

Research Articles

Identifikasi Borneo Vortex terhadap dinamika suhu permukaan laut di Laut Jawa

Yosafat Donni Haryanto^{1*}, Shanas Septy Prayuda¹, Rezfiko Agdialta¹, Nelly Florida Riama², Agus Hartoko³, Sutrisno Anggoro³, Muhammad Zainuri³

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan, Indonesia, 15221

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, Indonesia, 10720

³Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 50275

Received 15 Juli 2020; Accepted 19 Agustus 2020; Published 22 September 2020

Keyword:

Borneo Vortex;
Java Sea;
Sea Surface Temperature

ABSTRACT: The Borneo Vortex incident is a synoptic-scale disturbance which occurs when the Asian monsoon is active. The Borneo Vortex occurs due to the interaction of the Asian monsoon winds with southeastern winds in the northwestern region of Kalimantan, thus forming eddies which can increase rainfall. The purpose of this research is to analyze the influence of Borneo Vortex on the dynamics of sea surface temperature in the Java Sea. The data used in this study were the Reanalysis ERA Interim ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) consisting of the u and v wind components, relative vortices, divergences, and specific humidity. The method used was by finding the composite value of each parameter during the Borneo Vortex incident. The results of the study showed an Identification that most Borneo Vortex incidents were in December, and due to the presence of Borneo Vortex, there were significant changes in vorticity, divergence, moisture transport, rainfall, and SST. Borneo Vortex occurs in December-January-February when the Asian monsoon is active in northwest Kalimantan where there is a synoptic scale disturbance in the form of an air mass edging that cause an increase in rainfall and in the dynamics of SST. @2020 Published by UP2M, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

Kata Kunci:

Borneo Vortex;
Laut Jawa;
Suhu Permukaan Laut

ABSTRAK: Kejadian Borneo Vortex merupakan gangguan gangguan skala sinoptik yang terjadi pada saat monsun Asia aktif. Borneo Vortex terjadi karena adanya interaksi angin monsun Asia dengan angin dari arah tenggara di wilayah barat laut Kalimantan sehingga terbentuklah pusaran yang dapat meningkatkan curah hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh Borneo Vortex terhadap dinamika Suhu Permukaan Laut di Laut Jawa. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Reanalysis ERA Interim ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) terdiri dari komponen angin u dan v, vortisitas relatif, divergensi, dan kelembapan spesifik. Metode yang digunakan dengan mencari nilai komposit dari masing – masing parameter pada saat kejadian Borneo Vortex. Hasil yang diperoleh Identifikasi kejadian Borneo Vortex terbanyak pada bulan Desember, dengan adanya Borneo Vortex terdapat perubahan yang cukup signifikan terhadap vortisitas, divergensi, moisture transport, curah hujan, dan SPL. Borneo Vortex terjadi pada bulan Desember Januari Februari pada saat monsun Asia aktif di barat laut Kalimantan yang terdapat gangguan skala sinoptik berupa pusaran massa udara menyebabkan kenaikan curah hujan dan dinamika SPL. @2020 Published by UP2M, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

* Corresponding author.

E-mail address: yosafatdonni@gmail.com

PENDAHULUAN

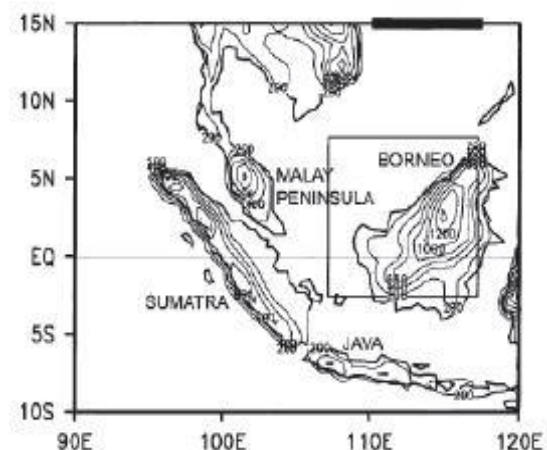
Wilayah Indonesia merupakan negara tropis yang banyak terdapat gangguan-gangguan kondisi atmosfer, salah satunya adalah Borneo Vortex. Borneo Vortex terjadi pada saat monsun Asia aktif di barat laut Kalimantan yang terdapat gangguan skala sinoptik berupa pusaran massa udara. Kajian dampak Borneo Vortex sering dikaitkan dengan aktifitas hujan lebat dan bencana seperti banjir [1][2][3]. Menurut [2] rata-rata suatu sistem *vortex* memiliki masa hidup 3-6 hari yang menunjukkan bahwa *vortex* tersebut merupakan fenomena cuaca skala sinoptik. Adanya *vortex* yang didukung dengan banyaknya uap air yang terdapat di wilayah Indonesia memicu awan – awan konvektif kuat sehingga dapat menyebabkan potensi curah hujan yang tinggi. Menurut [4] Borneo Vortex terjadi karena adanya interaksi angin monsun Asia dengan angin dari arah tenggara di wilayah barat laut Kalimantan sehingga terbentuklah pusaran. Topografi yang berada di pulau Kalimantan merupakan faktor utama dalam pembentukan Borneo Vortex. Identifikasi Borneo Vortex menurut [4] diamati pada lapisan 925 mb yang terindikasi pada wilayah 7,5°LU – 2,5°LS dan 105°BT – 117,5° BT dan setidaknya ada satu kecepatan angin melebihi 2 m/s dalam empat titik dari grid 2,5° x 2,5° persegi dimana tempat pusat sirkulasi. Secara umum, Borneo Vortex meningkatkan curah hujan di Indonesia bagian barat dan tengah. Hal ini terkait adanya pempunan massa udara di area sekitar *vortex*. Posisi pusat Borneo Vortex menjadi sangat penting dalam proses penjalaran massa udara ke selatan ekuator. Ketika posisi *vortex* berada di barat laut pulau Kalimantan akan terjadi penurunan curah hujan di daerah Jawa dan Kalimantan, hal ini dikarenakan adanya aliran massa udara dingin monsun Asia yang menuju ke selatan ekuator akan tertahan oleh Borneo Vortex [5]. Berkaitan dengan curah hujan, Suhu Permukaan Laut (SPL) menjadi salah satu faktor yang mempengaruhinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh Borneo Vortex terhadap dinamika Suhu Permukaan Laut di Laut Jawa. Adanya dampak Borneo Vortex, parameter SPL menjadi dinamis dan sangat penting mempengaruhi kondisi perairan di Laut Jawa .

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Reanalysis ERA Interim ECMWF

(European Centre for Medium-Range Weather Forecast). Penelitian difokuskan pada lapisan 925 mb, kecuali moisture transport yang menggunakan lapisan permukaan hingga 300 mb. Penentuan lapisan 925 mb dinilai dapat mewakili kondisi lapisan bawah. Resolusi spasial yang digunakan yaitu 2,5° x 2,5° pada jam 00 UTC dengan data berupa komponen angin u dan v, vortisitas relatif, divergensi, dan kelembapan spesifik. Analisis curah hujan dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian 3B42RT TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), sedangkan data SPL menggunakan data Visualize NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) High Resolution Blended Analysis Data. Analisis Sea Surface Temperature (Suhu Permukaan Laut) dilakukan dengan menggunakan data Remote Sensing periode bulan Desember - Februari (DJF) 2004/05 sampai 2014/15 di Laut Jawa.



Gambar 1. Wilayah Identifikasi Borneo Vortex [4]

Prosedur Penelitian

Vortisitas digunakan untuk mengukur kekuatan *vortex* dan divergensi untuk mengetahui daerah pempunan dan sebaran massa udara. Baik analisa vortisitas maupun divergensi sangat penting untuk menentukan daerah yang berpotensi terbentuk awan – awan konvektif. Analisa *moisture transport* digunakan untuk mengetahui penjalaran uap air yang didapatkan dari persamaan 1. Penentuan nilai batas atas 300 mb karena kandungan uap air di atas lapisan tersebut sangat sedikit sehingga sudah tidak terlalu signifikan.

$$Bq = \int_0^{300} q V dz \dots \dots \dots (1)$$

Moisture transport memiliki peranan yang sangat peting bagi pembentukan awan. Tanpa

adanya uap air yang memadai awan tidak akan tumbuh meskipun memiliki nilai konvergensi yang tinggi.

Identifikasi Borneo Vortex diadopsi dari penelitian [4] yaitu dengan cara melihat adanya sirkulasi tertutup yang berlawanan arah jarum jam pada lapisan 925 mb yang diidentifikasi pada area 7,5°LU – 2,5°LS dan 105°BT – 117,5° BT (Gambar 1) dan sekarang – kurangnya terdapat satu angin melebihi 2 ms⁻¹. Metode yang digunakan adalah dengan mencari nilai komposit dari masing – masing parameter pada saat kejadian Borneo Vortex selama waktu penelitian.

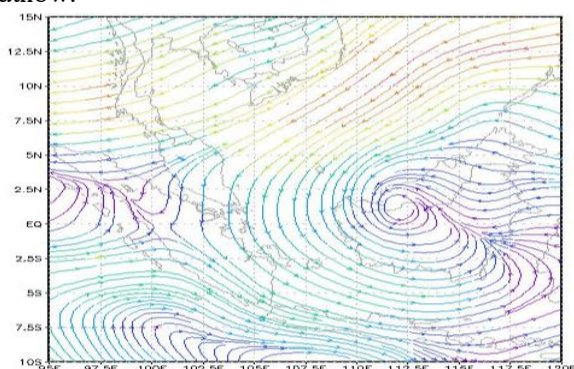
Analisis Data

SPL digunakan untuk menganalisis hubungannya terhadap curah hujan dan kejadian *Borneo Vortex* di Kalimantan. Dari penelitian ini nantinya akan dianalisis bagaimana hubungan peningkatan dan penurunan SPL di wilayah analisis terhadap jumlah curah hujan dan kejadian *Borneo Vortex*. SPL secara teori mempengaruhi massa udara (*air mass*). Daerah yang memiliki SPL yang lebih hangat cenderung memiliki lebih banyak uap air. Hal ini dikarenakan karena sifat uap air bergerak dari daerah yang memiliki SPL yang lebih dingin ke wilayah yang memiliki SPL yang lebih hangat. Pergerakan massa udara ini juga akan mempengaruhi pembentukan *Borneo Vortex* disekitar wilayah penelitian.

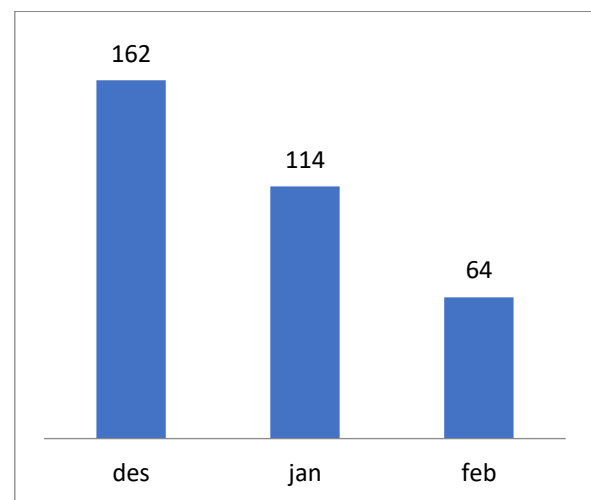
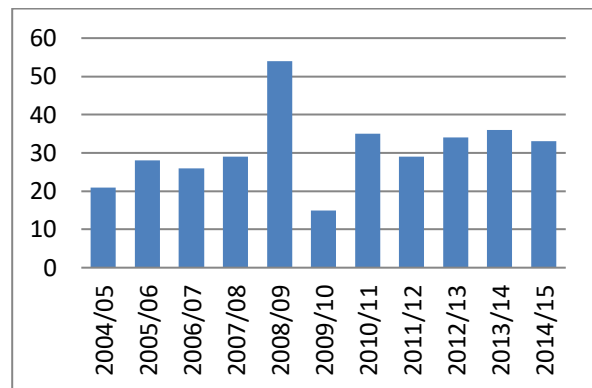
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pola siklonik terdapat pada lapisan 925 mb (Gambar 2) yang menunjukkan terjadi Borneo Vortex pada tanggal 15 Desember 2014. Penggunaan streamline dalam penentuan Borneo Vortex menjadi pilihan karena lebih mudah dalam menentukan bentuk vortex, inflow, ataupun outflow.

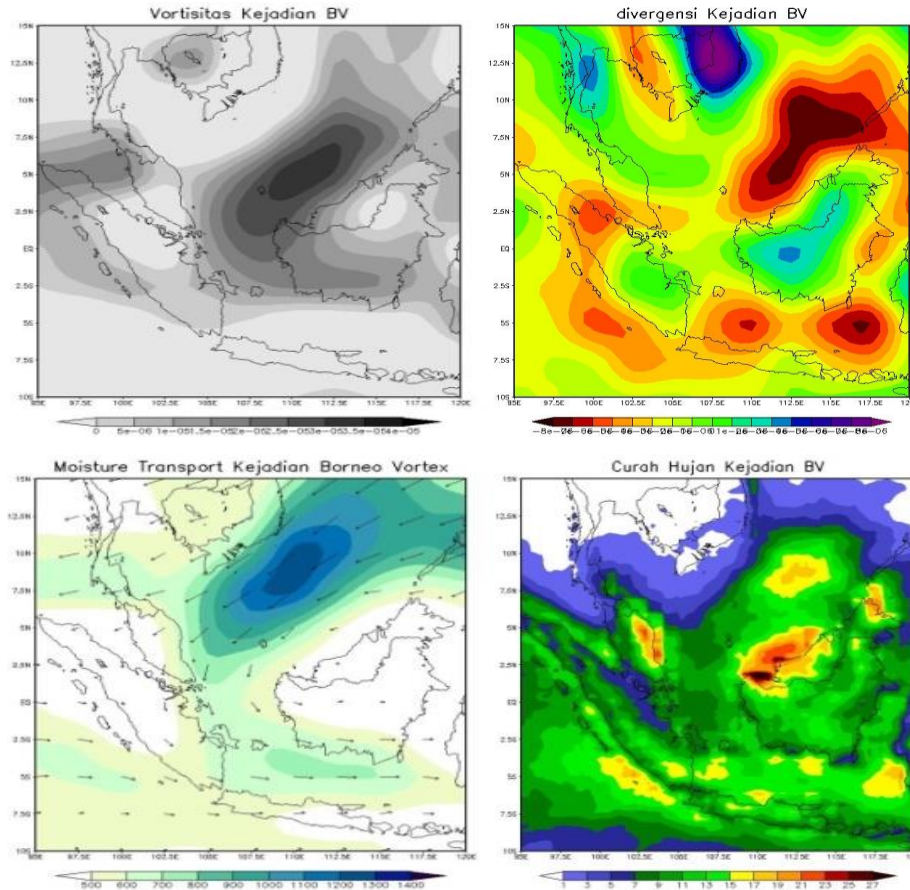


Gambar 2. Streamline lapisan 925 mb (kecepatan dalam ms⁻¹) tanggal 15 Desember 2014



Gambar 3. Frekuensi kejadian Borneo Vortex tiap tahun bulan DJF dan total kejadian Borneo Vortex berdasarkan bulan tahun 2004/05 – 2014/15

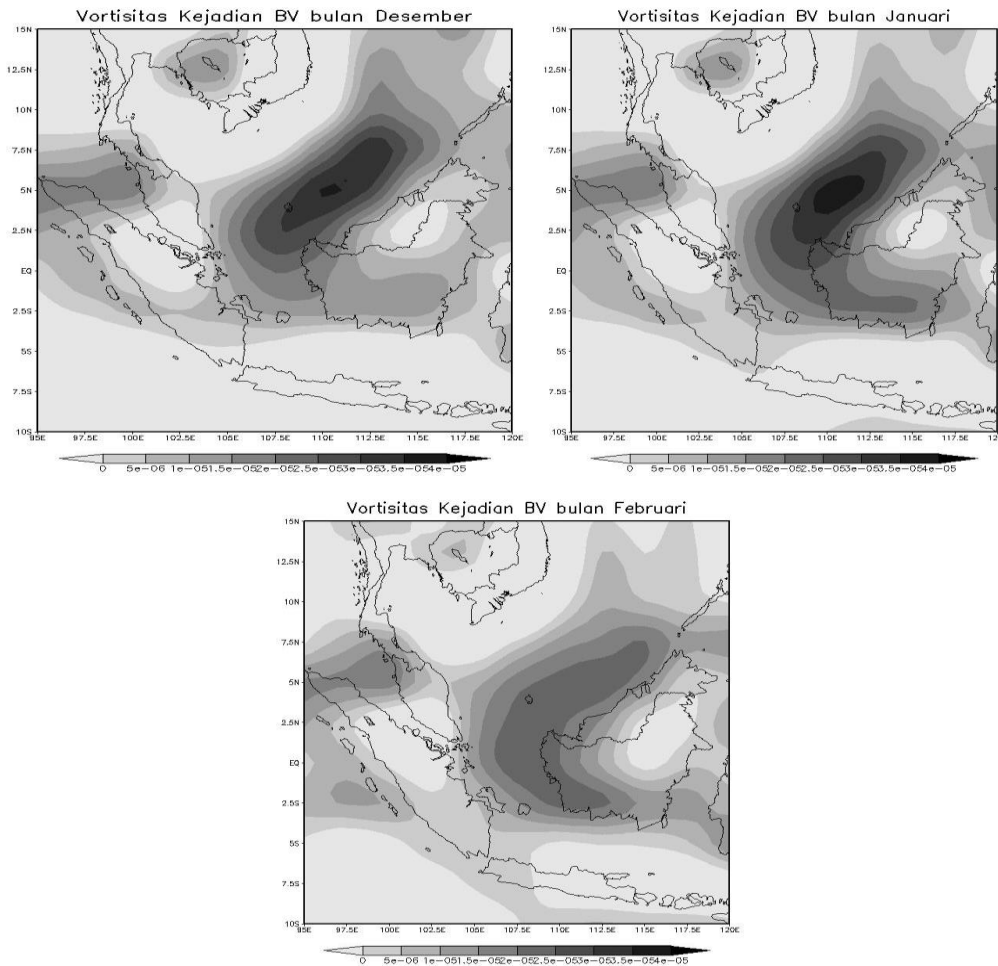
Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa jumlah kejadian Borneo Vortex dari tahun ketahun relatif sama, kecuali terjadi jumlah kejadian yang cukup besar pada tahun 2008/09 dan rendah pada tahun berikutnya. Jumlah kejadian terbanyak pada bulan Desember dengan 162 kejadian, kemudian Januari dengan 114 kejadian, dan Februari dengan 64 kejadian. Penelitian sebelumnya yang dilakukan [4] dan [2] juga menyatakan bahwa Desember merupakan bulan paling aktif terjadi Borneo Vortex.



Gambar 4. Komposit vortisitas, divergensi, moisture transport, dan curah hujan bulan DJF tahun 2004/05 – 2014/15 pada saat terjadi Borneo Vortex

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada saat terjadi Borneo Vortex terdapat nilai vortisitas positif yang tinggi di barat laut pulau Kalimantan. Hal tersebut menandakan bahwa terdapat pola siklonik yang cukup kuat di daerah tersebut. Hal serupa juga ditunjukkan oleh nilai divergensi. Terdapat konvergensi yang tinggi di daerah vortex dan terdapat konvergensi di Laut Jawa. Konvergensi di Laut Jawa disebabkan oleh pertemuan massa udara dari monsun Asia dengan angin pasat tenggara. Nilai

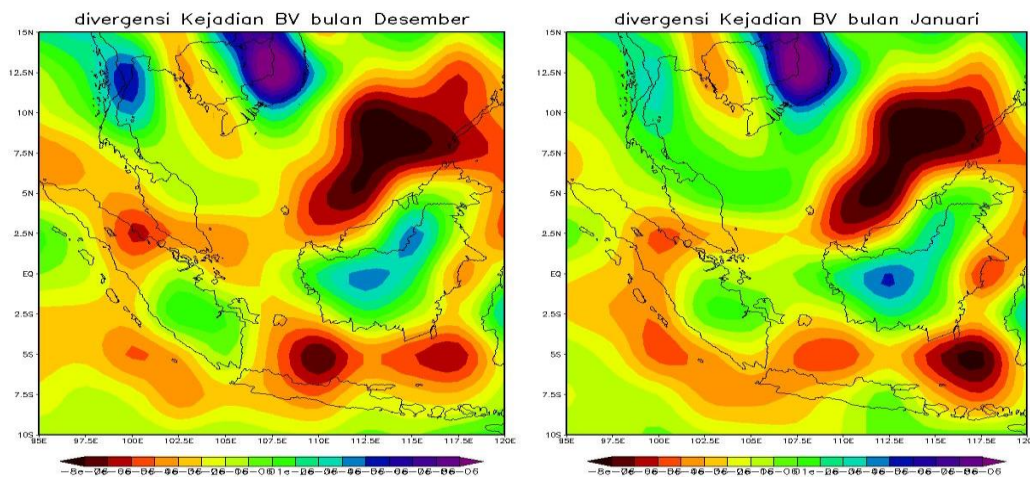
moisture transport menunjukkan terdapat uap air yang banyak dari Laut China Selatan dan terdapat uap air yang berasal dari Samudra Hindia menuju Laut Jawa. Kondisi curah hujan di daerah Kalimantan terpantau cukup tinggi. Adanya Borneo Vortex terlihat cukup signifikan dalam mempengaruhi curah hujan di wilayah Kalimantan dan terdapat pula curah hujan yang cukup tinggi di Laut Jawa yang merupakan zona konvergensi massa udara monsun Asia dan angin pasat tenggara.

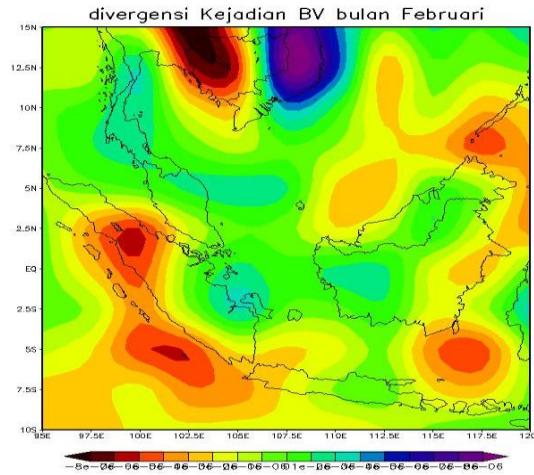


Gambar 5. Komposit vortisitas (s^{-1}) kejadian Borneo Vortex bulan Desember Januari dan Februari tahun 2004/05 – 2014/15

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai kekuatan vortex terlemah terjadi pada bulan Februari. Hal ini dimungkinkan bahwa pada bulan tersebut angin monsun Asia

sudah mulai melemah, sedangkan kekuatan vortex terkuat terjadi pada bulan Desember dan Januari.

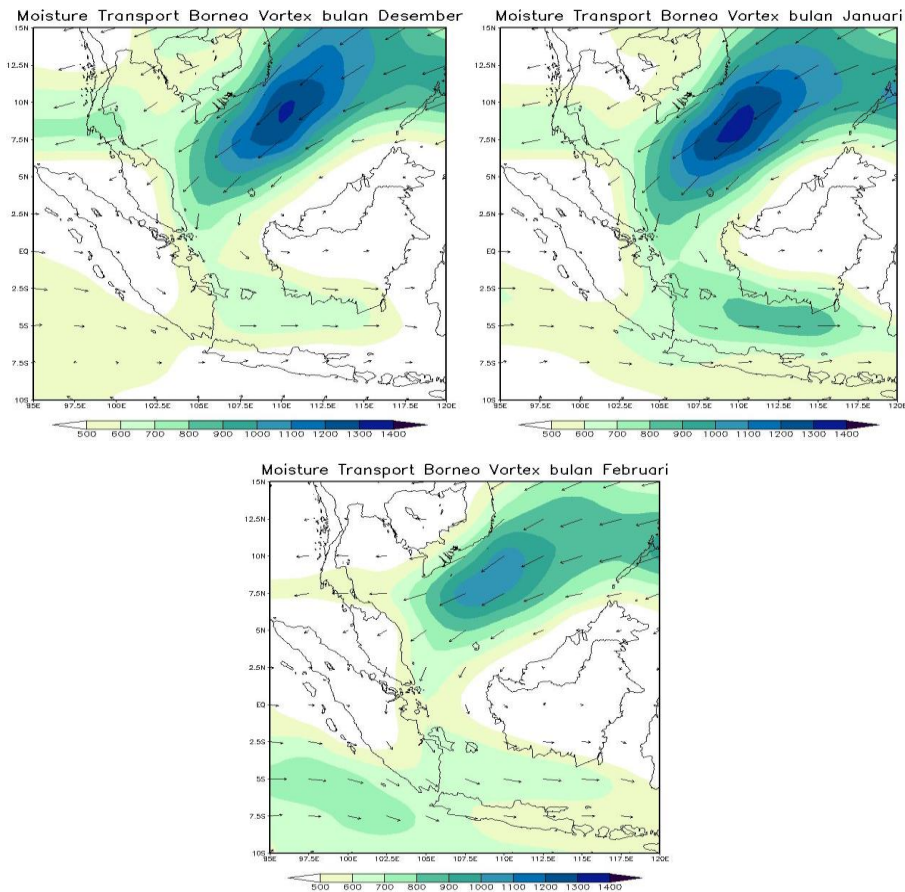




Gambar 6. Komposit divergensi (s^{-1}) kejadian Borneo Vortex bulan Desember, Januari, dan Februari tahun 2004/05 – 2014/15

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa pada bulan Februari merupakan bulan dengan konvergensi yang lebih lemah dibandingkan dengan bulan yang lainnya. Bulan Desember dan Januari sama – sama memiliki nilai konvergensi yang tinggi di utara pulau

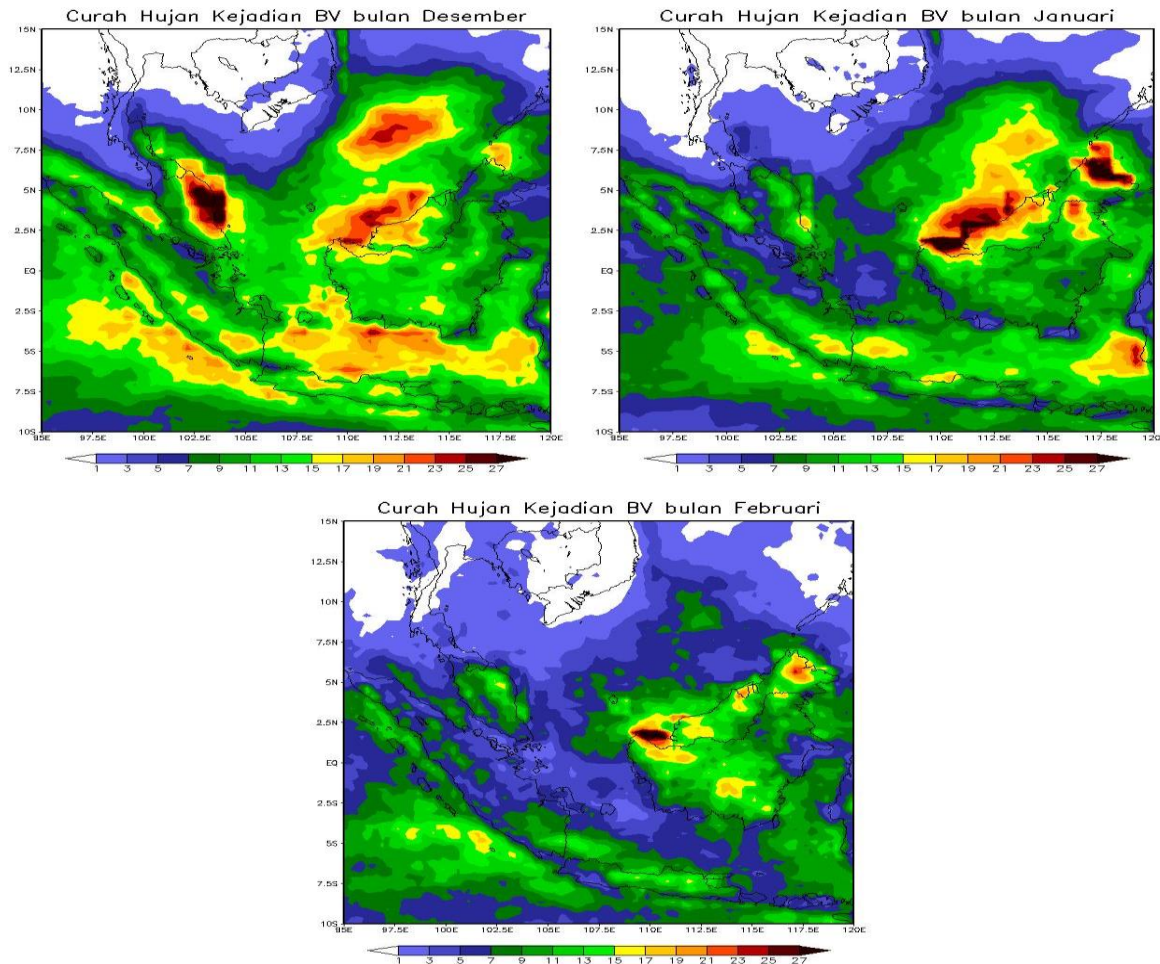
Kalimantan. Yang menarik dalam hal ini adalah konvergensi di Laut Jawa. Pada bulan Desember terlihat bahwa memiliki konvergensi yang lebih tinggi di bandingkan bulan lain. Hal ini tentu terkait dengan interaksi angin monsun Asia dan angin pasat tenggara.



Gambar 7. Komposit moisture transport ($kgms^{-1}$) kejadian Borneo Vortex bulan Desember, Januari, dan Februari tahun 2004/05 – 2014/15

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa terdapat pasokan uap air yang cukup tinggi melalui Laut China Selatan. Terlihat bulan Februari memiliki pasokan uap air yang paling

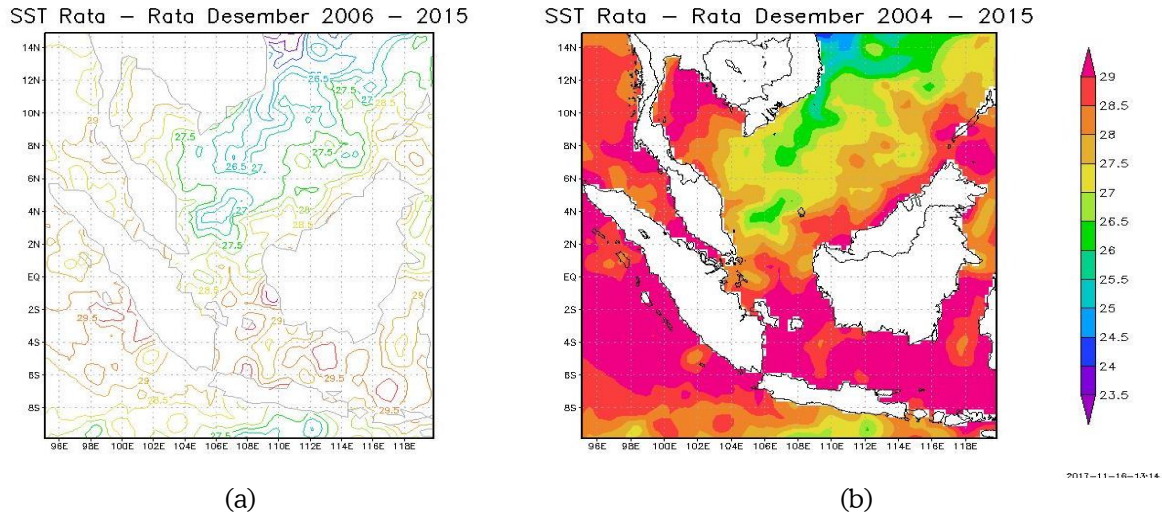
sedikit dibandingkan bulan lain. Pada bulan Januari terlihat memiliki pasokan uap yang paling banyak baik dari Laut China Selatan maupun di Laut Jawa.



Gambar 8. Komposit curah hujan (mm/jam) kejadian Borneo Vortex bulan Desember, Januari, dan Februari tahun 2004/05 – 2014/15

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui bahwa curah hujan pada bulan Desember lebih tinggi dan merata di wilayah Indonesia bagian barat, terutama untuk wilayah Laut China Selatan, Laut Jawa, dan pantai barat pulau Sumatra. Nilai konvergensi yang cukup tinggi di Laut Jawa pada bulan Desember mempengaruhi adanya curah hujan yang cukup tinggi di daerah tersebut. Pada bulan Januari curah hujan tinggi terfokus pada wilayah terjadinya Borneo Vortex.

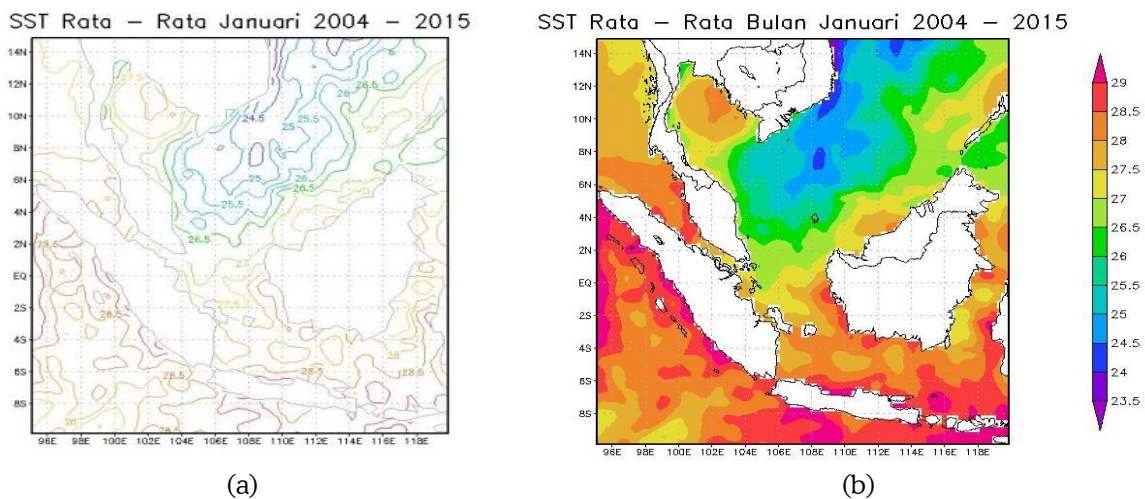
Seperti pada pembahasan sebelumnya bahwa pada bulan Januari merupakan bulan dengan kekuatan vortex paling kuat diantara bulan lainnya. Curah hujan yang relatif lebih rendah terjadi pada bulan Februari. Jika ditinjau dari analisa votisitas, divergensi, maupun moisture transport, bulan Februari memang memiliki potensi hujan lebat yang lebih rendah dibandingkan bulan yang lain.



Gambar 9. (a) Peta *Isotherm Sea Surface Temperature* Rata-Rata Desember 2004 – 2015, (b) *Interpolasi Sea Surface Temperature* Rata-Rata Desember 2004 – 2015

Gambar 9 merupakan rata – rata SST pada bulan Desember 2004 - 2015 dapat dilihat peta *Isotherm Sea Surface Temperature* dan *Interpolasi Sea Surface Temperature* dapat dilihat bahwa disekitar wilayah terjadinya vortisitas memiliki suhu yang lebih tinggi yaitu berada pada nilai 29,5°C. Massa udara bergerak dari wilayah yang

memiliki suhu lebih rendah dan memiliki tekanan tinggi ke wilayah yang memiliki suhu lebih tinggi dan memiliki tekanan lebih rendah. Akibatnya terjadi pusat tekanan rendah yang ditandai dengan nilai vortisitas yang tinggi di sekitar utara pulau Kalimantan.



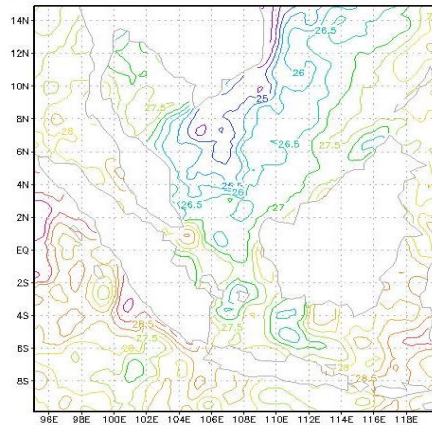
Gambar 10. (a) Peta *Isotherm Sea Surface Temperature* Rata-Rata Januari 2004 – 2015, (b) *Interpolasi Sea Surface Temperature* Rata-Rata Januari 2004 – 2015

Berdasarkan Gambar 10 yang merupakan rata – rata SST pada bulan Januari 2004 - 2015 dapat dilihat peta *Isotherm Sea Surface Temperature* dan *Interpolasi Sea Surface Temperature* dapat disimpulkan bahwa suhunya mengalami penurunan jika dibandingkan pada bulan Desember suhu disekitar wilayah terjadinya vortisitas memiliki suhu yang lebih tinggi yaitu berada pada nilai 29,0°C jika

dibandingkan pada wilayah lainnya. Massa udara bergerak dari wilayah yang memiliki suhu lebih rendah dan memiliki tekanan tinggi ke wilayah yang memiliki suhu lebih tinggi dan memiliki tekanan lebih rendah. Akibatnya terjadi pusat tekanan rendah yang ditandai dengan nilai vortisitas yang tinggi di sekitar utara pulau Kalimantan. Akan tetapi jika dibandingkan pada bulan Desember, kejadian pada bulan Januari

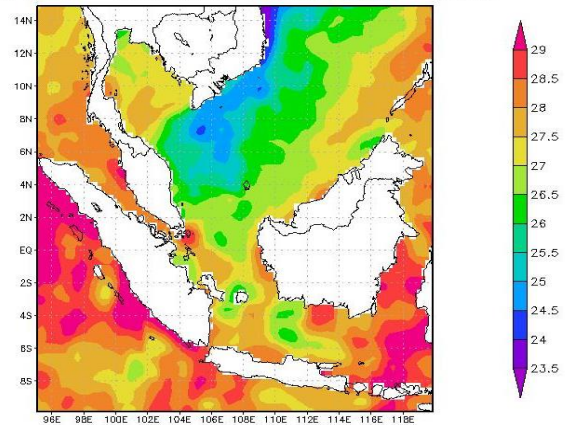
cenderung memiliki nilai vortisitas yang lebih rendah.

SST Rata – Rata Februari 2004 – 2015



(a)

SST Rata – Rata Bulan Februari 2004 – 2015



(b)

Gambar 11. (a) Peta Isoterm Sea Surface Temperature Rata-Rata Februari 2004 – 2015, (b) Interpolasi Sea Surface Temperature Rata-Rata Februari 2004 – 2015

Hasil *output* Gambar 11 menunjukkan rata – rata SST pada bulan Februari 2004 - 2015 dapat dilihat peta *Isoterm Sea Surface Temperature* dan *Interpolasi Sea Surface Temperature* dapat disimpulkan bahwa suhunya mengalami penurunan jika dibandingkan pada bulan Januari suhu disekitar wilayah terjadinya vortisitas memiliki suhu yang lebih tinggi yaitu berada pada nilai 29,0°C jika dibandingkan wilayah lainnya. Massa udara bergerak dari wilayah yang memiliki suhu lebih rendah dan memiliki tekanan tinggi ke wilayah yang memiliki suhu lebih tinggi dan memiliki tekanan lebih rendah. Akibatnya terjadi pusat tekanan rendah yang ditandai dengan nilai vortisitas yang tinggi di sekitar utara pulau Kalimantan. Akan tetapi jika dibandingkan pada bulan Januari, kejadian pada bulan Februari cenderung memiliki nilai vortisitas yang lebih rendah.

Pembahasan

Identifikasi *Borneo Vortex* dari periode bulan Desember - Februari (DJF) 2004/05 sampai 2014/15, kejadian terbanyak pada bulan Desember sebanyak 162 kejadian. Frekuensi maksimum pada Desember dikarenakan pada bulan tersebut intensitas monsun asia paling kuat [6]. Hal ini sesuai dengan [7] bahwa monsun terbentuk akibat perbedaan gradien tekanan antara BBU dan BBS. Pada bulan Desember matahari berada paling selatan di BBS maka perbedaan gradien tekanan antara dua belahan

bumi paling besar. Hal yang berbeda pada bulan Januari dan Februari ketika posisi matahari bergeser ke utara maka akan berakibat pada penurunan gradien tekanan yang mempengaruhi intensitas monsun, semakin mengarah ke bulan Februari maka intensitas monsun asia semakin melemah.

Borneo Vortex terbentuk akibat adanya vortisitas yang disebabkan oleh geser angin (*windshear*) dan konvergensi yang dihasilkan dari interaksi antara angin monsun timur laut dan daratan Kalimantan [8]. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh [9] bahwa asal mula pusaran *Borneo Vortex* berhubungan erat dengan vortisitas relatif yang melambat di Laut Cina Selatan dan intensif di sekitar Kalimantan. Menurut [10] Vortisitas dikatakan sebagai sebuah kekuatan vortex, bila semakin besar nilai vortisitas maka semakin besar pula kekuatan vortex dan juga sebaliknya. Nilai vortisitas digunakan sebagai indikasi adanya gerak udara secara vertikal atau disebut konveksi. Konveksi kuat yang terjadi di Laut Cina Selatan equator salah satunya disebabkan oleh *Borneo Vortex*. Pada saat *Borneo Vortex* aktif, konveksi berkaitan dengan suhu permukaan laut yang cukup tinggi di Laut Cina Selatan bersamaan pada saat itu terjadi pusaran siklonik di Kalimantan [11].

Proses konveksi kuat menghasilkan awan-awan konvektif (Cb) dimana puncaknya dapat menembus troposfer atas dan memenuhi skala horisontal hingga 1000 kilometer [3].

Pembentukan awan – awan konvektif dibentuk oleh adanya proses *moisture transport*. Menurut [12] proses *moisture transport* di ekuator terjadi ketika uap air bergerak dari utara ke selatan saat bulan Desember Januari Februari (DJF). Bagian selatan atau wilayah Laut Jawa pada bulan DJF sangat dipengaruhi oleh *Borneo Vortex*, yang didukung adanya peningkatan curah hujan dan suhu permukaan laut. Hal ini sesuai pernyataan [13] bahwa sekitar wilayah yang berdampak *Borneo Vortex* terjadi peningkatan suhu permukaan laut dan menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi.

KESIMPULAN

Identifikasi kejadian *Borneo Vortex* terbanyak pada bulan Desember, dengan adanya *Borneo Vortex* terdapat perubahan yang cukup signifikan terhadap vortisitas, divergensi, *moisture transport*, curah hujan, dan SPL. Dampak *Borneo Vortex* dapat meningkatkan curah hujan dan kenaikan SPL di Laut Jawa. *Borneo Vortex* terjadi pada bulan Desember Januari Februari pada saat monsun Asia aktif di barat laut Kalimantan yang terdapat gangguan skala sinoptik berupa pusaran massa udara menyebabkan kenaikan curah hujan dan dinamika SPL.

REFERENSI

- [1] Tangang, F.T, Juneng, L., Salimun, E., Vinayachandran, P.N., Seng, Y.K., Reason, C.J.C., Behera, S.K., dan Yasunari, T., 2008, *On the Roles of the Northeast Cold Surge, the Borneo Vortex, the Madden-Julian Oscillation, and the Indian Ocean Dipole Mode during the Extreme 2006/2007 Flood in Southern Peninsular Malaysia*, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14S07, doi:10.1029/2008GL033429.
- [2] Anip, M.H.M., dan Lupo, A., 2012, *Interannual and Interdecadal Variability Of The Borneo Vortex During Boreal Winter Monsoon*, University of Missouri-Columbia, USA.
- [3] Trilaksono, N.J., Otsuka, S., Yoden, S. (2012): *A Time-Lagged Ensemble Simulation on the Modulation of Precipitation over West Java in January/February 2007*. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/MWRD-11-00094.1
- [4] Chang, C. P., Harr, P. A., dan Chen, H. J., 2005, *Synoptic Disturbances over the Equatorial South China Sea and Western maritime Continent during Boreal Winter*, *Monthly Weather Review* 133, 489-503.
- [5] Prakosa, S.H., 2013, *Kajian Dampak Borneo Vortex Terhadap Curah Hujan Di Indonesia Selama Musim Dingin Belahan Bumi Utara*, Tesis Magister Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [6] Anip, M.H.M., Lupo, A. (2006): *Climatological Behaviors of Borneo vortex During Northern Hemisphere Winter Monsoon*. University of Missouri-Columbia, USA. Poster: M211A.
- [7] Webster, P.J., Fasullo, J. (2003): *Dynamical Theory*. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, University of Colorado-Boulder, CO, USA.
- [8] Chang, C.P., Liu, C.H., Kuo, H.C. (2003): *Typhoon Vamei : An Equatorial Tropical Cyclone Formation*. *Geophysical Research Letters*, Volume 30, Number 3.
- [9] Samah, A.A., Hai, S.O., Kumarsentharan, Nor, M.F. (2010): *Borneo Vortex: A Case Study of Multi-Scale Influences from Midlatitude Forcing, Topography to Global Circulations*. National Antarctic Research Centre, University Malaya, Kuala Lumpur.
- [10] Holton, J.R., 2004, *An Introduction to Dynamic Meteorology 4th Edition*, Elsevier Academic Press, USA.
- [11] Prabowo, A.A. (2011): *Kajian Anomali Curah Hujan Musiman di Wilayah Sumatera Bagian Utara*. Tesis Magister Institut Teknologi Bandung.
- [12] Syahidah, M., Dupe, Z. L., dan Aldrian, E., 2015, *Keterkaitan Borneo Vortex dengan Curah Hujan di Benua Maritim, Indonesian Undergraduate Research Journal For Geoscience*, Vol.2 PP. 1-9
- [13] Isnoor Khalid, F.N, Firdianto, P.U, Susilawati, A. (2018). *Studi Tentang Fenomena Borneo Vortex Terhadap Variabilitas Awan di Kalimantan Barat*. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Volume 02, No.02 (2018), halm.127 – 136. Departemen Fisika Padjadjaran, Bandung.