+00	0.0000E+00
18	-0.3326	-0.1118	-0.0168	-3.0205	0.9767E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
19	-0.5302	-0.4172	-0.0696	-2.0685	0.4661E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
20	-0.6280	-0.4302	-0.1654	-1.2757	0.8358E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
21	-0.4681	-0.2526	-0.0949	-0.6851	0.6078E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
22	-0.1312	-0.0228	0.0809	-0.3043	0.1429E-04	0.0000E+00	0.0000E+00
23	0.2280	0.2769	0.1936	-0.0930	-0.7262E-06	0.0000E+00	0.0000E+00
24	0.4955	0.4130	0.1254	-0.0124	-0.1059E-05	0.0000E+00	0.0000E+00
25	0.5325	0.1632	0.1731	0.0000	-0.1485E-06	0.0000E+00	0.0000E+00
26	0.3135	-0.1722	0.3140	0.0000	0.9456E-07	0.0000E+00	-0.6070E-10
27	0.2706	-0.2287	0.3600	0.0000	0.9535E-07	0.0000E+00	-0.1525E-09
28	0.3447	-0.2853	0.1939	0.0000	0.3462E-07	0.0000E+00	-0.1104E-09
29	0.1485	-0.4626	0.1555	0.0000	0.4025E-08	0.0000E+00	-0.2704E-10
30	-0.1470	-0.4342	-0.2227	0.0000	-0.2872E-09	0.0000E+00	0.0000E+00
31	-0.4346	-0.3821	-0.0604	0.0000	-0.4532E-10	0.0000E+00	0.0000E+00
32	-0.6470	-0.3852	-0.1807	0.0000	0.1365E-09	0.0000E+00	0.2383E-10
33	-0.4883	-0.3717	-0.3391	0.0000	-0.3275E-10	0.0000E+00	0.1613E-10
34	-0.0556	-0.2831	0.2042	0.0000	-0.1030E-09	0.0000E+00	0.2950E-11
35	0.2812	-0.2010	0.1547	0.0000	0.8345E-10	0.0000E+00	0.2962E-10
36	0.4168	-0.1469	0.1025	0.0000	0.4248E-09	0.0000E+00	0.6139E-10
37	0.4239	-0.0703	0.3876	0.0000	0.8100E-09	0.0000E+00	0.2360E-10
ALL	-0.2533	-0.0647	-0.1462	-5.5345	0.1226E-03	0.0000E+00	-0.5220E-11

Gambar 4.2. Sama dengan Gambar 4.1 namun untuk rata-rata nilai *incremental analysis* asimilasi MDO (M5) per level ketinggian vertikal

Sementara hasil increment antara nilai observasi dan model pada lapisan vertikal model ditunjukkan oleh Gambar 3. Terlihat bahwa data observasi yang bersifat 3-dimensi seperti data *sounding*, pibal, dan radar memiliki pengaruh terhadap perubahan nilai parameter cuaca pada model khususnya nilai komponen angin, suhu, tekanan udara dan *mixing ratio*. Disini terlihat bahwa rata-rata nilai *increment* untuk semua ketinggian vertikal pada model memiliki nilai negatif, yang artinya hasil asimilasi data menaikkan nilai parameter cuaca pada model sebesar 0.2533 m/s dan 0.0647 m/s untuk masing-masing nilai komponen angin zonal (u) dan meridional (v), 0.1462 K untuk parameter suhu udara, 5.5345 Pa untuk tekanan dan 0.1226 g/kg untuk *mixing ratio*. Bila dirujuk pada nilai ambang batas (NAB) hasil *increment* untuk masing-masing variabel masih dalam rentang

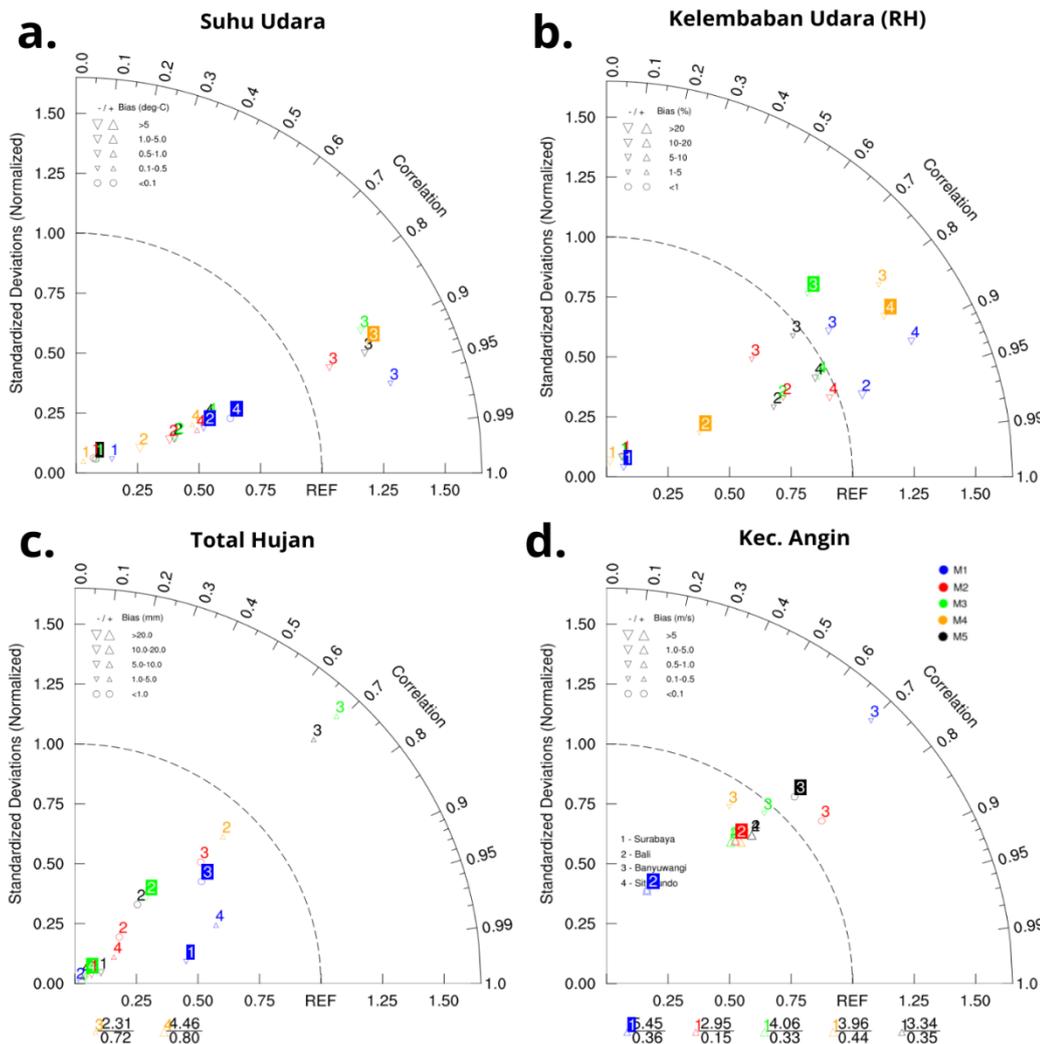
adanya pengaruh dari penambahan observasi pada data awalan model, maka pada sub bab selanjutnya akan dianalisis bagaimana hasil asimilasi tersebut berpengaruh untuk prediksi cuaca setelah *mixing ratio* udara, dan satelit hanya memperbaiki suhu udara hasil citra satelit NOAA-15-AMSUA. Untuk nilainya sendiri cukup bervariasi antar-data dan parameter.

Analisis Statistik Hasil Prediksi Model

Secara umum parameter cuaca yang diujikan pada penelitian ini menunjukkan hasil beragam dari lokasi dan konfigurasi asimilasi modelnya (Gambar 4.3). Diantara empat parameter hasil prediksi yang dianalisis terlihat bahwa parameter suhu udara menunjukkan performa model yang paling konsisten secara lokasi, diikuti oleh kelembaban udara, kemudian

hujan, dan yang paling tidak konsisten adalah kecepatan angin.

terlihat bahwa ratio variasi paling kecil dimulai dari Surabaya, Bali, kemudian Situbondo. Untuk nilai



Gambar 4.3 Diagram Taylor untuk variabel a. suhu udara, b. kelembaban udara, c. total hujan dan d. kecepatan angin di berbagai lokasi penelitian dan skenario asimilasi data observasi

Performa yang dimaksud adalah perhitungan statistik masing-masing variabel cuaca dengan memperhatikan tiga komponen berupa ratio varian model dan observasi, koefisien korelasi serta rata-rata bias galat (MBE) untuk empat titik lokasi yang diujikan. Untuk parameter suhu udara (Gambar 4.a) terlihat bahwa diantara titik lokasi pengujian, hanya titik Banyuwangi yang memiliki ratio variasi antara model dan observasi lebih besar dari referensi (>1). Ini menandakan bahwa suhu yang dihasilkan model di titik Banyuwangi memiliki variasi nilai lebih beragam dibandingkan observasinya. Sementara untuk lokasi lain

korelasi hampir semua model dan di semua lokasi memiliki nilai korelasi >0.9 (positif) yang menandakan semua model di semua lokasi dapat mengikuti fluktuasi observasi. Namun bila ditelaah lebih jauh diantara lokasi-lokasi tersebut yang paling jelas perbedaan nilai korelasi antar-penggunaan MDO terlihat di Banyuwangi.

Kemudian untuk performa antar-konfigurasi penggunaan variasi MDO, terlihat bahwa masing-masing model sedikit sekali perbedaannya. Untuk titik yang berada dekat dengan radar cuaca seperti Bali dan Banyuwangi terlihat bahwa model yang diasimilasikan dengan data observasi (M2-M5) memiliki bias lebih

rendah dibandingkan dengan yang tanpa asimilasi (M1). Namun di antara skenario pemodelan tersebut M2, M3 dan M5 memiliki bias lebih rendah dibandingkan dengan yang diasimilasi dengan data radar Bali (M4). Bahkan untuk titik Surabaya nilai MBE pada M2-M3 hanya $<0.1^{\circ}\text{C}$, sementara pada M4 memiliki bias yang berkisar antara $0.5^{\circ} - 1^{\circ}\text{C}$. Hal ini tentunya terkait dengan kemampuan model dalam memproses data observasi. Terlihat dari hasil asimilasi bahwa perubahan nilai parameter suhu paling banyak dihasilkan oleh data *sounding*, *synop* dan satelit (Gambar 4.3.b). Sedangkan untuk titik lokasi di luar jangkauan radar cuaca seperti Situbondo dan Banyuwangi terlihat bahwa model tanpa asimilasi (M1) memiliki bias suhu udara paling kecil ($<0.5^{\circ}\text{C}$) dan nilai korelasi paling tinggi (>0.95) diantara skenario model lainnya.

Sementara untuk parameter kelembaban udara terlihat bahwa skenario model yang diujikan sensitif terhadap asimilasi data observasi yang digunakan untuk semua lokasi, kecuali titik Surabaya (Gambar 4.3.b). Secara umum terlihat bahwa korelasi yang dihasilkan oleh kelima konfigurasi di semua titik lokasi berkisar antara 0.8 - 0.99 dan bersifat lebih kering dibandingkan observasi. Secara spesifik pada titik Surabaya terlihat bahwa antar-konfigurasi model sama-sama menghasilkan variasi yang jauh lebih kecil dibandingkan observasi serta bersifat lebih kering (berkisar 5-10%). Sementara untuk lokasi lain terlihat bahwa M2 dan M5 lebih mendekati titik referensi khususnya di Situbondo dan Banyuwangi serta memiliki korelasi lebih tinggi dan bias lebih rendah di titik Bali. Bila dilihat dari hasil diagnosis statistik asimilasi perubahan kelembaban memang paling banyak dipengaruhi oleh penambahan data *synop*, *sounding*, dan radar dibandingkan data satelit (Gambar 4.1).

Lain halnya dengan parameter suhu dan kelembaban udara yang lebih konsisten, untuk parameter kecepatan angin terlihat di lokasi Surabaya ratio rentang variasi antara model dan observasi jauh lebih besar serta korelasi lebih rendah dibandingkan ketiga lokasi lainnya (Gambar 4.3.d). Pada titik ini korelasi hanya berkisar antara 0.15 - 0.44 dengan model menghasilkan angin lebih kencang sebesar 0.5 - 5.0 m/s daripada observasi. Namun pada titik

Surabaya ini model tanpa asimilasi (M1) menunjukkan variasi kecepatan angin lebih besar dibandingkan model lainnya. Ini menunjukkan bahwa penggunaan data MDO setidaknya memperbaiki kecepatan angin di titik ini. Sementara untuk titik lainnya terlihat bahwa model asimilasi memiliki rasio mendekati observasi dibandingkan dengan tanpa asimilasi (M1). Bila dilihat dari nilai MBE secara umum bias untuk kecepatan angin berkisar antara <0.1 hingga 5.0 m/s dengan dominasi angin hasil model lebih kencang dibandingkan observasi. Namun hal yang menarik adalah pada ketiga titik ini model menghasilkan korelasi berkisar antara 0.7 - 0.83, dimana nilai korelasi ini terbilang tinggi untuk kecepatan angin yang umumnya susah mengikuti fluktuasi observasi [10,19]

Secara umum meskipun variabel kecepatan angin tidak konsisten secara lokasi, namun terlihat bahwa penggunaan data MDO (M5) memperbaiki prediksi kecepatan angin di tiga titik lainnya dibandingkan model dengan skenario lain. Selain itu dari Gambar 4.3.d ini juga terlihat bahwa perbaikan model paling terlihat untuk titik Situbondo kemudian diikuti oleh Banyuwangi dan Bali. Selanjutnya diantara skenario asimilasi model yang diujikan terlihat bahwa selain M5, M2 dan M4 dapat memperbaiki model di titik Bali dan Situbondo. Ini artinya penambahan variabel komponen angin meridional, zonal dan kecepatan radial pada data *synop*, satelit dan radar Bali (Gambar 4.1) berhasil memperbaiki prediksi di lokasi sekitar jangkauan radar Bali dan yang lebih dekat dengan radar Bali sekalipun Situbondo jaraknya >150 km.

Lain halnya dengan parameter kecepatan angin dimana titik Surabaya yang notabene berada di wilayah efektif jangkauan radar memiliki nilai korelasi rendah dan rasio variasi kecil. Untuk parameter hujan, lokasi yang berada dalam radius <50 km dari jangkauan radar memiliki nilai statistik yang signifikan. Semua skenario simulasi model pada titik Surabaya memiliki nilai korelasi >0.99 dengan bias berkisar antara 1.0 - 10.0 mm (Gambar 4.3c). Namun disayangkan diantara skenario model tersebut yang memiliki statistik mendekati observasi malah ditunjukkan oleh model tanpa asimilasi (M1). Sementara model lainnya

memiliki nilai ratio variasi yang lebih rendah dibandingkan observasi dimana M5 adalah model paling baik. Perbaikan paling signifikan terlihat pada titik Bali, dimana keseluruhan model memiliki bias <5.0 mm dengan ratio mendekati observasi, meski korelasinya lebih rendah dibandingkan titik Surabaya. Bahkan, di titik ini terlihat jelas bahwa penggunaan data MDO (M5) memiliki ratio paling mendekati observasi sementara M1 menunjukkan performa yang paling menjauhi observasi meskipun korelasinya tinggi.

Sedangkan untuk lokasi yang berada >50 km baik dari jangkauan radar Surabaya dan Bali terlihat adanya perbaikan di semua skenario model kecuali model yang diasimilasikan dengan data radar Surabaya (M4). Hal ini membuktikan bahwa model dengan asimilasi data radar untuk daerah yang terlampaui jauh (>50 km) tidak cukup efektif dalam perbaikannya. Bahkan untuk kedua lokasi ini M1 terlihat lebih baik dibandingkan dengan M5 utamanya untuk rasio variasi dan kolerasi. Namun setidaknya dari parameter hujan ini diketahui untuk titik Bali perbaikan pada M5 disebabkan adanya perbaikan signifikan oleh asimilasi data radar Bali (M4). Sementara untuk titik Banyuwangi yang berada pada radius <150 km, perbaikan pada M5 merupakan kontribusi data synop permukaan, pibal dan satelit (M2) serta radar Surabaya (M4). Sedangkan untuk titik Situbondo yang terletak >150 km dari kedua radar serta tidak adanya data sinop permukaan dan atau pibal, adanya penambahan data asimilasi malah memperburuk hasil perhitungan model.

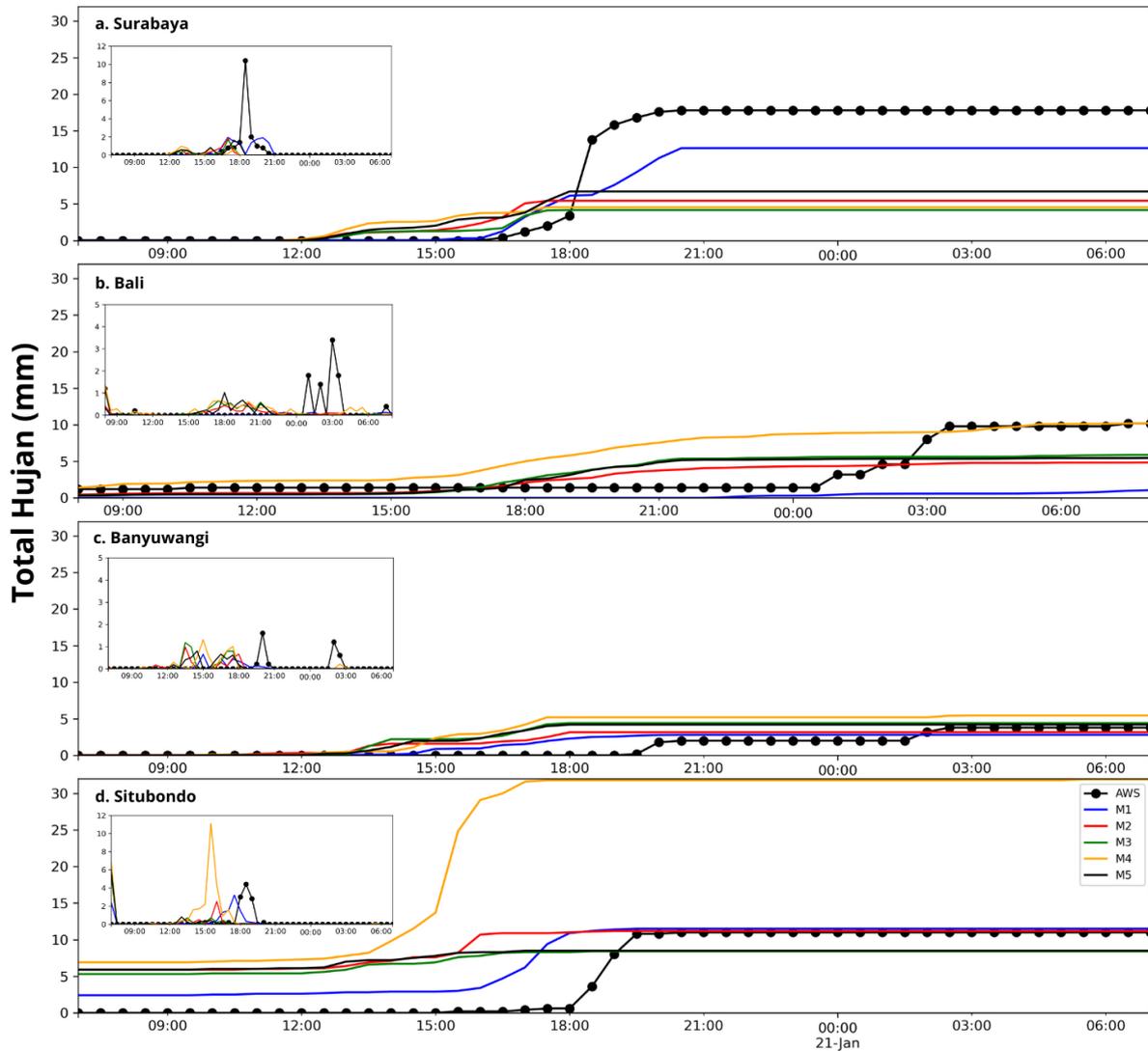
Dari perbandingan nilai statistik untuk variabel, lokasi, dan skenario model yang diujikan setidaknya diketahui bahwa untuk lokasi yang berada diluar jangkauan radar seperti Situbondo perbaikan paling efektif secara berurutan ditunjukkan pada kecepatan angin (M5), kelembaban udara (M5), suhu udara (M2), kemudian hujan (M2). Sementara untuk daerah yang berada dalam radius <150 km seperti Banyuwangi perbaikan paling terlihat berturut-turut pada parameter kelembaban udara (M5), kecepatan angin (M5), suhu udara (M1), dan hujan (M1). Selanjutnya untuk daerah yang berada dalam jangkauan radar khususnya Bali perbaikan paling signifikan ditunjukkan pada

parameter hujan (M4), kecepatan angin (M5), kelembaban udara (M1), dan suhu udara (M1). Sedangkan untuk Surabaya pengaruh penggunaan data asimilasi tidak terlihat konsisten pada skenario model yang diujikan.

Analisis Deret Waktu (*Timeseries*) Prediksi Model untuk Parameter Hujan

Oleh karena perbaikan asimilasi utamanya dilakukan pada parameter cuaca primer (suhu, kelembaban udara dan angin), maka pada bagian ini penulis mencoba melihat pengaruh asimilasi hujan yang merupakan parameter terakhir dalam perhitungan model. Dari analisis deret waktu kejadian hujan, secara umum diketahui bahwa hujan mulai terjadi di lokasi-lokasi yang diujikan pada tanggal 20 Januari 2019 pukul 16.00 - 00.00 waktu setempat. Diantara keempat lokasi tersebut, Surabaya mencatat kenaikan hujan yang signifikan (~ 11 mm/30 menit) pada pukul 18.00 - 18.30 WS (Gambar 4.4.a). Hujan ini teramati terus berlangsung hingga mencapai akumulasi sebesar 17.8 mm pada pukul 20.00 WS. Namun diantara kelima skema asimilasi terlihat M1 memprediksi waktu kejadian yang sama dengan observasi, sementara yang lain menghasilkan hujan 6 jam lebih cepat. Selain itu dari akumulasi hujan terlihat bahwa M1 juga yang paling mendekati observasi meskipun puncak intensitas hujan lebih lambat 1 jam dari observasi. Hal ini yang membuat ratio variasi antara hasil observasi dan model cenderung lebih kecil dibandingkan dengan lokasi-lokasi lain (Gambar 4.3c).

Sementara untuk lokasi yang masih berada pada radius efektif jangkauan radar lainnya seperti Bali, menunjukkan hasil yang berbeda. Di lokasi ini model tanpa asimilasi memiliki performa yang paling buruk sebab sinyal hujan sangat lemah ($\sim 0.1-0.2$ mm/30 menit) di lokasi tersebut. Untuk M4 (asimilasi data radar Bali) nilainya mendekati observasi (~ 10.2 mm) sementara konfigurasi model MDO (M5) menghasilkan hujan ~ 5.5 mm. Meskipun demikian, keduanya sama-sama menghasilkan hujan lebih cepat 6 jam dari pengamatan. Adanya penambahan data radar berupa reflektifitas (Gambar 2) pada MDO setidaknya berhasil menaikkan nilai kandungan uap air sebesar $\sim 0.11 - 0.5$ gram di lapisan bawah atmosfer (Gambar 3). Hal ini tentu memperbaiki hasil M1 yang sinyal



Gambar 5. Analisis deret waktu parameter akumulasi hujan (mayor; mm) dan intensitas hujan (minor; mm/30 menit) pada titik AWS a. Surabaya, b. Bali, c. Banyuwangi dan d. Situbondo untuk masing-masing konfigurasi model

hujannya sangat lemah (Gambar 5.b), meskipun adanya asimilasi data observasi jenis lain mengurangi nilai hujan MDO (M5) dibandingkan yang hanya menambahkan data radar Bali (M4).

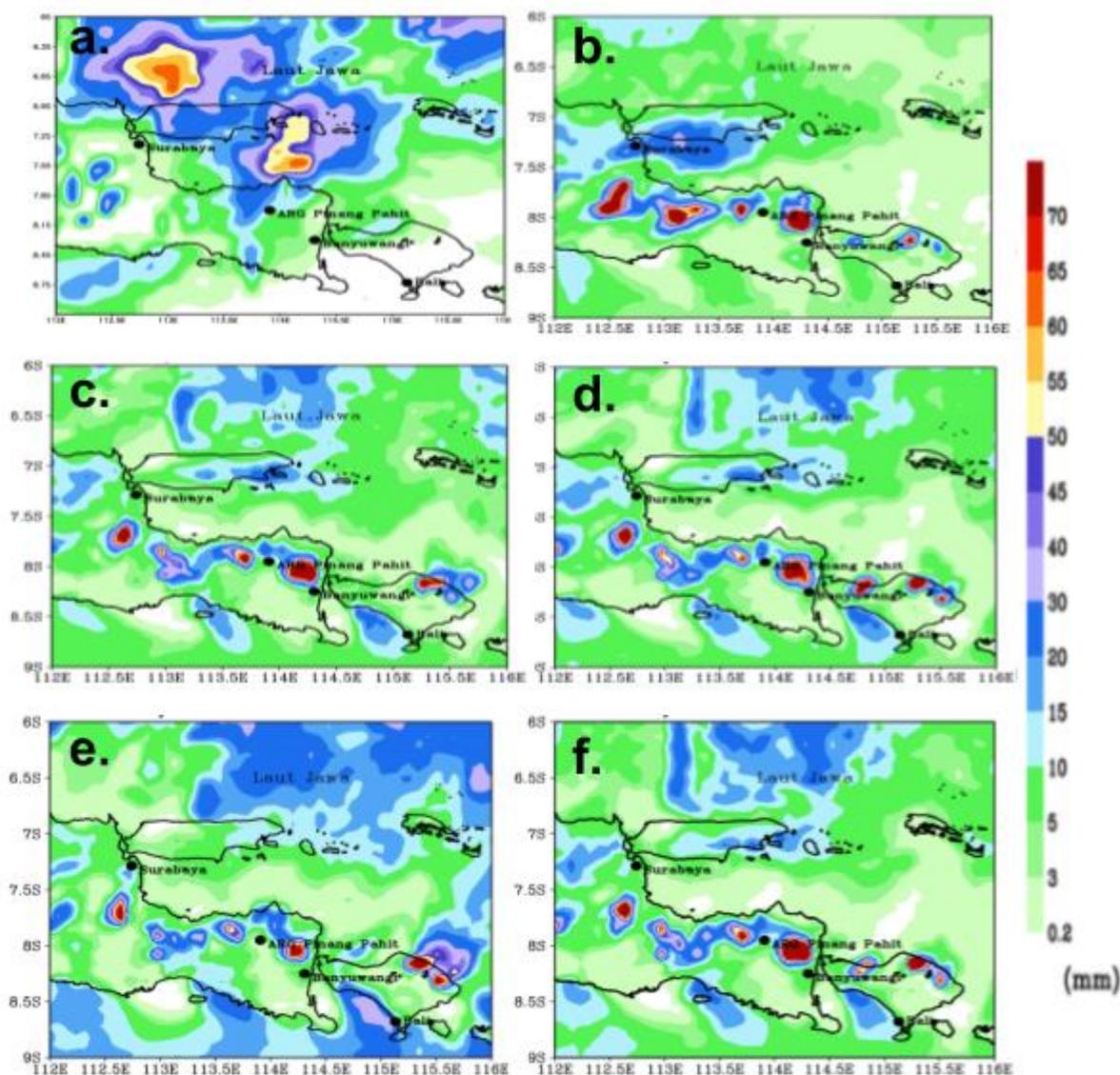
Sementara untuk titik yang berada diluar jangkauan radar cuaca terlihat bahwa asimilasi data memperkuat sinyal hujan. Untuk titik Banyuwangi, model M1 memiliki sinyal paling lemah diantara konfigurasi model lain meskipun secara nilai paling mendekati observasi (Gambar 5.c). Namun bila dilihat dari awal mula terjadi hujan hampir semua model menghasilkan hujan lebih cepat 6-7 jam dibandingkan observasi. Disini terlihat bahwa M5 menghasilkan akumulasi hujan sama dengan observasi

meskipun besarnya sama dengan M3 (~4.2 - 4.4 mm). Namun bila dilihat dari intensitas, keduanya berbeda dalam hal waktu kejadian dan besaran. Sementara untuk titik Situbondo terlihat adanya peningkatan sinyal yang signifikan dengan penambahan data radar Bali (M4). Sementara untuk konfigurasi model lain menghasilkan hujan yang hampir sama dengan observasi meskipun terjadi lebih cepat. Di titik ini terlihat M1 dan M2 memiliki akumulasi hujan sama dengan dengan observasi (~11.0 mm). Bagaimanapun secara keseluruhan terlihat model mampu menghasilkan puncak hujan yang sama dengan observasi di semua titik meskipun rata-rata lebih cepat 6-7 jam. Selain itu adanya penambahan data observasi memperkuat sinyal

hujan dibandingkan dengan model tanpa asimilasi (M1), kecuali untuk titik Surabaya. Hal ini dikarenakan data radar paling bagus diasimilasikan untuk prediksi jangka sangat pendek (*nowcasting*) [20], sehingga meskipun model dapat memprediksi akumulasi hujan mendekati observasi, penambahan ini tidak bisa mengurangi kesalahan pada waktu kejadian. Selain itu, hal ini juga terkait dengan penggunaan metode asimilasi 3D-Var yang memang tidak memperhatikan perbaikan secara temporal utamanya untuk domain anakan [21].

Analisis Spasial Prediksi Model untuk Parameter Akumulasi Hujan

Secara spasial terlihat bahwa semua hasil konfigurasi model menghasilkan akumulasi hujan lebih besar serta memiliki sebaran yang lebih terpusat daripada observasi. Semua model konfigurasi yang mengasimilasikan data observasi (M2-M5) terlihat mampu menghasilkan sinyal hujan di perairan utara Jawa Timur sama dengan apa yang ditunjukkan oleh pantauan akumulasi satelit (Gambar 6.a), sementara M1 kehilangan sinyal tersebut. Hal ini



Gambar 6. Akumulasi hujan spasial selama 24 jam tanggal 20 Januari 2019 untuk a. data observasi satelit GSMAP, b. M1, c. M2, d. M3, e. M4 dan f. M5

membuktikan bahwa asimilasi data berhasil memperkuat sinyal hujan secara luasan dan sebaran akumulasi hujan meskipun model WRF

cenderung overestimasi sebaran untuk hujan ringan [22]. Namun yang menarik dari analisis spasial hujan ini adalah semua konfigurasi model overestimasi akumulasi hujan di daerah pegunungan bila dibandingkan data GSMAP. Ini memperkuat dugaan bahwa performa model WRF dalam prediksi hujan tidak semata-mata diakibatkan oleh data inisial, melainkan juga domain topografi [23]

Dari analisis hujan spasial, M5 memang bukanlah konfigurasi yang paling mendekati observasi namun setidaknya model ini menghasilkan sinyal sebaran hujan lebih baik dibandingkan M1, M2, dan M3 terutama di perairan utara Jawa Timur. Bagaimanapun penggunaan data asimilasi terlihat mampu menurunkan intensitas hujan terpusat ini dibandingkan M1 yang bahkan hampir menghasilkan hujan di seluruh dataran tinggi Jawa Timur mencapai >70 mm. Ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan di dataran tinggi Tibet, dimana model yang mengasimilasikan data satelit dan udara atas dapat mengurangi bias hujan di daerah pegunungan [24].

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, setidaknya diketahui bahwa asimilasi MDO memberikan pengaruh pada perubahan parameter cuaca sesuai jenis data yang digunakan. Untuk daerah diluar jangkauan efektif radar (>50 km) asimilasi MDO mampu memperbaiki prediksi parameter primer cuaca utamanya kecepatan angin, namun tidak dengan hujan. Diantara data-data observasi yang diasimilasikan diketahui penambahan data *synop* permukaan, *pibal*, *sounding* dan satelit paling banyak berkontribusi pada perbaikan MDO.

Sementara untuk area efektif jangkauan radar (<50 km) penggunaan data radar untuk asimilasi model sangat berpengaruh pada perbaikan nilai hujan, bahkan penambahan data observasi jenis lain malah menurunkan nilai hujan hasil MDO. Secara temporal asimilasi MDO dengan metode 3D-Var memperbaiki akumulasi hujan namun tidak dengan waktu kejadian, sedangkan secara spasial adanya asimilasi data observasi mengurangi overestimasi

hujan yang terpusat di daerah pegunungan. Kendati demikian penelitian ini tidak mengkuantifikasi seberapa besar pengaruh masing-masing jenis data observasi yang diasimilasikan sehingga diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih berfokus pada topik tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Macedo, L. R., Basso, J. L. M., & Yamasaki, Y. (2016). Evaluation of the WRF Weather Forecasts over the Southern Region of Brazil. *American Journal of Climate Change*, 5(1), 103-115.
- [2] Bhomia, S., Kumar, P., & Kishtawal, C. M. (2019). Evaluation of the weather research and forecasting model forecasts for Indian summer monsoon rainfall of 2014 using ground based observations. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 55(4), 617-628.
- [3] Bannister, R. N. (2017). A review of operational methods of variational and ensemble-variational data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143(703), 607-633.
- [4] Barker, D. M., Huang, W., Guo, Y. R., Bourgeois, A. J., & Xiao, Q. N. (2004). A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. *Monthly Weather Review*, 132(4), 897-914.
- [5] Wikle, C. K. (2005). Atmospheric modelling, data assimilation, and predictability.
- [6] Thodsan, T., Wu, F., Torsri, K., Khampunson, T., & Yang, G. (2021). Impact of the Assimilation of Multi-Platform Observations on Heavy Rainfall Forecasts in Kong-Chi Basin, Thailand. *Atmosphere*, 12(11), 1497.
- [7] Sadarang, F. R., & Sari, F. P. (2021, November). WRF-model sensitivity test and assimilation studies of Cempaka tropical cyclone. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 893, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.
- [8] Sagita, N., Hidayati, R., Hidayat, R., Gustari, I., & Fatkhuroyan, F. (2016, December). Using 3D-Var Data Assimilation for Improving the Accuracy of

- Initial Condition of Weather Research and Forecasting (WRF) Model in Java Region (Case Study: 23 January 2015). In *Forum Geografi* (Vol. 30, No. 2, pp. 112-119).
- [9] Hastuti, M. I., Paski, J. A. I., & Fatkhuroyan, F. (2019). Improving numerical weather prediction of rainfall events using radar data assimilation. *The Indonesian Journal of Geography*, 51(3), 273-284.
- [10] Hesty, N. W., Cendrawati, D. G., Nepal, R., & Al Irsyad, M. I. (2021, November). Wind Energy Potential Assessment Based-on WRF Four-Dimensional Data Assimilation System and Cross-Calibrated Multi-Platform Dataset. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 897, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- [11] Courtier, P. H. I. L. I. P. P. E., Thépaut, J. N., & Hollingsworth, A. (1994). A strategy for operational implementation of 4D-Var, using an incremental approach. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120(519), 1367-1387.
- [12] Sun, J., & Wang, H. (2013). WRF-ARW variational storm-scale data assimilation: Current capabilities and future developments. *Advances in Meteorology*, 2013.
- [13] NCAR-UCAR. Weather Research and Forecasting Model. Laman website: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model#:~:text=The%20Weather%20Research%20and%20Forecasting,research%20and%20operational%20forecasting%20applications>. Diakses pada 2 April 2022
- [14] Taylor, K. E. (2005). Taylor diagram primer. *Work. Pap*, 1-4.
- [15] Wang, J., Zhang, L., Guan, J., & Zhang, M. (2020). Evaluation of combined satellite and radar data assimilation with POD-4DVar method on rainfall forecast. *Applied Sciences*, 10(16), 5493.
- [16] Shen, F., Xu, D., Min, J., Chu, Z., & Li, X. (2020). Assimilation of radar radial velocity data with the WRF hybrid 4DVar system for the prediction of hurricane Ike (2008). *Atmospheric Research*, 234, 104771.
- [17] Dhanya, M., & Chandrasekar, A. (2018). Multivariate background error covariances in the assimilation of SAPHIR radiances in the simulation of three tropical cyclones over the Bay of Bengal using the WRF model. *International Journal of Remote Sensing*, 39(1), 191-209.
- [18] Greeshma, M. M., Srinivas, C. V., Yesubabu, V., Naidu, C. V., Baskaran, R., & Venkatraman, B. (2015, July). Impact of local data assimilation on tropical cyclone predictions over the Bay of Bengal using the ARW model. In *Annales Geophysicae* (Vol. 33, No. 7, pp. 805-828). Copernicus GmbH.
- [19] Solbakken, K., Birkelund, Y., & Samuelsen, E. M. (2021). Evaluation of surface wind using WRF in complex terrain: Atmospheric input data and grid spacing. *Environmental Modelling & Software*, 145, 105182.
- [20] Sugimoto, S., Crook, N. A., Sun, J., Xiao, Q., & Barker, D. M. (2009). An examination of WRF 3DVAR radar data assimilation on its capability in retrieving unobserved variables and forecasting precipitation through observing system simulation experiments. *Monthly Weather Review*, 137(11), 4011-4029.
- [21] Liu, Y., Liu, J., Li, C., Yu, F., & Wang, W. (2021). Effect of the assimilation frequency of radar reflectivity on rain storm prediction by using WRF-3DVAR. *Remote Sensing*, 13(11), 2103.
- [22] Igri, P., Tanessong, R. S., Vondou, D. A., Mkankam, F. K., & Panda, J. (2015). Added-value of 3DVAR data assimilation in the simulation of heavy rainfall events over West and Central Africa. *Pure and Applied Geophysics*, 172(10), 2751-2776.
- [23] Tanessong, R. S., Vondou, D. A., Igri, P. M., & Kamga, F. M. (2012). Evaluation of Eta weather forecast model over central Africa. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(04), 532.
- [24] Yang, J., Duan, K., Wu, J., Qin, X., Shi, P., Liu, H., ... & Sun, J. (2015). Effect of data assimilation using WRF-3DVAR for heavy rain prediction on the northeastern edge of the Tibetan Plateau. *Advances in Meteorology*, 2015.