

POLA KELEMBAPAN DI BENUA MARITIM INDONESIA DAN SEKITARNYA (THE INDONESIAN MARITIME CONTINENT AND ITS SURROUNDINGS MOISTURE PATTERNS)

Indah Susanti

**Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Dr. Djundjunaan 133 Bandung 40173 Indonesia
e-mail: indahpl@gmail.com**

ABSTRACT

Patterns of moisture in Indonesian maritime continent and its surroundings have been investigated based on data reanalysis Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application (MERRA). By using Grads version 2.0, defined latitudinal and longitudinal average of relative humidity and specific humidity in the atmosphere in Indonesian Maritime Continent (20°LS-20°LU, 80°BT-150°BT) from an altitude of 1000-700 hPa for the period January 2003 - December 2012. The results show that the temporal, relative humidity and specific humidity have a significant increase in 2010. The charge of water vapor in the atmosphere is associated with regional circulation and convection activity. The event of La Niña in 2010 caused an increasing humidity significantly and increased rainfall in Indonesian Maritime Continent. Because of the increased humidity is clearly visible at atmospheric pressure of 700 hPa, then the likelihood of ENSO cycle is strongly influenced by the condition of the water vapor in that atmospheric level. The trend in 2003-2012 showed the highest of humidity changes in the north of Indonesia.

Keywords: *Relative humidity, Specific humidity, MERRA, Cloud*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pola kelembapan di Benua Maritim Indonesia (BMI) dan sekitarnya berdasarkan data reanalisis *Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application* (MERRA). Rata-rata kelembapan relatif dan kelembapan spesifik atmosfer secara latitudinal dan longitudinal dihitung dengan menggunakan GrADS versi 2.0 untuk daerah Benua Maritim Indonesia (20°LS-20°LU, 80°BT-150°BT) dari ketinggian 1000 - 700 hPa untuk periode Januari 2003 - Desember 2012. Secara temporal, terlihat adanya peningkatan kelembapan relatif dan kelembapan spesifik yang signifikan pada 2010. Muatan uap air di atmosfer sangat terkait dengan sirkulasi regional dan aktivitas konveksi, sehingga saat terjadi La Niña pada 2010, terjadi peningkatan kelembapan yang cukup signifikan dan berkontribusi pada peningkatan curah hujan di Benua Maritim Indonesia. Dikarenakan peningkatan kelembapan lebih jelas terlihat pada tekanan atmosfer 700 hPa, maka siklus ENSO tampaknya sangat dipengaruhi oleh kondisi uap air pada ketinggian atmosfer tersebut. Kecenderungan selama 2003-2012 menunjukkan adanya perubahan kelembapan terbesar di bagian utara wilayah Indonesia.

Kata kunci: *Kelembapan relatif, Kelembapan spesifik, MERRA, Awan.*

1 PENDAHULUAN

Uap air merupakan salah satu komponen utama iklim, yang diduga memiliki efek rumah kaca yang lebih besar dibandingkan dengan efek rumah kaca CO₂. Menurut Trenberth, dkk.

(2005), di troposfer bawah, uap air bertindak sebagai sumber utama untuk presipitasi dalam semua sistem cuaca, memberikan pemanasan laten dan mendominasi struktur pemanasan adiabatik di atmosfer. Selain itu, sebagai

salah satu gas rumah kaca, uap air memiliki pengaruh pada keseimbangan radiasi dan temperatur permukaan.

Distribusi uap air skala besar tergantung pada karakteristik konveksi basah. Meskipun anatomi konveksi basah dan interaksinya dengan aliran skala besar belum dipahami dengan baik, terdapat beberapa informasi yang relevan yang dapat digunakan, seperti melalui eksperimen *GARP Atlantic Tropical Experiment* atau *GATE* (Houze dan Betts 1981). *GARP* adalah *Global Atmospheric Research Program* milik Amerika yang bertujuan untuk memahami atmosfer tropis dan peranannya dalam sirkulasi global. Sun dan Lindzen (1993) telah menggambarkan hal-hal yang koheren dengan distribusi uap air hasil pengamatan sebagaimana pemahaman konseptual mengenai konveksi lembap dan interaksinya dengan sirkulasi skala besar. Selain itu, Sun dan Lindzen mengidentifikasi proses-proses fisis yang paling penting dan peranannya dalam mempertahankan distribusi uap air skala besar.

Sebagian besar uap air yang ada di atmosfer, berasal dari penguapan air laut. Tingkat penguapan tersebut terkait dengan kondisi Suhu Permukaan Laut (SPL). Kondisi SPL di perairan Indonesia erat kaitannya dengan kondisi SPL di Samudera Pasifik. Saat terjadi peningkatan SPL di bagian barat atau penurunan SPL di bagian tengah Samudera Pasifik, mengakibatkan peningkatan SPL di lautan Indonesia (Hendon *et al.*, 2013). Anomali pendinginan SPL di bagian barat Samudera Pasifik pada umumnya menyebabkan tekanan di kawasan tersebut menjadi lebih tinggi dibandingkan tekanan di bagian timur Samudera Pasifik, sehingga uap air yang ada di bagian barat Samudera Pasifik dan Benua Maritim Indonesia (BMI) cenderung tertarik ke arah timur. Perubahan SPL di Samudera Pasifik menjadi salah satu indikator kejadian fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Faktor ini yang sering menjadi

penyebab terjadinya anomali curah hujan, termasuk anomali yang terjadi pada 2010 (As-syakur dan Prasetya, 2011). Berdasarkan kondisi nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) yang merupakan salah satu indikator kejadian *El Niño* dan *La Niña* (McBride dan Nicholls, 2003), selama Maret sampai Juni 2010 menunjukkan bahwa Maret masih dipengaruhi oleh *El Niño* dengan nilai SOI -10,6 dan April sampai Juni memasuki fase *La Niña* dengan nilai SOI berturut-turut adalah +15,2, +10,0, dan +1,8. Keadaan nilai SOI negatif (-) menggambarkan kondisi *El Niño* sedangkan nilai SOI positif (+) menggambarkan kondisi *La Niña*. Hubungan antara curah hujan di Indonesia dengan nilai SOI cukup kuat (As-syakur dan Prasetya, 2011).

Pentingnya peranan uap air dalam sistem iklim, telah mendorong banyak peneliti untuk mengkaji persoalan-persoalan yang terkait dengan uap air. Beberapa lembaga internasional telah memfokuskan diri untuk mengkaji uap air, mulai dari mekanisme pembentukannya sampai pada implikasinya terhadap atmosfer, keseimbangan energi dan dampak nyata di berbagai sektor ekonomi. Untuk wilayah Indonesia, beberapa studi juga telah dilakukan, namun pada umumnya lebih terbatas pada data stasiun atau radar dalam area terbatas. Pada saat ini terdapat beberapa data reanalisis yang dapat dimanfaatkan untuk mengetahui aspek-aspek yang terkait dengan uap air atmosfer, salah satunya adalah data *Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Application* (MERRA).

Tujuan penelitian ini mengetahui variabilitas uap air berdasarkan parameter kelembapan relatif dan kelembapan spesifik pada beberapa level ketinggian atmosfer di Benua Maritim Indonesia (BMI). Dengan diketahuinya variasi uap air secara vertikal dan spasial pada beberapa lapisan atmosfer ini, diharapkan dapat menjadi kajian awal bagaimana mekanisme dan

kontribusi uap air pada cuaca, iklim dan keseimbangan energi di atmosfer.

2 DATA DAN METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data MERRA selama periode Januari 2003 – Desember 2012 untuk parameter kelembapan relatif dan kelembapan spesifik pada ketinggian 1000 – 700 hPa atau dari permukaan sampai ketinggian sekitar 2,5 km. Data MERRA merupakan data reanalisis atmosfer yang dikelola NASA untuk era satelit dengan menggunakan versi baru dari *the Goddard Earth Observing System Data Assimilation System Version 5* (GEOS-5). Data MERRA fokus pada analisis historis terhadap siklus hidrologis dalam skala waktu iklim dan cuaca. Terdapat banyak sumber data yang merupakan *input* bagi asimilasi data MERRA, diantaranya adalah *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Winds* (MODIS Winds), *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS), *QuikScat*, *GEOS Sounder*, *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), *Special Sensor Microwave/Imager* (SSM/I), *Wind Profiler*, radiosonde, dropsonde, dan sebagainya (Bo *et al.*, 2011).

Versi data MERRA yang digunakan adalah *inst_3d_asm_Cp* (MAI3CPASM atau MERRA IAU 3d *assimilated state on pressure*), dengan dimensi *grid* 288 bujur x 144 lintang (1,25° x 1,25°).

Beberapa pertimbangan penggunaan data MERRA ini adalah:

- Hasil kajian beberapa peneliti menunjukkan bahwa data MERRA mempunyai bias yang kecil untuk parameter hidrologi seperti kelembapan dan presipitasi,
- Hasil perbandingan antara data MERRA, *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), dan pengukuran insitu di beberapa lokasi daerah tropis sekitar Indonesia, menunjukkan bahwa MERRA memiliki validitas yang lebih baik untuk beberapa ketinggian atmosfer, terutama untuk lapisan atmosfer dekat permukaan.

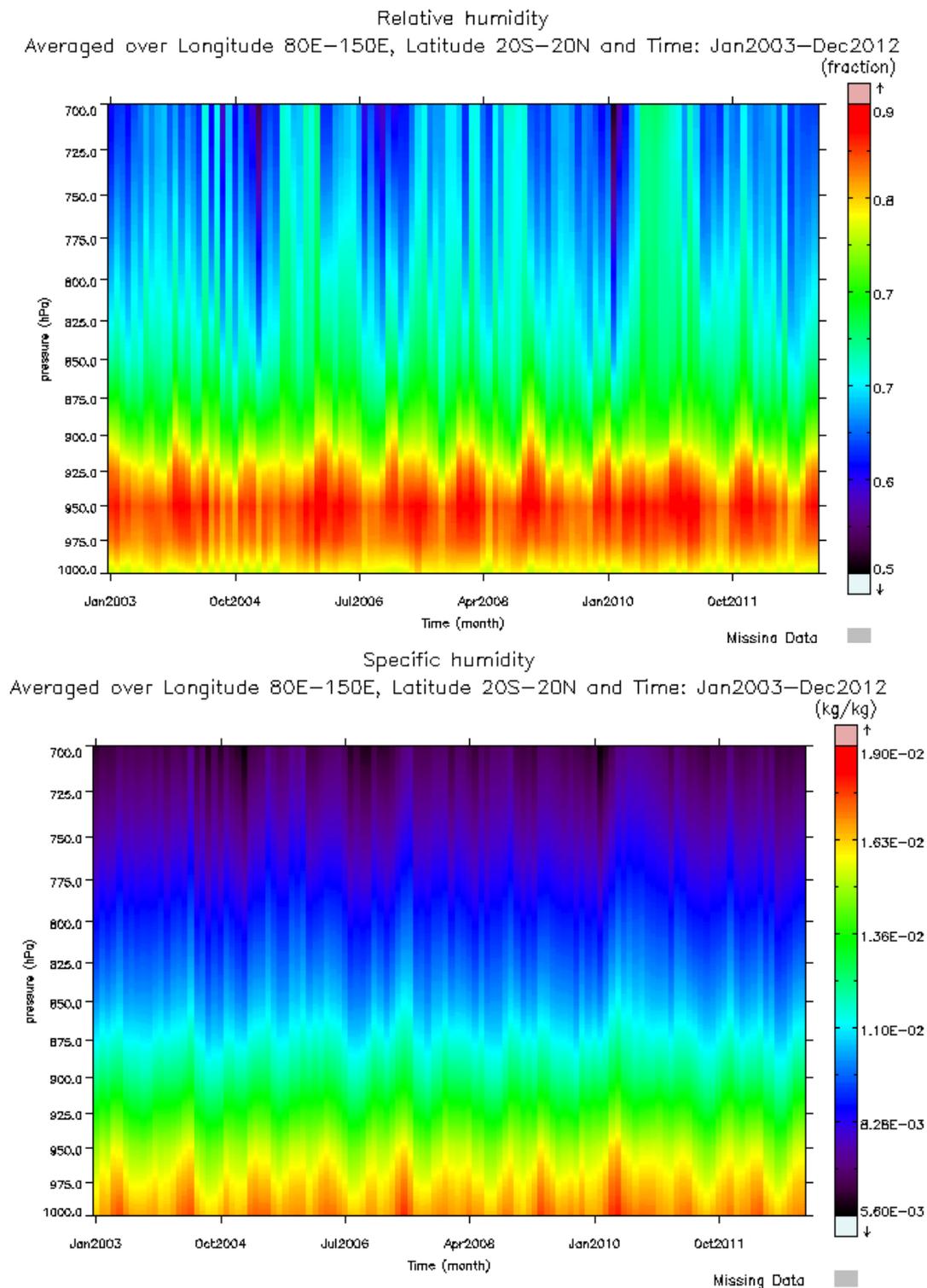
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Grid Analysis and Display System* (GrADS) untuk menentukan pola rata-rata longitudinal, rata-rata latitudinal dan kecenderungan perubahan kelembapan yang terjadi di BMI dengan batasan wilayah penelitian 20°LS-20°LU, 80°BT-150°BT. Selain itu dilakukan perbandingan dengan pola curah hujan dari data TRMM dengan resolusi temporal bulanan dan resolusi spasial 0,25° x 0,25°. Data TRMM ini diunduh dari www.trmm.gsfc.nasa.gov.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, kelembapan di BMI menunjukkan variasi yang besar, baik dalam skala waktu, maupun skala ruang vertikal dan horizontal. Dalam skala ruang vertikal, data MERRA menunjukkan kelembapan relatif di permukaan sekitar 80% dan meningkat sampai ketinggian sekitar 925 hPa menjadi sekitar 90%. Di atas ketinggian 925 hPa, kelembapan relatif menurun. Sementara untuk kelembapan spesifik, nilai maksimal berada di permukaan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3-1 dimana kelembapan pada atmosfer yang lebih tinggi dipengaruhi oleh kondisi kelembapan di bawahnya, terutama untuk kelembapan spesifik. Ketika terjadi kenaikan kelembapan di permukaan tampak terjadi juga peningkatan kelembapan di atmosfer atasnya, yang menunjukkan aktivitas konveksi. Tampak juga peningkatan aktivitas konveksi pada 2006 dan 2010. Pada 2010, aktivitas konveksi tersebut mempengaruhi kondisi kelembapan relatif hingga ketinggian 700 hPa dalam waktu beberapa bulan. Demikian pula untuk kelembapan spesifik. Apabila bagian dari atmosfer yang memiliki kelembapan spesifik sekitar 0,007 kg/kg dianggap sebagai sebuah lapisan, maka pada 2006 dan 2010, lapisan ini mengalami kenaikan sampai di sekitar 750 hPa. Sedangkan pada kondisi normal, berada pada ketinggian 800 hPa. Pada 2010 tampak terjadi konvergensi masa udara yang

cukup kuat yang dapat menyebabkan kenaikan massa uap air ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya ekspansi massa uap air secara vertikal yang terkait aktivitas konveksi dan sirkulasi atmosfer.

Antara kelembapan relatif dan kelembapan spesifik tampak berbeda ketinggian pada saat terjadi nilai maksimal. Hal itu disebabkan karena komponen yang menentukan parameter terutama untuk kelembapan relatif tergantung pada suhu dan tekanan uap (Pierrehumber, 2005).

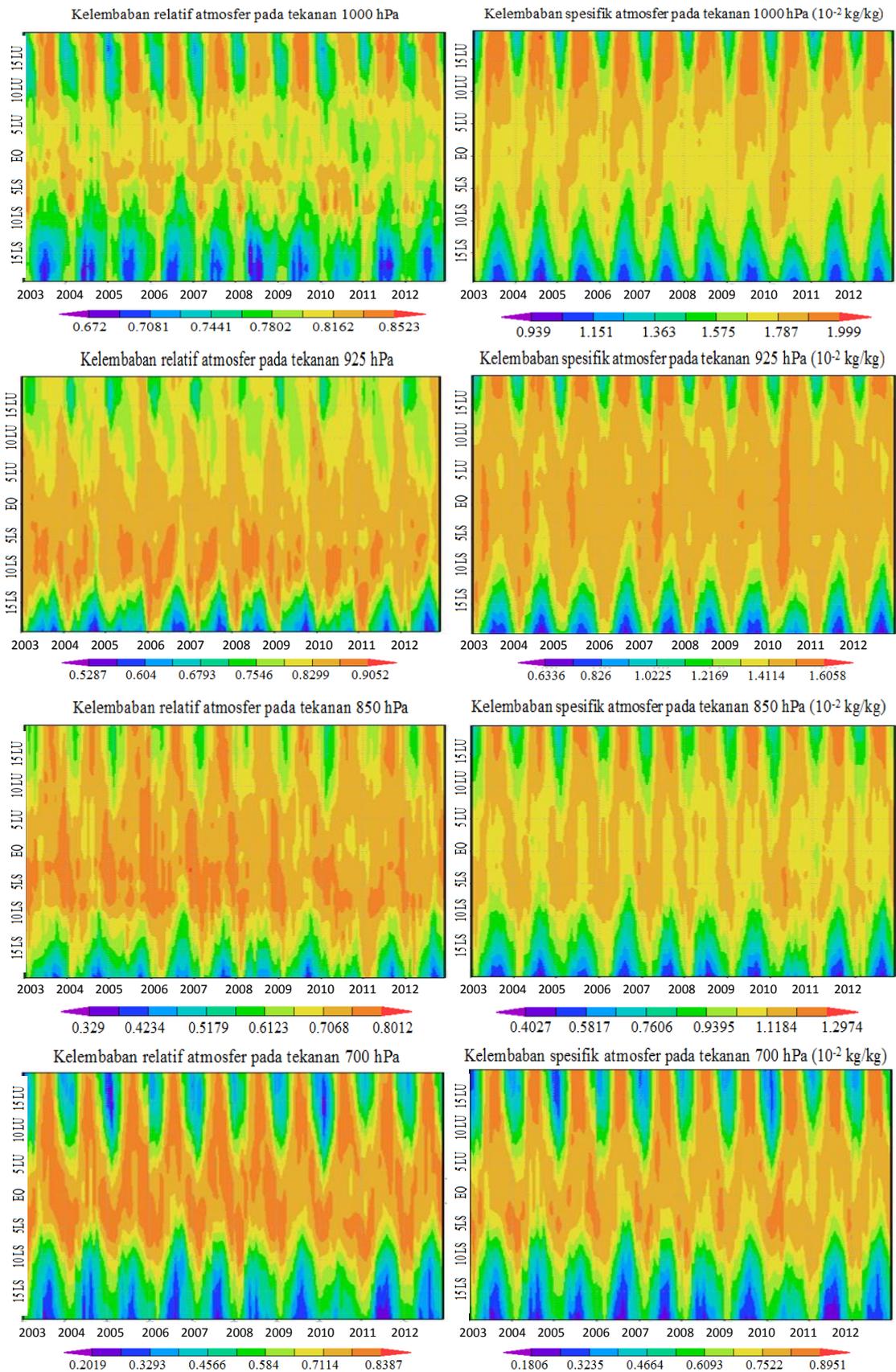


Gambar 3-1: Kelembapan relatif (atas) dan kelembapan spesifik (bawah) rata-rata di BMI (20°LS-20°LU, 80°BT-150°BT) dari Januari 2003 – Desember 2012 pada ketinggian 1000 – 700 hPa

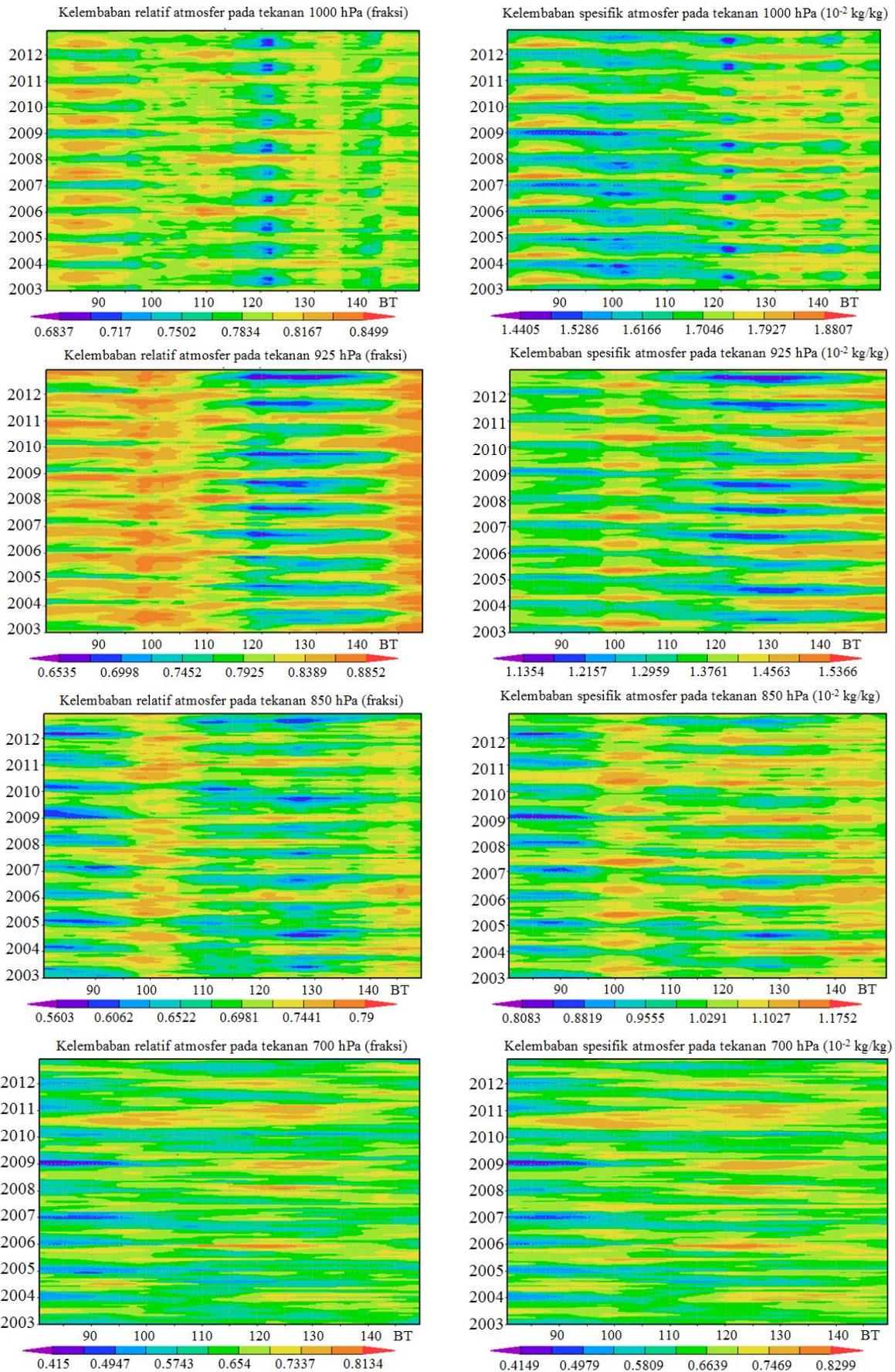
Gambar 3-1 merupakan perataan untuk seluruh *grid* yang dianalisis (20°LS - 20°LU , 80°BT - 150°BT). Dalam hal ini, Gambar 3-1 tidak dapat menunjukkan daerah mana yang mengalami perubahan paling besar, namun secara umum, dapat menggambarkan fenomena yang bersifat regional, seperti La Niña yang terjadi pada 2010 menyebabkan adanya peningkatan kelembapan pada beberapa ketinggian atmosfer. Pada periode tersebut, kelembapan spesifik di lapisan atmosfer dekat permukaan dapat mencapai kurang lebih 0,019 kg uap air per 1 kg udara kering (kg/kg), sedangkan pada kondisi normal, nilai kelembapan spesifik rata-rata untuk seluruh wilayah kajian di permukaan hanya berkisar 0,016 kg/kg. Gambar 3-2 dan Gambar 3-3 memberikan gambaran umum mengenai kelembapan di BMI berdasarkan rata-rata longitudinal dan latitudinal secara berturut-turut. Dengan perataan longitudinal (Gambar 3-2), dapat diketahui bahwa kelembapan di BMI menunjukkan adanya variasi musiman dan bulanan yang dipengaruhi oleh posisi matahari terhadap garis ekuator. Untuk BMI bagian utara, kelembapan maksimal terjadi pada Juni, Juli, Agustus, dengan nilai kelembapan relatif sekitar 85% dan kelembapan spesifik sekitar 0,019 kg/kg. Sedangkan BMI bagian selatan menunjukkan terjadi kelembapan maksimal pada akhir dan awal tahun (Desember, Januari, Februari). Di lintang selatan dekat dengan ekuator, nilai maksimal kelembapan relatif dapat mencapai lebih dari 85%, namun semakin ke selatan kelembapannya semakin berkurang. Di sekitar 15-20 derajat lintang selatan, nilai maksimal

kelembapan relatifnya hanya berkisar 75% dan nilai terendah juga terjadi pada posisi tersebut. Pola temporal dari kelembapan ini jelas merupakan pengaruh posisi matahari berdasarkan posisi lintangnya yang mempengaruhi tingkat penguapan. Selain itu, dari Gambar 3-2 terlihat bahwa bagian utara BMI cenderung lebih lembap dibandingkan bagian selatan dengan pola musiman yang sangat jelas, terutama daerah yang terletak pada daerah 5° - 30°LU . Dengan mempertimbangkan posisinya yang berada di utara ekuator, nilai maksimal kelembapan yang ada, dan kecenderungan arah angin yang terjadi (Juli di belahan bumi utara, angin cenderung bertiup ke arah timur laut, maka kelembapan di bagian utara wilayah kajian) tidak akan mempengaruhi kondisi kelembapan di bagian selatan daerah kajian.

Dari rata-rata longitudinal, dapat dilihat dengan jelas bahwa daerah sekitar ekuator merupakan daerah yang selalu memiliki kelembapan tinggi untuk setiap ketinggian atmosfer. Meski pada bulan tertentu (Juni, Juli, Agustus) daerah di utara ekuator memiliki kelembapan lebih tinggi dibandingkan di sekitar ekuator, namun pada periode bulan lainnya memiliki kelembapan yang lebih rendah dari ekuator, sehingga secara rata-rata ekuator merupakan tempat yang memiliki kelembapan tertinggi. 2010 merupakan tahun yang paling lembap dibandingkan tahun lainnya dalam rentang waktu yang dianalisis. Hal ini lebih terlihat di bagian selatan. Di ketinggian 925 hPa, menunjukkan adanya kenaikan rata-rata longitudinal yang signifikan dari kelembapan spesifik di hampir semua posisi lintang.



Gambar 3-2: Kelembaban relatif (kiri) dan kelembapan spesifik (kanan) rata-rata longitudinal di BMI (20°LS-20°LU, 80°BT-150°BT) dari Januari 2003 – Desember 2012 pada ketinggian 1000 – 700 hPa



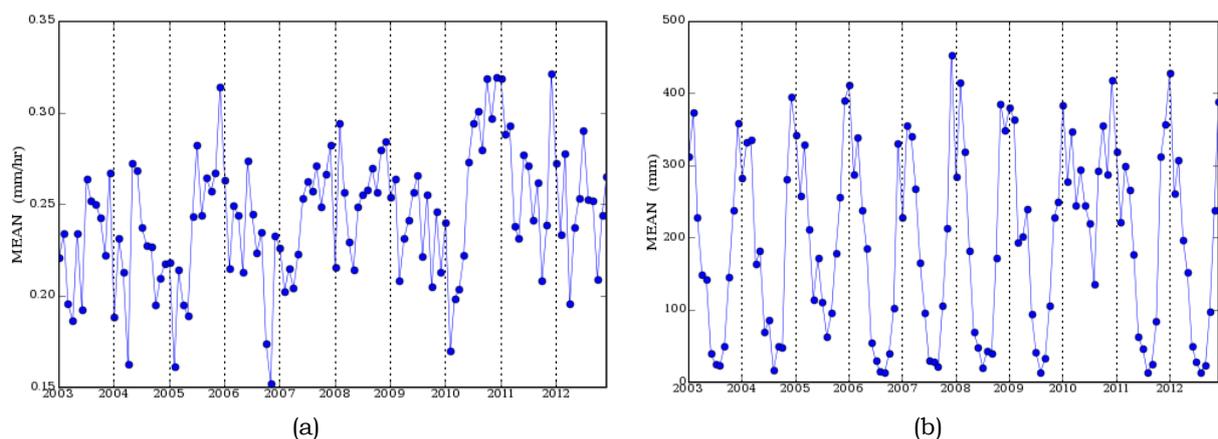
Gambar 3-3: Kelembaban relatif (kiri) dan kelembaban spesifik (kanan) rata-rata lintang di BMI ($20^{\circ}\text{LS}-20^{\circ}\text{LU}$, $80^{\circ}\text{BT}-150^{\circ}\text{BT}$) dari Januari 2003 – Desember 2012 pada ketinggian 1000 – 700 hPa

Berdasarkan rata-rata latitudinalnya (Gambar 3-3), tampak bahwa secara umum BMI bagian barat untuk ketinggian 1000-850 hPa, kelembapan relatifnya umumnya lebih tinggi (lebih dari 80%) dibandingkan dengan BMI bagian timur yang rata-rata sekitar 60%. Namun dari kelembapan spesifik, untuk beberapa lokasi di BMI bagian timur lebih tinggi dibandingkan BMI bagian barat. Perbedaan pola ini karena adanya perbedaan dalam penentuan nilai, yakni kelembapan relatif fraksi uap air terhadap kapasitas maksimum pada suhu tertentu, sedangkan kelembapan spesifik lebih merujuk pada perbandingan massa uap air terhadap total massa udara. Terdapat rentang posisi bujur dengan kelembapan di permukaannya sangat rendah dibandingkan daerah lain, yaitu sekitar 120°-125° BT, dengan nilai kelembapan spesifik kurang dari 0,015 kg/kg, padahal lokasi lainnya bisa lebih dari 0.017 kg/kg. Kemungkinan besar karena pada posisi tersebut, sumber uap air yang ada lebih bersifat lokal, dan transpor uap air ke daerah tersebut cenderung rendah. Pada ketinggian di atasnya, lebih menunjukkan

variasi secara temporal. Ini berarti bahwa kadar uap air sangat dipengaruhi oleh pola transpor yang disebabkan oleh angin.

Berdasarkan data kelembapan udara untuk rata-rata longitudinal maupun rata-rata latitudinal, menunjukkan bahwa La Niña yang terjadi pada 2010 di BMI dan sekitarnya, lebih terlihat pada ketinggian 700 hPa dibandingkan pada lapisan dekat permukaan. Peningkatan kelembapan yang terjadi pada 2010, memberi kontribusi yang cukup signifikan pada tingkat curah hujan di Indonesia.

Gambar 3-4 menunjukkan adanya kenaikan tingkat curah hujan 2010 berdasarkan data TRMM (rata-rata untuk seluruh wilayah kajian), terutama dari pertengahan sampai akhir 2010 yang mencapai lebih dari 0,3 mm/jam. Pada kondisi normal, Agustus sampai Desember hanya sekitar 0,2 – 0,275 mm/jam. Demikian pula dengan nilai akumulasinya. Kenaikan signifikan terjadi mulai Juni, yang mencapai lebih dari 200 mm. Sedangkan nilai akumulasi curah Juni umumnya di bawah 200 mm.

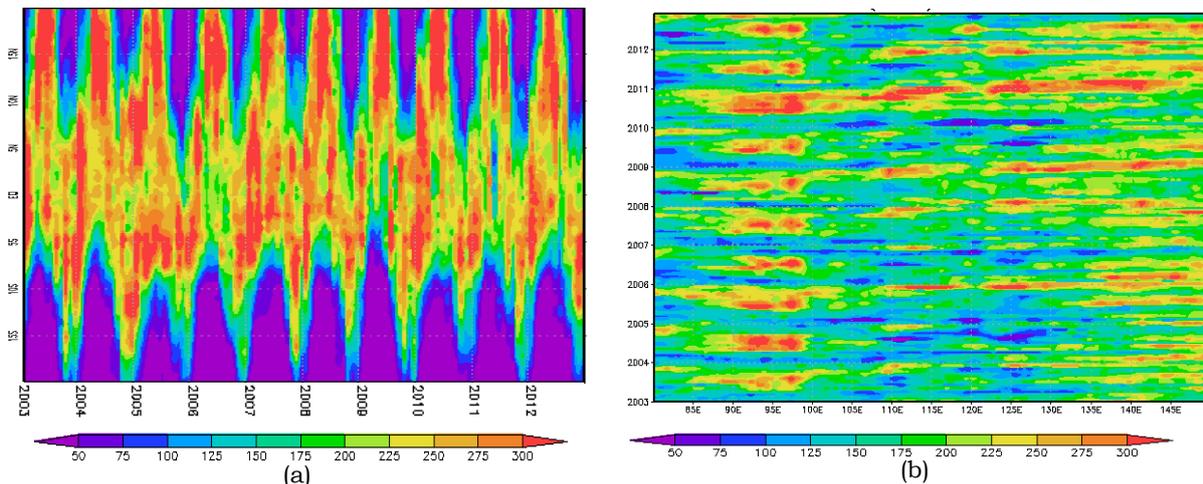


Gambar 3-4: Rata-rata curah hujan bulanan berdasarkan intensitasnya dalam mm/jam (a) dan akumulasi dalam mm (b) untuk seluruh wilayah kajian berdasarkan data TRMM 2003-2012

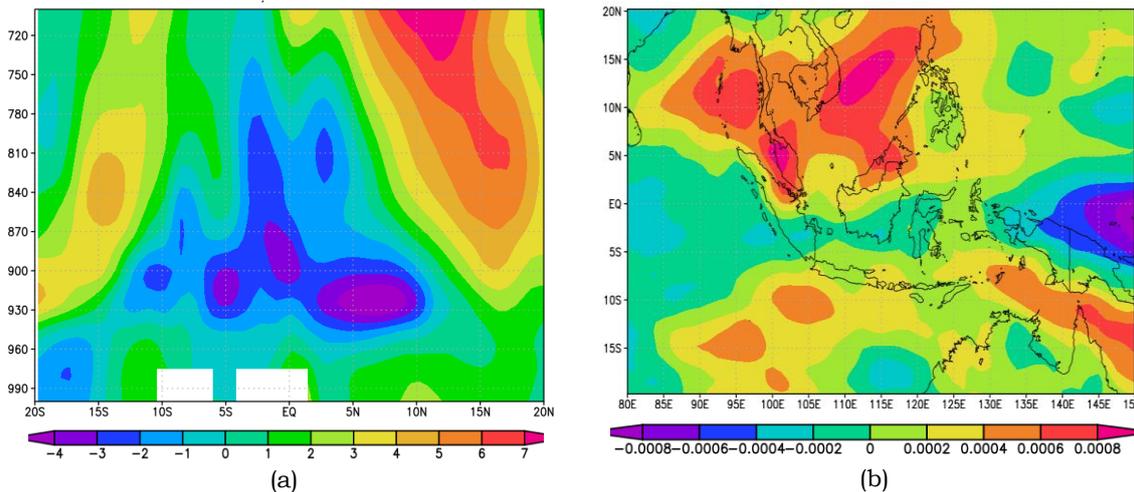
Secara longitudinal, rata-rata curah hujan 2010 menunjukkan adanya peningkatan di utara dan selatan ekuator (Gambar 3-5a). Peningkatan curah hujan tersebut meluas di sekitar 15°LS dan 15°LU , yang pada umumnya daerah tersebut mengalami curah hujan yang paling rendah. Peningkatan tersebut dimulai pertengahan tahun yang umumnya merupakan musim kemarau di Indonesia dan curah hujan tinggi ini terus berlangsung sampai akhir 2010. Sedangkan di sekitar ekuator tidak menunjukkan adanya perubahan yang signifikan pada periode tersebut. Pada Gambar 3-5b tampak secara latitudinal, peningkatan curah hujan terjadi hampir di semua wilayah, dari 80°BT sampai 150°BT . Hal ini mendukung pernyataan dalam beberapa referensi yang menyebutkan bahwa pada 2010 telah terjadi La Niña kuat yang memberikan peningkatan curah hujan cukup signifikan (Tung dan Zhou, 2010; Boening *et al.*, 2012; Hoyos *et al.*, 2013). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa muatan uap air yang terkandung dalam atmosfer terkait dengan sirkulasi

regional seperti siklus ENSO dan sangat berkontribusi pada tingkat curah hujan yang terjadi.

Peningkatan kelembapan pada ketinggian 700 hPa terlihat jelas secara visual grafis. Pada Gambar 3-6, tampak bahwa di ketinggian 700 hPa terjadi perubahan kelembapan relatif yang cukup signifikan dan relatif lebih tinggi dibandingkan pada ketinggian lainnya. Gambar 3-6 (a) merupakan tren secara vertikal dari ketinggian 1000 hPa–700 hPa pada posisi 100°BT , sedangkan Gambar 3-6 (b) tren spasial horizontal, sehingga dapat diketahui bahwa di bagian utara wilayah Indonesia terjadi peningkatan kelembapan yang relatif tinggi dibandingkan daerah lainnya yang dapat mencapai rata-rata 0,0008 fraksi/bulan atau 0,08%/bulan selama periode Januari 2003 – Desember 2012. Dalam hal ini, perlu diteliti lebih jauh mengenai peningkatan yang terjadi di kawasan utara tersebut, apakah peningkatan tersebut bersifat lokal, atau merupakan akumulasi dari proses perpindahan dari kawasan lainnya.



Gambar 3-5: Rata-rata longitudinal (a) dan rata-rata latitudinal (b) akumulasi curah hujan dalam mm untuk seluruh wilayah kajian berdasarkan data TRMM 2003-2012



Gambar 3-6: Tren perubahan kelembapan relatif di 100°BT , 20°LS - 20°LU dari ketinggian 1000 – 700 hPa, selama Januari 2003-Desember 2012, dalam satuan per 10. 000/bulan(a) dan tren perubahan kelembapan relatif secara spasial di ketinggian 700 hPa, dari Januari 2003-Desember 2012 dalam fraksi/bulan (b)

Dikarenakan muatan uap air sangat terkait dengan proses dinamika atmosfer, maka salah satu hal yang cukup penting untuk dikaji lebih dalam adalah bagaimana uap air mengalami transportasi di atmosfer, pada ketinggian mana transportasi tersebut dominan terjadi, dan daerah mana yang menjadi sumber utama uap air yang mengisi atmosfer BMI.

4 KESIMPULAN

Secara temporal, kelembapan relatif dan kelembapan spesifik menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada 2010. Muatan uap air di atmosfer sangat terkait dengan sirkulasi regional dan aktivitas konveksi, sehingga pada saat terjadi La Niña pada 2010, terjadi peningkatan kelembapan yang cukup signifikan dan berkontribusi pada peningkatan curah hujan di Benua Maritim Indonesia. Peningkatan kelembapan pada 2010 sangat jelas terlihat pada ketinggian 700 hPa yang dapat mencapai lebih dari 80% untuk kelembapan relatif dan 0,008 kg/kg untuk kelembapan spesifik. Sedangkan untuk kondisi normal, pada ketinggian tersebut hanya memiliki kelembapan relatif sekitar 60% dan kelembapan spesifik sebesar 0,006-0,007 kg/kg. Dikarenakan peningkatan kelembapan lebih jelas terlihat pada tekanan

atmosfer 700 hPa, maka siklus ENSO tampaknya sangat dipengaruhi oleh kondisi uap air pada ketinggian atmosfer tersebut. Secara spasial, peningkatan tersebut terjadi di bagian utara wilayah Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Komposisi Atmosfer dan rekan-rekan lainnya atas saran dan masukannya sehingga makalah ini dapat diselesaikan.

DAFTAR RUJUKAN

- As-syakur, A. R. dan R. Prasetya, 2011. *Pola Spasial Anomali Curah Hujan Selama Maret Sampai Juni 2010 di Indonesia – Komparasi Data TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) 3B43 dengan Stasiun Pengamat Hujan*, Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia.
- Bo, Z., C. Longxun, X. Jianmin, HE. Jinhai, Z. Congwen, L. Wei, 2011. *Atmospheric Heat Source and Their Characteristics in Asia During Summer : Comparison of Result Calculated using Multiple Reanalysis Dataset*, Advances in Atmospheric Sciences, VOL. 28, NO. 5, 1039-1048.
- Boening, C., J. K. Willis, F.W. Landerer, R. S. Nerem, and J. Fasullo, 2012. *The 2011 La Niña: So strong, the Oceans Fell*,

- Geophysical Research Letters, Vol. 39, L19602, doi:10.1029/2012GL053055, 1-5.
- Hendon, Harry H. , E. Lim, J. M. Arblaster, D. L. T. Anderson, 2013. *Causes and Predictability of the Record Wet East Australian Spring 2010*, *Climate-Dynamic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg DOI 10.1007/s00382-013-1700-5.
- Hoyos, N. J. Escobar, J.C. Restrepo, A.M. Arango, J.C. Ortiz, 2013. *Impact of the 2010-2011 La Niña Phenomenon in Colombia, South America: The Human Toll of an Extreme Weather Event*, *Applied Geography* 39 (2013) 16-25.
- Houze, R. A. , Jr. , and A. K. Betts, 1981. *Convection in GATE*, *Rev. Geophys. Space Phys.* , 19, 541-576.
- McBride JL, Nicholls N., 2003. *Seasonal Relationships Between Australian Rainfall and the Southern Oscillation*, *Mon Weather Rev* 111:1998-2004.
- Pierrehumbert, 2005. *On the Relative Humidity of the Earth's Atmosphere*, in *The General Circulation*, T. Schneider and A. Sobel, eds. Princeton U. Press.
- Sun, D.Z., and R. S. Lindzen, 1993. *Distribution of Tropical Tropospheric Water Vapor*, *Journal of the Atmospheric Sciences* Vol. 50, No. 12, 1643 – 1660.
- Trenberth, K. E., J. Fasullo, L. Smith, 2005. *Trend and Variability in Column-Integrated Atmospheric Water Vapor*, *Climate Dynamics*: 24 741-758, DOI 10.1007/s00382-005-0017.
- Tung, K. and J.Zhou, 2010. *The Pacific's Response to Surface Heating in 130 Yr of SST: La Niña-like or El Niño-like?*, *Journal of the Atmospheric Science* Vol. 67, DOI: 10.1175/2010JAS3510.1, 2649-2657.

