

**VARIASI DIURNAL UAP AIR DI LAPISAN TROPOSFER BAWAH SAAT  
MADDEN JULIAN OSCILLATION FASE AKTIF MEMASUKI KAWASAN  
BARAT INDONESIA BERBASIS ANALISIS DATA GPS  
(DIURNAL VARIATION OF LOW LEVEL MOISTURE  
WHEN THE ACTIVE PHASE OF MADDEN JULIAN OSCILLATION  
ENTERING AREA OF WESTERN INDONESIA  
BASED ON GPS DATA ANALYSIS)**

**Aries Kristianto\*)<sup>1</sup>, Tri Wahyu Hadl\*\*), Dudy Darmawan Wijaya\*\*\*)**

**\*) Program Doktor Sains Kebumihan, FITB**

**\*\*\*) Program Studi Sains Kebumihan, FITB**

**\*\*\*) Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, FITB**

**Institut Teknologi Bandung**

**Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40116 Indonesia**

**<sup>1</sup>e-mail: just4aries.kr@gmail.com**

**Diterima 4 September 2015, Direvisi 22 November 2015, Disetujui 21 Desember 2015**

**ABSTRACT**

Low-level Moisture (LLM) plays role for developing rain clouds. *Global Positioning System* (GPS) is capable for extracting low-level moisture by applying the combination method from upper-level PWV is estimated from ECMWF and then subtracted from the total PWV GPS. Variation of LLM based on GPS around western part of Indonesia, specially in the western part of Java analysed the active phase of *Madden Julian Oscillation* (MJO) as one of the important variable in tropics. In November 2009, MJO around the western part of Java influenced to diurnal variation of LLM. During MJO onset, diurnal anomaly increased along with the decreased of OLR anomalies, and decreased post MJO. In the northern part, it showed that the concentration of LLM decreased from west to east, meanwhile is variabled in the south. In the east, LLM increased southwards appropriate by wind vector analysis. The concentrations of LLM has higher on active mode than pre and post-MJO. By analyzing of the convective indices using MTSAT-IR1 during MJO event in November 2009 indicated that LLM related to convective activities on all MJO's phases.

Keywords: *LLM, GPS, MJO, OLR*

## ABSTRAK

Uap air di lapisan troposfer bawah (*Low-level Moisture/LLM*) berperan dalam pertumbuhan awan hujan. Teknologi *Global Positioning System* (GPS) mampu mengekstraksi uap air LLM dengan menerapkan metode kombinasi selisih uap air total hasil ekstraksi *groundbased* GPS dengan *Precipitable Water Vapor* (PWV) di lapisan troposfer atas ECMWF. Variasi diurnal LLM berbasis data GPS di beberapa kawasan yang ada di bagian barat Indonesia, yaitu wilayah Jawa bagian Barat dianalisis terutama saat fase aktif *Madden Julian Oscillation* (MJO) sebagai salah satu variabilitas dominan yang sangat penting di daerah tropis. Kejadian MJO November 2009 di wilayah Jawa bagian Barat memberikan dampak terhadap variasi harian LLM, dimana anomali hariannya meningkat seiring dengan menurunnya anomali OLR saat MJO *onset*, dan menurun saat pasca MJO. Di bagian utara menunjukkan konsentrasi LLM menurun dari barat-timur, sedangkan di bagian selatan konsentrasinya meningkat. Variasi dari utara-selatan menunjukkan konsentrasi LLM yang cenderung berubah-ubah, sementara di bagian timur peningkatan uap air ke arah selatan sesuai dengan analisis vektor angin. Variasi diurnal LLM November 2009 saat fase MJO aktif secara umum konsentrasinya lebih tinggi dibandingkan pra dan pasca MJO. Dari analisis indeks konvektif citra satelit MTSAT IR1 juga menunjukkan LLM saat MJO berkaitan dengan aktivitas konvektif, baik pada periode pra-MJO, saat *onset*, aktif hingga pasca MJO.

Kata Kunci: *LLM, GPS, MJO, OLR*

## 1 PENDAHULUAN

Benua Maritim Indonesia (BMI) merupakan suatu wilayah yang aktivitas konveksinya tinggi dan melibatkan pergerakan uap air dalam jumlah besar. Wu *et al.* (2003) menyatakan bahwa transport uap air berperan penting dalam aktivitas pembentukan awan konvektif. Namun konveksi kuat (*deep convection*) hanya akan terjadi jika parsel udara yang naik bersumber dari lapisan dekat permukaan (Holton, 2004). Hadi *et al.* (2002) memperlihatkan bahwa lapisan inversi dapat mengisolasi kelembapan di dalam *planetary boundary layer* di bawah ketinggian 3 km. Uap air di lapisan troposfer bawah (*low level moisture*) juga berperan dalam menentukan ketidakstabilan troposfer dan pertumbuhan awan-hujan, dimana proses kejadian hujan ditentukan oleh kandungan uap air di lapisan troposfer bawah (Habby, 2011). Menurut Hadi *et al.* (2002; 2007), pergerakan horisontal uap air di lapisan troposfer bawah menjadi penting untuk mengetahui perannya dalam menentukan pola cuaca dan iklim regional.

Kandungan uap air di atmosfer selain diamati dengan teknik konvensional juga dengan pemanfaatan *Global Positioning System* (GPS) yang memberikan informasi mengenai *Precipitable Water Vapor* (PWV) yang konsisten dengan hasil pengamatan radiosonde (Bevis *et al.* (1992); Yoshihira *et al.* (2000); Hadi *et al.* (2010)). Penerapan teknik GPS di Amerika memberikan kontinuitas data, biaya pemasangan dan operasionalisasinya relatif rendah dengan tingkat keakurasian sampai beberapa milimeter (Gutman, 2004). Untuk mengetahui uap air di lapisan troposfer bawah dapat dilakukan metode ekstraksi kombinasi selisih uap air total hasil *groundbased* GPS dengan uap air lapisan atas model *European Centre For Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Kristianto *et al.*, 2014).

Dalam kajian ini, bertujuan menganalisis variasi diurnal uap air di lapisan troposfer bawah di beberapa kawasan yang ada di bagian barat Indonesia berbasis GPS terutama saat fase aktif *Madden Julian Oscillation* (MJO) sebagai salah satu variabilitas dominan yang sangat penting di daerah tropis sebagai gelombang atau osilasi sub musiman yang terjadi di lapisan troposfer wilayah tropis, akibat dari sirkulasi sel skala besar di ekuatorial yang bergerak dari barat ke timur yaitu dari laut Hindia ke Pasifik

Tengah dengan rentang daerah propagasi 15°LU - 15°LS, dengan periode osilasi kurang lebih 30-60 hari (Madden dan Julian, 1971, 1972; 1994).

**2 DATA DAN METODE**

**2.1 Data**

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data *ground based* GPS berupa data observasi GPS dan data navigasi dalam format *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX) dan data suhu udara, tekanan udara dan kelembapan udara dari *Automatic Weather Station* (AWS) pada 2009 dari pengamatan tiap jam dari 7 stasiun GPS (Tabel 2-1) milik Badan Informasi Geospasial di wilayah Indonesia bagian Barat, yaitu wilayah Jawa bagian Barat (Gambar 2-1). Juga digunakan data reanalisis OLR harian dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) resolusi 0,25 x 0,25, yang diakses dari <http://www.ncep.noaa.gov>. Dari ECMWF digunakan data reanalisis kelembapan spesifik dan komponen angin zonal dan meridional harian resolusi 1,5° x 1,5° dengan interval 6 jam yang diakses dari <http://data-portal.ecmwf.int/>. Data komponen angin zonal dan meridional harian dari *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) resolusi 0,25° x 0,25° dengan interval 6 jam periode 2009, diakses dari <http://podaac.jpl.nasa.gov/>.

Tabel 2-1: STASIUN GPS

Stasiun GPS	Lokasi	Lintang	Bujur	H (m)
<b>BAKO</b>	Cibinong	-6,491	106,849	139,763
<b>CLBG</b>	Lembang	-6,825	107,616	1307,87
<b>CPMK</b>	Pameungpeuk	-7,655	107,691	7,598
<b>CPSR</b>	Pasuran	-6,226	105,834	17,783
<b>CTVI</b>	Jampang Kulon	-7,121	106,597	824,607
<b>CUJK</b>	Ujung Kulon	-6,747	105,213	30,853
<b>CTCN</b>	Tanjung Cina	-5,913	104,727	21,986

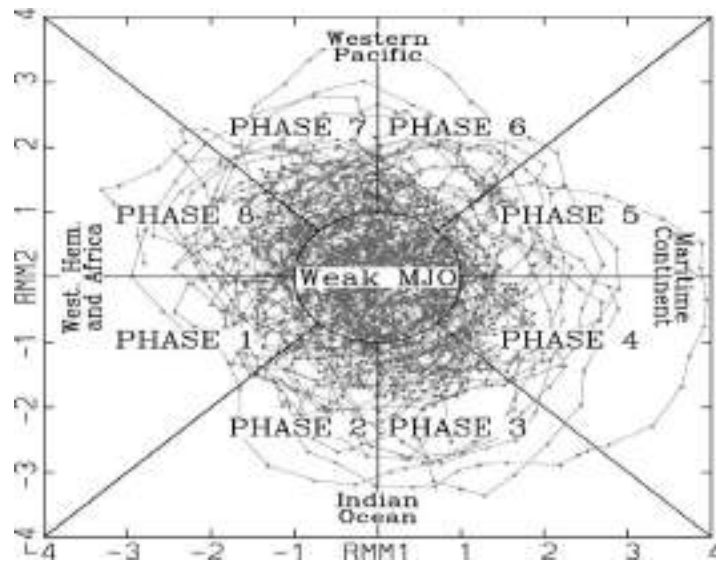
Dalam penelitian ini juga digunakan data *Multi-functional Transport Satellite* (MTSAT)-IR1 dari the *Center for Environmental Remote Sensing* (CEReS), Chiba University, dengan resolusi 0,080 x 0,080 dengan interval 1 jam, yang diekstraksi oleh *The Research Institute for Sustainable Humanosphere* (RISH) Kyoto University, diakses <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/>.



Gambar 2-1: Sebaran lokasi titik stasiun GPS

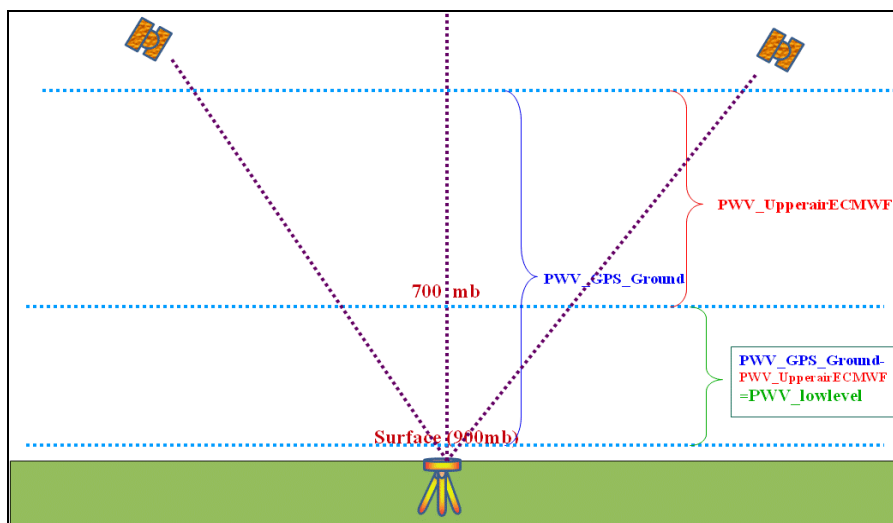
## 2.2 Metode

Periode aktif MJO dapat diketahui dengan menganalisis anomali OLR dan anomali angin baratan (*westerly wind*). Anomali OLR lebih rendah (negatif) mewakili daerah berawan/kenaikan (*enhanced*), sedangkan anomali OLR yang lebih tinggi (positif) menunjukkan penurunan (*suppressed*) (Lau dan Chan 1986; Madden, 2002). Perkembangan MJO diilustrasikan dalam diagram fase MJO *Real-time Multivariate* (RMM1 dan RMM2) yang memberikan ukuran kekuatan dan lokasi MJO, dimana ketika indeks berada dalam pusat lingkaran, maka MJO dianggap lemah. Sedangkan di luar dari lingkaran ini indeks lebih kuat dan biasanya akan bergerak dalam arah berlawanan jarum jam sesuai pergerakan MJO dari barat ke timur dari fase 1 – 8, mulai dari Belahan Bumi Bagian Barat dan Afrika, Samudera Hindia, Benua Maritim hingga Pasifik Barat Daya (Wheeler dan Hendon, 2004). Pada penelitian ini hanya difokuskan saat MJO melintasi kawasan Indonesia bagian Barat, terutama Jawa bagian Barat saat memasuki fase 3, 4 dan 5 (Gambar 2-2).



Gambar 2-2: Diagram fase MJO (Wheeler dan Hendon, 2004)

Metode ekstraksi uap air di lapisan troposfer bawah dengan teknik kombinasi PWV *ground based* GPS dengan model ECMWF, dimana PWV di lapisan troposfer bawah (permukaan-700mb) didapat dengan menghitung selisih total PWV *ground based* GPS dengan PWV lapisan atas (>700 mb) model ECMWF (Kristianto *et al.*, 2014), (Gambar 2-3).



Gambar 2-3: Ekstraksi uap air troposfer bawah dengan teknik kombinasi *ground based* GPS dengan model ECMWF

Metode tersebut diterapkan pada 7 stasiun GPS, sehingga didapatkan uap air di lapisan troposfer bawah yang mewakili daerah penelitian, dimana formulasi perhitungan uap airnya meliputi: PWV berbasis *ground based* GPS diperoleh dengan beberapa tahap perhitungan. Pertama, menghitung nilai *Zenith Total Delay* (ZTD) menggunakan metode *Precise Point Positioning* (PPP) dengan apriori *model Saastamoinen* yang terdapat dalam software Bernese 5.0. Dari nilai ZTD kemudian dihitung nilai *Zenith Hidrostatik Delay* (ZHD) dengan rumus berikut (Davis et al., 1985):

$$ZHD = 0,0022768 \frac{P_s}{f(\varphi, H)} \quad (2-1)$$

dengan  $P_s$  adalah tekanan permukaan dalam milibar dan  $f(\varphi, H)$  adalah faktor percepatan gravitasi yang tergantung lintang ( $\varphi$ ) dan tinggi antenna (H) seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2-2).

$$f(\varphi, H) = 1 - 0,00266 \cos 2\varphi - 0,00028H \quad (2-2)$$

Selanjutnya nilai *Zenith Wet Delay* (ZWD) digunakan sebagai faktor pengurang dari hasil dengan ZTD untuk mendapatkan ZWD (Gutman, 2004).

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (2-3)$$

ZWD digunakan untuk menghitung PWV dengan mempertimbangkan suhu udara rata-rata ( $T_m$ ),  $T_m = 70,2 + 0,72T_s$ , dan  $T_s$  adalah suhu udara permukaan hasil pengukuran AWS.

$$PWV = \Pi(T_m) * ZWD \quad (2-4)$$

Uap air lapisan atas diperoleh dengan mengekstraksi data kelembapan spesifik dari model numerik ECMWF, yang mewakili 7 titik stasiun *ground based* GPS. Kemudian dihitung PWV dengan metode standar WMO dengan menggunakan persamaan berikut (Nakamura et al. 2004):

$$PWV = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} q dp \quad (2-5)$$

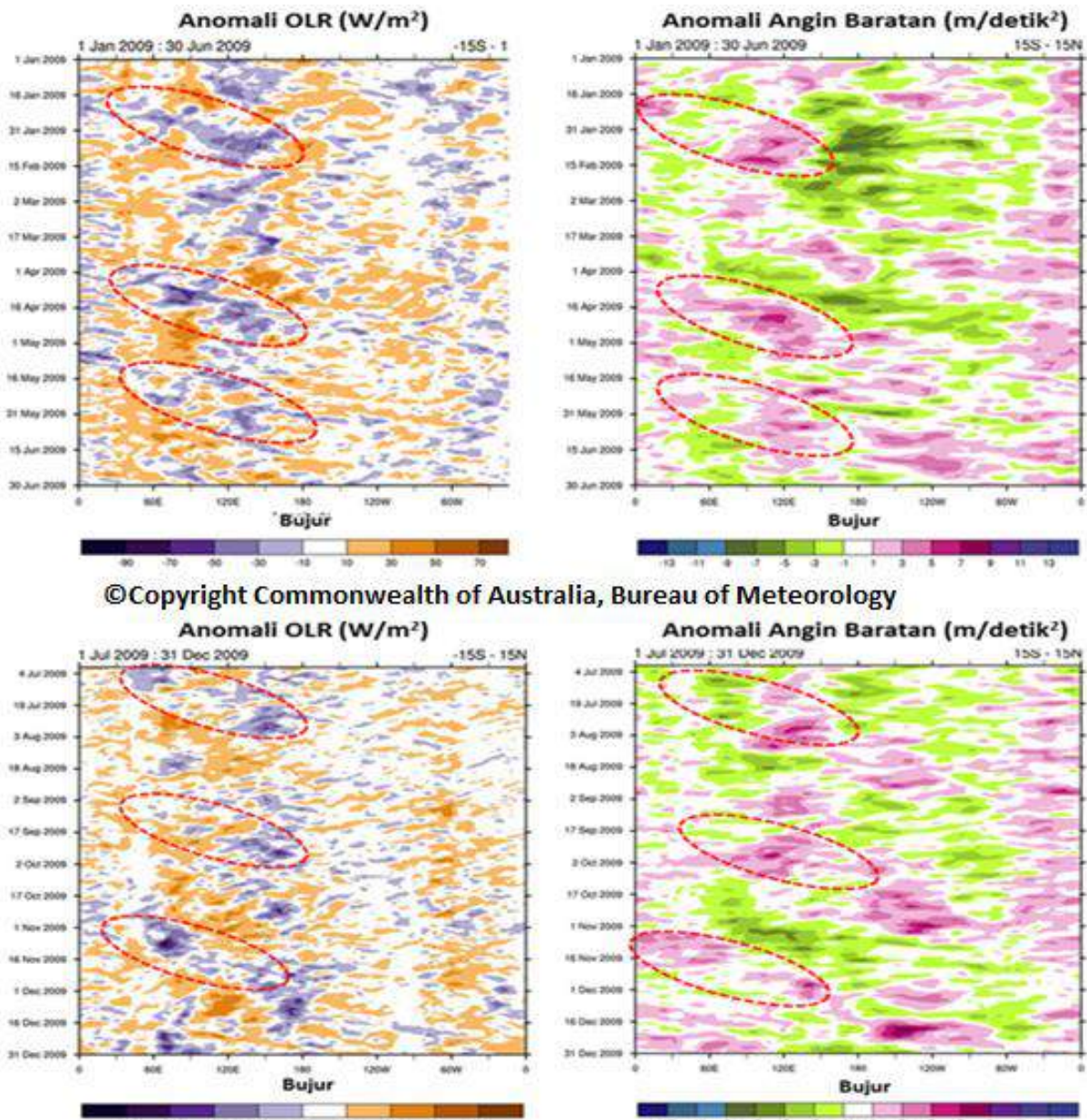
dengan  $q$  adalah kelembapan spesifik (g/kg),  $g$  adalah percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>),  $p_s$  dan  $p_t$  adalah tekanan atmosfer (mb) di permukaan dan di ketinggian referensi dimana kelembapan dapat dianggap nol (200 mb).

Data uap air di lapisan troposfer bawah berbasis GPS yang dihasilkan memiliki *time step* tiap jam dan data OLR memiliki *time step* harian, sehingga diperlukan langkah *smoothing*. Metode *fitting analisis fourier* diterapkan pada data uap air di lapisan troposfer bawah sehingga diperoleh *time step* yang sama dengan data OLR, selanjutnya ditentukan anomali uap air di lapisan troposfer bawah dengan data yang mewakili stasiun *ground based* GPS. Analisis harian dilakukan terhadap anomali uap air di lapisan troposfer bawah dengan anomali OLR. Komponen angin CCMP dan ECMWF juga dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variasi diurnal uap air di lapisan troposfer bawah saat fase aktif MJO melintas wilayah Jawa bagian Barat. Analisis indeks konvektif menggunakan suhu puncak awan (*brightness temperature*) dari citra satelit *Infra Red* (IR) digunakan untuk merepresentasikan aktivitas konvektif dengan temperatur puncak awan lebih kecil dari 230°K (Ohsawa dkk., 2001; Sakurai, 2005).



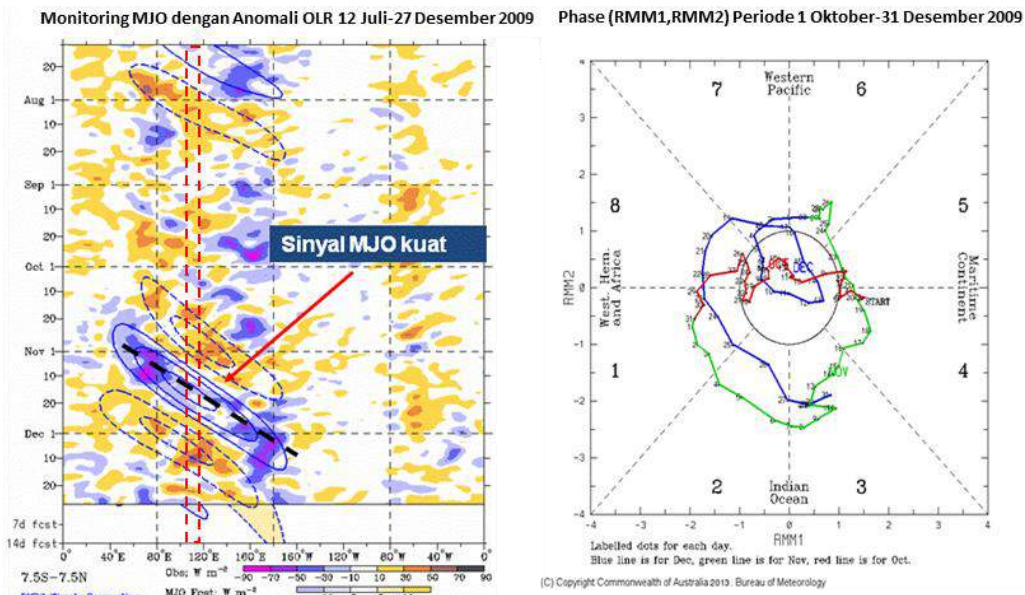
### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis OLR harian dan analisis anomali angin baratan tahun 2009, menunjukkan terjadi aktivitas kejadian MJO pada Januari, April, Mei dan November (Gambar 3-1).



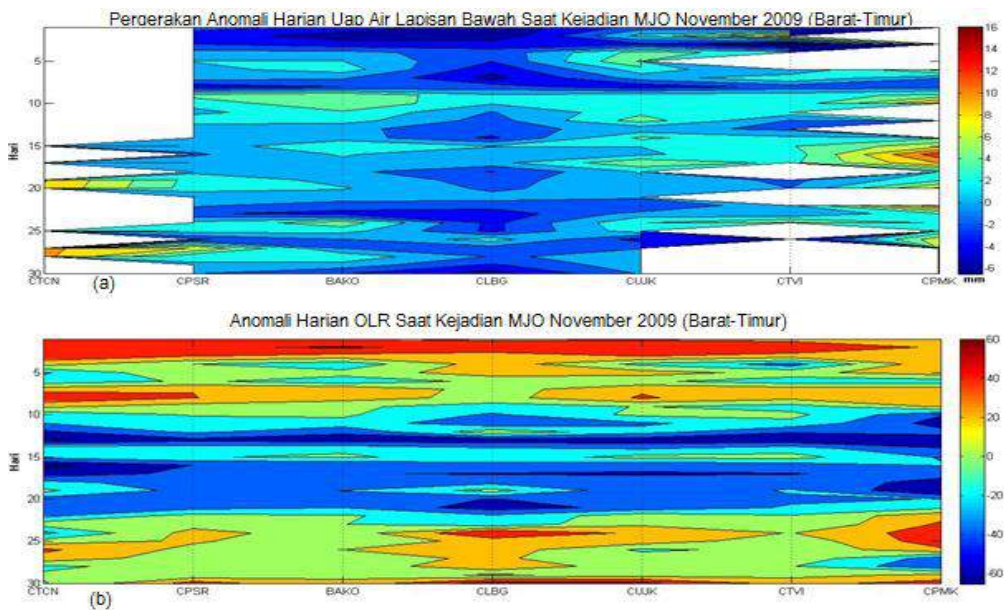
Gambar 3-1: Anomali OLR dan anomali angin baratan (atas: Januari-Juni, bawah: Juli-Desember) tahun 2009 (BOM, 2009)

Pada kajian ini dipilih aktivitas MJO pada November 2009, dengan pertimbangan ketersediaan data GPS dan terlihatnya sinyal MJO kuat di wilayah penelitian di wilayah Jawa bagian Barat ditandai dengan nilai anomali OLR yang rendah bernilai negatif/warna biru (Gambar 3-2a). Propagasi fase MJO November ditunjukkan dengan garis warna hijau (Gambar3-2b), aktivitas awal dimulai pada fase 3 (Samudera Hindia bagian Barat) mulai 7 November, selanjutnya masuk ke dalam fase 4 (BMI) 16 November hingga 21 November 2009, kemudian masuk ke dalam fase 5 (BMI) seperti pada Gambar 3-2b.



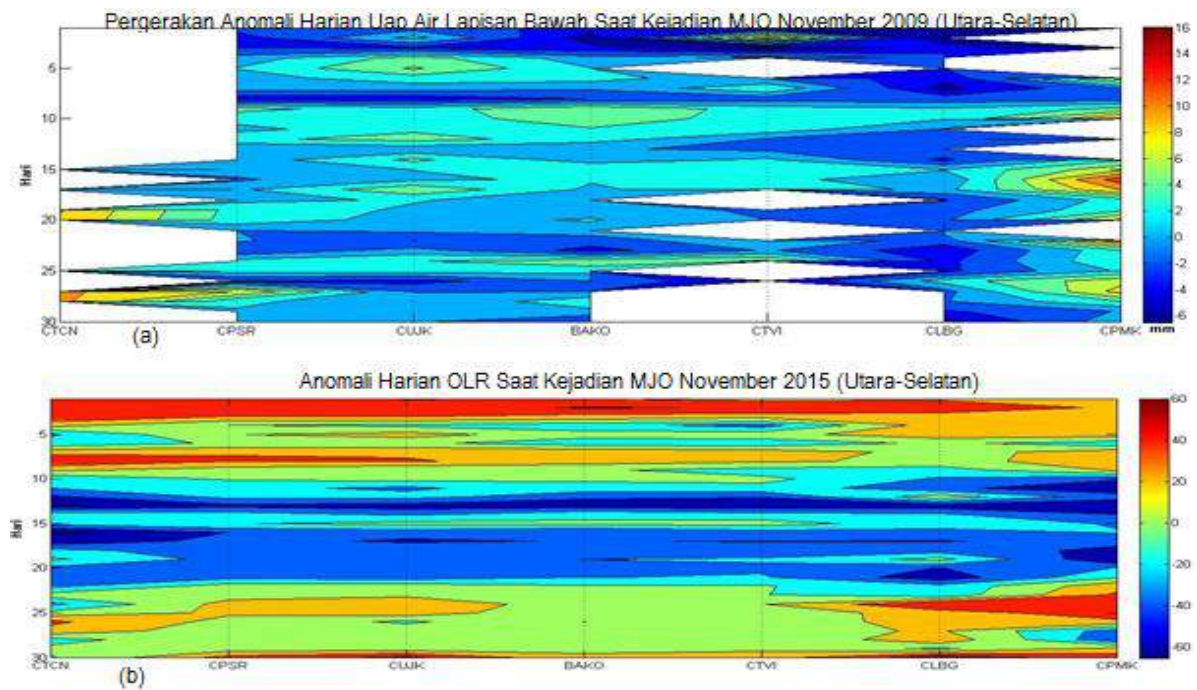
Gambar 3-2: Kejadian MJO November 2009 (BOM, 2009)

Sedangkan berdasarkan uap air di lapisan troposfer bawah berbasis GPS, kejadian MJO bulan November yang mempengaruhi wilayah Jawa bagian Barat (Lampiran 1). Anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah yang meningkat seiring dengan menurunnya anomali OLR yang dimulai pada 8 November, kemudian pada 22 November anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah mulai menurun, kecuali untuk wilayah Jampang Kulon (Ctvi) mulai lebih lambat yaitu pada 23 November. Anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah di bagian utara menunjukkan pergerakan konsentrasi uap air yang menurun dari barat-timur dari wilayah Pasuran, Cibinong dan Lembang. Di bagian selatan konsentrasi uap air meningkat dari barat-timur dari Ujung Kulon, Jampang Kulon hingga Pameungpeuk (Gambar 3-3). Sedangkan pergerakan utara-selatan, anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah menunjukkan konsentrasi uap air di lapisan troposfer bawah yang cenderung berubah-ubah dari wilayah Pasuran hingga Ujung Kulon dan wilayah Cibinong hingga Jampang Kulon, sementara di bagian timur wilayah Lembang hingga Pameungpeuk menunjukkan peningkatan uap air ke arah selatan (Gambar 3-4).



Gambar 3-3: Pergerakan barat-timur (a) anomali harian uap air lapisan bawah (b) anomali harian OLR saat kejadian MJO November 2009



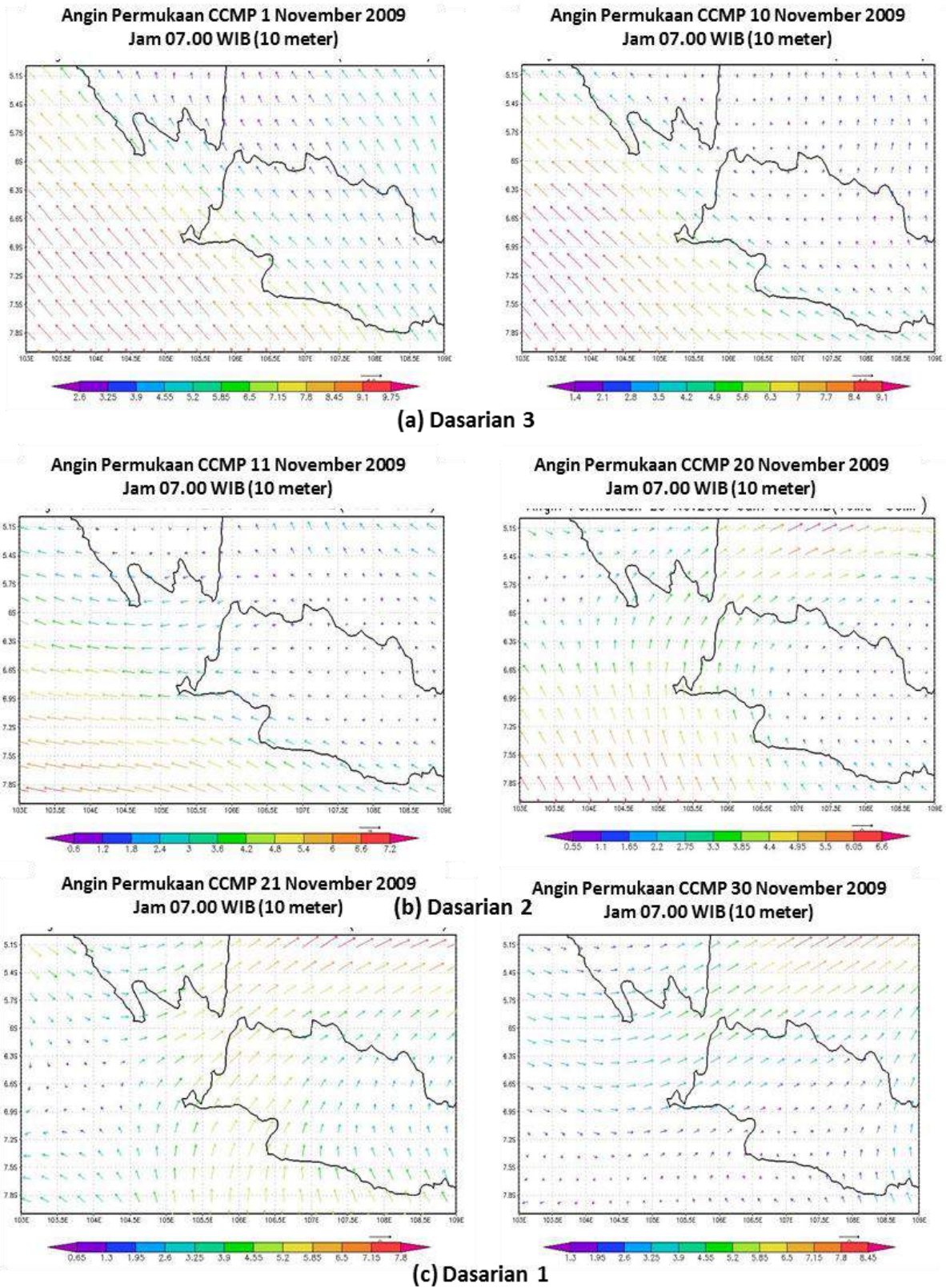


Gambar 3-4: Pergerakan utara-selatan (a) anomali harian uap air lapisan bawah b) anomali harian OLR saat kejadian MJO November 2009

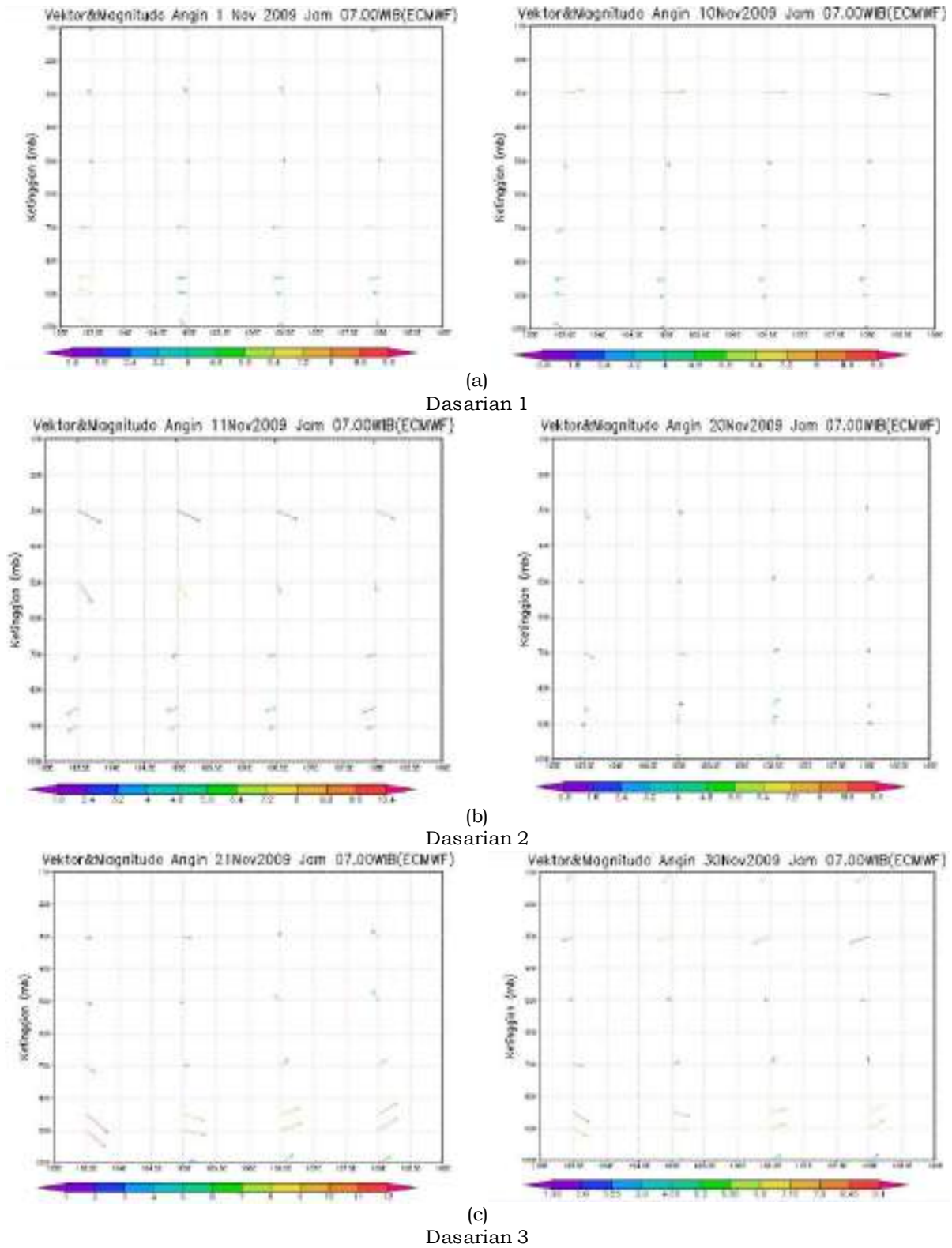
Analisis angin permukaan CCMP di wilayah Jawa bagian barat, sebelum kejadian MJO pada awal dasarian 1 arah angin didominasi angin timuran. Kemudian saat MJO mulai aktif (*onset*) pada 8 November angin timuran di bagian utara mendapat gangguan ke arah utara-timur laut. Awal dasarian 3, angin baratan mendominasi kecuali di bagian selatan dimana angin timuran masih aktif (Gambar 3-5). Berdasarkan ECMWF, sebelum MJO terjadi pada dasarian 1 arah angin di lapisan permukaan sampai ketinggian 700 mb didominasi angin timuran, sedangkan di lapisan atasnya angin berubah-ubah. Saat MJO aktif pada awal dasarian 2, masih dominan angin timuran di lapisan permukaan dan angin baratan di lapisan atas, selanjutnya berubah arah menjadi angin baratan pada akhir dasarian 2 hingga awal dasarian 3 untuk setiap ketinggian lapisan seiring dengan kuatnya sinyal MJO. Di akhir dasarian 3 di lapisan permukaan tetap angin baratan, sedang lapisan atasnya berubah menjadi angin timuran dan sinyal MJO mulai menjauhi wilayah Jawa bagian Barat (Gambar 3-6).

Pra-MJO di bagian utara, variasi diurnal uap air di lapisan troposfer bawah lebih tinggi dibandingkan di bagian selatan. Saat MJO aktif konsentrasi uap air lebih tinggi dibandingkan pra-MJO, dan pasca-MJO uap air lapisan bawah kembali normal. Saat kejadian MJO, aktivitas konveksi terjadi pada siang hingga malam hari sesuai dengan peningkatan konsentrasi uap air lapisan bawah (Gambar 3-7). Uap air di lapisan troposfer bawah saat MJO berkaitan dengan aktivitas konvektif. Dari analisis indeks konvektif citra satelit MTSAT IR1, pada periode pra-MJO menunjukkan aktivitas konvektif hanya pada jam 09.00UTC di wilayah bagian barat Jawa, saat mulai (*onset*) MJO aktifitas konvektif mulai lebih tinggi. Saat MJO aktif aktivitas konvektif makin meningkat (*intensified*), selanjutnya pasca-MJO mulai berkurang dan mengarah ke timur (Lampiran 2)

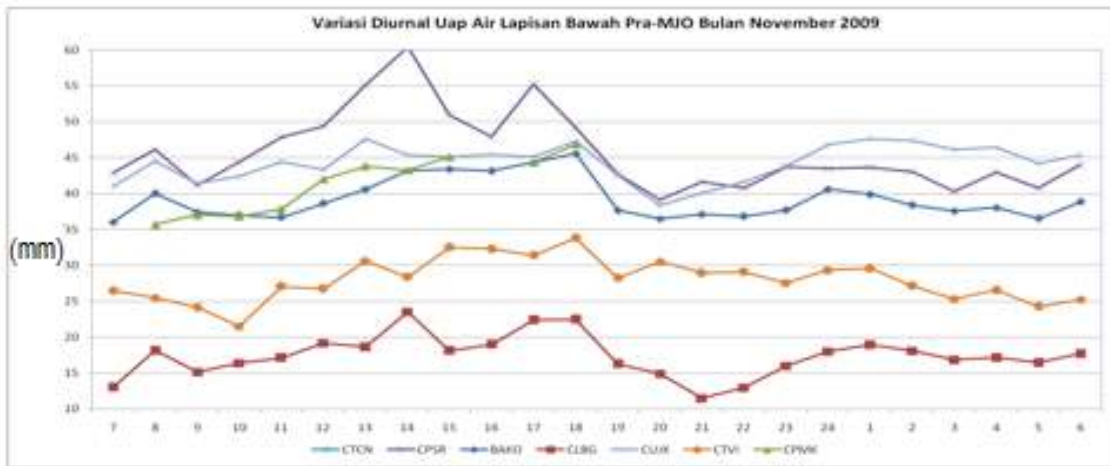




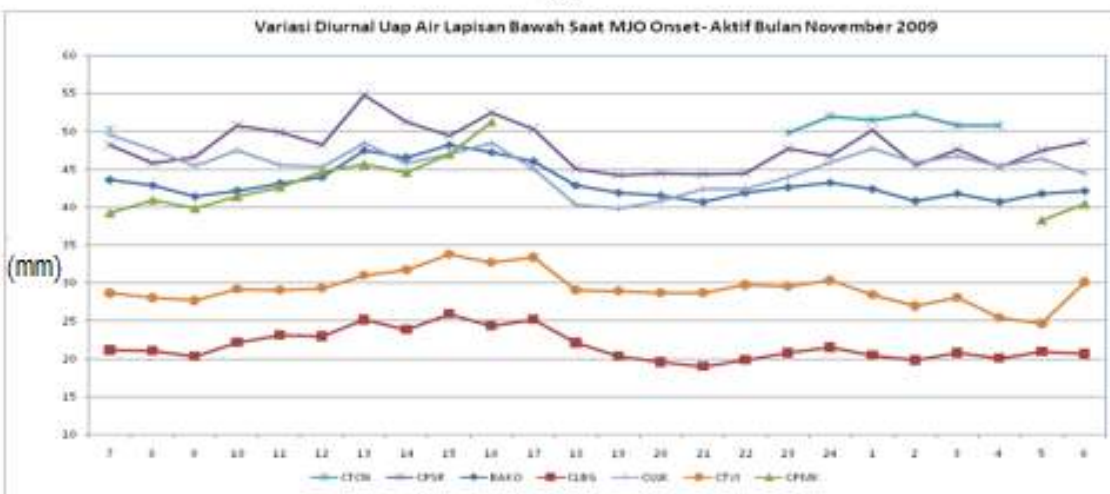
Gambar 3-5: Analisis angin permukaan CCMP November 2009 (m/dtk)



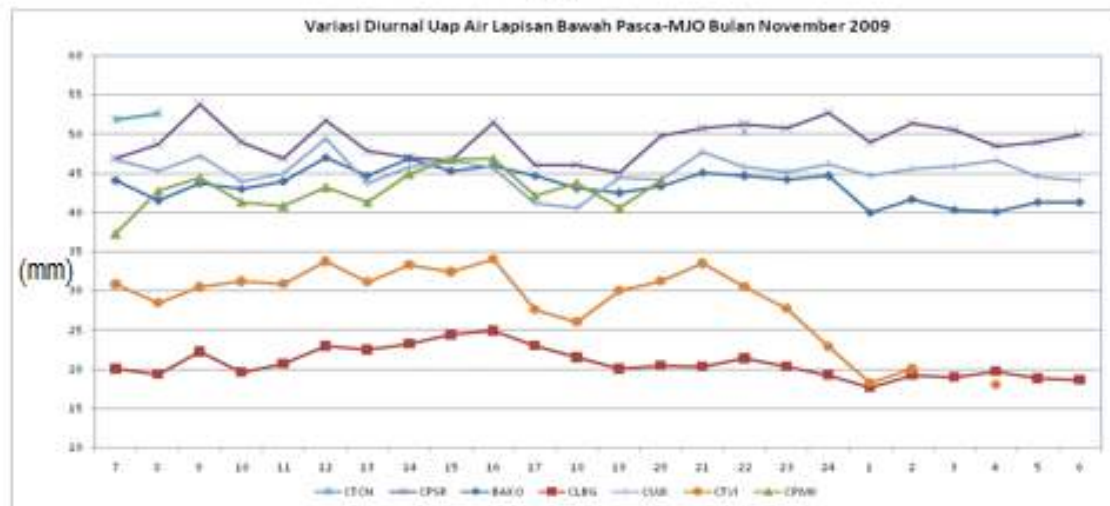
Gambar 3-6: Vektor dan magnitudo angin (m/dtk) per lapisan ketinggian November 2009 (ECMWF)



(a)



(b)



(c)

Gambar 3-7: Variasi diurnal uap air lapisan bawah saat MJO November 2009 pra (b) onset-aktif (c) pasca

#### 4 KESIMPULAN

Kejadian MJO pada November 2009 di wilayah Jawa bagian Barat memberikan dampak terhadap variasi harian uap air di lapisan troposfer bawah. Anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah meningkat seiring dengan menurunnya anomali



OLR pada saat MJO *onset*, kemudian mulai menurun pada saat fase pasca MJO, kecuali untuk wilayah Jampang Kulon. Di bagian utara menunjukkan konsentrasi uap air di lapisan troposfer bawah yang menurun dari barat-timur dari wilayah Pasuran, Cibinong dan Lembang, sedangkan di bagian selatan konsentrasinya meningkat dari barat-timur dari UjungKulon, Jampang Kulon hingga Pameungpeuk. Sedangkan variasi utara-selatan, anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah menunjukkan konsentrasi uap air di lapisan troposfer bawah yang cenderung berubah-ubah dari wilayah Pasuran hingga Ujung Kulon dan wilayah Cibinong hingga Jampang Kulon, sementara di bagian timur wilayah Lembang hingga Pameungpeuk menunjukkan peningkatan uap air ke arah selatan. Anomali uap air lapisan bawah secara spasial dan temporal sesuai dengan analisis vektor angin. Variasi diurnal uap air di lapisan troposfer bawah November 2009 saat MJO aktif secara umum konsentrasinya lebih tinggi dibandingkan sebelum MJO maupun setelah masa aktif. Dari analisis indeks konvektif citra satelit MTSAT IR1 juga menunjukkan uap air di lapisan troposfer bawah saat MJO berkaitan dengan aktivitas konvektif, baik pada periode pra-MJO, saat *onset*, aktif hingga pasca-MJO.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Ir. Joni Efendi dari Badan Informasi Geospasial atas penyediaan data GPS, serta Prof. Sri Widiyantoro, Ph.D atas arahan dan bimbingannya. Penelitian ini didukung sepenuhnya oleh Laboratorium Geodesi dan Geomatika dan Laboratorium Analisis Meteorologi ITB.

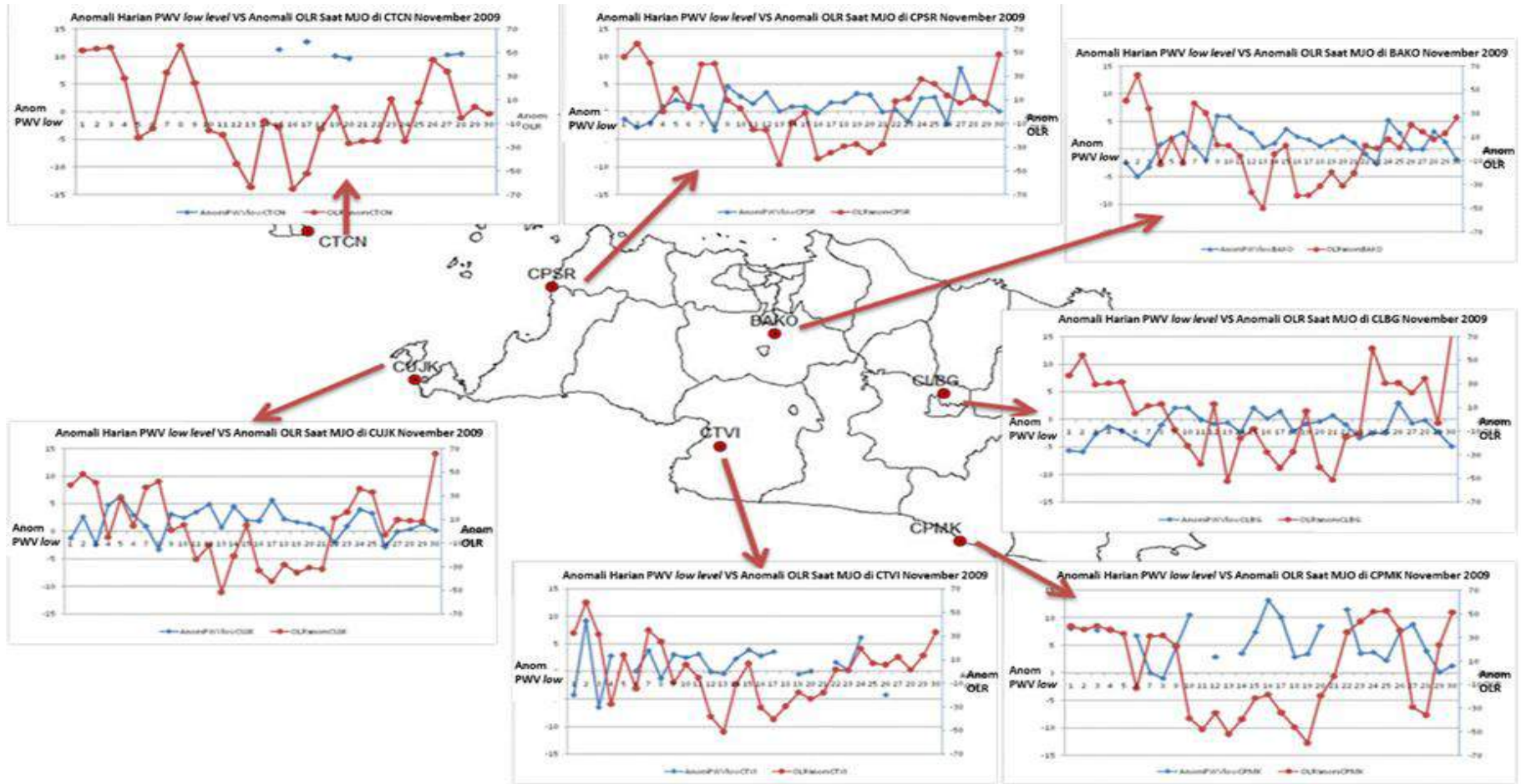
### DAFTAR RUJUKAN

- Bevis, M., Businger, S., Herring, T.A., Rocken, C., Anthes, R., A., dan Ware, R., H., 1992. *GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System*, J. Geophysic. Res, 97, 15.787-15.801.
- Bureau of Meteorology, 2009. *Madden-Julian Oscillation*, Australia, diakses <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>.
- Davis, J., L., Herring, T., A., Shapiro, I., I., Roger, E., dan Elger, G., 1985. *Geodesy by Interferometry: Effect of Atmospheric Modelling Errors on Estimates of Baseline Length*, Radio Science, 20, 1593-1607.
- Gutman, R., B., Chadwick, D., dan Wolf, W., 2004. *Toward an Operational Water Vapor Remote Sensing System Using the Global Positioning System*.
- Habby, J., 2011. *Applying Tropospheric Moisture to Forecasting*, Meteorology Education, diakses <http://weatherprediction.com>, 23 Desember 2014.
- Hadi, T., W., 2007. *Diurnal Convection over Java Island; Sea-Breeze Convergence during Pre-Monsoon Period*, Department of Geophysics and Meteorology, Institut Teknologi Bandung.
- Hadi, T., W., Horinouchi, T., Tsuda, T., Hashiguchi, H., dan Fukao, S., 2002. *Sea Breeze Circulation Over Jakarta, Indonesia: A Climatology Based on Boundary Layer Radar Observations*, Mon.Wea.Rev., 130, 2153-2166.
- Hadi, T., W., Kuncoro, W., Noersomadi, Subarya, C., dan Susilo, 2010. *Pemanfaatan Jaringan Pengamatan GPS untuk Pemantauan Kandungan Uap Air di Atmosfer: Prospek dan Tantangan di Indonesia*, Prosiding Seminar Penerbangan dan Antariksa, Sub Seminar Sains Atmosfer dan Iklim, Serpong.
- Holton, J., R., 2004. *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Fourth Edition, Elsevier Academic Press, ISBN: 0-12-354015-1.
- Kristianto, A., Hadi, T., W., dan Wijaya, D., D., 2014. *Development of Method for Extracting Low-Level Tropospheric Moisture Content from Ground Based GPS Derived Precipitable Water Vapor (PWV)*, 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference-, 4-7 November 2014, Bali-Indonesia.

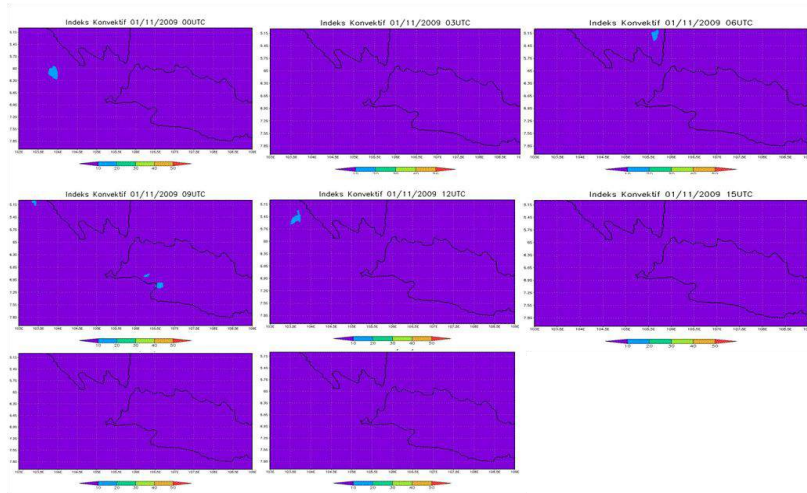


- Lau, K., M., dan Chan, P., H., 1986. *Aspects of the 40–50 Day Oscillation during the Northern Summer as Inferred from Outgoing Longwave Radiation*, Mon. Wea. Rev., 114, 1354–1367.
- Madden, R., A., 2002. *Madden-Julian Oscillation Life Cycle*, diakses Juli 2014 [http:// www. meted. ucar.edu/climate/mjo/print.htm](http://www.meted.ucar.edu/climate/mjo/print.htm).
- Madden, R., A., dan Julian, P., R., 1971. *Detection of a 40–50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific*, J. Atmos. Sci., 28, 702–708.
- Madden, R., A., dan Julian, P., R., 1972. *Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40–50 Day Period*, J. Atmos. Sci. , 29, 1109–1123.
- Madden, R., A., dan Julian, P., R., 1994. *Observations of the 40–50-Day Tropical Oscillation—A Review*, Mon. Wea. Rev., 122, 814–837.
- Nakamura, H., Koizumi, K., dan Mannoji, N., 2004. *Data Assimilation of GPS Precipitable Water Vapor into the JMA Mesoscale Numerical Weather Prediction Model and its Impact on Rainfall Forecasts*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 82, 441-452.
- Ohsawa, T., Ueda, H., Hayashi, T., Watanabe, A., dan Matsumoto, J., 2001. *Diurnal Variation of Convective Activity and Rainfall in Tropical Asia*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 79, 333 – 352.
- Sakurai, N., Murata, F., Yamanaka, M. D., Mori, S., Hamada, J-I., Hashiguchi, H., Tauhid, Y. I., Sribimawati, T., and Suhardi, B., 2005. *Diurnal Cycle of Cloud System Migration over Sumatera Island*, Journal of the Meteorological Society of Japan, 83, 835 – 850.
- Wheeler, M., C., dan Hendon, H., H., 2004. *An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction*, Mon. Wea. Rev., 132, 1917–1932.
- Wu, P., Hamada, J., Mori, S., Tauhid, Y., I., Yamanaka, M., D., dan Kimura, F., 2003. *Diurnal Variation of Precipitable Water over a Mountainous Area of Sumatra Island*, J. Appl. Meteor., 42, 1107–1115.
- Yoshihira, T., Tsuda, T., dan Hirahara, K., 2000. *High Time Resolution Measurements of Precipitable Water Vapor from Propagation Delay of GPS Satellite Signals*, Earth Planets Space, 52, 479–493.

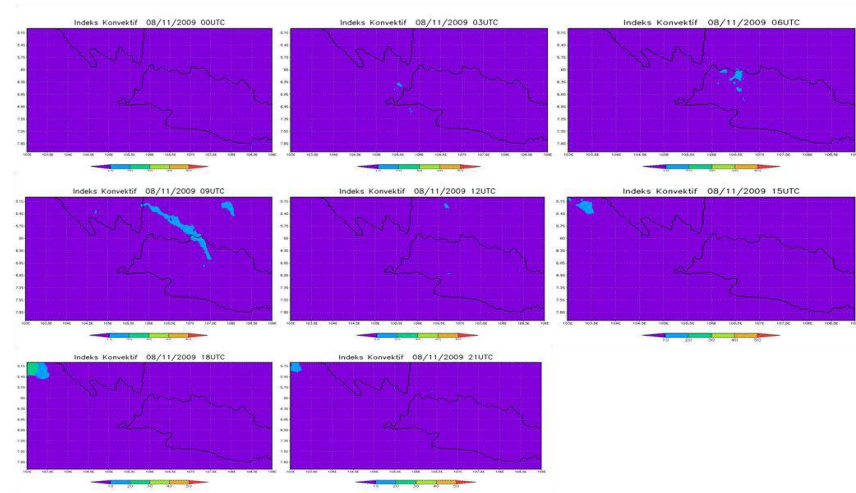
Lampiran 1. Anomali harian uap air di lapisan troposfer bawah dan anomali harian OLR



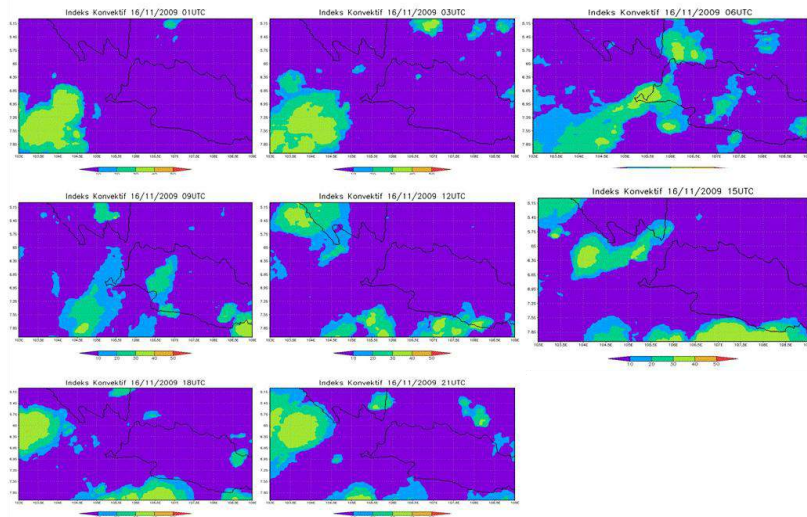
Lampiran 2. Indeks Konvektif per 3 jam Saat MJO November 2009 (a)pra (b)onset (c)aktif dan (d)pasca saat kejadian MJO November 2009



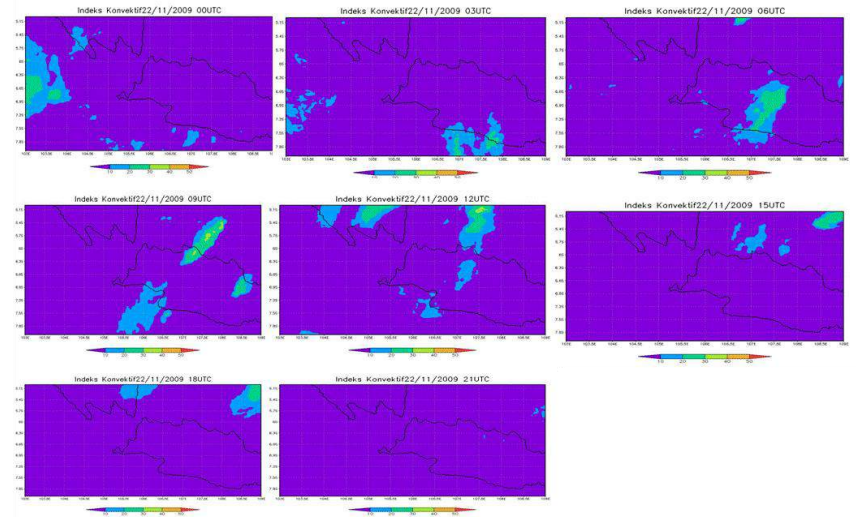
(a)



(b)



(c)



(d)