

Kajian Dinamika Atmosfer saat Terjadinya *Cold Surge*, *Southerly Surge*, dan *Borneo Vortex* dengan Memanfaatkan Model WRF

Dendi Rona Purnama^{a*}, Wiliam^a, Sinto Lestari^a, Yosafat Donni Haryanto^a, Nelly Florida Riama^b

^aProgram Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No.5, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Banten 15221

^bPusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa Pura 1 No.2, Kemayoran, Jakarta Pusat 10720

*Email : deronpurna@gmail.com

(Diterima 18 Maret 2021; Disetujui 18 Juli 2021; Dipublikasikan 15 Oktober 2021)

Abstrak

Fenomena cuaca seperti *cold surge*, *southerly surge*, dan *Borneo vortex* dapat menjadi penyebab anomali musim hujan di Indonesia. Penelitian ini mengkaji dinamika atmosfer saat terjadinya *cold surge*, *southerly surge*, dan *Borneo vortex* di benua maritim Indonesia (BMI) bagian barat pada tanggal 9 – 15 Desember 2012 dengan memanfaatkan model *weather research and forecasting* (WRF). Data yang digunakan pada penelitian ini adalah *final global data*. Untuk verifikasi digunakan data angin, kelembapan relatif, curah hujan hasil observasi, serta data curah hujan *global satellite mapping of precipitation* (GSMaP). Metode yang digunakan adalah metode statistik dan deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model WRF mampu merespon kehadiran *cold surge*, *southerly surge* dan *Borneo vortex* dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai *mean absolute error* (MAE) pada kelembapan relatif, kecepatan angin, dan curah hujan yang secara umum masih di bawah nilai toleransi kesalahan. Namun, model WRF belum mampu mengikuti pola spasial curah hujan GSMaP. Hasil kajian menggunakan keluaran model WRF didapatkan bahwa kehadiran *southerly surge* mengurangi intensitas *cold surge* dan *Borneo vortex* serta menyebabkan penurunan curah hujan di BMI bagian barat. Sementara itu, meningkatnya intensitas *cold surge* dan *Borneo vortex* menyebabkan peningkatan curah hujan di BMI bagian barat.

Kata kunci: *cold surge*, *southerly surge*, *Borneo vortex*, dinamika atmosfer, model WRF

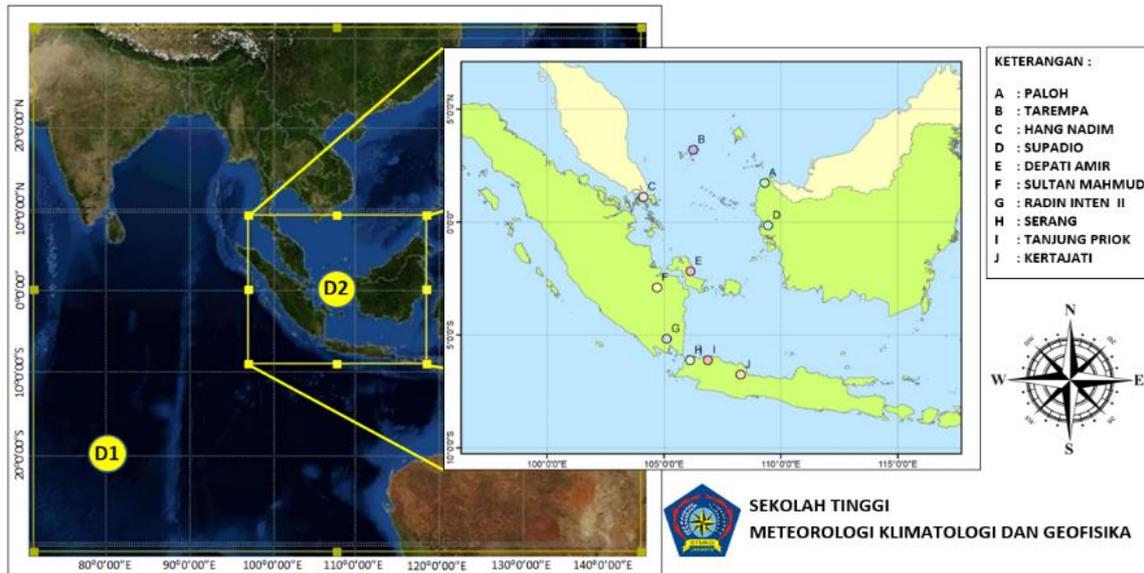
1. Latar Belakang

Indonesia dipengaruhi dua jenis monsun, yaitu monsun Asia dan monsun Australia [1,2]. Namun, pada kedua kondisi ini tidak selalu normal. Adanya berbagai gangguan cuaca menjadi penyebab anomali tersebut. Misalnya, pada saat angin monsun dingin Asia bergerak menuju Laut Cina Selatan, peningkatan kecepatan secara intensif bisa terjadi karena bertemu dengan aliran angin dari dataran Siberia, yang kemudian dikenal sebagai *cold surge* [3].

Cold surge adalah jalaran udara dingin yang mengalir dari daratan Asia menuju wilayah Indonesia bagian barat [4]. Hadirnya *cold surge* dapat ditandai dengan penguatan angin permukaan, penurunan suhu permukaan yang tajam, dan kenaikan tekanan permukaan di Laut Cina Selatan [5]. Pada waktu yang bersamaan dengan hadirnya *cold surge*, dorongan massa udara dari belahan bumi selatan (BBS) bisa terjadi, yang kemudian disebut *southerly surge* [6,7].

Southerly surge adalah sebuah fenomena skala meso yang mirip dengan *cold surge* yang berasal dari BBS. Pada lintang 15 °LS – 30 °LS dan 105 °BT – 115 °BT apabila terdapat nilai kecepatan angin melebihi 11 m/s di lapisan 850 mb dan bergerak menuju BMI dapat diidentifikasi sebagai *southerly surge* [6]. *Southerly surge* dapat memicu terjadinya *monsoon break* [8], penurunan curah hujan di sebagian wilayah Indonesia [9], bahkan mengurangi intensitas dari *Borneo vortex* [7].

Borneo vortex dihasilkan oleh angin monsun Asia yang berinteraksi dengan topografi Pulau Kalimantan dan menghasilkan sirkulasi siklonik yang diidentifikasi pada angin 925 mb di area 7,5 °LU – 2,5 °LS dan 107,5 °BT – 117,5 °BT serta setidaknya ada satu kecepatan angin >2 m/s dalam empat titik grid 2,5° × 2,5° tempat pusatnya berada [10]. *Borneo vortex* yang disertai dengan *cold surge* yang kuat akan mengalami peningkatan intensitas [11]. Sirkulasi angin ini mampu menghasilkan area konvergensi yang membuat penumpukan massa



Gambar 1. Peta wilayah penelitian, dengan D1 adalah domain pertama dan D2 adalah domain kedua. Kesepuluh titik pada peta domain 2 merupakan titik lokasi verifikasi.

uap air sehingga memicu terjadinya pertumbuhan awan konvektif [10,11,12].

Kondisi anomali cuaca akibat hadirnya gangguan atmosfer akan menghasilkan kondisi dinamika atmosfer yang berbeda dari normalnya. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam melakukan analisis cuaca. Analisis cuaca dapat dilakukan dengan pemodelan kondisi atmosfer. Model WRF telah banyak digunakan dalam pemodelan cuaca secara numerik [13].

Penelitian mengenai *cold surge* maupun *Borneo vortex* menggunakan model WRF telah diteliti oleh beberapa peneliti [14,15]. Ardianto memanfaatkan model WRF – *advanced research WRF* (WRF-ARW) untuk melihat gambaran kondisi atmosfer pada saat kejadian *Borneo vortex* [14]. Hasilnya menunjukkan bahwa model WRF-ARW mampu mengidentifikasi kehadiran *Borneo vortex* dan memetakan area yang terkena hujan, dengan nilai intensitas hujan yang dihasilkan model masih *underestimate* bila dibandingkan dengan data *tropical rainfall measuring mission* (TRMM) 3B42. Selain itu, penelitian Arbain dkk. terkait pemodelan atmosfer pada kejadian banjir Jakarta dengan memanfaatkan model WRF telah menyimpulkan bahwa model WRF mampu menggambarkan pola angin *cold surge* dengan baik [15].

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kondisi dinamika atmosfer dan curah hujan pada saat terjadinya fenomena *cold surge*, *southerly*

surge, dan *Borneo vortex* serta melihat keterkaitan ketiga fenomena tersebut dengan memanfaatkan model WRF. Waktu penelitian yang diambil adalah tanggal 9 – 15 Desember 2012 yang bersesuaian dengan penelitian Pahlevi [7]. Penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi yang berkaitan dengan pemanfaatan model WRF dalam mensimulasikan fenomena cuaca khususnya pada saat terjadinya *cold surge*, *southerly surge*, dan *Borneo vortex*.

2. Metodologi

2.A. Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan pada penelitian ini mencakup BMI bagian barat. Lokasi ini dipilih karena wilayah ini merupakan daerah yang bisa terdampak oleh kehadiran *Borneo vortex* [10], *southerly surge* [7], maupun *cold surge* dalam hal peningkatan maupun pengurangan curah hujan [11]. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada 71 °BT – 144 °BT dan 31 °LU – 31 °LS untuk domain pertama, dan BMI bagian barat (97,77 °BT – 117,11 °BT dan 8,52 °LU – 8,06 °LS) untuk domain kedua (Gambar 1).

2.B. Data Penelitian

Data yang digunakan sebagai *initial* dan *boundary condition* model adalah *final global data* (FNL) dengan resolusi spasial 1° x 1° dan resolusi temporal 6 jam. Data FNL ini merupakan data

reanalysis dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Sebagai pembanding, data kecepatan angin/*wind speed* (WS), kelembapan relatif/*relative humidity* (RH) dan curah hujan (CH) diperoleh dari sepuluh stasiun milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dengan rincian lokasi sesuai dengan Gambar 1. Sementara itu, data curah hujan *global satellite mapping of precipitation* (GSMaP) dengan resolusi waktu harian dan resolusi spasial $0,25^0 \times 0,25^0$ digunakan untuk verifikasi secara spasial dari CH.

2.C. Konfigurasi Model

Penelitian ini menggunakan model WRF versi 3.9.1.1. Pada simulasi ini dilakukan *downscaling* menjadi dua domain. Resolusi horizontal domain pertama adalah 75 km ($0,75^0 \times 0,75^0$) dan domain kedua sebesar 25 km ($0,25^0 \times 0,25^0$) atau perbandingan 3:1. Semua domain dikonfigurasi sebesar 27 level vertikal dengan ketinggian level tekanan tertinggi berada pada 100 mb. Sementara itu, opsi *nesting* yang digunakan adalah *two-way nesting*.

Beberapa jenis skema parameterisasi telah diterapkan dalam penelitian ini. Parameterisasi kumulus yang digunakan adalah skema *Kain-Fritsch* [16], dimana skema ini banyak digunakan dalam prediksi cuaca tropis. Skema WRF *single-moment 3-class* (WSM3) digunakan untuk skema mikrofisis [17]. Untuk skema lainnya, skema *rapid radiative transfer model* (RRTM) digunakan untuk radiasi gelombang panjang [18], skema *Dudhia* untuk radiasi gelombang pendek [19], skema *Eta Monin-Obukhov (Janjić)* digunakan untuk lapisan permukaan [20,21], skema *Eta Mellor-Yamada-Janjić* untuk lapisan batas atmosfer [22], dan skema *Noah land surface model (Noah LSM)* untuk *land-surface* [23].

2.D. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode statistik dan metode deskriptif. Pada metode statistik dilakukan perhitungan *error* model terhadap pengamatan untuk melihat performa model WRF. Sementara itu, pada metode deskriptif dilakukan pengkajian terhadap beberapa parameter, seperti kondisi angin, kelembapan relatif, curah hujan harian serta vortisitas relatif lapisan 925 mb hasil keluaran model yang diolah dalam aplikasi *the grid analysis and display system* (GrADS) versi 2.2.1.

Vortisitas adalah ukuran mikroskopis dari pusaran fluida serta didefinisikan sebagai *curl* dari kecepatan dalam sebuah medan vektor [24]. Perubahan vortisitas terhadap waktu akan mengakibatkan aliran fluida mengalami divergensi maupun konvergensi. Nilai vortisitas positif di belahan bumi utara (BBU) menunjukkan adanya kenaikan massa udara. Penurunan massa udara di BBU terjadi apabila nilai vortisitasnya negatif.

Metode statistik digunakan untuk mengetahui nilai penyimpangan *output* model dibandingkan dengan hasil observasi. Penelitian ini menggunakan parameter statistik berupa *mean absolute error* (MAE) untuk data kelembapan relatif, kecepatan angin, dan curah hujan.

MAE adalah hasil nilai absolut dari selisih antara nilai hasil keluaran model dengan data yang sebenarnya atau hasil observasi. Rumus MAE adalah sebagai berikut [25]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (1)$$

dimana x adalah nilai observasi, y adalah nilai hitung, serta n adalah banyaknya data.

Meskipun ada banyak ketidakpastian pada hasil keluaran model WRF, referensi nilai toleransi kesalahan diperlukan untuk mengevaluasi kinerja model. *Assessment* pada model dilakukan untuk menguji kemampuan model WRF dalam merepresentasikan kondisi cuaca yang sebenarnya. Dalam penelitian ini digunakan nilai toleransi kesalahan model WRF untuk parameter kelembapan relatif (RH), kecepatan angin (WS), dan curah hujan (CH) sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Nilai toleransi kesalahan hasil keluaran model WRF.

Parameter	Toleransi Kesalahan
Kelembapan relatif (RH)	< 30% [26]
Kecepatan angin (WS)	< 2,57 m/s [27]
Curah hujan (CH)	<ul style="list-style-type: none"> ● < 10 mm, kecil ● 10 – 20 mm, sedang ● > 20 mm, besar [28]

3. Hasil dan Pembahasan

3.A. Evaluasi Kinerja Model

Verifikasi secara titik dilakukan pada domain 1 di lapisan permukaan dengan parameter yang diuji berupa RH dan WS. Selain itu, parameter CH pada

Tabel 2. Evaluasi model WRF untuk parameter kelembapan relatif, kecepatan angin, dan curah hujan.

Titik Verifikasi	MAE		
	RH (%)	WS (m/s)	CH (mm)
Stasiun meteorologi Paloh	4,65	1,04	3,25
Stasiun meteorologi Tarempa	4,78	4,72*	5,32
Stasiun meteorologi Hang Nadim	3,95	2,75*	14,71
Stasiun meteorologi Supadio	4,29	0,97	21,77*
Stasiun meteorologi Depati Amir	3,27	1,97	5,42
Stasiun meteorologi Sultan Mahmud	5,42	1,32	15,93
Stasiun meteorologi Radin Inten II	5,21	0,99	17,87
Stasiun meteorologi maritim Serang	7,15	2,73*	10,72
Stasiun meteorologi maritim Tanjung Priok	7,13	1,89	9,64
Stasiun meteorologi Kertajati	3,41	2,26	26,27*

Keterangan: * Melebihi nilai toleransi atau memiliki *error* besar.

domain 2 juga dilakukan verifikasi secara titik. Hasil verifikasi diperlihatkan dalam Tabel 2.

Pada evaluasi parameter kecepatan angin, terdapat tiga dari sepuluh stasiun yang melebihi nilai toleransi. Hal ini disebabkan karena data angin dengan kondisi *calm* lebih banyak di tiga stasiun tersebut, yaitu sebanyak 85% di Tarempa, 57% di Hang Nadim, dan 71% di Serang. Pada penelitian Carbonell dkk. [29], hasil yang serupa juga didapatkan, yaitu hasil yang kurang baik di titik verifikasi dengan dominasi kondisi angin *calm*.

Sementara itu, parameter RH menunjukkan hasil yang memenuhi kriteria di semua tempat. Dengan hasil yang cukup baik, model WRF domain 1 cukup representatif untuk digunakan dalam menganalisis kondisi angin maupun RH.

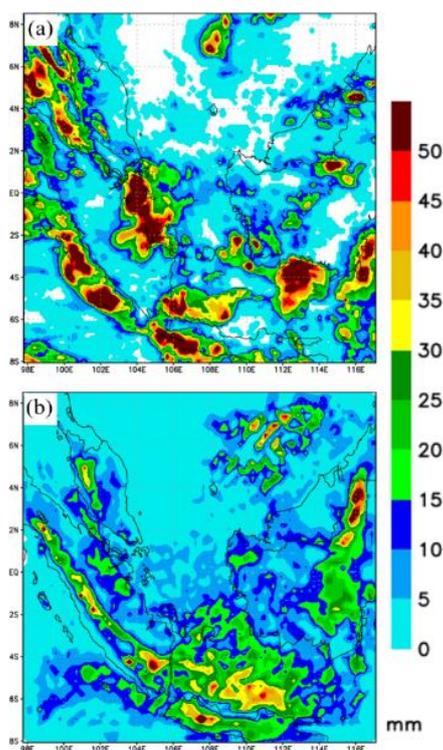
Pada parameter CH, terdapat dua dari sepuluh stasiun yang memiliki nilai *error* kategori besar, yaitu di Supadio dan Kertajati. Sementara itu, delapan titik verifikasi lainnya menghasilkan nilai *error* kategori kecil hingga *error* kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa model WRF domain 2 merepresentasikan curah hujan dengan cukup baik.

Verifikasi spasial dilakukan dengan membandingkan peta spasial CH harian model WRF di domain 2 dengan data satelit presipitasi GSMaP. Gambar 2 memperlihatkan perbandingan pola spasial CH harian model WRF dengan CH harian GSMaP.

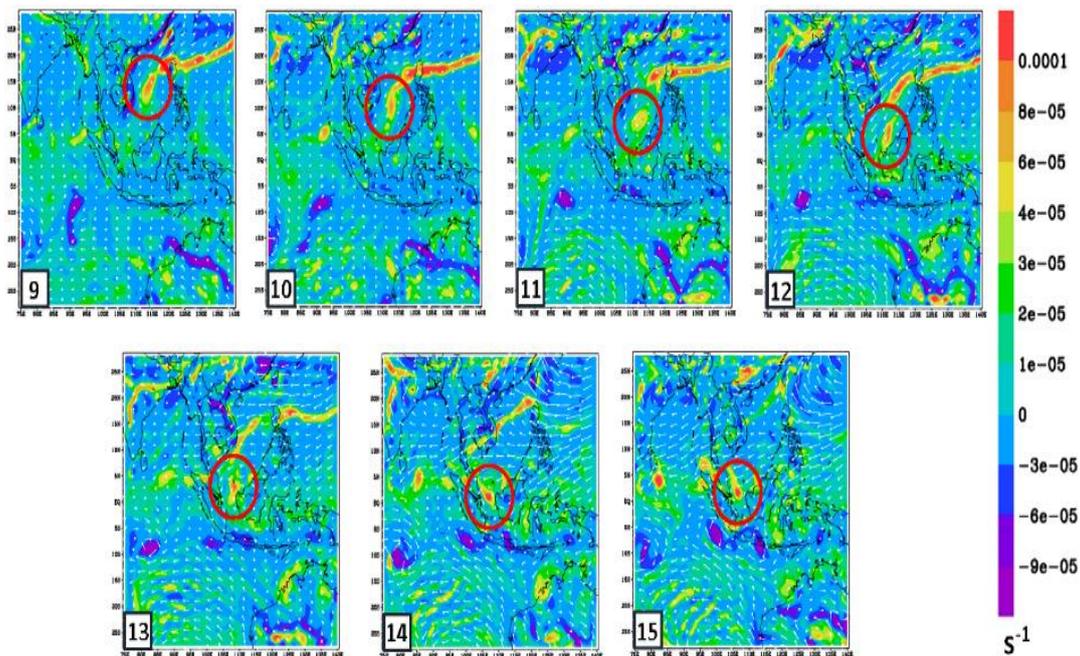
Sebaran spasial curah hujan harian keluaran model WRF memiliki intensitas curah hujan yang lebih rendah dibandingkan dengan GSMaP. Terdapat beberapa perbedaan antara pola spasial curah hujan harian hasil keluaran model WRF dengan GSMaP. Sehingga, model WRF belum mampu memetakan pola CH dengan tepat.

3.B. Identifikasi *Cold Surge*, *Southerly Surge*, dan *Borneo Vortex*

Proses dimulainya pembentukan *Borneo vortex* serta kejadian fenomena *cold surge* dan *southerly surge* divisualisasikan dalam Gambar 3. Pada tanggal 10 Desember 2012, *cold surge* yang sudah terbentuk mendorong area dengan nilai dari vortisitas relatif yang cukup tinggi di Laut Cina Selatan menuju ke BMI. Selain angin *cold surge* yang berhembus cukup kuat, di wilayah selatan BMI



Gambar 2. Pola spasial CH harian 11 Desember 2012 dari (a) GSMaP dan (b) model WRF.

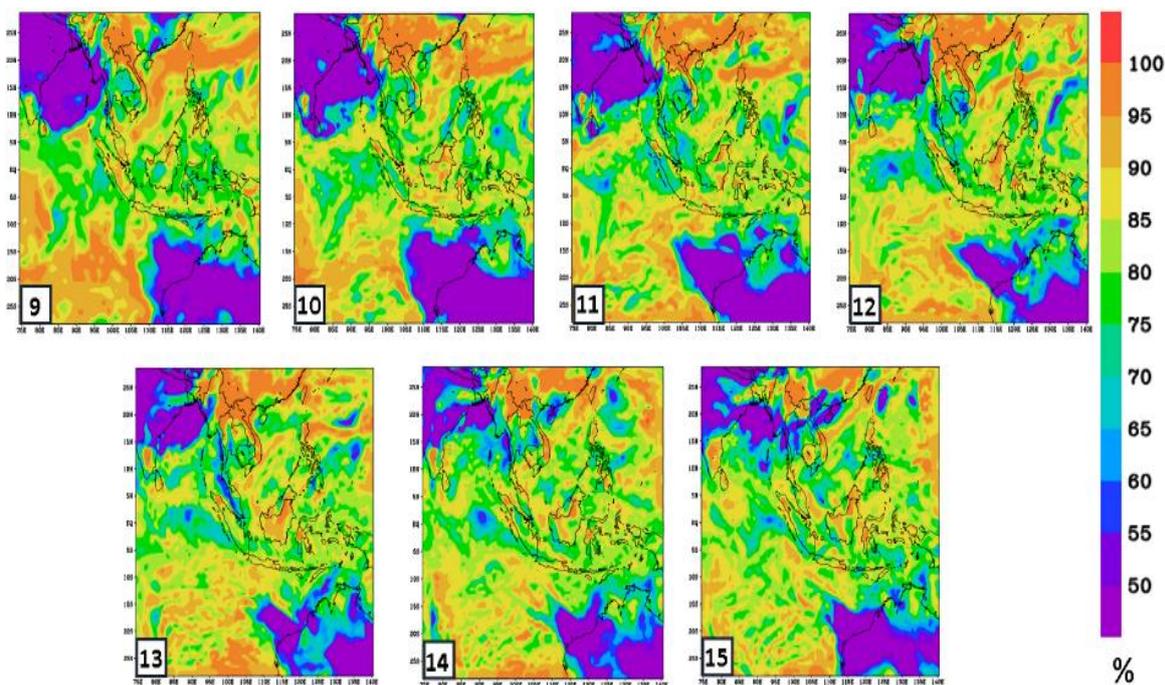


Gambar 3. Vortisitas relatif dan angin lapisan 925 mb pukul 00.00 UTC tanggal 9 – 15 Desember 2012. Area dengan lingkaran merah memiliki nilai vortisitas tinggi dan bisa menjadi pusat *Borneo vortex*.

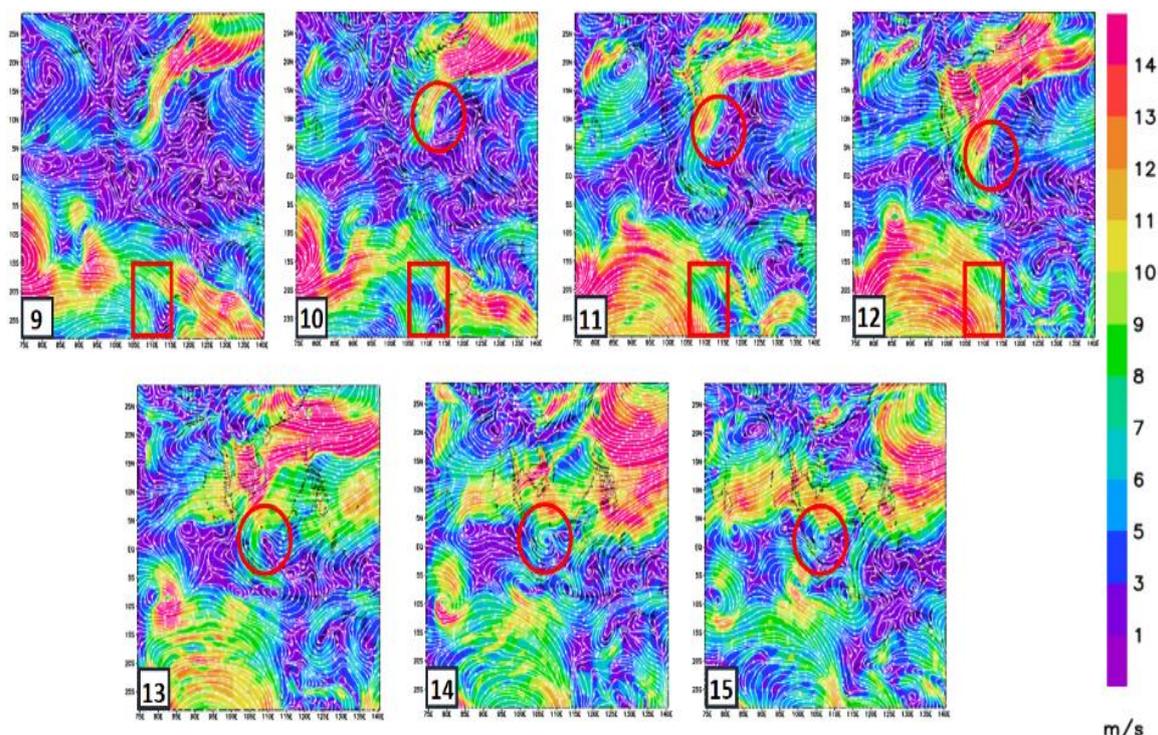
angin berhembus cukup kuat dari wilayah Australia menuju ke wilayah BMI pada tanggal 10 Desember 2012 dan semakin menguat pada tanggal 11 Desember 2012. Hal ini mengindikasikan bahwa *southerly surge* sudah aktif. Dominasi pengaruh *southerly surge* pada tanggal 11 Desember 2012 di BMI bisa terindikasi dari berkurangnya nilai

vortisitas relatif dan kecepatan angin di BBU yang sesuai dengan Pahlevi [7].

Pola *Borneo vortex* pada 12 Desember 2012 memiliki nilai vortisitas relatif berkisar antara $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ hingga $0,0001 \text{ s}^{-1}$. Dominasi *Borneo vortex* dan *cold surge* di BMI pada tanggal 12 Desember 2012 diikuti dengan melemahnya *southerly surge* di



Gambar 4. Kelembapan relatif (RH) lapisan 925 mb pukul 00.00 UTC tanggal 9 – 15 Desember 2012.



Gambar 5. Angin lapisan 925 mb pukul 00.00 UTC tanggal 9 – 15 Desember 2012. Area berlingkaran merah adalah sirkulasi siklonik yang menjadi *Borneo vortex*. Area berkotak merah adalah *southerly surge*.

BMI. Angin dari Australia pada tanggal 13 Desember 2012 cenderung membentuk pola siklonik di selatan Pulau Jawa. *Borneo vortex* sudah mulai melemah setelah tanggal 15 Desember 2012 pukul 00.00 UTC (tidak ditampilkan).

3.C. Analisis Kondisi RH Lapisan 925 mb

Nilai kelembapan relatif (RH) sangat berperan untuk mengetahui kandungan uap air saat terjadinya *Borneo vortex* sebagai bahan utama pembentuk awan-awan konvektif. Kondisi RH lapisan 925 mb hasil keluaran model WRF ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada tanggal 10 Desember 2012, nilai RH di wilayah BMI bagian barat cukup tinggi, dengan rentang 75 – 90 %. Pada tanggal 11 Desember 2012, nilai dari RH mengalami penurunan untuk wilayah Laut Cina Selatan dan pulau Kalimantan bagian barat dengan rentang 65 – 80 % akibat meningkatnya intensitas *southerly surge*.

Pada tanggal 12 Desember 2012, nilai RH kembali meningkat dengan rentang 75 – 95 % akibat dari dominasi fenomena *Borneo vortex* yang didorong oleh *cold surge*. Sementara itu, pada tanggal 13 Desember 2012, nilai kelembapan relatif

memiliki rentang 75 – 90 %, dengan nilai RH tertinggi berada di wilayah Laut Cina Selatan.

3.D. Analisis Kondisi Angin Lapisan 925 mb

Berdasarkan Gambar 5, pada tanggal 9 Desember 2012 *cold surge* memasuki fase 2 karena sudah mencapai lintang 15^oLU di Laut Cina Selatan dengan kecepatan angin di lintang 5^oLU berkisar antara 8 - 9 m/s [30]. Sirkulasi siklonik sudah terbentuk mulai tanggal 10 Desember 2012. Tanggal 12 Desember 2012, sirkulasi siklonik tersebut dikatakan sebagai *Borneo vortex* karena sudah memenuhi kriteria Chang dkk. [10].

Di lintang 15^oLS – 30^oLS dan 105^oBT – 115^oBT terdapat nilai kecepatan angin di atas 11 m/s bergerak menuju BMI pada tanggal 9 Desember 2012 yang menunjukkan kondisi *southerly surge*, sesuai dengan penelitian Taryono [6]. Dengan meningkatnya intensitas *cold surge* dan kehadiran *Borneo vortex* di BMI, pada tanggal 12 Desember 2012 *southerly surge* mulai menghilang.

Borneo vortex semakin mendekati BMI pada tanggal 13 Desember 2012. Arah angin yang berhembus dari BBU cenderung berhembus ke arah barat. Pusat *Borneo vortex* semakin bergeser ke arah barat di tanggal 15 Desember 2012 dan sudah

tidak disebut *Borneo vortex* lagi pada hari berikutnya (tidak ditampilkan).

3.E. Pembahasan

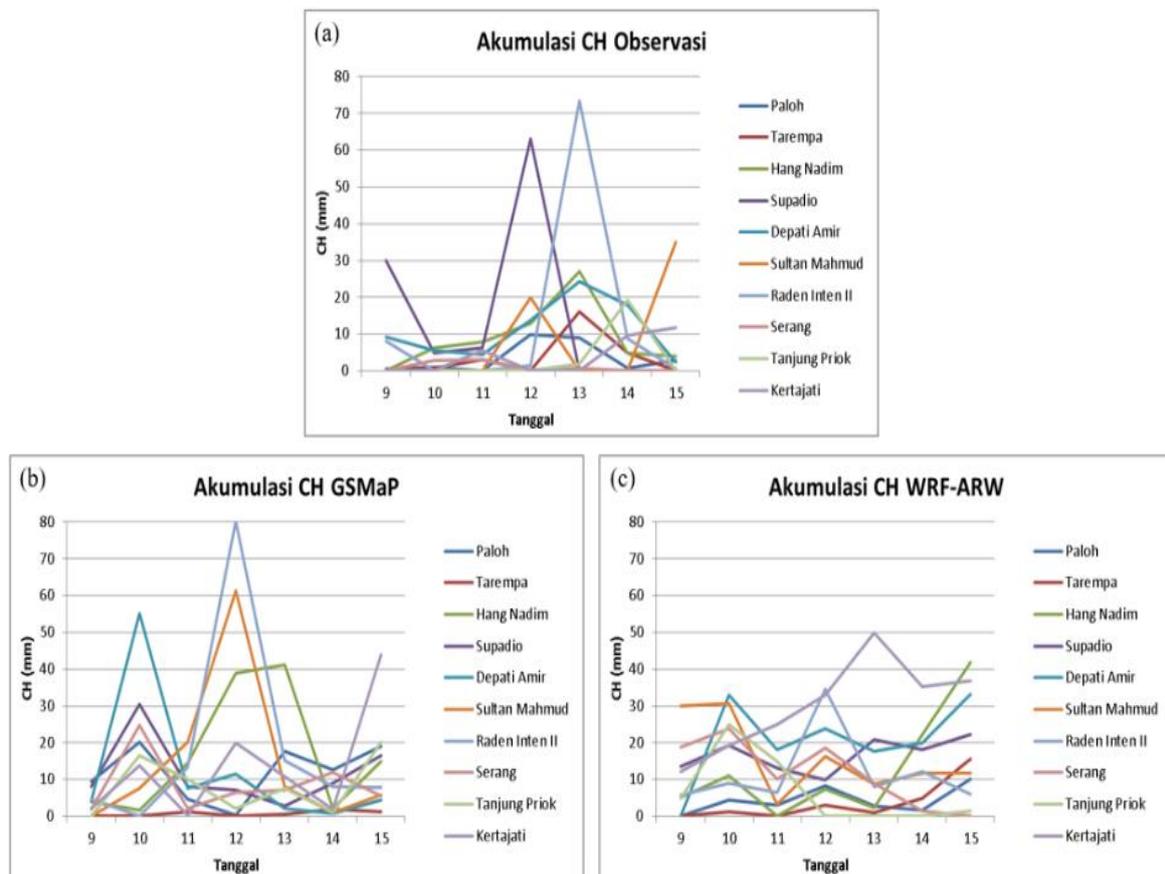
Pada penelitian ini, hasil yang dikeluarkan oleh model WRF adalah berupa kondisi vortisitas relatif, angin, dan RH lapisan 925 mb serta curah hujan harian. Dengan hasil evaluasi kinerja model yang cukup baik pada kecepatan angin, RH, maupun curah hujan, model WRF dapat digunakan untuk menganalisis fenomena *Borneo vortex*, *cold surge*, dan *southerly surge*.

Model WRF mampu menampilkan nilai vortisitas yang tinggi yang menjadi pusat *Borneo vortex*. Aliran *cold surge* dan *southerly surge* juga mampu diperlihatkan oleh model dengan baik. Dengan kata lain, hasil keluaran model WRF mampu merepresentasikan kondisi dinamika atmosfer pada kejadian *Borneo vortex*, *cold surge*, dan *southerly surge* dengan baik. Selain itu, pengaruh dari *southerly surge* dapat dilihat terutama pada kondisi angin tanggal 11 Desember 2012, dimana terdapat penurunan nilai vortisitas relatif di BBU dan angin yang berhembus dari BBU melemah. Hal ini berkaitan dengan *monsoon break*

yang diakibatkan oleh *southerly surge* itu sendiri [8,9].

Pada kondisi curah hujan harian dalam Gambar 6, model mampu menangkap kondisi CH saat terjadinya *Borneo vortex*, *cold surge*, maupun *southerly surge*. Dalam Gambar 6, terlihat bahwa grafik CH harian untuk hasil observasi, model WRF, maupun GSMaP memperlihatkan penurunan jumlah CH pada tanggal 11 Desember 2012 yang bertepatan dengan pengaruh *southerly surge* yang lebih dominan di BMI. Hal ini sesuai dengan penelitian Hermawanto dan penelitian Amelia yang menyatakan bahwa *southerly surge* menyebabkan penurunan CH di sebagian wilayah BMI [8,9].

Curah hujan harian kembali meningkat pada tanggal 12 Desember 2012 bertepatan dengan meningkatnya intensitas *Borneo vortex* yang dibantu oleh dorongan *cold surge* yang cukup besar. Hal ini membuktikan bahwa model WRF mampu merespon kehadiran fenomena *Borneo vortex* dan *cold surge*, sesuai dengan penelitian Winarso dan Prayuda yang menyatakan bahwa interaksi kedua fenomena tersebut berdampak pada kenaikan curah hujan di wilayah BMI bagian barat [11].



Gambar 6. Grafik CH harian dari (a) observasi, (b) GSMaP, dan (c) WRF tanggal 9 – 15 Desember 2012.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, secara umum model WRF mampu merespon kehadiran fenomena *cold surge*, *southerly surge*, dan *Borneo vortex* dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan nilai MAE pada unsur RH, kecepatan angin, dan CH yang secara keseluruhan masih di bawah nilai toleransi kesalahan. Model WRF juga mampu mengikuti fluktuasi pola CH harian observasi yang dibuktikan dengan grafik CH harian. Namun, terdapat beberapa perbedaan antara pola spasial CH harian hasil keluaran model WRF dengan GSMaP. Nilai intensitas curah hujan keluaran model WRF lebih rendah dibandingkan data GSMaP.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan memanfaatkan model WRF, telah teridentifikasi kehadiran fenomena *cold surge*, *southerly surge*, dan *Borneo vortex* dalam rentang tanggal 9 – 15 Desember 2012. Peningkatan intensitas *southerly surge* berupa peningkatan angin yang berhembus dari selatan BMI menghasilkan dominasi pengaruh dari fenomena tersebut di wilayah BMI bagian barat. Hal ini dapat menyebabkan penurunan curah hujan dan RH di BMI bagian barat. Dominasi pengaruh dari *southerly surge* di BMI juga menghambat angin monsun Asia atau dikenal dengan istilah *monsoon break*. Di sisi lain, peningkatan intensitas dari *cold surge* berupa meningkatnya kecepatan angin dari utara BMI disertai dengan *Borneo vortex* mampu meningkatkan curah hujan dan RH di BMI bagian barat. Pengaruh dominasi *cold surge* dan *Borneo vortex* di BMI ini cukup jelas terlihat dari peningkatan curah hujan pada tanggal 12 Desember 2012.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih yang sebesar-besarnya kepada STMKG yang memberikan bimbingan dan materi terkait prediksi cuaca numerik. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG atas dukungan, dana, dan sarana prasarana untuk penelitian dan publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Prawirowardoyo, S., Meteorologi, Penerbit ITB, 1996.

- [2] Ramage, C. S., Monsoon Meteorology, Academic Press, 1971.
- [3] Takaya, K. dan Nakamura, H., Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62(12), pp. 4423-4440, 2005.
- [4] Zakir, A., Sulistya, W. dan Khotimah, M. K., Perspektif Operasional Cuaca Tropis, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2010.
- [5] Hattori, M., Mori, S. dan Matsumoto, J., The cross-equatorial northerly surge over the maritime continent and its relationship to precipitation patterns, *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 89, pp. 27-47, 2011.
- [6] Taryono, Kajian Aktivitas Cold Surge dan Southerly Surge Saat Monsun Asia Musim Dingin di Wilayah Jawa, M.S. thesis, Dept. Earth Sciences, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2012.
- [7] Pahlevi, A. R., Analisis Pengaruh Cold Surge dan Southerly Surge terhadap Pembentukan Borneo Vortex serta Pengaruhnya terhadap Cuaca di Indonesia, B.S. thesis, Dept. Meteorology, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan, 2016.
- [8] Hermawanto, A., Kajian Periode Break saat Berlangsungnya Monsun Asia Musim Dingin di Wilayah Indonesia, M.S. thesis, Dept. Earth Sciences, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [9] Amelia, Y., Kajian Variasi Pola Curah Hujan Januari di Wilayah Monsun Asia-Australia dan Keterkaitannya dengan Fenomena Southerly Surge, B.S. thesis, Dept. Earth Sciences, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2010.
- [10] Chang, C. P., Harr, P. A. dan Chen, H. J., Synoptic disturbances over the equatorial South China Sea and western Maritime Continent during boreal winter, *Monthly Weather Review*, 133(3), pp. 489-503, 2005.
- [11] Winarso, P. A. dan Prayuda, S. S., Atmospheric Study of the Impact of Cold Surge and Borneo Vortex over Western Indonesia Maritime Continent Area, *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 5(1), p. 189, 2017.
- [12] Haryanto, Y. D. Dan Prakosa, S. H., Aktivitas Borneo Vortex sebagai Pemicu Hujan Ekstrem Penyebab Banjir Tanggal 6 Desember 2010 di Tarakan, Kalimantan Utara, in *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, Universitas Padjadjaran, pp. FB-19 – FB-29, 2015.
- [13] Skamarock, W. C., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M. dan Huang, X. Y., A

- Description of the Advanced Research WRF Version 4, National Center for Atmospheric Research, Colorado, 2019.
- [14] Ardianto, R., Pemanfaatan Model WRF-ARW untuk Analisis Fenomena Atmosfer Borneo Vortex (Studi Kasus Tanggal 28 Desember 2014), POSITRON, VII(1), pp. 1-7, 2017.
- [15] Arbain, A. A., Kudsy, M. dan Syaifullah, M. D., Pemodelan Atmosfer dengan WRF pada Kejadian Banjir Jakarta 17 Januari 2013, Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, 14(1), pp. 29 - 33, 2013.
- [16] Kain, J. S., The Kain-Fritsch convective parameterization: an update, Journal of applied meteorology, 43(1), pp. 170-181, 2004.
- [17] Hong, S. Y., Dudhia, J. dan Chen, S. H., A Revised Approach To Ice Microphysical Processes For The Bulk Parameterization Of Clouds And Precipitation, Monthly Weather Review, 132(1), pp. 103-120, 2004.
- [18] Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J. dan Clough, S. A., Radiative Transfer for Inhomogeneous Atmospheres: RRTM, A Validated Correlated-K Model for The Longwave, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 102(D14), pp. 16663-16682, 1997.
- [19] Dudhia, J., Numerical Study of Convection Observed during The Winter Monsoon Experiment using A Mesoscale Twodimensional Model, Journal of the Atmospheric Sciences, 46(20), pp. 3077-3107, 1989.
- [20] Janjić, Z. I., The Surface Layer Parameterization in The NCEP Eta Mode Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, H. Ritchie, Ed., World Climate Research Programme WMO, 4.16-4.17, 1996.
- [21] Janjić, Z. I., Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in The NCEP Meso Model, NCEP Office Note, 437, p. 61, 2001.
- [22] Janjić, Z.I., The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes, Monthly Weather Review, 122(5), pp. 927-945, 1994.
- [23] Chen, F. dan Dudhia, J., Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity, Monthly Weather Review, 129(4), pp. 569-585, 2001.
- [24] Holton, J. R. dan Hakim, G. J., An Introduction to Dynamic Meteorology, 5th ed., Academic Press, 2012.
- [25] Wilks, D. S., Statistical methods in the atmospheric sciences, 4th ed., Academic Press, 2019.
- [26] Hanna, S. R., Chang, J. C. dan Fernau, M. E., Monte Carlo estimates of uncertainties in predictions by a photochemical grid model (UAM-IV) due to uncertainties in input variables, Atmospheric Environment, 32(21), pp. 3619-3628, 1998.
- [27] Yáñez-Morróni, G., Gironás, J., Caneo, M., Delgado, R. dan Garreaud, R., Using the weather research and forecasting (WRF) model for precipitation forecasting in an Andean region with complex topography, Atmosphere, 9(8), p. 304, 2018.
- [28] Zhou, Y. dan Mu, Z., Impact of different reanalysis data and parameterization schemes on WRF dynamic downscaling in the Ili Region. Water, 10(12), p. 1729, 2018.
- [29] Carbonell, L. T., Mastrapa, G. C., Rodriguez, Y. F., Escudero, L. A., Gacita, M. S., Morlot, A. B., Montejo, I. B., Ruiz, E. M. dan Rivas, S. P., Assessment of the Weather Research and Forecasting model implementation in Cuba addressed to diagnostic air quality modeling, Atmospheric Pollution Research, 4(1), pp. 64-74, 2013.
- [30] Paski, J. A. I., Sepriando, A., Sakya, A. E., Handayani, A. S., Pertiwi, D. A. S. dan Noviati, S., Identifikasi Northerly Cold Surge (NCS) Memanfaatkan Numerical Weather Prediction (NWP) dan Teknik RGB Airmass pada Satelit Himawari-8, in Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer, LAPAN, pp. 146-151, 2017.