

VARIASI ICE WATER CONTENT (IWC) BERBASIS AURA/MLS

Tiin Sinatra, Nani Chollanawati, dan Arlef Suryantoro

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

tiin.sinatra@lapan.go.id

ABSTRACT

The theme of this research is to study variation of upper tropospheric Ice Water Content (IWC) and water vapour (H₂O) based on the Aura Microwave Limb Sounder (MLS) measurement. We also see the variation of IWC and H₂O when La Niña was active identified by Sea surface temperature (SST) from AQUA/MODIS, southern oscillation index (SOI) and Niño 3.4 SST. We found that H₂O and IWC increased significantly especially above Java Island during La Niña 2010 compared to 10-years climatological mean in dry season and transition.

Keywords : *cloud, ice water content, water vapor, Southern Oscillation Index, upper troposphere.*

ABSTRAK

Makalah ini membahas mengenai variasi *Ice Water Content (IWC)* dan uap air (H₂O) di troposfer atas berdasarkan hasil pengukuran *Aura Microwave Limb Sounder (MLS)*. Sebagai studi kasus, dipilih waktu kejadian saat *La Niña* yang teridentifikasi melalui temperatur muka laut (*Sea Surface Temperature, SST*), *Southern Oscillation Index (SOI)* dan *Niño 3.4*. Hasil studi menunjukkan adanya peningkatan H₂O dan IWC yang cukup tinggi terutama di atas Pulau Jawa saat kejadian *La Niña* tahun 2010 dibandingkan dengan rata-rata 10 tahun, yaitu pada musim kemarau dan transisi.

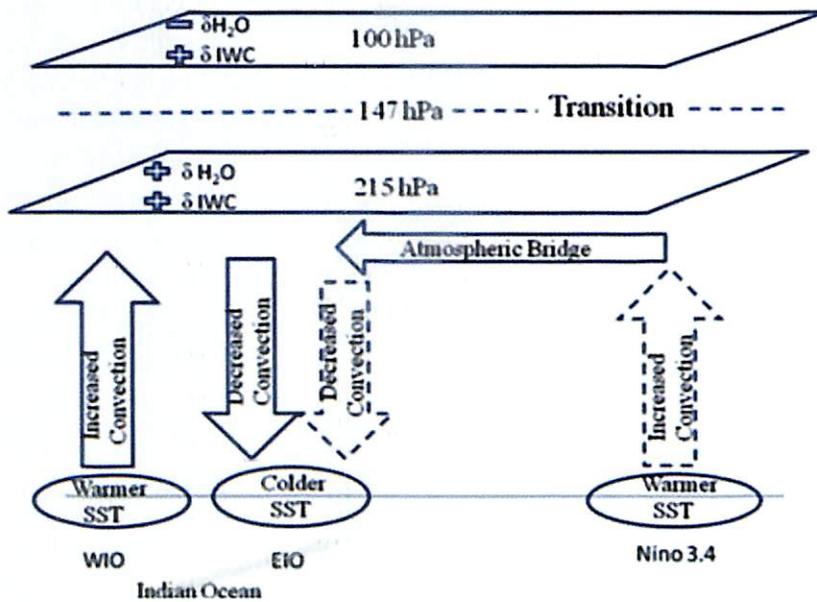
Kata kunci : *awan, ice water content, uap air, Southern Oscillation Index, troposfer atas.*

1 PENDAHULUAN

Awan memiliki peran yang penting dalam mengatur iklim di bumi karena mempengaruhi neraca energi di bumi melalui hamburan, absorpsi, dan emisi. Keberadaannya di atmosfer tersebar secara stokastik dalam ruang dan waktu sehingga jenis awan pun dapat terbagi berdasarkan tinggi dasar awan. Salah satunya adalah awan tinggi yang mempunyai ketinggian dasar awan lebih dari 6 km di daerah tropis.

Ice Water Content (IWC) merupakan salah satu besaran yang penting untuk memahami awan. IWC yang tinggi menandakan adanya konveksi yang kuat (Jiang, dkk., 2010). IWC didefinisikan sebagai massa es awan dalam satuan volume udara atmosfer. Awan es di troposfer memiliki pengaruh yang kritis terhadap kesetimbangan energi dan radiasi atmosfer. Sebagai contoh, kesalahan 1 mg/m³ IWC setara dengan kesalahan sebanyak 10 ppmv uap air troposfer dimana jumlah tersebut sangat berpengaruh secara signifikan terhadap efek gas rumah kaca pada model iklim (Wu dkk., 2009). H₂O juga memiliki peran yang penting dalam regulasi iklim di bumi dan sistem cuaca melalui perubahan wujudnya antara gas dan fase kondensasinya di troposfer. Hal-hal tersebut bersifat kompleks yang masih terus dipelajari.

Indonesia merupakan benua maritim yang terletak di daerah beriklim tropis yang rentan terhadap perubahan iklim (Aldrian, 2014). Hal ini terjadi karena Indonesia terletak di antara benua Asia dan Australia serta di antara dua samudra, yaitu Samudra Pasifik dan Hindia. Posisi Indonesia mengakibatkan Indonesia menjadi salah satu pusat kendali sistem iklim dunia (Robertson dkk., 2011). Interaksi antara atmosfer dan laut dapat mempengaruhi curah hujan di Indonesia, salah satunya adalah fenomena *el niño-southern oscillation* (ENSO). Kolam hangat di bagian barat Pasifik diduga menyebabkan peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia pada saat *La Niña* (Gutman, dkk., 2000). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *La Niña* terjadi pada bulan April sampai November (musim kemarau dan transisi) dengan puncak pengaruh di Indonesia terjadi pada bulan Agustus dan September (As-syakur, 2010). Gambar 1 menunjukkan ilustrasi secara skematik proses fisika yang mempengaruhi variabilitas *interannual* awan dan uap air di troposfer atas. Pemicu utama yang menyebabkan terjadinya *dipole mode* IWC dan H₂O di atas Samudra Hindia adalah SST Samudra Hindia. Selain faktor SST lokal, kondisi troposfer atas di Samudra Hindia juga dipengaruhi oleh SST di Samudra Pasifik, yaitu ENSO (Zhong, dkk., 2005).



Gambar 1. Diagram skematik memperlihatkan efek skala luas terkait dengan perubahan IWC dan H₂O di atas Samudra Hindia. WIO: *Western Indian Ocean*. EIO: *Eastern Indian Ocean*. (Sumber: Bhawar, R. L., J. H. Jiang, dan H. Su. 2011: Variation of upper tropospheric clouds and water vapour over the Indian ocean. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 21769-21787. DOI: 10.5194/acpd-11-21769-2011.)

Gambar 1 menunjukkan bahwa ENSO dapat mempengaruhi kondisi di troposfer atas sebagai konsekuensi dari aktivitas konvektif yang kuat. Terdapat beberapa indeks ENSO untuk mengidentifikasi karakteristik ENSO. Salah satu indeks ENSO yang digunakan untuk mengkaji hubungan antara curah hujan di Indonesia dan ENSO adalah *the Southern Oscillation Index-SOI* (Nicholls, 1981; Aldrian, dkk., 2007) serta anomali SST *Niño 3.4* (Estiningtyas, dkk., 2007; Anisa dan Sutikno, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi di troposfer atas dilihat dari variabel IWC dan H₂O di atas Samudra Pasifik dan di wilayah Indonesia.

2 METODE PENELITIAN

Wilayah yang diamati dalam penelitian adalah Pulau Jawa dan sebagian Samudera Pasifik (15°LU-15°LS dan 60°BT-260°BT). Periode pengamatan yaitu Januari 2005 hingga Desember 2014. Variabel yang diamati adalah IWC, H₂O, dan SST. Variasi IWC diamati dengan metode

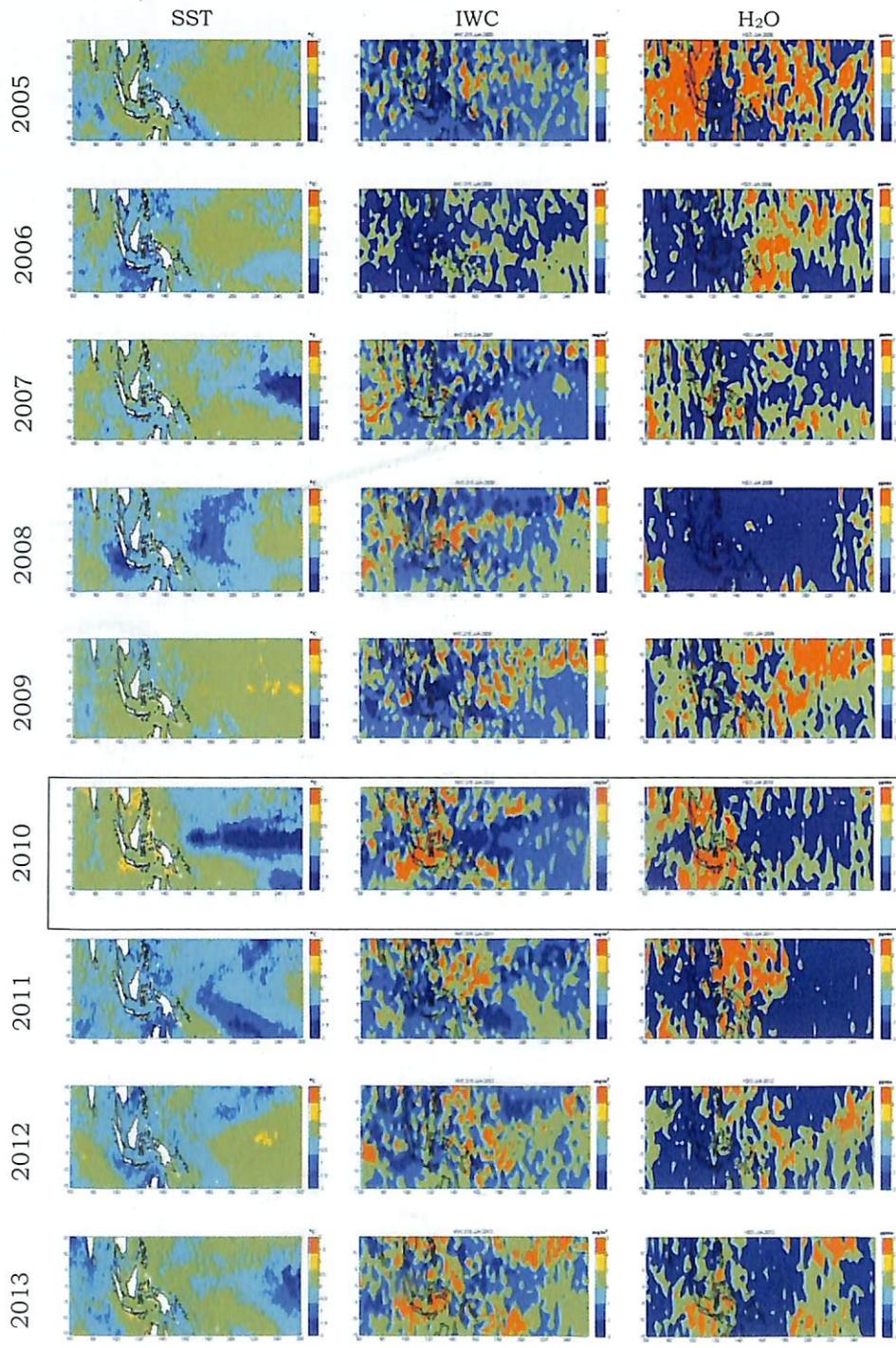
kualitatif yaitu analisis terhadap perbandingan kondisi variabel yang diamati pada lokasi dan waktu yang sama.

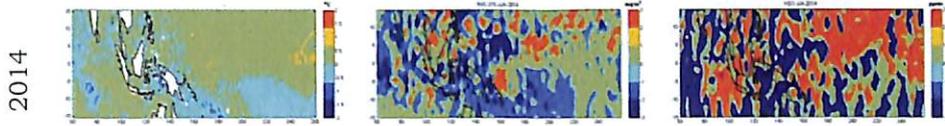
Data IWC dan H₂O diperoleh dari hasil pengukuran Satelit AURA sensor MLS level 2 versi 4.2. Data IWC yang dapat digunakan berada pada ketinggian 215-83 hPa, sedangkan H₂O dapat digunakan dalam rentang 316-0,002 hPa. Adapun data yang digunakan pada makalah ini adalah data pada ketinggian 215-100 hPa. Resolusi horizontal adalah 300 km dan resolusi vertikal sebesar 3 km. Data IWC dan H₂O berupa data *swath* yang selanjutnya dirata-ratakan (*gridding*) dalam grid 3°x1,485°. Nilai anomali IWC dan H₂O dihitung dalam skala bulanan dan musiman terhadap rata-rata tahun 2005-2014. Data serta dokumen mengenai kualitas data diperoleh dari http://mls.jpl.nasa.gov/products/iwc_product.php.

Nilai SST diperoleh dari <http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28M>. Data SST adalah nilai temperatur pada ketinggian beberapa millimeter dari permukaan laut. Adapun produk SST yang digunakan adalah produk level 3 dengan resolusi 1°x1°. Data *Southern Oscillation Index* (SOI) bulanan yang diperoleh dari <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi2.shtml> serta data SST nino 3.4 yang diperoleh dari <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> untuk mengidentifikasi kondisi *La Niña*.

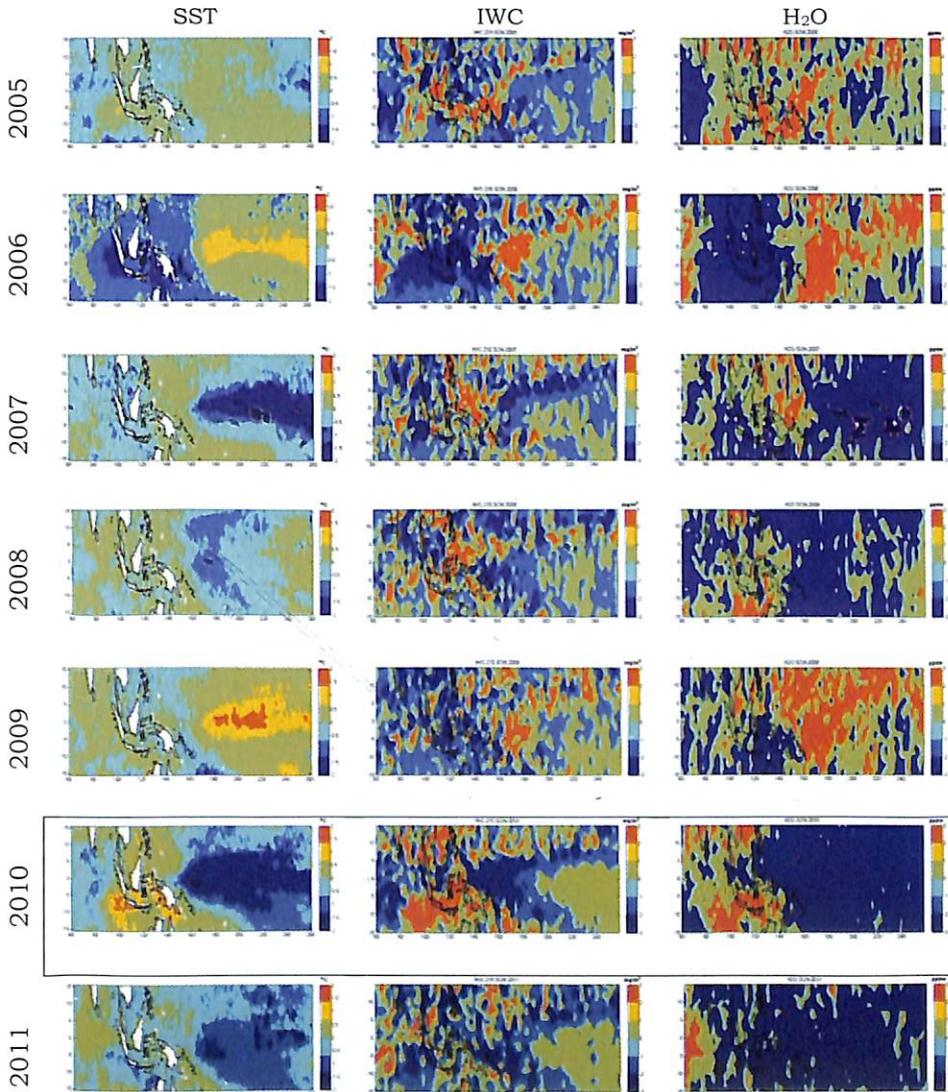
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

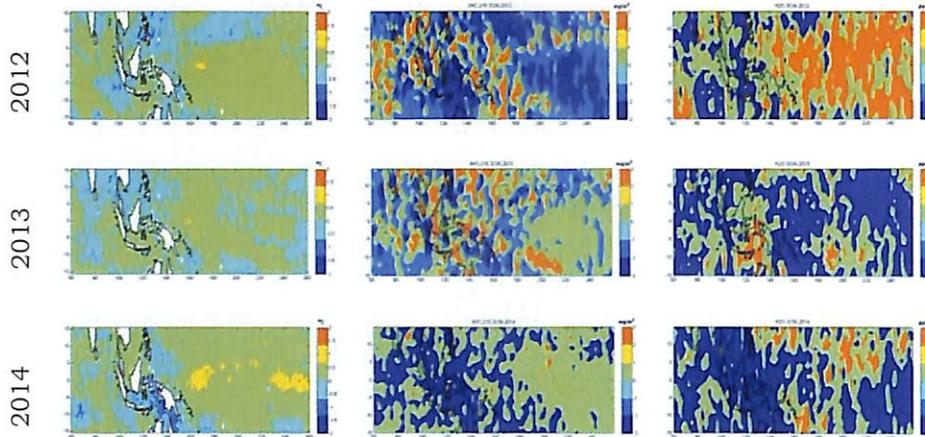
Kondisi IWC musiman selama 10 tahun menunjukkan nilai IWC tertinggi di atas wilayah Indonesia terlihat pada saat musim hujan (DJF) dan IWC terendah pada musim kemarau (JJA). Gambar 2 menunjukkan kondisi anomali musiman Juni-Agustus (JJA) untuk SST, IWC dan H₂O pada ketinggian 215 hPa. Kondisi SST pada Gambar 2 menunjukkan adanya penurunan SST di bagian timur Samudra Pasifik saat JJA pada tahun 2007, 2010 dan 2013, tetapi tahun 2010 terlihat penurunan SST yang memanjang dari timur hingga tengah Samudra Pasifik kejadian *La Niña*. Gambar 3 menunjukkan seperti Gambar 2, tetapi untuk periode SON. Gambar 2 dan 3 secara umum menunjukkan bahwa selama periode pengamatan (JJA dan SON 2005-2014) saat suhu muka laut meningkat, terdapat peningkatan IWC dan H₂O. Peningkatan IWC paling terlihat pada JJA 2010 dan SON 2010 di Indonesia, terutama di atas Pulau Jawa. Begitu pula dengan H₂O yang meningkat cukup tinggi pada JJA dan SON 2010. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh anomali positif terbesar terjadi pada 2010 terhadap kondisi klimatologisnya.





Gambar 2. Kondisi anomali SST, IWC, H₂O untuk JJA tahun 2005-2014 pada ketinggian 215 hPa.

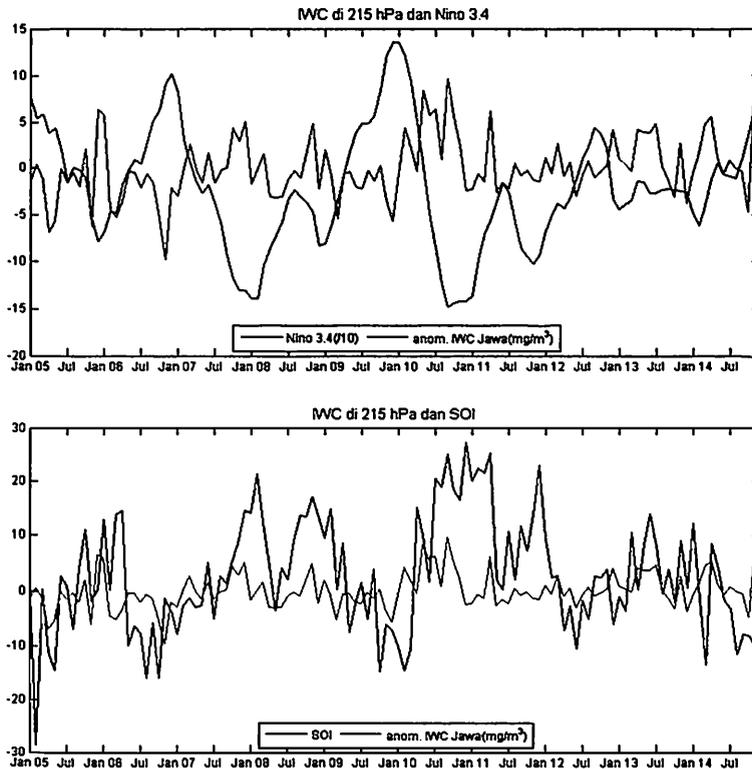




Gambar 3. Kondisi anomali SST, IWC, H₂O untuk SON tahun 2005-2014 pada ketinggian 215 hPa.

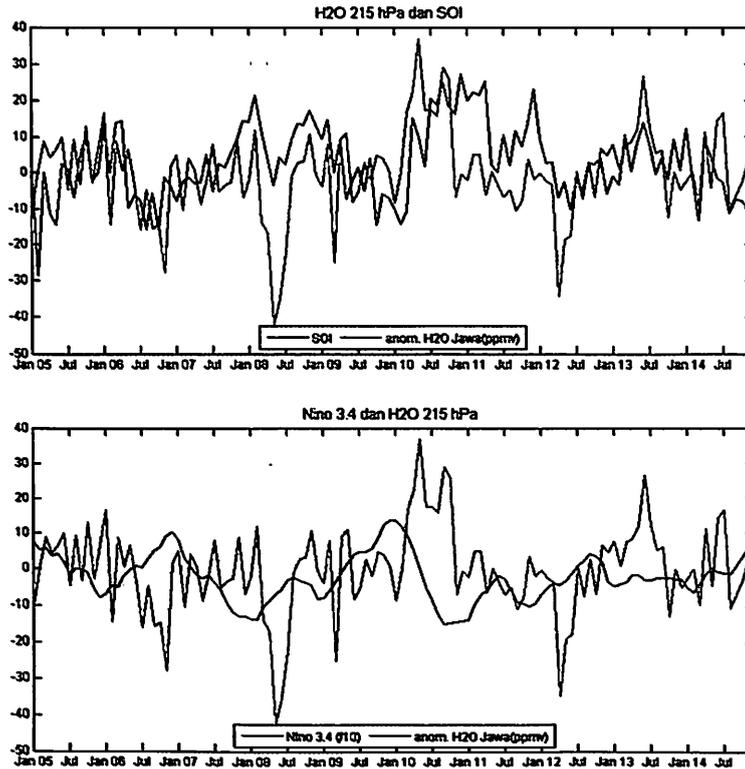
Pola IWC dan H₂O saat JJA dan pola H₂O saat SON 2010 terlihat mengikuti pola SST. Konsentrasi IWC dan H₂O menurun di sebagian besar Samudra Pasifik dan terjadi peningkatan konsentrasi H₂O di Indonesia terutama di bagian selatan Indonesia. IWC saat SON 2010 memiliki pola yang berbeda di atas Pasifik, dimana meskipun terjadi penurunan suhu muka laut dan penurunan konsentrasi H₂O di sebagian besar Pasifik, tetapi terlihat ada sedikit peningkatan IWC di Pasifik timur.

Selain itu kedua gambar juga memperlihatkan bahwa Pulau Jawa adalah wilayah yang sensitif terhadap *La Niña*. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya peningkatan SST yang cukup tinggi di Samudra Hindia saat *La Niña*. Konsentrasi IWC dan H₂O cukup tinggi di atas Pulau Jawa pada JJA dan SON saat *La Niña* berlangsung. Terdapat kesesuaian dari studi-studi sebelumnya (Gutman, dkk., 2000; Hendon, 2003; Aldrian, 2003) yang menyebutkan bahwa *La Niña* menyebabkan peningkatan curah hujan di Indonesia. Hal ini menunjukkan aktivitas konvektif yang tinggi meningkatkan konsentrasi IWC di troposfer atas.



Gambar 4. Deret waktu anomali IWC di atas Pulau Jawa di 215 hPa dengan (a) Niño 3.4 dan (b) SOI tahun 2005-2014.

Deret waktu kondisi IWC di atas Pulau Jawa dengan *Niño* 3.4 dan SOI ditunjukkan oleh Gambar 4. Panel atas memperlihatkan variasi temporal anomali IWC dengan *Niño* 3.4 dan panel bawah menunjukkan deret waktu anomali IWC dengan SOI dari Januari 2005-Desember 2014. Fase positif dari SOI menunjukkan periode *La Niña*, sebaliknya fase negatif dari SST *Niño* 3.4 yang menunjukkan *La Niña*. Dari kedua indeks tampak bahwa *La Niña* tahun 2010 lebih kuat dibandingkan dengan *La Niña* tahun 2007. Terjadi peningkatan IWC dan H₂O (anomali positif) saat terjadi peningkatan SOI (penurunan *Niño* 3.4). Dari Gambar 4 terlihat bahwa nilai IWC tertinggi selama periode pengamatan (anomali positif terbesar) di atas Pulau Jawa adalah pada bulan Juli dan November 2010.



Gambar 5. Deret waktu anomali H₂O di atas Pulau Jawa di 215 hPa dengan (a) *Niño* 3.4 dan (b) SOI tahun 2005-2014.

Gambar 5 menunjukkan deret waktu kondisi H₂O selama 10 tahun. Kondisi H₂O tertinggi (anomali positif terbesar) terjadi pada bulan Mei dan September 2010. Terdapat jeda 2 bulan antara puncak H₂O dengan IWC. SOI tinggi pada bulan Juli dan September, sedangkan *Niño* 3.4 terendah terjadi pada bulan September di mana mulai terjadi penurunan SST sejak bulan Mei. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah H₂O di troposfer atas sensitif terhadap perubahan SST.

4 KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa selama 10 tahun pengamatan kondisi IWC dan H₂O tertinggi terjadi pada musim hujan (DJF) dan rendah pada musim kemarau. Terdapat peningkatan IWC dan H₂O yang cukup tinggi di atas Pulau Jawa pada bulan Mei dan September 2010. Hal ini terjadi bersamaan dengan kejadian *La Niña* dengan *moderate-strong*. Anomali positif terbesar IWC di atas Pulau Jawa

adalah pada bulan Mei 2010 (8,421 mg/m³) dan September 2010 (9,726 mg/m³), sementara untuk H₂O terjadi pada bulan Mei 2010 (36,92 ppmv) dan September 2010 (29,2 ppmv).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) yang telah menyediakan data IWC dan H₂O, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) atas data Niño 3.4, dan *Bureau of Meteorology* (BOM), *Australia's national weather, climate and water agency* untuk data indeks SOI. Penulis berterima kasih kepada PSTA LAPAN yang telah memfasilitasi sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR RUJUKAN

- Aldrian, E. dan R. D. Susanto, 2003: Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. of Climat.*, **23** (12), 1435-1452.
- Aldrian, E., L.D. Gates, dan Widodo, F.H., 2007: Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: The role of ENSO. *Theor. Appl. Climatol.*, **87**, 41-59.
- Aldrian, E., 2014: Pemahaman Dinamika Iklim Di Negara Kepulauan Indonesia Sebagai Modalitas Ketahanan Bangsa. (http://dataweb.bmkg.go.id/PDF/Artikel/Orasi_Prof_Edvin_Aldrian_2014.pdf, diakses September 2016)
- Anisa, K.N. dan Sutikno, 2015: Analisis hubungan curah hujan dan indicator El- Niño Southern Oscillation di sentra produksi padi Jawa Timur dengan pendekatan Copula. *J. Sains dan Seni ITS*, **4**(1), 2337-3520.
- As-syakur, A.R., 2010: Pola spasial pengaruh kejadian la nina terhadap curah hujan di Indonesia tahun 1998/1999; observasi menggunakan data TRMM *Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA) 3B43. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVII dan Kongres V Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN), 9 Agustus 2010, Institut Pertanian Bogor (IPB). Bogor-Indonesia. pp. 230-234.
- Bhawar, R. L., J. H. Jiang, dan H. Su., 2011: Variation of upper tropospheric clouds and water vapour over the Indian ocean. *Atmos. Chem. Phys.* **11**, 21769-21787. DOI: 10.5194/acpd-11-21769-2011.
- Estiningtyas, W., F. Ramadhani, dan E. Aldrian, 2007: Analisis korelasi curah hujan dan suhu permukaan laut wilayah Indonesia, serta

- implikasinya untuk prakiraan curah hujan (studi kasus Kabupaten Cilacap). *J. Agromet Indonesia.*, **21(2)**, 46-60.
- Gutman, G., I. Csiszar, P. Romanov, 2000: Using NOAA/AVHRR products to monitor El Niño impacts: Focus on Indonesia in 1997–98. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **81**, 1189–1205.
- Hendon, H. H., 2003: Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air–sea interaction. *J. Climate*, **16**, 1775–1790.
- Jiang, J.H., H. Su., S. Pawson, H-C. Liu, W. Read, J.W. Waters, M. Santee, D.L. Wu, M. Schartz, A. Lambert, R. Fuller, J.N. Lee, dan N. Livesey, 2010: Five-year climatology of upper tropospheric water vapour and cloud ice from Aura MLS and GEOS5. *J. Geophys. Res.* **115**, DOI:10.1029/2009JD013256
- Nicholls, N., 1981: Air–sea interaction and the possibility of long-range weather prediction in the Indonesian archipelago. *Month. Weather Rev.*, **109**, 2435–2443.
- Robertson, A., V. Moron, J. Qian, C.P. Chang, F. Tangang, E. Aldrian, T.Y. Koh, dan L. Juneng, 2011: The Maritime Continent Monsoon, in *The Global Monsoon System: Research and Forecast*, 2nd Ed. Eds. CP Chang, Y Ding, NC Lau, RH Johnson, B Wang and T Yasunari, World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate, Vol. 5, World Scientific Publication Company, 608 pp.
- Wu, D.L., R.T. Austin, M. Deng, S.L. Durden, A.J. Heymsfield, J.H. Jiang, A. Lambert, J-L. Li, N.J. Livesey, G.M. McFarquhar, J.V. Pittman, G.L. Stephens, S. Tanelli, D.G. Vane, dan D.E. Waliser, 2009: Comparisons of global cloud ice from MLS, CloudSat, and correlative data sets. *J. of Geophysical Research*, **114**, D00A24.
- Zhong, A., H.H. Hendon, dan O. Alves, 2005: Indian Ocean variability and its association with ENSO in a Global coupled model. *J. Climate.* **18**, 3634-3649.