

Analisis Korelasi Angin Zonal-Meridional Luaran CCAM-NWP dan Data EAR Perketinggian di Kototabang – Sumatera Barat

Iis Sofiati

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

sofiati07@gmail.com

ABSTRACT. *Zonal and meridional wind are an important parameter in controlling the energy and the removal of air between the troposphere and stratosphere. The purpose of this research is to determine the relationship between zonal-meridional wind from dynamic model Conformal Cubic Atmospheric Model-Numerical Weather Prediction (CCAM-NWP) with Equatorial Atmosphere Radar (EAR) data for each vertical level. Radar is located on a hill in Kototabang- Bukittinggi, West Sumatra (0 20°S; 100, 32°E). The method used is running models (CCAM-NWP) and statistical analysis (linear regression equation) to some height level (200 up to 800 mb). From the statistical analysis using linear regression equation shows that the correlation of zonal winds between the model output and the EAR data shows a pretty good correlation at 700 mb in average with correlation coefficient (r) in the range of 0.5. As for the average meridional wind showed poor results.*

Keywords : *zonal wind, meridional wind, CCAM-NWP, EAR, correlation-regression*

ABSTRAK. Angin zonal dan meridional adalah dua parameter penting dalam mengontrol energi dan pengangkatan masa udara diantara troposfer dan stratosfer. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui keterkaitan antara angin zonal-meridional hasil luaran model dinamik Conformal Cubic Atmospheric Model-Numerical Weather Prediction (CCAM-NWP) dengan data Equatorial Atmosphere Radar (EAR) untuk setiap level ketinggian. Radar ini terletak di bukit Kototabang-Bukittinggi, Sumatera Barat (0,20 °LS; 100,32 °BT). Metode yang digunakan adalah *running model* (CCAM-NWP) dan analisa statistik (persamaan regresi linier) untuk beberapa level ketinggian (200 s/d 800 m b). Dari analisa statistik dengan menggunakan persamaan regresi linier menunjukkan bahwa korelasi angin zonal antara luaran model dengan data EAR rata-rata menunjukkan korelasi yang cukup baik untuk angin pada ketinggian 700 mb dengan koefisien korelasi (r) pada kisaran 0,5. Sedangkan untuk angin meridional rata-rata menunjukkan hasil yang kurang baik.

Kata kunci : angin zonal, angin meridional, CCAM-NWP, EAR, korelasi-regresi

1. PENDAHULUAN

Angin zonal dan meridional adalah dua parameter penting dalam mengontrol energi dan pengangkatan masa udara diantara troposfer dan stratosfer (Rüfenacht (2014; Choi, 2015) Salah satu pembentuk struktur medan angin pada lapisan troposfer di daerah tropis seperti Indonesia adalah sirkulasi Walker yaitu sirkulasi udara arah timur-barat. Pada kondisi normal sirkulasi arah timur-barat bersesuaian dengan pergantian monsun Asia dan Monsun Australia (Berliana, 2005; Herlina, 2008; Duba, 2014). Dengan perkataan lain, perbedaan pemanasan timur-barat, terutama antar daratan dan lautan, merupakan penyebab timbulnya sirkulasi timur-barat yang besar akibat adanya udara naik pada sementara garis bujur dan udara turun pada garis bujur yang lainnya. Di sebagian besar wilayah Indonesia, angin timuran berhembus ketika berlangsung monsun Australia, sedangkan angin baratan berhembus saat berlangsung monsun Asia; (Mulyana 2002; Permana, 2009; Juniarti, 2012).

Equatorial Atmosphere Radar (EAR) di stasiun Kototabang sekitar 19 km dari Bukittinggi bagian utara, Sumatera Barat Indonesia (0.20 °LS; 100.320 °BT, 865 mdpl) beroperasi dimulai dari tanggal 26 Juni 2001 dengan tujuan untuk meneliti perilaku angin dan turbulensi yang terjadi di lapisan troposfer dan lapisan bawah stratosfer dengan resolusi tinggi dalam pengukuran waktu dan ketinggian (Hermawan, 2002). Alat ini dirancang untuk memantau arah dan kecepatan angin, serta turbulensi secara kontinu dimulai dari lapisan 1,5-22 km dalam arah tiga dimensi (vertikal, meridional, dan zonal) dalam selang waktu setiap menit pada setiap ketinggian 150 sampai 300 meter (Hermawan, 2002; Azteria, 2009). Prinsip pengukuran angin dengan radar adalah radar memancarkan dan menerima pulsa radiasi gelombang mikro di antenanya. Antena memfokuskan radiasi menjadi sinar sempit, sehingga sinyal yang ditransmisikan berjalan kearah yang spesifik. Sinyal yang diterima dipantulkan dari target yang terletak di arah sinar, dan jarak antara radar dengan target bias ditentukan secara akurat dari selang waktu sinyal dipancarkan sampai sinyal diterima (Vazhathottathil, 2014).

Numerical Weather Prediction (NWP) telah banyak membantu para ahli meteorologi dalam menggambarkan keadaan cuaca melalui evolusi atmosfer yang dilakukan secara numerik. Prediksi cuaca harian dan mingguan berdasarkan output NWP telah menjadi produk yang standar dari banyak lembaga cuaca di seluruh dunia (Sarah 2005; Mufti, 2014). Dengan demikian tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja model dinamik CCAM-NWP khususnya untuk parameter angin (zonal dan meridional) dan divalidasi dengan data dari EAR.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan model dinamik CCAM-NWP (*Conformal Cubic Atmospheric Model-Numerical Weather Prediction*) untuk menghasilkan prediksi data parameter meteorologi harian (angin zonal-meridional). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data angin zonal dan meridional. CCAM merupakan model variabel resolusi global dan telah digunakan untuk *downscaling* dinamika iklim, terutama di wilayah Australia. Dengan menggunakan transformasi Schmidt (Gregor, 2006) didapat resolusi yang baik

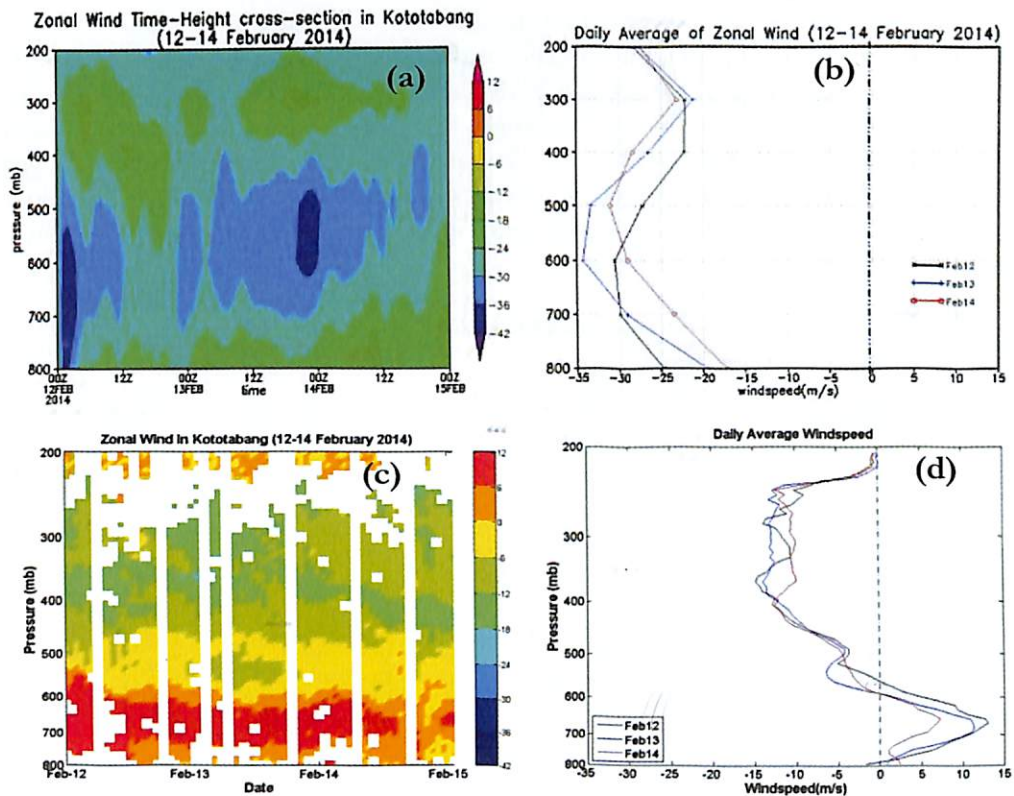
untuk diaplikasikan di beberapa bagian belahan dunia (Gregor, 2006). Metode yang dipakai dalam penelitian ini dengan melakukan proses *running* dan menganalisis data angin zonal-meridional harian luaran CCAM-NWP yang sedikit berbeda dengan CCAM, terutama dalam penggunaan output model. Sebagai data input digunakan data meteorologi dari *Global Forecast System* (GFS)-NOAA dengan resolusi spasial $(0,25 \times 0,25)^\circ$. Sedangkan dalam proses *running* dilakukan *downscaling* sebanyak tiga kali untuk resolusi 60 km, 17 km dan resolusi 4 km. Berikutnya pengolahan data dilakukan dari output hasil simulasi tanggal 12-14 Februari 2014, 12-14 Juni 2014, dan 2-5 Juni 2015. Perbedaan CCAM dengan CCAM-NWP terletak pada input yang digunakan (Thacher, 2010), dimana CCAM sendiri menggunakan input SST (*Sea Surface Temperature*), sedangkan CCAM-NWP menggunakan data input dari GFS. Pengolahan data selanjutnya dengan mengkomponenkan angin dalam arah Utara-Selatan dan Timur-Barat. Kemudian data output dianalisis dan dikorelasikan menggunakan metode statistik regresi linier, untuk setiap level ketinggian (200, 300, 400, 500, 600, 700, dan 800) mb dengan data EAR pada periode pengamatan yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan angin zonal luaran model (a-b) dan data EAR (c-d) untuk tanggal 12-14) Februari 2014. Dari hasil terlihat bahwa rata-rata angin zonal luaran model menunjukkan kecepatan yang lebih tinggi untuk setiap level ketinggian (maksimum mencapai nilai 35 m/det). Sedangkan dari data EAR kecepatan angin maksimum hanya mencapai nilai 15 m/det). Analisis secara diurnal menunjukkan bahwa angin zonal luaran model secara spasial mencapai maksimum pada jam 00Z UTC atau pada jam 07:00 WIB.

Dari analisa spektral menunjukkan bahwa dari luaran model (Gambar 1 a-b) untuk semua level ketinggian terjadi angin Timuran dengan kecepatan maksimum mencapai 35 m/det pada ketinggian 600 mb. Berdasarkan hasil terlihat bahwa untuk angin zonal dari data EAR (Gambar 1 c-d) rata-rata pada ketinggian (800-600) mb terjadi angin Baratan dengan kecepatan rata-rata 0-12 m/det, dan untuk ketinggian 600-200 mb terjadi angin Timuran dengan kecepatan rata-rata 0-16 m/det. Baik dari luaran model maupun dari EAR, pada ketinggian 200 mb menghasilkan arah yang sama yaitu angin Timuran, tetapi dengan kecepatan yang berbeda, untuk luaran model rata-rata berkisar antara 26-27 m/det, tetapi dari EAR rata-rata berkisar antara 2-5 m/det. Dengan demikian dari analisa spektral terlihat adanya perbedaan pada arah angin, dimana dari luaran model tidak terjadi pembelokan arah angin dan sebaliknya untuk hasil dari EAR, dimana terjadi pembelokan arah angin dari Barat (angin baratan) menuju Timur (angin Timuran) pada ketinggian 600 mb seperti pada Gambar 1-d (ditandai dengan lingkaran elips, putus-putus).

Selanjutnya untuk angin meridional pada pengamatan tanggal 12-14 Februari 2014. Dari luaran model (Gambar 2 a-b) dan EAR (Gambar 2 c-d) terlihat hasil yang hampir sama untuk tanggal 14 Februari, tetapi berbeda untuk tanggal 12 dan 13 Februari terutama pada arah angin.

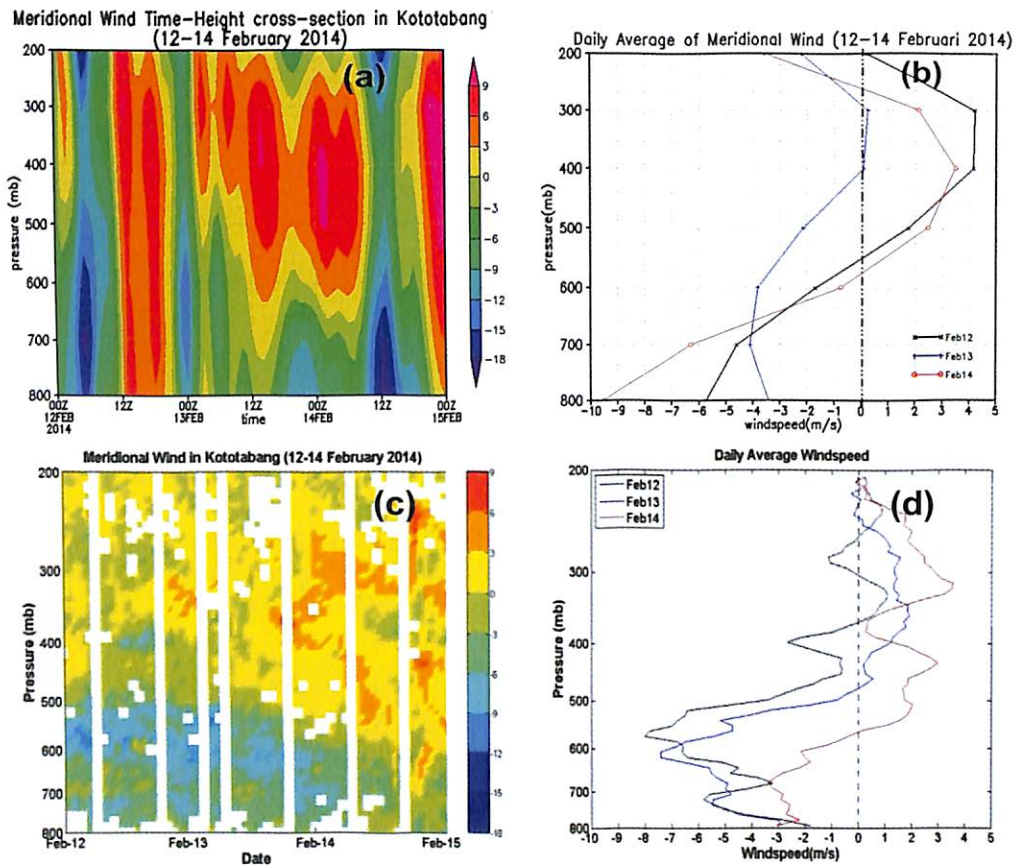


Gambar 1. Angin zonal luaran model hasil simulasi tanggal 12-15) Februari 2014 (a dan b) dan hasil data EAR (c dan d) pada tanggal pengamatan yang sama di Kototabang

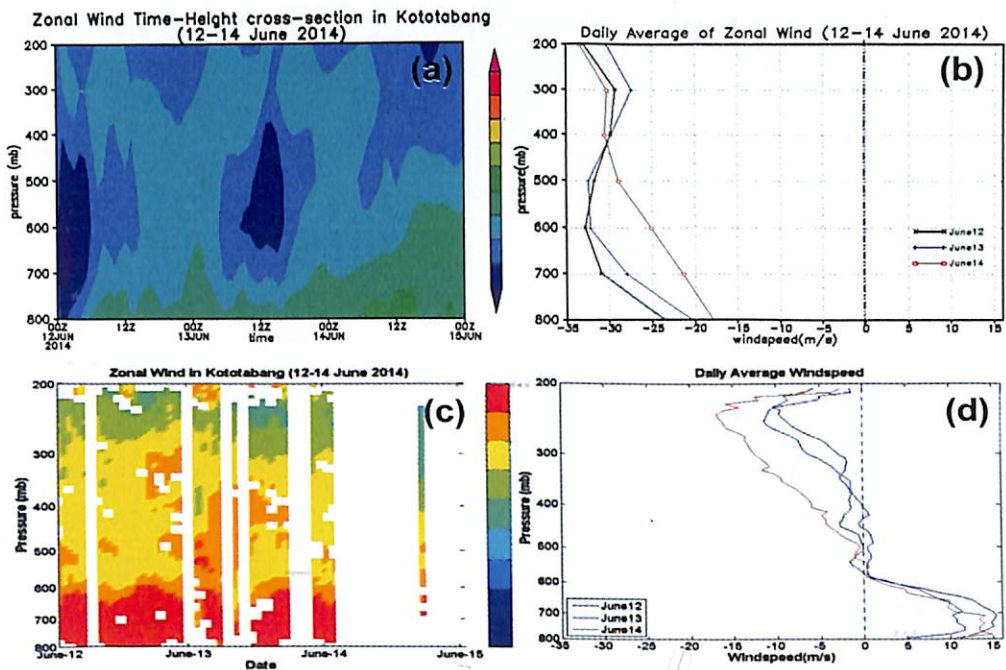
Dari data luaran model CCAM-NWP pada ketinggian di level bawah (500-600) mb rata-rata terjadi angin dari arah Selatan dengan kecepatan angin rata-rata 3,5-9,5 m/det, setelah itu terjadi angin dari arah Utara dengan kecepatan maksimum mencapai 4,5 m/det. Sedangkan untuk hasil dari EAR, pada ketinggian di level bawah (500-600) mb rata-rata terjadi juga angin dari arah Selatan dengan kecepatan angin rata-rata 2-8,5 m/det. Diatas ketinggian 600 mb terjadi angin dari arah Utara dengan kecepatan maksimum sampai 3,5 m/det. Dengan demikian dari analisa spektral baik dari luaran model maupun EAR terlihat adanya pembelokan arah angin dari Selatan menuju Utara pada ketinggian 500-600 mb.

Selanjutnya dianalisa data luaran model untuk angin zonal pada tanggal 12-15 Juni 2014 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 (a-b) dan data EAR Gambar 3 (c-d). Berdasarkan hasil terlihat bahwa rata-rata angin zonal luaran model menunjukkan kecepatan yang lebih tinggi berkisar 17-33 m/det. Sedangkan dari data EAR kecepatan angin maksimum hanya mencapai nilai 17 m/det. Analisis secara spasial menunjukkan bahwa angin zonal luaran model mencapai maksimum pada jam 00Z UTC atau pada jam 07:00 WIB dengan ketinggian sekitar (600-700) mb. Sedangkan dari analisa spektral

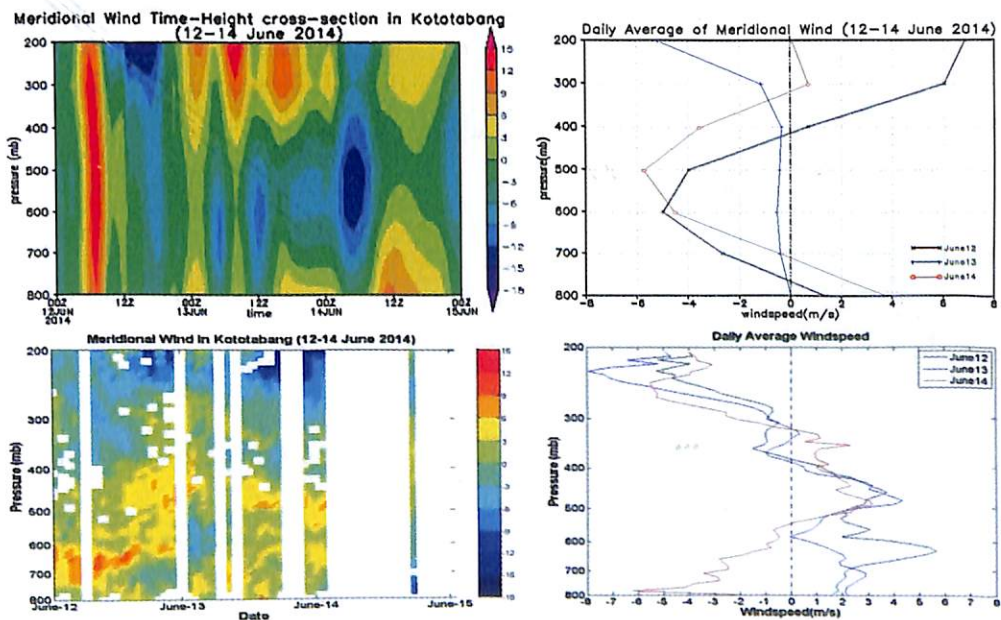
menunjukkan bahwa dari luaran model (Gambar 3 a-b) untuk semua level ketinggian terjadi angin Timuran dengan kecepatan maksimum mencapai 32 m/det pada ketinggian 600 mb. Untuk angin zonal dari data EAR (Gambar 3 c-d) rata-rata pada ketinggian sekitar (800-600) mb terjadi angin Baratan dengan kecepatan rata-rata (5-15) m/det, dan untuk ketinggian (600-200) mb terjadi angin Timuran dengan kecepatan rata-rata mencapai 16 m/det. Dari analisa spektral terlihat adanya pembelokan arah angin untuk hasil dari data EAR, dari Barat (angin Baratan) menuju Timur (angin Timuran) pada ketinggian (600-500) mb.



Gambar 2. Angin meridional luaran model hasil simulasi tanggal 12-15) Februari 2014 (a dan b) dan hasil data EAR (c dan d) pada tanggal pengamatan yang sama di Kototabang

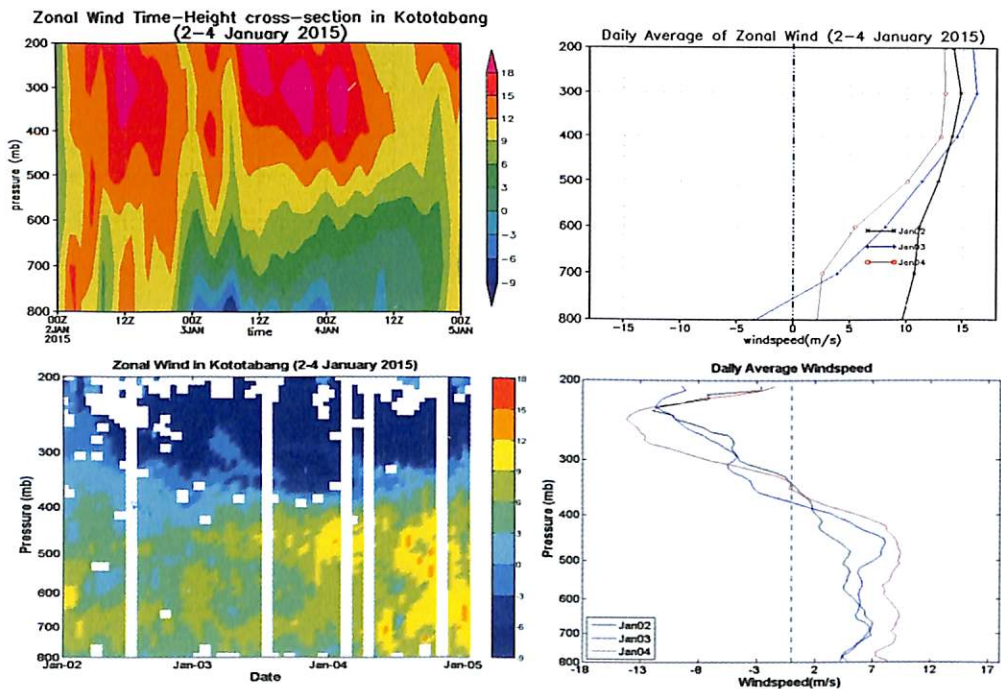


Gambar 3. Angin zonal luaran model hasil simulasi tanggal 12-15) Juni 2014 (a dan b) dan hasil data EAR (c dan d) pada tanggal pengamatan yang sama



Gambar 4. Angin meridional luaran model hasil simulasi tanggal 12-14) Juni 2014 (a dan b) dan hasil data EAR (c dan d) pada tanggal pengamatan yang sama di Kototabang

Pengamatan tanggal 12-14) Juni 2014 untuk angin meridional ditunjukkan oleh Gambar 4. Dari hasil analisa spektral menunjukkan bahwa baik dari luaran model (Gambar 4 a-b) dan EAR (Gambar 4 c-d) terlihat adanya 2 kali pembelokan arah angin. Untuk luaran model, pembelokan arah angin yang pertama (angin dari arah Utara menuju Selatan) dengan kecepatan berkisar 2-4 m/det terjadi pada ketinggian sekitar (800-700) mb dan sebaliknya yang ke-2 (angin dari arah Selatan menuju Utara) dengan kecepatan 2-6 m/det terjadi pada ketinggian 400-300 mb. Terjadi hal yang hampir serupa untuk data EAR, dimana pembelokan arah angin yang pertama (angin dari arah Utara menuju Selatan) dengan kecepatan berkisar 2-4 m/det, tetapi terjadi pada ketinggian sekitar 600 mb. Kejadian yang sama terjadi pada ketinggian 400-300 mb dengan kecepatan 2-6 m/det. Dari hasil analisa spasial, terlihat bahwa kecepatan angin yang mencapai 15 m/det terjadi pada jam 06Z UTC atau jam 13:00 WIB pada tanggal 12 Juni, pada jam 00Z UTC atau jam 07:00 WIB pada tanggal 13 Juni dan 14 Juni pada ketinggian 800 mb dan 200 mb. Pada jam 06Z UTC atau jam 13:00 WIB pada tanggal 14 Juni didominasi dengan adanya arah angin yang berlawanan.



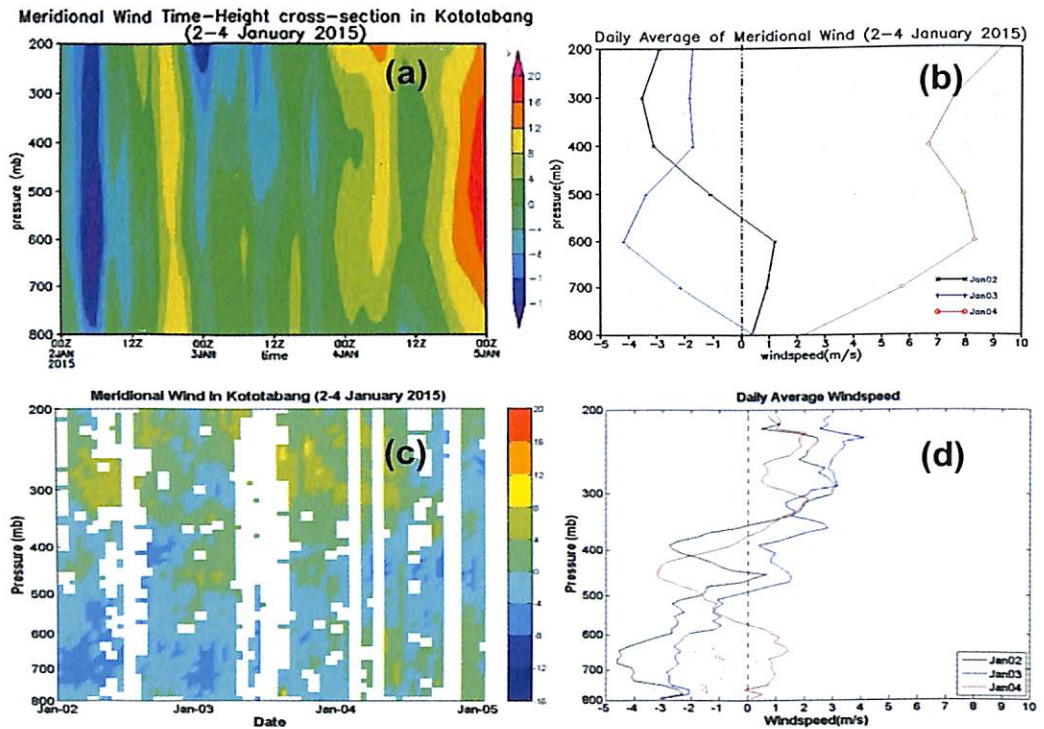
Gambar 5. Sama seperti Gambar 4, tetapi untuk angin zonal tanggal 2-4 Januari 2015.

Untuk kasus tanggal 2-4) Januari 2015 hasil luaran model seperti yang terlihat pada Gambar 5 (a-b), sedikit berbeda dengan hasil sebelumnya. Dominasi angin Baratan dari analisa spektral ditunjukkan oleh hasil luaran model yang terjadi hampir pada setiap periode pengamatan seperti yang terlihat pada Gambar 5 b. Untuk hasil dari data EAR (Gambar 5 d), pada ketinggian sekitar (800-400) mb terjadi angin Baratan dengan

kecepatan berkisar 2-7 m/det, kemudian berbelok arah pada ketinggian sekitar 400 mb menuju Timur dengan kecepatan 3-13)m/det. Sedangkan dari analisa spasial pada ketinggian (800-200) mb, angin dengan kecepatan cukup tinggi hingga mencapai 15 m/det pada tanggal 2 Januari dan terjadi pada pagi jam 00Z UTC atau pada jam 07:00 WIB, tetapi kemudian berkurang kecepatannya hingga 9 m/det pada malam harinya. Pada tanggal 3 dan 4 Januari terjadi perubahan arah angin dengan kecepatan mencapai 9 m/det pada ketinggian sekitar 800 mb. Untuk ketinggian (600-200) mb angin berubah arah kembali dengan kecepatan maksimum yang cukup tinggi hingga mencapai 18 m/det, seperti yang terlihat pada Gambar 5 a. Hasil analisa spasial dari data EAR menunjukkan adanya perubahan angin yang terlihat jelas pada ketinggian sekitar 400 mb, dengan kecepatan mencapai 12 m/det untuk ketinggian (800-450) mb, dan 9 m/det untuk ketinggian diatas 400 sampai 200 mb. Kejadian tersebut pada tanggal 4-5) Januari, dan untuk tanggal 2-3 Januari berpola hampir sama, tetapi dengan kecepatan angin yang sedikit berkurang. Dominasi angin Baratan dari analisa spektral ditunjukkan oleh hasil luaran model yang terjadi hampir pada setiap periode pengamatan seperti yang terlihat pada Gambar 5 b. Untuk hasil dari data EAR (Gambar 5 d), pada ketinggian sekitar (800-400) mb terjadi angin Baratan dengan kecepatan berkisar 2-7 m/det, kemudian berbelok arah apada ketinggian sekitar 400 mb menuju Timur dengan kecepatan 3-13)m/det. Sedangkan dari analisa spasial pada ketinggian (800-200) mb, angin dengan kecepatan cukup tinggi hingga mencapai 15 m/det pada tanggal 2 Januari dan terjadi pada pagi jam 00Z UTC atau pada jam 07:00 WIB, tetapi kemudian berkurang kecepatannya hingga 9 m/det pada malam harinya. Pada tanggal 3 dan 4 Januari terjadi perubahan arah angin dengan kecepatan mencapai 9 m/det pada ketinggian sekitar 800 mb. Untuk ketinggian (600-200) mb angin berubah arah kembali dengan kecepatan maksimum yang cukup tinggi hingga mencapai 18 m/det, seperti yang terlihat pada Gambar 5 a. Hasil analisa spasial dari data EAR menunjukkan adanya perubahan angin yang terlihat jelas pada ketinggian sekitar 400 mb, dengan kecepatan mencapai 12 m/det untuk ketinggian (800-450) mb, dan 9 m/det untuk ketinggian diatas 400 sampai 200 mb. Kejadian tersebut pada tanggal 4-5) Januari, dan untuk tanggal 2-3 Januari berpola hampir sama, tetapi dengan kecepatan angin yang sedikit berkurang.

Angin meridional dari luaran model dan EAR yang terjadi pada tanggal 2-4 Januari 2015 ditunjukkan pada Gambar 6 (a-d). Dari analisa spektral untuk luaran model terlihat bahwa pada tanggal 4 Januari terjadi angin dari arah Utara dengan kecepatan berkisar 2-8 m/det pada ketinggian 800-600 mb, dan kecepatan 8-10 m/det pada ketinggian 600-200 mb. Sebaliknya untuk tanggal 3 Januari, dimana sepanjang hari terjadi angin dari arah Selatan dengan kecepatan 2-4 m/det. Lain halnya dengan yang terjadi pada tanggal 2 Januari dimana terjadi pembelokan arah angin dari arah Utara ke Selatan pada ketinggian lebih dari 600 mb, dengan kecepatan rendah atau hanya 1 m/det. Kemudian terjadi angin dari arah Selatan pada ketinggian diatas 600 mb sampai 200 mb dengan kecepatan berkisar 2-4 m/det. Dari analisa spasial untuk luran model kejadian pada tanggal 2 Januari dan 5 Januari pada jam 00Z UTC menunjukkan arah angin yang terjadi berlawanan arah untuk semua level ketinggian. Tetapi berbeda pada tanggal 3 dan 4 Januari, dimana terlihat adanya perubahan kecepatan angin yang terjadi di level ketinggian rendah (berkisar 2-4 m/det) dan di level ketinggian 300-200 mb yang mencapai 16 m/det. Secara keseluruhan

rata-rata kecepatan angin dari luaran model lebih besar dibandingkan dengan EAR.



Gambar 6. Angin meridional luaran model hasil simulasi tanggal 2-4 Januari 2015 (a dan b) dan hasil data EAR (c dan d) pada tanggal pengamatan yang sama di Kototabang

Untuk analisis korelasi, dihitung koefisien determinasi, dan koefisien korelasi, dan persamaan regresi linier dari luaran CCAM-NWP dengan EAR untuk setiap level ketinggian. Berdasarkan perhitungan didapat persamaan regresi linier yang bernilai negatif untuk arah angin pada ketinggian rata-rata dibawah 500-600 mb, dan sebaliknya untuk ketinggian diatas rata-rata 500-600 mb, dan hasilnya seperti yang terlihat pada Tabel 1, dan hasil lengkap dapat dilihat pada Tabel 2, pada halaman Lampiran. Sebagai perbandingan hasil penelitian lain dilakukan oleh (Sarah, 2005). Dari hasil analisa spektral dan spasial untuk kasus tanggal 12-14 Februari, 12-14 Juni tahun 2014, dan 2-4 Januari 2015, angin zonal luaran model didominasi oleh angin Baratan, sedangkan dari EAR terjadi pembelokan arah angin yang rata-rata terjadi pada ketinggian 600 mb. Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian sebelumnya (Herlina, 2008; Sartika, 2016). Kecepatan angin dari luaran model lebih besar dibandingkan dengan EAR. Sementara itu, untuk angin meridional baik luaran model dan EAR, terjadi pembelokan arah angin dua kali yang rata-rata terjadi pada ketinggian 600 mb dan 400 mb.

Tabel 1. Koefisien determinasi, koefisien korelasi, dan persamaan regresi linier dari luaran CCAM-NWP dengan EAR untuk setiap level ketinggian

Meridional Wind (2-5) January 2015			
mb	R ²	r	Y
200	0,0089342	-0,09452	-0,025819x+1,3537
300	0,032546	-0,18040	-0,070752x+1,93
400	0,092941	-0,30486	-0,085577x-0,81476
500	0,0024701	-0,04970	-0,0096762x-1,0481
600	0,3818	0,61789	0,18013x-1,4755
700	0,27652	0,52585	0,22417x-2,1805
800	0,05127	0,22642	0,15444x-1,7655
Zonal Wind (2-4) January 2015			
200	0,0067632	-0,08223	-0,15837x-0,5607
300	0,0009222	-0,03036	-0,027954x-4,6237
400	0,091833	-0,30303	-0,22632x+6,4261
500	0,082671	-0,28752	-0,36241x+10,6066
600	0,11408	-0,33775	-0,30317x+8,4615
700	$8,3776 \times 10^{-6}$	0,00289	0,0016913x+6,8479
800	0,0056931	0,07545	0,043787x+4,6189

Penelitian lain menyatakan bahwa hasil simulasi luaran model mempunyai kinerja yang cukup baik untuk mendeteksi angin zonal dan meridional di lower troposfer dan kurang sensitif untuk *upper troposphere*, hal tersebut dinyatakan sebelumnya (Vazhathottathil, 2014), tetapi pada penelitian ini tidak menunjukkan hasil yang signifikan. Kemungkinan disebabkan oleh resolusi model yang digunakan kurang baik, dan tidak menyertakan koreksi bias untuk luaran model.

4. KESIMPULAN

Selama pengamatan, dari analisa statistik dengan menggunakan persamaan regresi linier menunjukkan bahwa korelasi angin zonal antara luaran model dengan data EAR rata-rata menunjukkan korelasi yang cukup baik untuk angin pada ketinggian 700 mb dengan koefisien korelasi (r) pada kisaran 0,5. Sedangkan untuk angin meridional luaran model dan data EAR rata-rata menunjukkan hasil yang kurang baik, kecuali pada pengamatan tanggal 2-5 Januari 2015 dengan nilai koefisien korelasi 0,6 pada ketinggian 600 mb. Dengan demikian dari hasil keseluruhan didapat bahwa rata-rata simulasi luaran model mempunyai kinerja yang kurang baik untuk mendeteksi angin zonal dan meridional baik di lower troposfer maupun upper troposfer, kecuali pada ketinggian sekitar 700 mb.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sdr. Rahmawati Syahdiza S.Si, alumni Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Jurusan Sains Kebumian, Institut

Teknologi Bandung (ITB) atas bantuannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Azteria V., (2009). Pemanfaatan Data EAR (Equatorial Atmosphere Radar) dalam mengkaji Terjadinya Monsun di Kawasan barat Indonesia, Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor/ IPB. 2009.
- Berliana S (2005). Karakteristik Angin Zonal dan Meridional di Indonesia, *Warta LAPAN*, Vol. 7, No. 1, 2. 2005.
- Choi K Y, Vecchi G A, Wittenberg A T. (2015). Nonlinear Zonal Wind Response to ENSO in the CMIP5 Models). "Roles of the Zonal and Meridional Shift of the ITCZ/SPCZ and the Simulated Climatological Precipitation", *The Journals Online website*. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0211.s1>. 2015.
- Duba CT, TB Doyle, and JF Mc Kenzie (2014). Rossby Wave Patterns in Zonal and Meridional Winds, *J. Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, Vol. 108.
- Herlina Z (2008). Analisis Pengaruh Angin Zonal dan Angin Meridional Terhadap Curah Hujan di Sumatera Barat. Masters thesis, Paca Sarjana, Department Fisika, Universitas Andalas.
- Hermawan, E (2002). Perbandingan Antara Radar Atmosfer Khatulistiwa dengan Middle and Upper Atmosphere radar dalam Pemantauan Angin Zonal dan Meridional. *Warta LAPAN* , 4, No 1). 8-16.
- Juniarti V, Marpaung S dan Adikusumah N (2012). Katakteristik Angin Zonal dan Meridional Pada Saat Musim Basah dan Kering di Wilayah Indonesia, *Penelitian Masalah Lingkungan Indonesia*, 27-35.
- Mc Gregor. J., CCAM (2006). *Regional Climate Modelling Using CCAM*. Victoria, Australia). CMAR. BMRC. Workshop.
- Mufti F. dan As'ari (2014). Pengaruh Angin dan Kelembapan Atmosfer Lapisan Atas terhadap Lapisan permukaan di Manado, *Jurnal MIPA UNSRAT online*, 3 (1), 58-63.
- Mulyana E. (2002). Analisis Angin Zonal di Indonesia selama Periode ENSO, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 3, No. 2, 115-120.
- Permana G. (2009). Prediksi Ensemble Menggunakan CCAM (Conformal-Cubic Atmospheric Model) untuk Prakiraan Peluang Kejadian Hujan di Pulau Jawa, Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor/ IPB.
- Rüfenacht R, A. Murk, N. Kämpfer, P. Eriksson, and Buehler S. A. (2014). Middle-Atmospheric Zonal and Meridional Wind Profiles from Polar, Tropical and Midlatitudes with the Ground-based Microwave Doppler Wind Radiometer WIRA, *Atmos. Meas. Tech.*, 7 (2014, 4491–4505. doi:10.5194/amt-7-4491.
- Sarah T Gille (2005). Statistical Characterization of Zonal and Meridional Ocean Wind Stress, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, Vol 22, 1353-1372.
- Sartika L., (2016). Analisis Hubungan Angin Zonal dan Angin Meridional Lapisan 850 Milibar terhadap Curah Hujan di Sumatera Barat, *Pillar of Physics*, Vol.8.
- Vazhathottathil M (2014). Variation of Zonal Winds in the Upper Troposphere and Lower Stratosphere in Association with Deficient and Excess Indian Summer Monsoon Scenario, *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 685-695.

LAMPIRAN

Tabel 2. Koefisien determinasi, koefisien korelasi, dan persamaan regresi linier dari luaran CCAM-NWP dengan EAR untuk setiap level ketinggian

Meridional wind (12-14) February 2014			
mb	R ²	r	Y
200	0,063528	0,252047615	0,01615x+0,14182
300	0,018083	0,134473046	0,042191x+1,0795
400	0,0092867	0,096367526	0,044673x-0,22505
500	0,065956	0,256819002	0,10096x-0,82718
600	0,055247	0,235046804	0,1357x-3,9519
700	0,0054419	-0,073769235	-0,025124x-3,8109
800	0,0063827	0,079891802	0,034348x-1,2368
Zonal wind (12-14) February 2014			
200	0,0065118	0,080695725	0,049468x+1,256
300	0,011944	0,109288609	0,16525x-5,9316
400	0,021278	0,145869805	0,17593x-6,454
500	0,0042836	0,065449217	0,03898x-2,579
600	0,09194	-0,303216095	-0,23022x-5,3261
700	0,24333	-0,493284908	-0,48655x-5,0773
800	0,020743	0,144024304	0,13307x+3,0437
Meridional wind (12-14) Juni 2014			
200	$2,124 \times 10^{-5}$	0,004609555	0,0023782x-2,7698
300	0,0049558	-0,070397443	-0,024934x-0,67144
400	0,025143	-0,158565444	-,056985x+0,45055
500	0,0053881	-0,073403678	-0,027432x+1,4681
600	0,0011815	-0,034372954	-0,01778x+1,1259
700	0,037758	0,194314179	0,11636x+1,374
800	0,075656	-0,275056358	-0,12575x+0,81209
Zonal wind (12-14) Juni 2014			
200	0,0027778	0,052704838	0,070604x+0,80339
300	0,0074617	0,086381132	0,13194x+0,26368
400	0,0051166	0,071530413	0,061918x+0,91021
500	0,070535	0,265584262	0,077923x+2,5291
600	$5,077 \times 10^{-5}$	0,007125868	0,0027106x+1,6044
700	0,2092	-0,457383865	-0,60074x-7,7346
800	0,0097492	-0,098738037	-0,13357x+0,97691