

Keterkaitan *Borneo Vortex* dengan Curah Hujan di Benua Maritim *Relation Between Borneo Vortex with Rainfall in Maritime Continent*

Muhshonati Syahidah^{*a}, Zadrach L. Dupe^a, and Edvin Aldrian^b

Abstrak—Pada musim dingin di belahan bumi utara (BBU) monsun Asia bertiup dari dataran tinggi Siberia melewati Laut Cina Selatan menuju Australia Utara. Saat monsun sampai di sekitar pantai barat laut Pulau Kalimantan bertemu angin pasat tenggara lalu membentuk pola siklonik. Pola siklonik yang disebut *Borneo vortex* ini merupakan pusat tekanan rendah yang membentuk daerah konvergensi. Penelitian dimulai dengan identifikasi kejadian *Borneo vortex* selama 9 tahun dari 2002-2011 untuk bulan Desember-Februari (DJF). *Borneo vortex* teridentifikasi jika terdapat sirkulasi angin pada 925 hPa yang berlawanan arah jarum jam di area 7.5°LU - 2.5°LS dan 105°BT - 117.5°BT dan teramati adanya kecepatan angin yang melebihi 2 m/s dalam empat titik dari grid 2.5° × 2.5° persegi di pusat sirkulasi. Kemudian dilanjutkan dengan mengompositkan curah hujan saat kasus *Borneo vortex* terjadi. Selama tahun pengamatan teridentifikasi 250 kejadian *Borneo vortex* di bulan DJF. Saat frekuensi kejadian *Borneo vortex* meningkat di suatu wilayah, hal ini diikuti pula dengan curah hujan yang tinggi di wilayah tersebut terutama di sekitar bagian barat laut Pulau Kalimantan. Selain itu, data observasi menunjukkan pulau Jawa, Sumatera bagian selatan, dan Kalimantan mengalami penurunan curah hujan setelah terjadinya *Borneo vortex*, yaitu sebesar 1 - 4 mm/hari. Sebaliknya, NTB, NTT, dan Bali mengalami peningkatan curah hujan setelah terjadinya *vortex*, yaitu 0.3 mm/hari. Curah hujan yang cukup tinggi saat kasus *Borneo vortex* adalah Kalimantan, Bali, NTT, dan NTB sekitar 16 - 18 mm/hari.

Kata kunci—*Borneo Vortex*, curah hujan, identifikasi *vortex*

Abstract—In the Boreal winter, monsoon wind blows from Siberia passes over the plateau of South China Sea towards the northern part of Australia. When the monsoon wind in the northwest coast of Borneo converges with southeast trade winds, the cyclonic pattern is formed. Cyclonic pattern called the *Borneo vortex* is a low pressure center that forms the region of convergence. The study begins by identification of the *Borneo vortex* events over a nine year period (2002-2011) from December until February (DJF). *Borneo vortex* is identified when there is counter-clockwise wind circulation in the 925 hPa in the area of 7.5°LU - 2.5°LS and 105°BT - 117.5°BT and the observed wind speed exceeds 2 m/s in four points 2.5° × 2.5° in which the center of the circulation presents. Then, the composite of rainfall during *Borneo vortex* was estimated. During the years of observation we have identified 250 events of *Borneo vortex* in DJF where increase of vortex occurrence is associated with increase of heavy rainfall in this region, in particular in northwest of Borneo. The rainfall is quite high in Borneo, Bali, NTT, and NTB when *Borneo vortex* happens, approximately 16-18 mm/day. In addition, observational data showed decrease of rainfall up to 1-4 mm/day in Java, south of Sumatra, and Borneo when *Borneo vortex* ceases. In contrast, NTB, NTT, and Bali experienced an increase of rainfall, which is 0.3 mm/day.

Keywords—*Borneo vortex*, rainfall, vortex identification



1 PENDAHULUAN

S ELAMA monsun musim dingin di belahan bumi utara (BBU), banyak wilayah di sepanjang sabuk khatulistiwa ditutupi dengan awan-awan konvektif karena migrasi *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ). ITCZ atau daerah yang sering diasosiasikan dengan doldrum, yaitu angin tenang tetapi ada perubahan awan yang besar. Saat migrasi ITCZ disepanjang selatan Laut Cina Selatan, sering ditemui *vortex* yang terdapat di palung monsun, yang dikenal sebagai gangguan monsun. Studi khusus tentang gangguan monsun ini dilakukan untuk mengetahui perilaku *Borneo vortex*.

^a Department of Meteorology, Bandung Institute of Technology, Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia.

^b Department of Physics, Indonesian Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics, Angkasa 1 no.2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10120, Indonesia

*To whom correspondence should be addressed, E-mail: muhshonatisyahidah@gmail.com

Manuscript received January 9, 2015; revised March 24, 2015; accepted April 8, 2015; published online July 29, 2015

Selama musim dingin di BBU, monsun timur laut (monsun musim dingin Asia) membawa banyak uap air dari Samudera Pasifik melewati Laut Cina Selatan menuju Australia Utara. Disaat bersamaan ada fenomena sinoptik lain yaitu *southerly surge*. *Southerly surge* merupakan gejala meteorologis serupa dengan *cold surge* yang berasal dari selatan. Massa udara dingin dibawa dari lintang menengah belahan bumi selatan (BBS) yang menjalar menuju ekuator. *Southerly surge* merupakan suatu fenomena skala meso yang dipicu oleh penguatan tekanan pada aliran skala sinoptik (Amelia, 2010).

Monsun musim dingin Asia yang melewati Laut Cina Selatan saat sampai di sekitar pantai barat laut Kalimantan bertemu dengan angin pasat tenggara lalu membentuk pola siklonik. Maka terbentuklah *vortex*. Pulau Kalimantan (*Borneo*) merupakan salah satu pulau yang berbatasan langsung dengan Laut Cina Selatan. Di pantai barat laut pulau tersebut, terdapat pusat sirkulasi siklonik level bawah yang merupakan ciri tetap dari klimatologi musim dingin BBU (Chang et al., 2004). Karena pusaran sirkulasi terus menerus terbentuk di

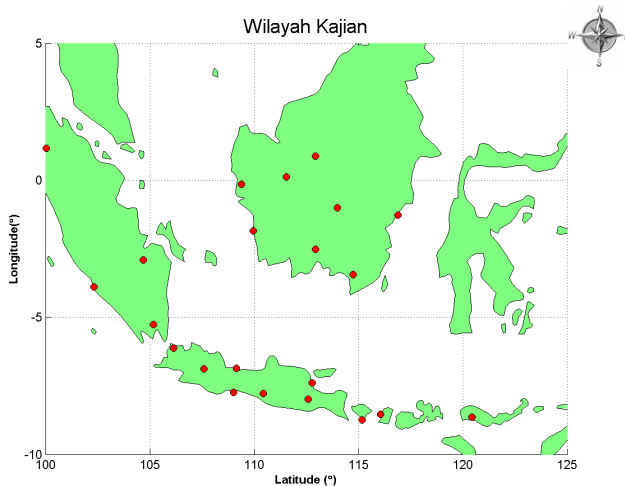
pantai barat laut Pulau Kalimantan, maka sirkulasi ini sering disebut *Borneo vortex*, walaupun di bagian timur *Borneo* sirkulasi tersebut tidak tertutup sempurna.

Pada musim dingin di BBU, yaitu pada bulan Desember, Januari dan Februari, angin monsun bertiup dari dataran tinggi Siberia menuju ke Australia Utara. *Vortex* teridentifikasi ketika terdapat sirkulasi angin pada 925 hPa yang berlawanan arah jarum jam pada area $7.5^{\circ}\text{LU} - 2.5^{\circ}\text{LS}$ dan $105^{\circ}\text{BT} - 117.5^{\circ}\text{BT}$ pada musim dingin di BBU dan setidaknya ada satu kecepatan angin melebihi 2 m/s dalam empat titik dari grid $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ persegi dimana tempat pusat sirkulasi (Chang et al., 2004).

Sirkulasi angin yang merupakan pusat tekanan rendah ini membentuk daerah konvergensi dan menyebabkan penumpukan massa uap air yang mengakibatkan curah hujan yang tinggi. Oleh karena itu, pusaran ini sering dikaitkan dengan aktivitas hujan lebat selama monsun musim dingin.

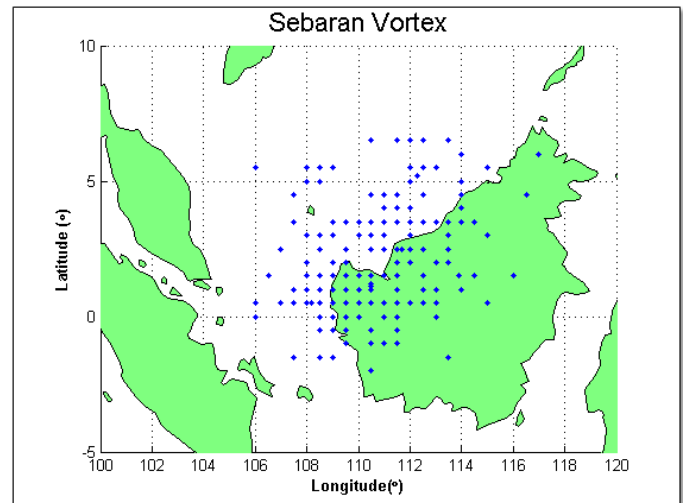
Monsun merupakan bagian yang sangat penting untuk memahami dinamika dan sirkulasi iklim global. Monsun merupakan angin yang berbalik arah secara musiman yang disebabkan oleh perbedaan pemanasan antara daratan dan lautan dan berhubungan dengan distribusi air (curah hujan).

Monsun Asia dan Australia merupakan monsun yang sangat kuat dan kombinasi keduanya dapat membentuk benua maritim. Benua maritim terdiri dari banyak daratan yang dipisahkan oleh laut (pulau / kepulauan), dengan negara kepulauan besar yaitu Filipina dan Indonesia.



Gambar 1. Wilayah Kajian. Titik merah menunjukkan titik pengamatan yang mewakili wilayah Indonesia bagian barat.

Teori dinamika monsun menurut Webster and Fasullo (2003) menjelaskan ada beberapa elemen yang mempengaruhi sirkulasi monsun. Sirkulasi monsun bergerak dari lautan menuju daratan sehingga terjadi interaksi di antara lautan dan daratan. Elemen-elemen yang mempen-



Gambar 2. Peta sebaran pusat *Borneo vortex*. Titik biru menunjukkan posisi pusat *vortex*, satu titik biru mewakili satu kejadian *vortex*.

aruhi dinamika atmosfer adalah angin, hujan, migrasi monsun, dan periode aktif dan periode *break* monsun.

Monsun di Indonesia adalah bagian dari monsun Asia Timur dan Asia Tenggara dan perpanjangan dari sistem monsun ini disebut dengan monsun Australia Utara. Pada musim dingin di BBU, yaitu pada bulan Desember, Januari dan Februari, monsun musim dingin Asia bertiup dari daerah Siberia menuju ke benua Australia.

Salah satu yang mengendalikan mekanisme monsun adalah proses kelembaban. Massa udara yang besar dan perubahan transpor kelembaban dapat menggeser tempat terbentuknya hujan. Proses transpor kelembaban di equator terjadi ketika uap air bergerak dari utara ke selatan.

Proses kelembaban sering diabaikan kecuali secara tersirat termasuk dalam penguapan permukaan (Webster and Fasullo, 2003). Sumber untuk curah hujan saat monsun musim panas adalah air yang menguap dari lautan sebagai aliran udara menuju benua yang panas karena gradien tekanan. Saat bulan Juni-Agustus (JJA) dan Desember-Februari (DJF) beberapa wilayah di Indonesia terjadi hujan karena terlewati uap air.

Pada tahun 2010, dilakukan penelitian mengenai *trend* jangka panjang *Borneo vortex* di sepanjang Laut Cina Selatan. Lokasi pusat *Borneo vortex* telah bergeser sedikit dari barat laut ke daerah lepas pantai Pulau Kalimantan. Hal ini dapat mengakibatkan interaksi *vortex* dengan daratan minim dan memperpanjang masa hidup *vortex* karena *frictional shear* kecil dan akibatnya dapat meningkatkan hari pusaran (Tang and Juneng, 2010). Peningkatan *vortex* yang signifikan memungkinkan terjadi penambahan uap air di lokasi tempat terjadinya *vortex*. Sehingga, membuat curah hujan tinggi di lokasi tempat terjadinya *Borneo vortex* yaitu di pantai barat laut Kalimantan.

Namun, timbul pertanyaan apakah wilayah sekitar terjadinya *Borneo vortex* dipengaruhi fenomena ini, termasuk wilayah Indonesia. Pada penelitian sebelumnya tidak menjelaskan dampak lebih jauh *Borneo vortex* terhadap curah hujan di Indonesia. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui dampak dari kejadian *Borneo vortex* terhadap curah hujan di wilayah sekitar Indonesia khususnya Indonesia bagian barat dan tengah. Hasil penelitian menunjukkan Pulau Jawa, Pulau Sumatera bagian selatan, dan Pulau Kalimantan mengalami penurunan curah hujan sesudah terjadinya *Borneo vortex*. Penurunan curah hujan sekitar 1 - 4 mm/hari. Sebaliknya, NTB, NTT, dan Bali mengalami peningkatan curah hujan setelah terjadinya *Borneo vortex*.

2 DATA DAN METODOLOGI

Dalam penelitian ini digunakan 3 data, diantaranya data curah hujan dari *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), data curah hujan observasi stasiun meteorologi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), dan data reanalisis dari *National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR). Ketiga jenis data tersebut dalam penelitian ini hanya pada tahun 2002-2011 dan bulan DJF.

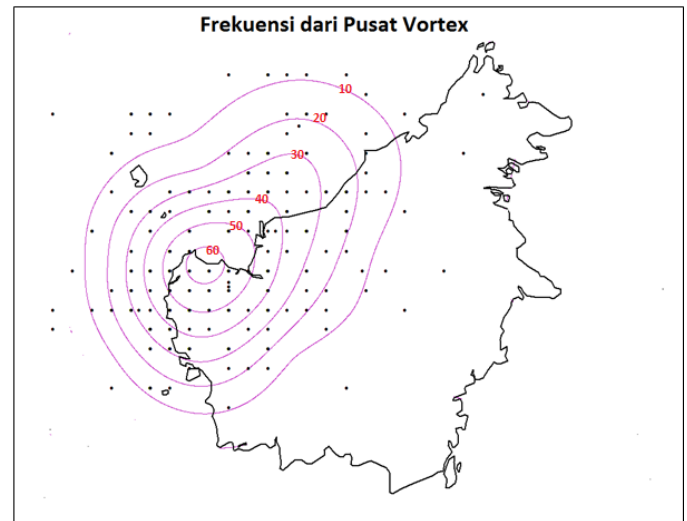
Data reanalisis yang digunakan dalam penelitian ini pada grid $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ yang terdiri dari:

- 1) Data komponen angin zonal 6 jam-an pada level 925 hPa pada 00.00 UTC.
- 2) Data komponen angin meridional 6 jam-an pada level 925 hPa pada 00.00 UTC.
- 3) Data kelembaban spesifik harian dengan 8 level.

Untuk menganalisis curah hujan harian secara spasial data TRMM dengan algoritma 3B42 digunakan untuk mengestimasi tiap grid setiap 3 jam dengan resolusi $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Data curah hujan harian observasi 20 stasiun meteorologi di wilayah kajian digunakan untuk mendukung data TRMM. Angin zonal (timur-barat) dan meridional (utara-selatan) merupakan data global yang memiliki resolusi spasial 2.5 lintang derajat \times 2.5 bujur derajat dan tersedia dalam 17 level ketinggian dari level ketinggian 1000 milibar dan 10 milibar. Data angin pada penelitian ini hanya digunakan pada level 925 hPa. Data angin tersebut memiliki satuan meter/detik.

Variabel iklim lain yang diolah adalah kelembaban spesifik (*specific humidity*). Kelembaban spesifik adalah massa uap air dalam satuan massa udara lembab. Data kelembaban spesifik memiliki satuan kg m/s dalam 8 level. Baik angin zonal dan meridional maupun kelembaban spesifik merupakan data NCEP-NCAR *reanalysis* yang diturunkan dari pengamatan satelit *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), dan dapat diunduh bebas melalui <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>. Pengeplotan gambar menggunakan software *Grid Analysis Display System* (GrADS).



Gambar 3. Plot kontur frekuensi pusat *Borneo vortex*. Titik hitam menunjukkan posisi pusat *vortex* dan kontur menunjukkan frekuensi/jumlah kejadian *vortex*

Dilakukan dua tahapan langkah pengerjaan yaitu identifikasi *Borneo vortex* di bulan DJF selama tahun 2002-2011 dan analisis dampak kejadian terhadap curah hujan di wilayah Indonesia bagian barat dan tengah.

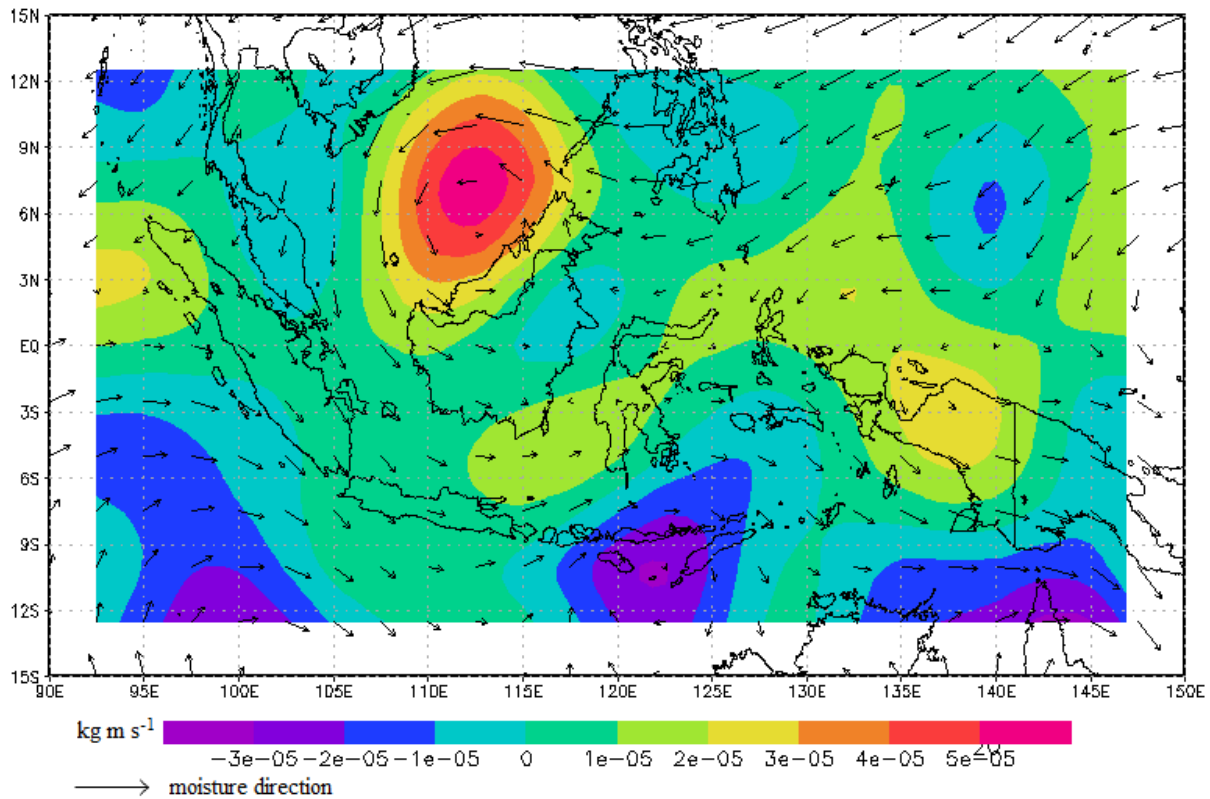
Vortisitas, ukuran mikroskopis rotasi dalam fluida, adalah bidang vektor yang didefinisikan sebagai *curl* kecepatan. Vortisitas absolut ω_a adalah *curl* dari kecepatan absolut sedangkan vortisitas relatif ω adalah *curl* dari kecepatan relatif (Holton, 2004).

Vortisitas adalah sebuah konsep matematika yang digunakan dalam dinamika fluida. Dalam penelitian ini fluida yang dimaksud adalah udara. Suatu *vortex* adalah fluida yang mengalir berputar (*curl*), biasanya turbulen. Setiap gerakan berputar dengan arah *streamline* tertutup adalah aliran *vortex*.

Gerakan fluida yang berputar mengelilingi suatu pusat adalah *vortex*. Kecepatan dan laju rotasi terbesar berada di pusat, dan berkurang begitu menjauhi pusat. Jika *vortex* berputar berlawanan arah jarum jam maka vortisitas positif, sebaliknya jika *vortex* berputar searah jarum jam vortisitas bernilai negatif. Vortisitas merupakan ukuran kekuatan dari *vortex*. Semakin besar vortisitas maka *vortex* semakin kuat.

Borneo vortex teridentifikasi ketika ada sirkulasi angin yang berlawanan arah jarum jam di BBU di area identifikasi dan setidaknya ada satu kecepatan angin melebihi 2 m/s di lokasi pusat *vortex*. Area identifikasi yang digunakan adalah $7.5^\circ\text{LU} - 2.5^\circ\text{LS}$ dan $105^\circ\text{BT} - 117.5^\circ\text{BT}$. Area ini merupakan gabungan dari area menurut Chang et al. (2004) dan Tangang and Juneng (2010). Area ini digunakan karena *vortex* terlihat lebih jelas pada area tersebut.

Domain yang dikaji terbatas pada beberapa wilayah yang termasuk pada wilayah Indonesia bagian barat dan tengah juga terdiri dari 20 titik stasiun meteorologi.



Gambar 4. Kejadian *Borneo vortex* 19 Januari 2010

Wilayah kajian diperlihatkan pada Gambar 1.

Analisis dampak *Borneo vortex* terhadap curah hujan di wilayah Indonesia dilakukan dengan menghitung komposit curah hujan dan transport kelembaban. Untuk mengetahui sumber daerah kelembaban untuk monsun dapat dihitung transpor kelembaban vertikal rata-rata.

Transpor kelembaban vertikal rata-rata ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini.

$$B_q = \int_0^{\infty} q \tilde{V} dz \quad (1)$$

B_q adalah transpor kelembaban vertikal rata-rata. \tilde{V} adalah vektor kecepatan angin horizontal di tiap lapisan, q adalah *specific humidity* di tiap lapisan, dan dz merupakan ketinggian.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi *Borneo vortex*

Selama rentang waktu 2002-2011 di bulan DJF telah teridentifikasi 250 kejadian *Borneo vortex*. Kejadian *Borneo vortex* terbanyak ada pada bulan Desember dan kejadian *vortex* paling jarang di bulan Februari. Tabel 1 menunjukkan kejadian *Borneo vortex* selama tahun 2002-2011 di bulan Desember-Februari:

Dari bulan November sampai Februari pusat *vortex* bergeser ke arah tenggara menuju khatulistiwa. Mereka memiliki umur terpanjang di Desember, yang menunjukkan bahwa monsun musim dingin yang paling aktif selama bulan itu (Hisham, 2010). Karena umur terpanjang *vortex* ada di bulan Desember hal itu yang menyebabkan frekuensi kejadian tertinggi ada di bulan Desember.

Pusat *vortex* tersebar tersebar di timur laut sampai barat daya pantai barat pulau Kalimantan, seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Untuk mengetahui di lokasi mana frekuensi *Borneo vortex* terbanyak maka di gambar kontur frekuensi pusat kejadian *Borneo vortex* selama bulan DJF di tahun 2002-2011. Gambar 3 menunjukkan analisis dari posisi pusat *Borneo vortex* pada 925 hPa selama 9 musim dingin. Terdapat 250 dari 908 hari memiliki minimal satu pusat *vortex* yang berlokasi antara 2°S - 7°N, 106°E - 117°E. Kontur menunjukkan frekuensi kejadian *Borneo vortex* dengan interval 10. Frekuensi *Borneo vortex* dimulai dari 10 kejadian sampai maksimum ada 60 kejadian. Maksimum terjadinya *Borneo vortex* sebanyak 60 kejadian ada di sekitar Kuching, Malaysia.

Besarnya vortisitas *Borneo vortex* menunjukkan kekuatannya. Gambar 4 menunjukkan saat kejadian *Borneo vortex* terkuat pada tanggal 19 Januari 2010 yang mem-

Tabel 1
Jumlah kejadian *Borneo vortex* selama periode musim dingin tahun 2002/2003 sampai 2009/2011

Periode musim dingin	Kejadian <i>Borneo vortex</i>		
	Des.	Jan.	Feb.
2002/2003	5	10	2
2003/2004	15	5	1
2004/2005	17	8	3
2005/2006	11	6	4
2006/2007	12	20	4
2007/2008	16	9	8
2008/2009	26	11	6
2009/2010	10	2	1
2010/2011	21	12	5
Total	133	83	34

perlihatkan nilai vortisitas yang tinggi dibandingkan hari lainnya. Gambar 4 menunjukkan bahwa lokasi dengan vortisitas terkuat berada di sekitar pantai barat laut Pulau Kalimantan.

3.2 Analisis keterkaitan antara *Borneo vortex* dan curah hujan

3.2.1 Analisis curah hujan saat kasus *Borneo vortex* DJF

Keterkaitan antara *Borneo vortex* dan curah hujan harian dapat dijelaskan dengan mengompositkan curah hujan harian sesuai dengan tanggal terjadinya *vortex*. Gambar 5 adalah plot komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* pada bulan DJF 2002-2011. Dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa nilai curah hujan tinggi ada di lokasi yang mempunyai frekuensi *vortex* maksimum. Hal itu menunjukkan bahwa saat terjadi *Borneo vortex*, aliran udara yang membentuk *Borneo vortex* membawa banyak uap air, sehingga menyebabkan curah hujan harian yang tinggi di lokasi tersebut.

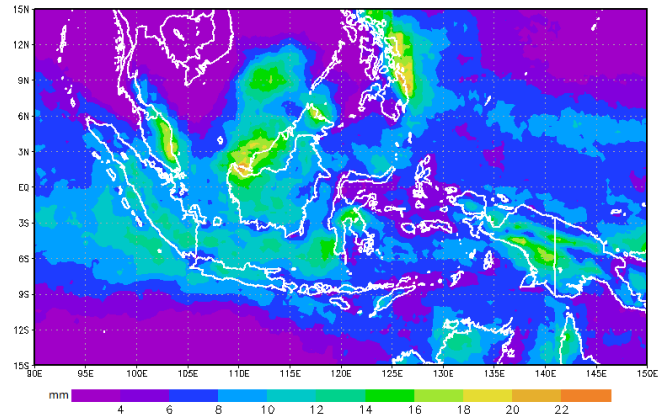
Wilayah barat laut pulau Kalimantan sekitar Pontianak, Sintang, dan Putu Sibau sampai ke Banjarmasin memiliki curah hujan harian yang tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Sedangkan di pulau Jawa curah hujan hariannya relatif kecil dibandingkan pulau Sumatera bagian selatan dan pulau Kalimantan. Bali, NTT, dan NTB curah hujan hariannya sangat kecil dibandingkan pulau Jawa.

Pada Tabel 2 curah hujan observasi menunjukkan hal yang berbeda jika dibandingkan dengan curah hujan TRMM. Curah hujan tinggi di Sumatera bagian selatan, juga Bali, NTT, dan NTB. Curah hujan Kalimantan cukup rendah. Jawa memiliki curah hujan paling rendah dibandingkan wilayah lainnya.

Untuk membedakan pengaruh monsun dan *Borneo vortex* maka di plot curah hujan saat kasus tidak ada

Tabel 2
Curah hujan observasi saat kasus *Borneo vortex* bulan DJF 2002/2011

Pulau	CH DJF (mm)
Jawa	13.06
Kalimantan	15.92
Sumatera Bag. Selatan	18.45
Bali, NTT, NTB	17.75



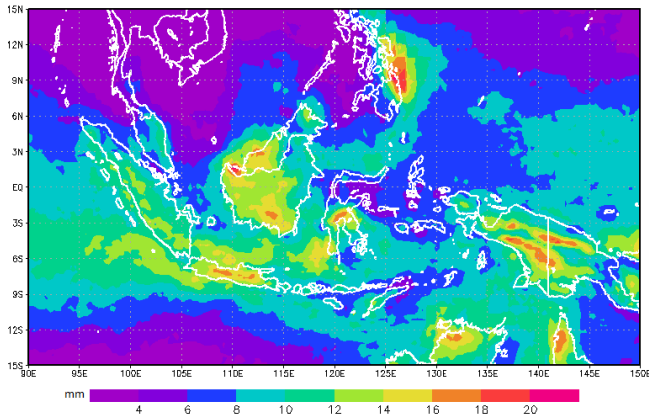
Gambar 5. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* di bulan DJF tahun 2002-2011

Borneo vortex (*no vortex day*) pada Gambar 6 lalu dibandingkan dengan kasus saat ada *Borneo vortex* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

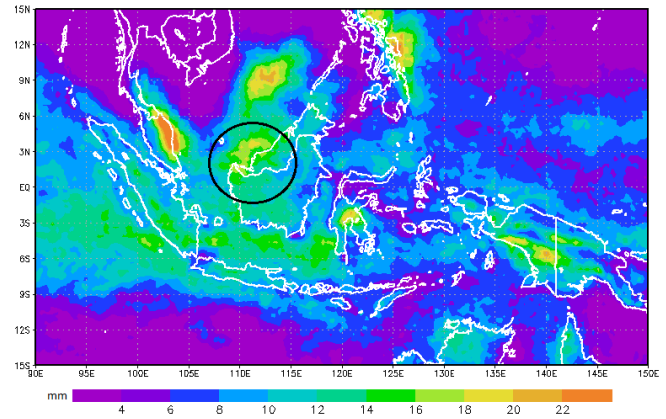
Gambar 6 menunjukkan saat *no vortex day* persebaran curah hujan di pulau Jawa dan pulau Kalimantan cukup besar, karena memang sedang bertiup monsun musim dingin Asia yang membawa banyak uap air di wilayah Indonesia. Sedangkan saat kasus *Borneo vortex* curah hujan di pulau Jawa relatif kecil. Curah hujan tinggi hanya di sekitar barat laut pulau Kalimantan seperti ditunjukkan oleh Gambar 7.

Pada bulan Desember persebaran curah hujan di wilayah Indonesia cukup merata, ditunjukkan oleh Gambar 8. Hampir seluruh wilayah Indonesia curah hujannya memiliki besar yang sama, namun tetap curah hujan tertinggi ada di sekitar pantai barat laut pulau Kalimantan. Analisis curah hujan TRMM bulan Januari seperti yang ditunjukkan Gambar 9 menunjukkan curah hujan sangat tinggi di lokasi tempat terjadinya *Borneo vortex*.

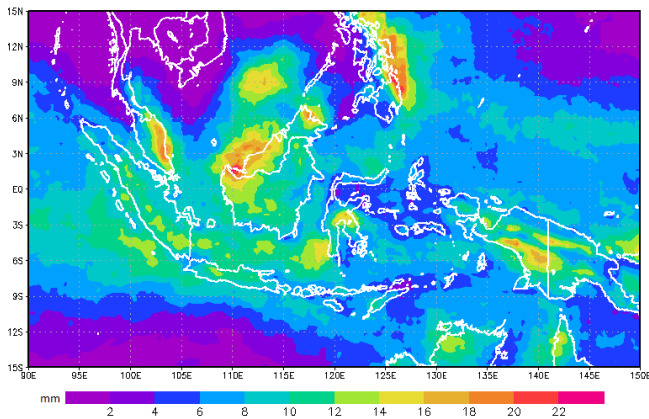
Pada bulan Desember frekuensi *Borneo vortex* tertinggi bahkan lebih besar dari Januari, namun mengapa curah hujan di lokasi *Borneo vortex* lebih besar saat bulan Januari? Untuk mencari tahu penyebab curah hujan yang lebih tinggi di lokasi dengan frekuensi *vortex* tertinggi



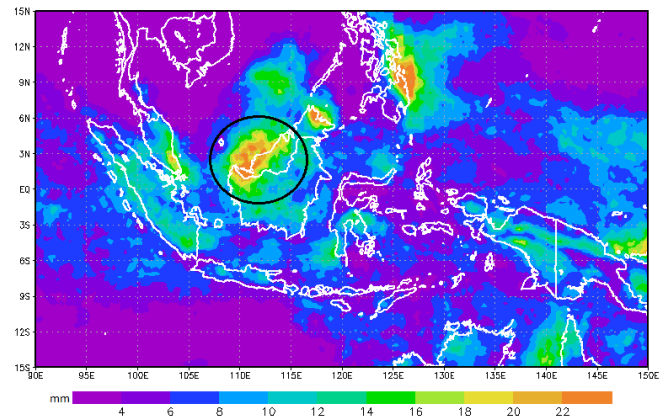
Gambar 6. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *No Borneo vortex* di bulan DJF 2002-2011



Gambar 8. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* bulan Desember 2002-2011



Gambar 7. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* di bulan DJF 2002-2011



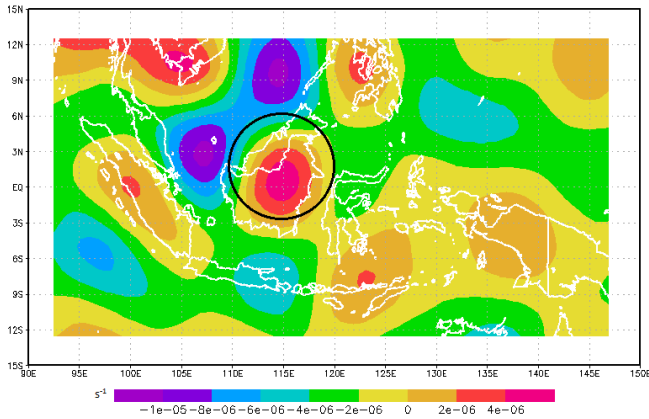
Gambar 9. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* bulan Januari 2002-2011

di bulan Januari yang lebih besar dari bulan Desember, dilakukan analisis konvergensi. Analisis konvergensi dilakukan bertujuan untuk melihat bagaimana daerah konvergensi di lokasi tempat terjadinya curah hujan yang tinggi tersebut. Gambar 10 dan 11 menunjukkan konvergensi di sekitar barat laut pulau Kalimantan pada bulan Januari dan Desember saat kasus *Borneo vortex* selama tahun 2002-2011.

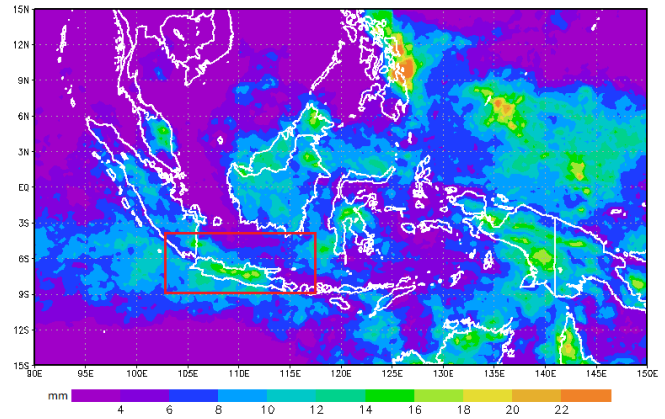
Konvergensi pada gambar di atas ditunjukkan jika nilai di colorbar semakin negatif. Jika dilihat besarnya konvergensi, untuk bulan Januari konvergensinya sebesar -9×10^{-6} , sedangkan bulan Desember yaitu -1×10^{-6} . Karena nilai konvergensi semakin negatif, hal ini menunjukkan penguatan konvergensi. Oleh karena itu, konvergensi bulan Januari lebih kuat dari pada di bulan Desember sehingga curah hujan Januari lebih besar di

sekitar Kalimantan dari pada bulan Desember.

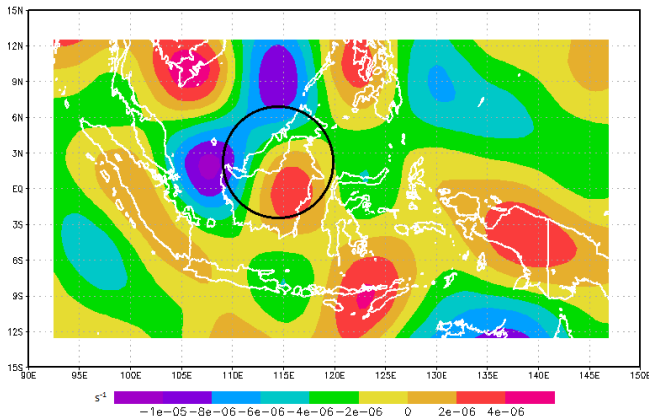
Curah hujan harian TRMM di bulan Februari menunjukkan nilai cukup rendah di lokasi terjadinya *Borneo vortex* jika dibandingkan dengan bulan Desember dan Januari (Gambar 12). Jika dilihat dari banyaknya jumlah vortex, memang pada bulan Februari vortex jarang terbentuk. Namun terdapat perbedaan anomali curah hujan yang cukup menarik di bulan Februari dimana anomali harian paling tinggi terjadi di pulau Jawa sedangkan curah hujan di Kalimantan yang relatif sedang. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13, kemungkinan hal ini disebabkan oleh angin baratan yang banyak uap air sehingga membuat curah hujan di sekitar pulau Jawa cukup tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Jika dilihat lebih seksama lagi terdapat pertemuan aliran udara dari utara dan selatan di sekitar pulau Jawa. Pertemuan dua



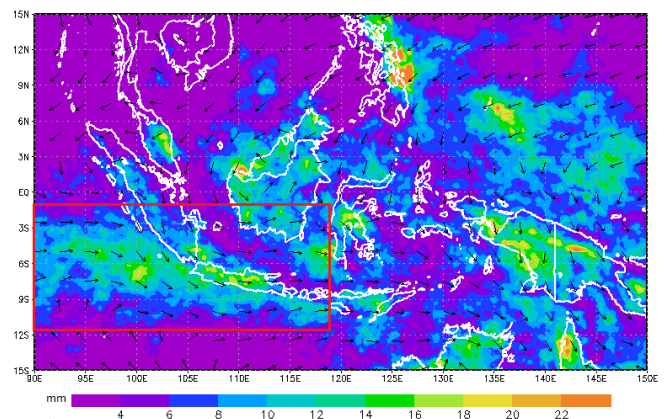
Gambar 10. Konvergensi saat kasus *Borneo vortex* selama 2002-2011 pada bulan Desember



Gambar 12. Komposit curah hujan harian TRMM saat kasus *Borneo vortex* di bulan Februari tahun 2002-2011



Gambar 11. Konvergensi saat kasus *Borneo vortex* selama 2002-2011 pada bulan Januari



Gambar 13. Komposit curah hujan TRMM dan vektor angin Februari 2002-2011

aliran udara tersebut yang mungkin menjadi penyebab curah hujan tinggi di sekitar pulau Jawa.

3.3 Analisis curah hujan dan moisture transport saat kasus *Borneo vortex*

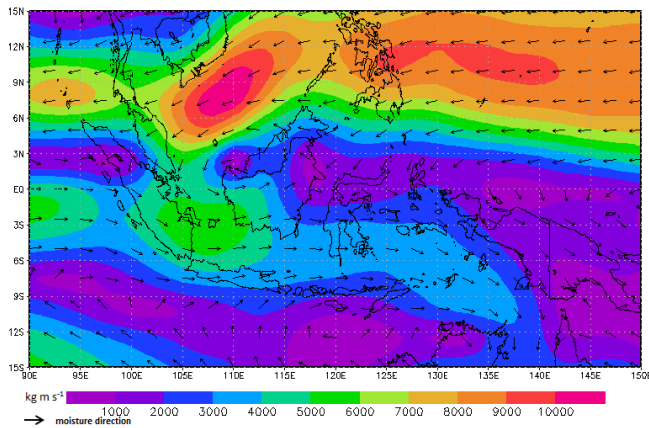
Proses hujan di atmosfer tidak hanya melibatkan satu lapisan saja, namun melibatkan banyak lapisan. Salah satu yang mengendalikan mekanisme monsun adalah proses kelembaban. Massa udara yang besar dan perubahan transpor kelembaban dapat menggeser tempat terbentuknya hujan.

Gambar 14 adalah distribusi dari transpor kelembaban rata-rata vertikal saat kasus *Borneo vortex* di bulan DJF. Terlihat tanda panah membentuk pola siklonik di sekitar Barat Laut Kalimantan yang menandakan kelembaban berkumpul di lokasi tempat frekuensi *vortex* tertinggi.

Tabel 3
Curah hujan observasi sebelum, saat, dan sesudah *Borneo vortex* 2002-2011 di setiap pulau di Indonesia

Pulau	Rata-rata CH (mm) saat <i>Borneo vortex</i> 2002-2011		
	Sebelum	Saat	Sesudah
Jawa	14,06	14,34	12,93
Kalimantan	17,87	16,43	14,33
Sumatera Bag. Selatan	16,89	13,04	15,77
Bali, NTT, NTB	17,17	17,77	17,47

Moisture source ada di Laut Cina Selatan yang menunjukkan kelembaban yang di transport secara vertikal pada wilayah di atas Laut Cina Selatan. *Moisture sink* ada di wilayah Barat Laut Kalimantan dan di Selatan pulau Jawa dan Sumatera, yang menunjukkan wilayah tersebut memiliki curah hujan yang tinggi. Sama seperti yang ditunjukkan pada plot curah hujan, wilayah *Moisture source* menunjukkan curah hujan yang rendah, dan wilayah *moisture sink* menunjukkan curah hujan yang cukup tinggi di lokasi *moisture sink* berada di Barat Laut Kalimantan adalah lokasi dengan frekuensi *vortex* tertinggi.



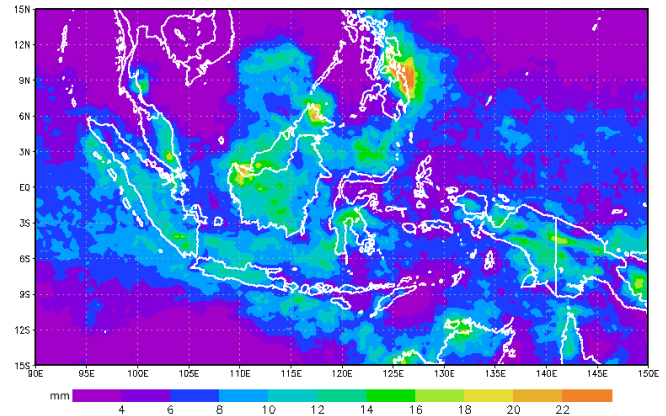
Gambar 14. Transpor kelembaban saat fenomena *Borneo vortex* tahun 2002-2011

3.4 Analisis curah hujan sebelum, saat, dan sesudah terjadinya *Borneo vortex*

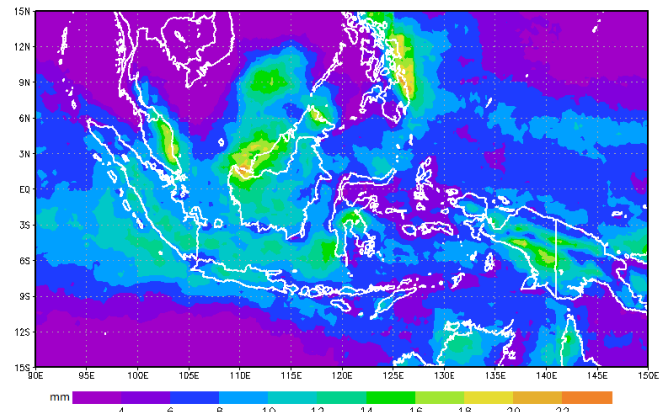
Analisis komposit curah hujan pada Gambar 15, 16, dan 17, dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi peningkatan atau penurunan curah hujan setelah kejadian *vortex*. Analisis ini dilakukan dengan mengompositkan curah hujan sehari sebelum dan setelah *Borneo vortex* terjadi. Untuk menentukan hari sebelum dan sesudah *vortex* terjadi terlebih dahulu harus ditentukan durasi *vortex*.

Persebaran curah hujan di lokasi dengan frekuensi *vortex* tinggi lebih besar saat kejadian *vortex* dibandingkan sebelum dan sesudah kejadian. Dampak dari kejadian *Borneo vortex* terhadap curah hujan di Indonesia memang berbeda untuk setiap wilayah. Lokasi yang paling berpengaruh memang lokasi dimana tempat terjadinya *Borneo vortex* dengan frekuensi tertinggi.

Untuk mendukung analisis dengan curah hujan TRMM digunakan analisis curah hujan observasi. Tabel 3 menunjukkan curah hujan observasi sebelum, saat, dan sesudah terjadinya *Borneo vortex* di setiap pulau besar di Indonesia.



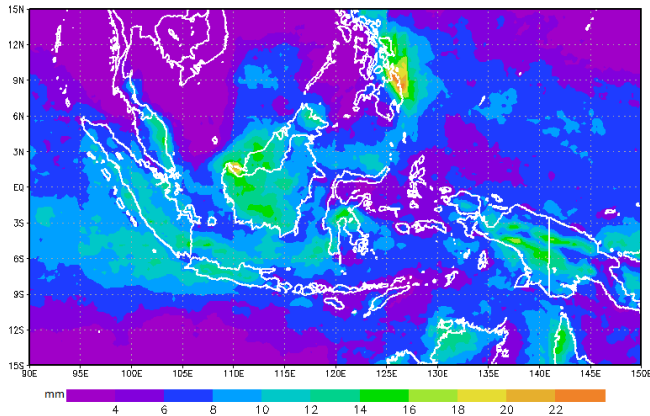
Gambar 15. Komposit curah hujan sebelum kejadian *Borneo vortex* DJF 2002-2011



Gambar 16. Komposit curah hujan saat kejadian *Borneo vortex* DJF 2002-2011

Dari analisis Tabel 3, pulau Jawa, Sumatera bagian Selatan, dan Kalimantan mengalami penurunan curah hujan sesudah terjadinya *Borneo vortex*. Penurunan curah hujan sekitar 1 - 4 mm/hari. Sebaliknya, NTB, NTT, dan Bali mengalami peningkatan curah hujan setelah terjadinya *vortex*. Peningkatan cukup kecil yaitu hanya 0.3 mm/hari. Curah hujan yang cukup tinggi saat kasus *Borneo vortex* adalah Kalimantan, Bali, NTT, dan NTB sekitar 16 - 18 mm/hari.

Lokasi stasiun meteorologi yang memang kurang rapat dapat mempengaruhi gambaran besarnya curah hujan untuk setiap pulau di Indonesia. Selain itu penentuan hari sebelum dan sesudah *vortex* ditentukan tidak berdasarkan durasi *vortex*. Hal itu yang membuat besarnya curah hujan sebelum, saat, dan sesudah terjadi *Borneo vortex* perbedaannya tidak signifikan.



Gambar 17. Komposit curah hujan setelah kejadian *Borneo vortex* DJF 2002-2011

4 KESIMPULAN

Dari uraian analisis dan pembahasan di atas, maka yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah:

- Telah teridentifikasi 250 kejadian *Borneo vortex* di bulan DJF selama tahun 2002-2011. (Desember 133 kejadian, Januari 83 kejadian, dan Februari 34 kejadian). Maksimum terjadinya *Borneo vortex* yaitu sekitar 60 kejadian terletak di Kuching, Malaysia.
- Plot spasial komposit curah hujan TRMM saat tidak ada *Borneo vortex* menunjukkan persebaran curah hujan di pulau Jawa dan pulau Kalimantan cukup besar. Sedangkan saat kasus *Borneo vortex* curah hujan di pulau Jawa relatif kecil. Curah hujan tinggi hanya di sekitar Barat Laut pulau Kalimantan.

Data observasi menunjukkan pulau Jawa, Sumatera bagian Selatan, dan Kalimantan mengalami penurunan curah hujan sesudah terjadinya *Borneo vortex*. Penurunan curah hujan sekitar 1 - 4 mm/hari. Sebaliknya, NTB, NTT, dan Bali mengalami peningkatan curah hujan yang tak signifikan setelah terjadinya vortex sebesar 0.3 mm/hari. Curah hujan yang cukup tinggi saat kasus *Borneo vortex* adalah Kalimantan, Bali, NTT, dan NTB sekitar 16 - 18 mm/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia Y. *Kajian Variasi Pola Curah Hujan Januari di Wilayah Monsun Asia-Australia dan Keterkaitannya Dengan Fenomena Southerly Surge*. PhD thesis, Institut Teknologi Bandung, 2010.
- Chang C. P., Harr P., and Chen H. (2004). Synoptic Disturbances over the Equatorial South China Sea and Western maritime Continent during Boreal Winter. *Monthly Weather Review*, 133:489–503.
- Hisham M. Climatological behaviors of Borneo vortex during Northern Hemisphere Winter Monsoon. In

WCRP OSC Climate Research in Service to Society, Denver, USA, 2010.

Holton J. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. California: Elsevier Academic Press, San Diego, 4 edition, 2004.

Tangang T. and Juneng L. (2010). Long-term trends of winter monsoon synoptic circulations over the maritime continent: 1962-2007. *Atmospheric Science Letters*, 11:199–203.

Webster P. and Fasullo J. Monsoon Dynamical Theory. In *Monsoon*, pages 1370–1386. Elsevier Science Ltd, 2003.