

PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI MADDEN-JULIAN OSCILLATION (MJO) BERBASIS HASIL ANALISIS DATA WIND PROFILER RADAR (WPR)

THE DEVELOPMENT OF MADDEN-JULIAN OSCILLATION (MJO) PREDICTION MODELS BASED ON THE ANALYSIS OF WIND PROFILER RADAR (WPR) DATA

Naziah Madani^{1}, Eddy Hermawan², dan Akhmad Fagih¹*

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

²Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN, Jl. Dr. Djunjunan 133, Bandung 40173

*Email: naziah.madani@yahoo.co.id

Naskah masuk: 17 Februari 2012; Perbaikan terakhir: 24 Oktober 2012 ; Naskah diterima: 25 Oktober 2012

ABSTRAK

Latar belakang penelitian ini adalah pentingnya kajian mengenai MJO sebagai salah satu osilasi dominan di kawasan ekuator. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model prediksi MJO berdasarkan analisis data WPR. Pada penelitian ini kejadian MJO diidentifikasi dari data kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb di kawasan Pontianak, Manado, dan Biak. Sebelum data angin zonal ini dimanfaatkan untuk melihat perilaku MJO, maka data angin tersebut terlebih dahulu dibandingkan dengan data indeks MJO yaitu RMM1 dan RMM2. RMM1 dan RMM2 merupakan sepasang indeks untuk memonitor kejadian MJO secara realtime. Hasil analisis Power Spectral Density (PSD) data kecepatan angin zonal lapisan 850 mb menunjukkan adanya sinyal MJO kuat yang dicirikan dengan adanya osilasi sekitar 45 harian. Hasil korelasi dan regresi juga menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan yang signifikan antara kedua data tersebut. Hal tersebut mengindikasikan bahwa data kecepatan angin zonal lapisan 850 mb dapat digunakan untuk analisis MJO. Pada penelitian ini, prediksi MJO didasarkan pada data kecepatan angin zonal menggunakan metode ARIMA Box-Jenkins. Melalui metode ini, model yang mendekati data deret waktu kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb di Pontianak adalah ARIMA(2,0,0), model prediksi untuk Manado adalah ARIMA(2,1,2), sedangkan untuk Biak adalah ARIMA(0,1,3). Model-model tersebut bermanfaat untuk melihat perilaku sinyal MJO pada data angin zonal berkaitan dengan pola curah hujan di wilayah kajian.

Kata kunci: MJO, RMM1 dan RMM2, WPR, ARIMA

ABSTRACT

Background of this research is to study the importance of MJO as one of the predominant peak oscillation in the equator area. This study aims to make prediction models of MJO based on the analysis of zonal wind speed data observed by WPR that compared by the MJO index data, namely RMM1 and RMM2. The results of PSD show strong MJO signal of 45 day periods oscillations. The result of correlation and regression analyses also show significant relationship between both data. Therefore, it is suggested that the observed 850 mb zonal wind speed data can be used to analyze the MJO phenomenon. The MJO prediction models were developed by using ARIMA. Then we found the ARIMA model for Pontianak is ARIMA(2,0,0), Manado ARIMA(2,1,2), and Biak ARIMA(0,1,3). Those models used to see the MJO event from zonal wind data that effect to rainfall pattern in study area.

Keywords: MJO, RMM1 and RMM2, WPR, ARIMA

1. Pendahuluan

1.1. Latar belakang

Kawasan Indonesia merupakan salah satu kawasan yang berperan penting dalam pembentukan cuaca dan iklim global. Hal itu disebabkan karena kondisi Indonesia sebagai Benua Maritim yang memiliki kawasan lautan lebih luas dari daratan. Kawasan ini diduga sebagai tempat penyimpanan bahang (panas) baik yang berupa *sensible heat* maupun *latent heat* bagi pembentukan awan-awan hujan seperti cumulonimbus [1].

Kondisi Indonesia yang berada di antara dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudera (Hindia dan Pasifik) juga menyebabkan Indonesia dipengaruhi oleh berbagai fenomena iklim, baik lokal, regional, maupun global. Salah satu fenomena global yang berpengaruh adalah fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO). MJO pertama kali ditemukan oleh Madden-Julian (1971) [2]. MJO merupakan salah satu osilasi yang dominan di wilayah ekuator [3]. Fenomena ini beresilasi antara 30-60 hari dan mengalami pergerakan proses konveksi dari arah barat ke timur.

Seto [4] menyatakan bahwa MJO dalam fase aktif memiliki korelasi terjadinya intensitas curah hujan yang tinggi terhadap wilayah yang dilaluinya. Selama perjalanannya ke arah timur, MJO dipengaruhi oleh posisi matahari. Ketika matahari berada di garis ekuator MJO bergerak lurus ke arah timur. Sedangkan ketika posisi matahari berada di sebelah selatan garis ekuator, maka perjalanan MJO agak bergeser ke arah selatan ekuator yang dikenal dengan sebagai penjarangan selatan-timur (*south-eastern propagation*). Ketika posisi matahari berada di sebelah utara ekuator, maka perjalanan MJO agak bergeser ke arah utara ekuator, yang dikenal sebagai penjarangan utara-timur (*north-eastern propagation*) [5].

Penelitian mengenai MJO khususnya di Indonesia masih jarang dilakukan. Disamping itu, penelitian sebelumnya mengenai MJO cenderung hanya menggunakan data OLR dan data radiosonde. *Real Time Multivariate MJO Index* (RMM1 dan RMM2) merupakan indeks MJO yang saat ini banyak digunakan yang diperkenalkan oleh Wheeler dan Hendon (2004) [6]. RMM1 dan RMM2 ini merupakan indeks yang didasarkan pada kombinasi analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) menggunakan data rata-rata angin zonal pada lapisan 850 hPa dan 200 hPa serta data *outgoing longwave radiation* (OLR). Penelitian sebelumnya oleh Evana [7] menyebutkan bahwa data RMM1 dan RMM2 dapat digunakan untuk memprediksi fenomena MJO di Indonesia dan berkaitan erat dengan kejadian curah hujan ekstrim di Jakarta pada tahun 2002.

Pengamatan MJO menggunakan data kecepatan angin zonal di Indonesia belum banyak dilakukan. Hal ini terjadi akibat keterbatasan data angin yang dimiliki,

khususnya data angin yang memiliki resolusi waktu tinggi dengan pengamatan yang relatif singkat. Pada saat ini Indonesia telah memiliki radar yang disebut *Wander Profiler Radar* (WPR) yang berlokasi di sekitar ekuator yaitu di Pontianak, Manado, dan Biak.

Pada penelitian ini fenomena MJO diamati menggunakan data angin zonal dari WPR pada lapisan 850 mb. MJO dihubungkan dengan adanya pembentukan awan *Super Cloud Cluster* (SCC) yang bergerak dari barat ke timur. Sebelum data angin zonal ini dimanfaatkan untuk melihat perilaku MJO di Indonesia, maka data tersebut terlebih dahulu dibandingkan dengan data indeks MJO yaitu RMM1 dan RMM2 yang telah digunakan luas untuk keperluan prediksi MJO.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya model kecepatan angin zonal yang terjadi di Indonesia yang dapat berguna sebagai indikasi awal terjadinya MJO di Indonesia khususnya di ketiga wilayah penelitian, yaitu Pontianak, Manado, dan Biak.

Adapun tujuan studi ini adalah untuk mengidentifikasi kemunculan sinyal MJO di Indonesia berbasis data angin zonal dari WPR khususnya di Pontianak, Manado, dan Biak, kemudian memodelkan data *time series* kecepatan angin zonal yang terjadi di wilayah Indonesia, khususnya Pontianak, Manado, dan Biak untuk 2-3 hari dari data, serta mengetahui karakteristik sinyal MJO pada data angin zonal berkaitan dengan pola hujan di wilayah kajian.

1.2. Landasan teori

Madden-Julian Oscillation (MJO) merupakan mode osilasi yang dominan di ekuator [3]. Osilasi ini dihasilkan dari sirkulasi sel skala besar di ekuatorial yang bergerak ke timur dari laut Hindia ke Pasifik Tengah dengan periode 30-60 hari. Pengamatan mengenai MJO dapat melibatkan berbagai variabel meteorologi seperti OLR, presipitasi, angin zonal pada lapisan atas dan bawah troposfer, tekanan muka laut (*sea level pressure*) (SLP), konvergensi kelembaban, suhu permukaan laut (SST), dan flux panas laten pada permukaan laut.

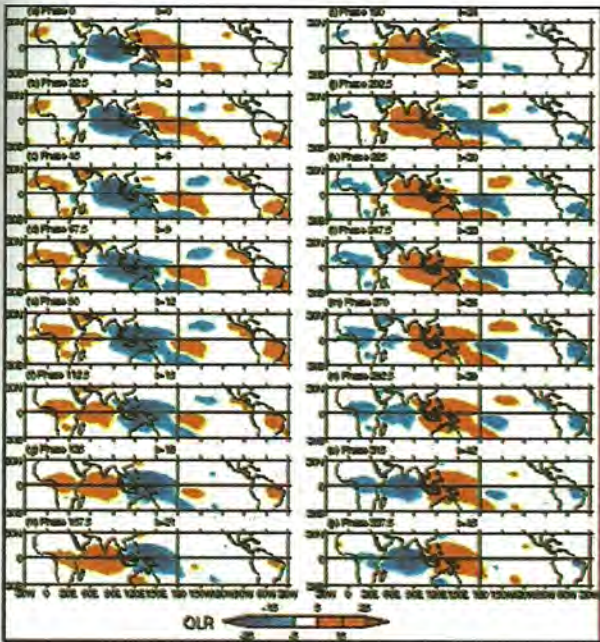
MJO sering diasosiasikan dengan terbentuknya awan-awan *Super Cloud Cluster* (SCC) sehingga dapat dengan mudah diamati dari observasi satelit karena puncak awan konvektif sangat dingin. Pengukuran varians OLR pada daerah konveksi akan membaca sinyal yang lebih besar daripada *red noise* sehingga dapat menunjukkan sinyal MJO [8]. OLR adalah ukuran atau nilai radiasi bumi yang memiliki panjang gelombang panjang yang terdeteksi dari luar angkasa. Deteksi ini biasa dilakukan dengan peralatan satelit. Nilai yang diukur ini menggambarkan seberapa besar perawanan menghambat keluarnya radiasi bumi tersebut. Nilai OLR merupakan nilai negatif yang menunjukkan besarnya hambatan tersebut.

Semakin kecil nilai dalam skala negatif menunjukkan semakin besarnya hambatan sehingga dapat divisualisasi sebagai semakin tingginya awan yang menghambat tersebut yang biasanya adalah awan konvektif. Secara umum pola OLR menggambarkan pola daerah-daerah konvektif potensial [9].

Fenomena MJO terkait langsung dengan pembentukan kolam panas di Samudra Hindia bagian timur dan Samudra Pasifik bagian barat sehingga pergerakan MJO ke arah timur bersama angin baratan (*westerly wind*) sepanjang ekuator selalu diikuti dengan konveksi awan kumululus tebal. Awan konvektif ini menyebabkan hujan dengan intensitas tinggi sepanjang penjarannya yang menempuh jarak 100 kilometer dalam sehari di Samudra Hindia dan 500 kilometer per hari ketika berada di Indonesia. Pergerakan *Super Cloud Cluster* ini tentu saja berkaitan dengan pergerakan pusat tekanan rendah yang akan diikuti oleh perubahan pola angin [10].

Penelitian sebelumnya menggunakan data radar yakni EAR (*Equatorial Atmosphere Radar*) secara vertikal (zonal-vertikal) dapat menunjukkan terjadinya pergerakan angin baratan di lapisan permukaan dan di lapisan atasnya terjadi angin timuran [11]. Hal tersebut sesuai dengan teori skema pergerakan MJO di ekuator.

Siklus MJO ditunjukkan berupa gugus-gugus awan tumbuh di Samudera Hindia lalu bergerak ke arah timur dan membentuk suatu siklus dengan rentang 30-60 hari dan dengan cakupan daerah 10N-10S [12], seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus MJO (Matthews A.J., 2000).

Gambar 1 menunjukkan siklus MJO dengan interval selama 3 harian atau 22.5° fase. Gambar tersebut menggunakan OLR sebagai salah satu cara untuk menggambarkan perjalanan siklus MJO. Siklus MJO pada fase 0 atau $t=0$, konveksi tumbuh dan berkembang di Samudera Hindia dan terjadi supresi (mengalami kekeringan) di Samudera Pasifik. Kedua peristiwa ini bergerak ke timur sampai fase 180 dengan lokasi yang berkebalikan (konveksi di Samudera Pasifik dan supresi di Samudera Hindia). Kondisi ini terus bergerak ke timur dan kembali ke fase 0 (konveksi di Samudera Hindia dan supresi di Samudera Pasifik). Perjalanan ini memerlukan waktu 30-60 hari dengan efek basah dan kering pada daerah-daerah yang di lewatinya.

Kubota *et.al* [13] menyatakan bahwa data angin dapat menunjukkan terjadinya MJO yaitu selama fase aktif MJO tampak adanya penguatan angin baratan. Hal tersebut juga sesuai dengan skema perpotongan MJO di ekuator menurut Matthews [12], dimana terjadi dominasi angin baratan di lapisan bawah troposfer.

Real Time Multivariate MJO seri 1 dan 2 (RMM1 dan RMM2) merupakan suatu indeks musiman untuk memonitor pergerakan MJO. Hal ini didasarkan pada sepasang fungsi ortogonal (EOFs) dari gabungan rata-rata angin zonal 850-hPa, 200-hPa, dan data observasi satelit *Outgoing Longwave Radiation* (OLR). Proyeksi data dilakukan dengan menghilangkan komponen siklus tahunan dan variabilitas komponen *interannual* [6]. RMM1 dan RMM2 dapat digunakan dalam berbagai kepentingan misalnya untuk menentukan onset monsun dan peluang terjadinya curah hujan ekstrim.

Indonesia merupakan daerah yang dilalui oleh garis *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ). ITCZ ini dikenal sebagai pertanda bahwa pada tempat yang dilaluinya akan mempunyai curah hujan yang tinggi, dengan kata lain ITCZ akan mempengaruhi distribusi curah hujan pada wilayah-wilayah yang dilaluinya. ITCZ berkaitan dengan pergeseran posisi matahari dimana Indonesia yang terletak di ekuator mengalami dua kali pemanasan maksimum, yaitu pada waktu matahari bergerak ke selatan melintasi ekuator dan kembali ke utara melintasi ekuator. Keadaan ini menyebabkan puncak aktivitas konveksi yang menghasilkan hujan terjadi dua kali, yang pada umumnya dapat dilihat pada pola curah hujan bulanan yang memiliki dua puncak. Kajian oleh Donald [14] menunjukkan adanya variasi distribusi kekuatan MJO juga dipengaruhi oleh posisi ITCZ.

2. Metode Penelitian

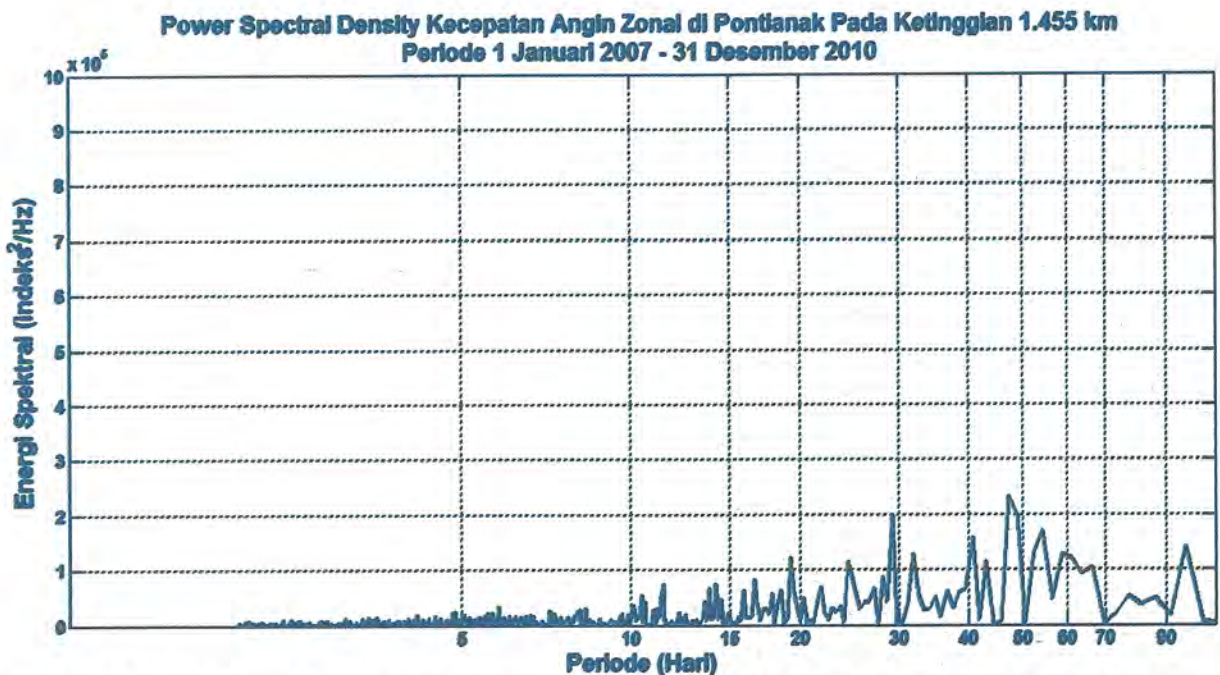
Ada tiga data utama yang digunakan yaitu data kecepatan angin zonal harian dari *Wind Profiler Radar* (WPR) untuk daerah Pontianak, Manado, dan Biak periode 1 Januari 2007–31 Desember 2010 yang diperoleh dari website <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/radar->

group/blr/pontianak/data/, data harian *Real Time Multivariate* MJO (RMM1 dan RMM2) dengan periode yang sama yang diperoleh dari website <http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/RMM1RMM2.74toRealtime.txt>. dan data curah hujan rata-rata bulanan Pontianak (0,00°LS; 109,37°BT), Manado (1,55°LU; 124,93°BT), dan Biak (1,18°LS; 136,10°BT) .periode Januari 2007–Desember 2010 berbasis observasi satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) jenis 3B43.

Penelitian ini terdiri atas tiga tahap analisis, yang pertama yaitu analisis spektral menggunakan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) dan transformasi wavelet. Analisis spektral digunakan untuk melihat periode osilasi dominan dari data kecepatan angin zonal serta RMM1 dan RMM2. Selanjutnya dilakukan metode korelasi yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara kecepatan angin zonal dengan RMM1 dan RMM2. Tahap ini dilakukan untuk melihat hubungan secara statistik antara dua variabel tersebut. Jika terdapat korelasi yang nyata dan signifikan maka data kecepatan angin zonal dapat digunakan untuk analisis selanjutnya, yaitu mengidentifikasi kejadian MJO di Indonesia. Langkah selanjutnya adalah memodelkan kecepatan angin zonal di ketiga kawasan tersebut menggunakan metode ARIMA Box-Jenkins, sehingga diperoleh model kecepatan angin zonal.

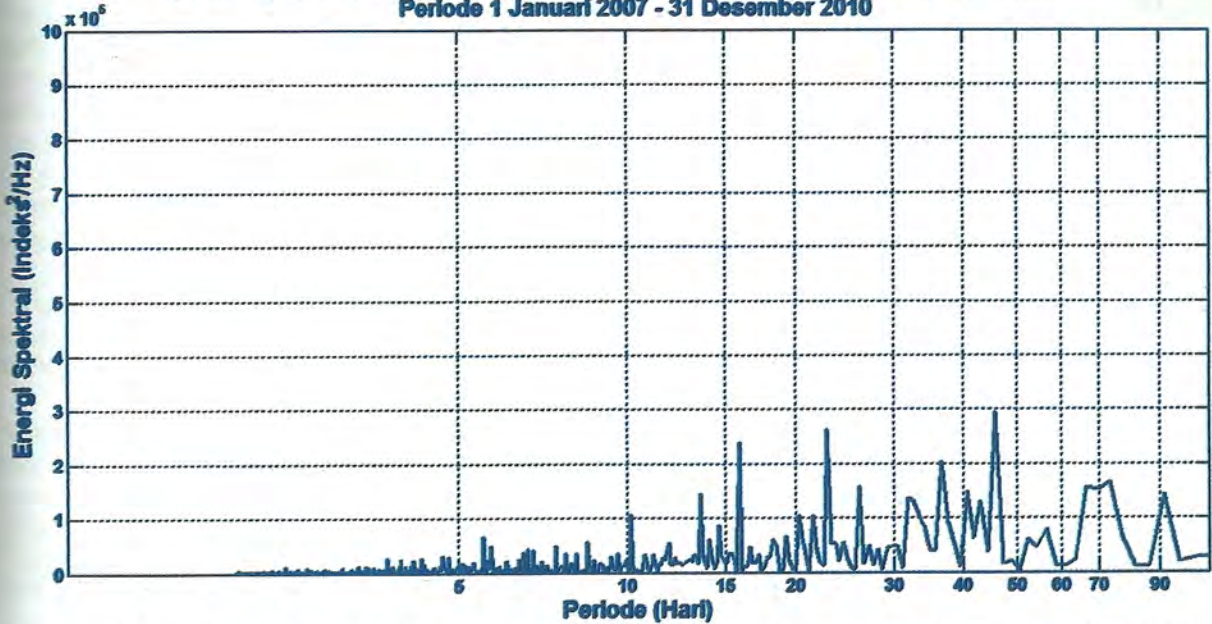
3. Hasil dan Pembahasan

Salah satu cara untuk mengamati perilaku MJO adalah dengan mengamati data indeks MJO yang saat ini telah dikenal luas yaitu *Real Time Multivariate* MJO (RMM1 dan RMM2) yang digunakan oleh pihak Badan Meteorologi Australia (BoM, Australia). RMM1 dan RMM2 adalah sepasang indeks untuk memonitoring MJO yang didasarkan pada sepasang fungsi ortogonal empiris gabungan dari data kecepatan angin pada lapisan 850 mb dan 200 mb, serta data *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) [6]. Namun, pada penelitian ini fenomena MJO hanya diamati dengan menggunakan data kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb atau sekitar ketinggian 1.455 km. Hal tersebut didasarkan pada asumsi bahwa pada lapisan tersebut merupakan pusat konveksi, dimana akan terbentuk dasar awan-awan hujan sebagai ciri kejadian MJO. Berdasarkan analisis PSD (Gambar 2), osilasi kecepatan angin zonal harian pada lapisan 850 mb atau ketinggian sekitar 1.455 km di Pontianak menunjukkan osilasi yang paling tinggi 45-50 harian. Artinya jika osilasi ini berjalan sempurna maka dalam waktu 45-50 harian akan terjadi peningkatan kecepatan angin di kawasan tersebut. Hal ini menunjukkan fenomena MJO terasa di kawasan Pontianak.



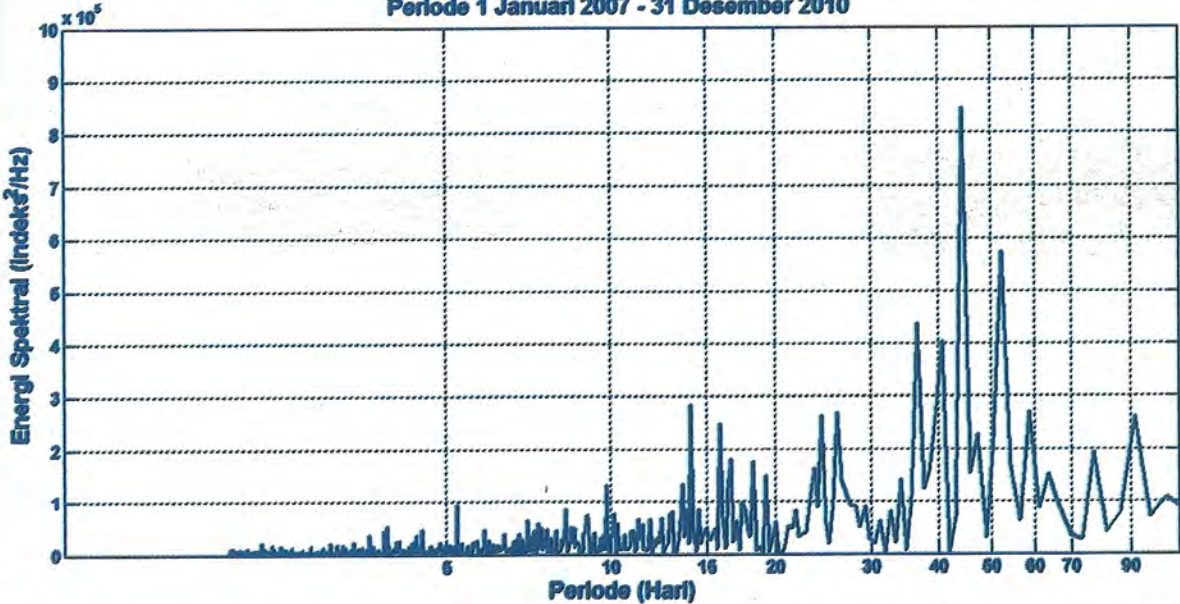
Gambar 2. *Power Spectral Density* (PSD) kecepatan angin zonal periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010 di Pontianak.

**Power Spectral Density Kecepatan Angin Zonal di Manado Pada Ketinggian 1.455 km
Periode 1 Januari 2007 - 31 Desember 2010**



Gambar 3. *Power Spectral Density* (PSD) kecepatan angin zonal periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010 di Manado.

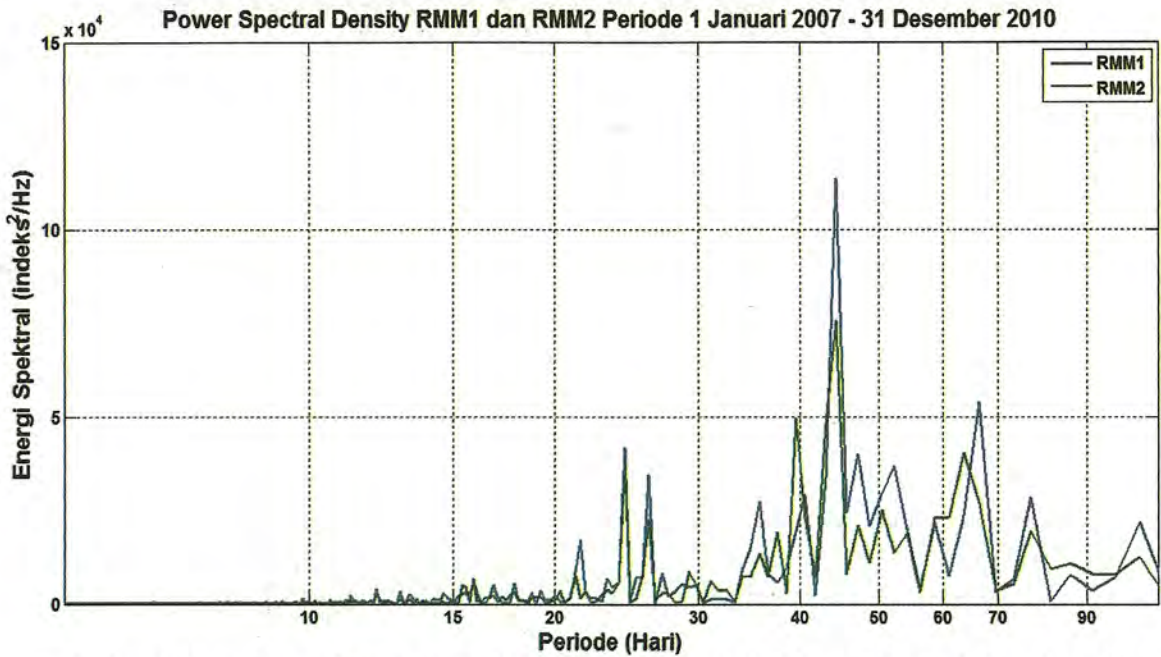
**Power Spectral Density Kecepatan Angin Zonal di Biak Pada Ketinggian 1.455 km
Periode 1 Januari 2007 - 31 Desember 2010**



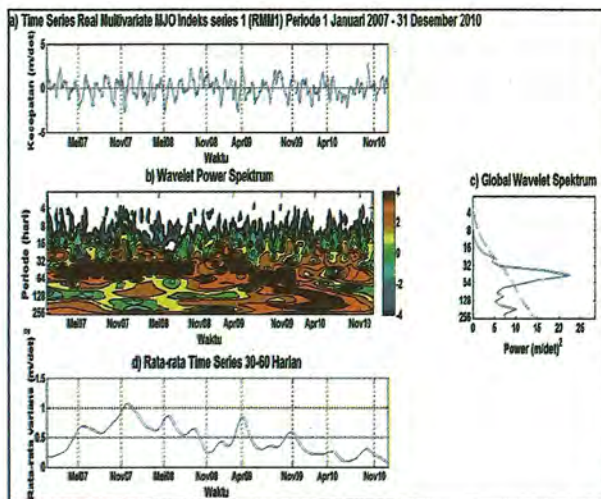
Gambar 4. *Power Spectral Density* (PSD) kecepatan angin zonal periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010 di Biak.

Berdasarkan analisis PSD (Gambar 3), osilasi kecepatan angin zonal harian pada lapisan 850 mb atau ketinggian sekitar 1.455 km di Manado menunjukkan osilasi yang paling tinggi pada 45 harian. Artinya jika osilasi ini berjalan sempurna maka dalam waktu 45 harian akan terjadi peningkatan kecepatan angin di kawasan tersebut. Hal ini menunjukkan fenomena MJO terasa di kawasan Manado.

Analisis yang sama juga dilakukan untuk data kecepatan angin di Biak. Berdasarkan analisis PSD (Gambar 4), osilasi kecepatan angin zonal harian pada lapisan 850 mb atau ketinggian sekitar 1.455 km di Biak menunjukkan puncak osilasi yang paling tinggi pada 45 harian. Artinya jika osilasi ini berjalan sempurna maka dalam waktu 45 harian akan terjadi peningkatan kecepatan angin di kawasan tersebut. Hal ini menunjukkan fenomena MJO terasa di kawasan Biak.



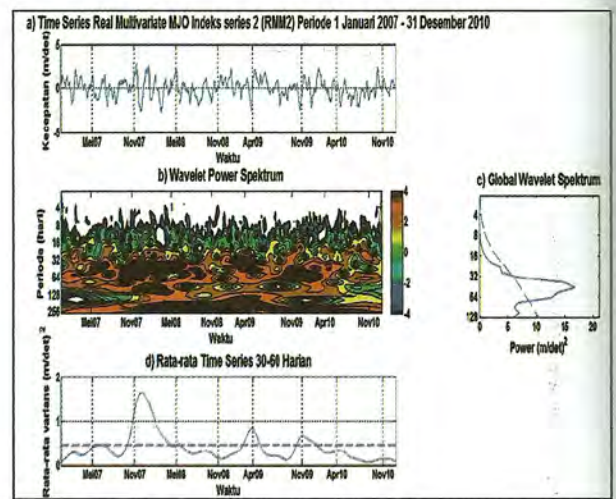
Gambar 5. Power Spectral Density (PSD) RMM1 dan RMM2 periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010.



Gambar 6. Wavelet RMM1 periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010.

Disamping itu, dilakukan pula analisis spektral pada data indeks MJO yaitu RMM1 dan RMM2 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil PSD dan wavelet menunjukkan bahwa data RMM1 dan RMM2 menghasilkan osilasi 45 harian.

Analisis wavelet menunjukkan bahwa osilasi data RMM1 adalah 45 harian (Gambar 6). Begitu pula dengan analisis wavelet untuk data RMM2 yang menunjukkan osilasi yaitu 45 harian (Gambar 7). Artinya jika osilasi ini berjalan sempurna maka kejadian MJO akan menguat dalam waktu 45 harian. Berdasarkan hal ini terlihat bahwa baik analisis PSD maupun wavelet akan memberikan hasil yang konsisten untuk melihat periode osilasi data.



Gambar 7. Wavelet RMM2 periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010.

Dari hasil analisis spektral diketahui bahwa data kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb memiliki osilasi yang sama dengan data indeks MJO global (RMM1 dan RMM2), yakni keduanya berosilasi sekitar 45 harian. Osilasi yang kuat pada 45 harian ini diidentifikasi sebagai suatu sinyal MJO di wilayah Pontianak, Manado, dan Biak.

Plot data angin di ketiga lokasi penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin berkisar 5 m/s. Kecepatan angin ini tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah sehingga dapat mendukung terjadinya pembentukan awan dan pergerakan awan dari barat ke timur sebagai ciri terjadinya MJO.

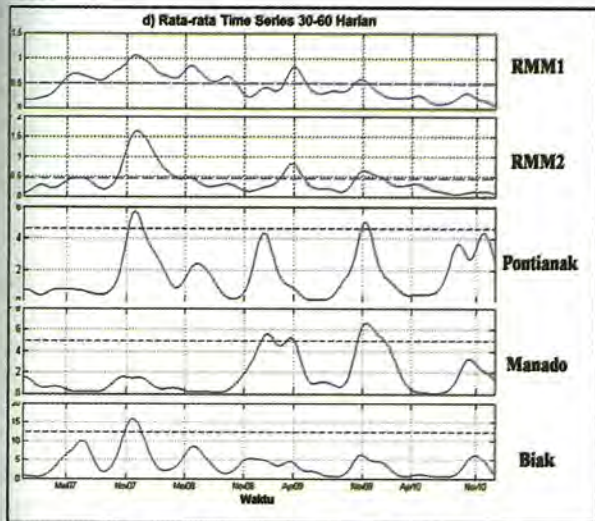
Tahap selanjutnya adalah membuktikan apakah data kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb dapat

digunakan untuk memprediksi kejadian MJO di Indonesia, khususnya kawasan Pontianak, Manado, dan Biak. Hal ini dilakukan dengan menggunakan analisis statistik berupa teknik korelasi dan melihat signifikansi antara data kecepatan angin zonal dengan data RMM1 dan RMM2. Namun, sebelum data kecepatan angin ini digunakan untuk prediksi MJO maka akan dibandingkan terlebih dahulu pola osilasinya dengan data indeks MJO yang telah dikenal luas, yaitu RMM1 dan RMM2.

Dengan teknik wavelet, diketahui terdapat puncak-puncak varians kecepatan angin zonal maupun RMM1 dan RMM2 yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Secara sepintas terlihat bahwa kecepatan angin zonal memiliki pola yang sama dengan data RMM1 dan RMM2 meskipun amplitudonya berbeda. Hal tersebut dibuktikan dengan korelasi statistik yang menunjukkan bahwa data kecepatan angin zonal lapisan 850 mb dengan data RMM1 dan RMM2 memiliki hubungan yang signifikan pada selang kepercayaan 95 %.

Analisis wavelet menunjukkan terjadinya puncak-puncak kecepatan angin zonal maupun data RMM1 dan RMM2 khususnya pada sekitar bulan Juni 2007, Desember 2007, Juni 2008, April 2009, November 2009, dan Oktober 2010. Akibatnya analisis statistik dari variabel angin dengan RMM1 dan RMM2 difokuskan pada saat keduanya menguat. Hal ini bertujuan untuk melihat keterkaitan antara pola osilasi MJO dan kecepatan angin zonal dan pengaruhnya terhadap curah hujan di daerah kajian. Untuk melihat keterkaitan ini dilakukan dengan membuat analisis regresi sederhana dan melihat nilai koefisien determinasi (R^2) dari kejadian-kejadian tersebut.



Gambar 8. Rata-rata *time series* kecepatan angin zonal, RMM1 dan RMM2 periode 1 Januari 2007 – 31 Desember 2010.

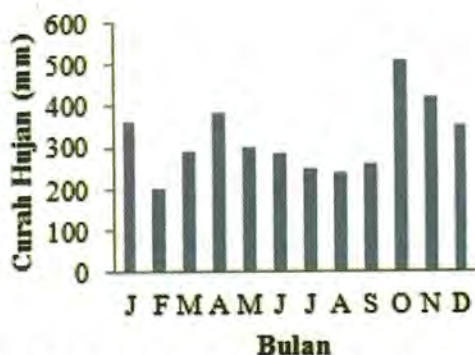
Tabel 1 menunjukkan persamaan regresi linear sederhana antara kecepatan angin zonal dengan RMM1 dan RMM2, dimana; Y = kecepatan angin zonal, X_1 = RMM1, X_2 = RMM2.

Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan yang erat antara data angin zonal dengan data RMM1 dan RMM2 dengan nilai rata-rata R^2 sebesar 0.52. Nilai R^2 tinggi pada bulan Desember dan November. Pada masing-masing bulan diatas, fase MJO dimulai di belahan bumi bagian barat/ Afrika lalu bergerak ke timur melalui Samudera Hindia, Indonesia, dan Samudera Pasifik Bagian Barat. MJO aktif pada saat melewati Indonesia tidak sama setiap bulan, namun umumnya pada pertengahan hingga akhir bulan dan berlangsung sekitar 8-10 hari. Pada saat melewati Indonesia inilah yang menyebabkan curah hujan yang tinggi. Hal tersebut karena angin yang mendominasi adalah angin baratan yang membawa banyak uap air dari Samudera Hindia yang memungkinkan terjadinya banyak hujan di kawasan Pontianak.

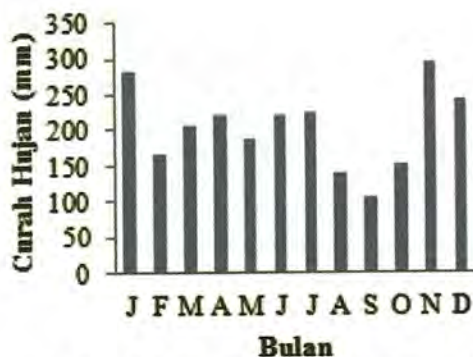
Dari tabel 1 dapat terlihat bahwa nilai koefisien determinasi antara data MJO dengan data angin zonal lebih tinggi pada saat bulan-bulan basah, yakni Oktober, November, dan Desember. Jika dilihat dari pola curah hujan di Pontianak (Gambar 9), bulan basah terjadi pada bulan Oktober-Desember. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat indeks MJO menguat maka akan terjadi peningkatan curah hujan di daerah kajian.

Tabel 1. Regresi linear antara kecepatan angin zonal di Pontianak dengan RMM1 dan RMM2

Bulan	R^2	Persamaan
Jun-07	0.3	$Y = 0.226 + 1.258 X_1 + 0.054 X_2$
Des-07	0.9	$Y = 4.481 + 2.705 X_1 + 1.765 X_2$
Jun-08	0.5	$Y = 1.515 + 1.204 X_1 + 1.387 X_2$
Apr-09	0.3	$Y = 0.668 + 0.591 X_1 + 0.567 X_2$
Nov-09	0.9	$Y = 3.291 + 1.984 X_1 + 2.852 X_2$
Okt-10	0.3	$Y = 1.547 + 1.413 X_1 + 1.829 X_2$
Rata-rata	0.5	



Gambar9. Curah Hujan Rata-rata Bulanan Pontianak Tahun 2007-2010



Gambar10. Curah Hujan Rata-rata Bulanan Manado Tahun 2007-2010

Tabel2. Regresi linear antara kecepatan angin zonal di Manado dengan RMM1 dan RMM2

Bulan	R ²	Persamaan
Jun-07	0.1	$Y = -1.193 + 0.380 X_1 - 0.346 X_2$
Des-07	0.1	$Y = 1.584 + 0.110 X_1 - 0.489 X_2$
Jun-08	0.1	$Y = -0.940 + 0.411 X_1 - 0.300 X_2$
Apr-09	0.8	$Y = 1.358 + 1.602 X_1 + 1.687 X_2$
Nov-09	0.9	$Y = 3.015 + 1.248 X_1 + 2.750 X_2$
Okt-10	0.5	$Y = -1.483 + 0.225 X_1 + 3.553 X_2$
Rata-rata	0.4	

Berdasarkan data rata-rata curah hujan bulanan tahun 2007-2010 di Pontianak memiliki pola curah hujan equatorial, dengan puncak curah hujan terjadi pada bulan Oktober dan April. Meskipun begitu, curah hujan pada bulan Oktober, November, dan Desember nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan curah hujan pada bulan April.

Tabel 2 menunjukkan bahwa di Manado rata-rata R² sebesar 0.41. Nilai R² tertinggi terjadi pada bulan November. Jika dilihat dari pola curah hujan Manado maka pada bulan tersebut curah hujan di Manado mengalami puncak. Pada saat MJO menguat pada bulan Juni, posisi matahari berada di utara, namun pemanasan intensif belum terjadi di wilayah utara ekuator. Akibatnya curah hujan yang terjadi tidak terlalu tinggi. Sedangkan pada bulan Desember posisi matahari berada di selatan ekuator sehingga pengaruh pemanasan tidak intensif untuk kawasan di utara ekuator seperti Manado. Hal tersebut mengakibatkan pengaruh MJO di Manado pada bulan Desember melemah.

Tabel3. Regresi linear antara kecepatan angin zonal di Biak dengan RMM1 dan RMM2

Bulan	R ²	Persamaan
Jun-07	0.63	$Y = -2.682 - 0.503 X_1 + 4.391 X_2$
Des-07	0.76	$Y = 2.368 + 0.886 X_1 + 3.384 X_2$
Jun-08	0.52	$Y = -0.976 + 0.883 X_1 + 5.469 X_2$
Apr-09	0.66	$Y = 1.702 - 0.264 X_1 + 2.070 X_2$
Nov-09	0.74	$Y = 3.20 - 0.198 X_1 + 3.700 X_2$
Okt-10	0.77	$Y = -5.199 - 0.363 X_1 + 4.356 X_2$
Rata-rata	0.68	

Berdasarkan data rata-rata curah hujan bulanan di Manado tahun 2007-2010 cenderung berpola curah hujan monsun, dengan puncak curah hujan terjadi pada bulan November. Puncak curah hujan terjadi pada bulan November - Januari. Sementara itu curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus - Oktober.

Dari tabel 2 dapat terlihat bahwa nilai R² antara data MJO dengan data angin zonal lebih tinggi pada saat bulan basah, yaitu November. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat indeks MJO menguat maka akan terjadi peningkatan curah hujan di daerah kajian.

Di kawasan Manado ini sepertinya faktor monsun lebih kuat dibandingkan dengan pengaruh MJO dan karena pengaruh faktor lokal. Hubungan curah hujan Manado dengan ITCZ juga tidak konsisten, karena secara teoritis pengaruh ITCZ untuk kawasan di utara ekuator akan dirasakan pada bulan Agustus, namun pada kenyataannya pada bulan Agustus curah hujan di wilayah ini justru paling rendah. Hal tersebut menguatkan pendapat bahwa kawasan Manado lebih dipengaruhi oleh faktor lokal.

Hasil regresi di Biak menunjukkan bahwa di setiap bulan R^2 cenderung tinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa MJO berpengaruh pada kondisi iklim di Biak.

Berdasarkan data rata-rata curah hujan bulanan tahun 2007-2010, Biak memiliki pola curah hujan yang tidak begitu jelas. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Junaeni [15] yang menyebutkan bahwa pola curah hujan di Biak sulit ditentukan karena tidak jelas apakah mengikuti pola equatorial atau lokal. Pada periode ini, curah hujan paling tinggi pada bulan Juni-Agustus serta bulan Oktober-Desember juga terlihat curah hujan cukup tinggi.

Dengan menggunakan teknik korelasi statistik diperoleh adanya keterkaitan antara data kecepatan angin zonal dengan data indeks MJO global periode Januari 2007-Desember 2010, yang ditunjukkan dengan nilai yang signifikan pada selang kepercayaan 95%. Hal tersebut menunjukkan bahwa data kecepatan angin zonal signifikan dan valid untuk analisis lebih lanjut, yaitu untuk analisis MJO di kawasan Indonesia. Nilai R^2 rata-rata melebihi 0.5 kecuali untuk daerah Manado, rata-rata R^2 kurang dari 0.5 kemungkinan disebabkan faktor lokal. Hasil analisis regresi menunjukkan kecenderungan bahwa pada saat bulan-bulan basah yaitu Oktober, November, dan Desember nilai R^2 lebih tinggi daripada pada saat bulan-bulan kering seperti April dan Juni. Hal tersebut berarti bahwa prediksi indeks MJO menunjukkan hasil yang baik pada saat musim basah karena MJO berkaitan dengan perjalanan ITCZ saat bergerak ke utara dan selatan.

Pemodelan kecepatan angin zonal menggunakan data harian selama 4 tahun (1461 data) yang terbagi menjadi 1369 data untuk membentuk model (*training*) dan sisanya 92 data digunakan untuk menguji ketepatan model (*testing*). Pemodelan ini bertujuan untuk memperoleh model prediksi data *time series* kecepatan angin zonal yang nantinya dapat digunakan dalam mengembangkan model MJO.



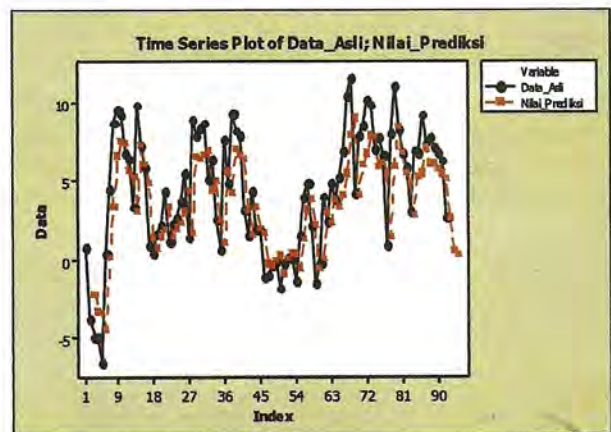
Gambar 11. Curah Hujan Rata-rata Bulanan Biak Tahun 2007-2010

Tahapan awal dalam pemodelan ARIMA yaitu melakukan uji stasioneritas data. Kestasioneran data merupakan kondisi yang diperlukan dalam analisis regresi deret waktu karena dapat memperkecil kekeliruan model. Hasil penaksiran model untuk data kecepatan angin di Pontianak menunjukkan ARIMA(2,0,0) nyata untuk semua penduga parameternya, maka ARIMA (2,0,0) ditetapkan sebagai model tentatifnya. Model AR(2), $Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + a_t$, setelah dimasukkan koefisien persamaannya menjadi $Z_t = 0.33396 + 0.7692 Z_{t-1} + 0.0762 Z_{t-2} + a_t$.

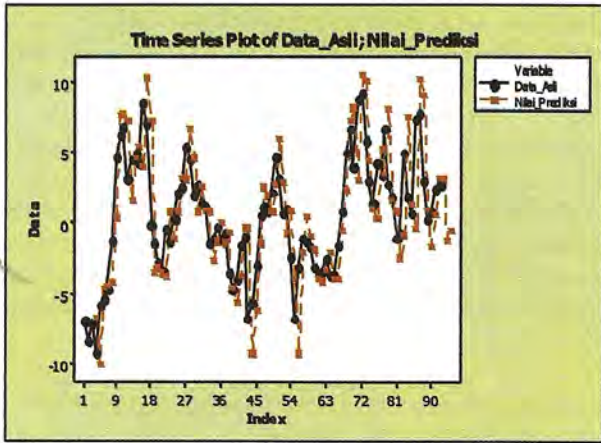
Setelah diperoleh model ARIMA selanjutnya dilakukan validasi untuk data tanggal 1 Oktober 2010-31 Desember 2010. Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa plot data prediksi mendekati data asli dengan nilai r sebesar 0.783. Hasil prediksi ini cukup baik karena menghasilkan galat rata-rata yang kecil yaitu sebesar 0.819 dan RMSE (*Root Mean Square Error*) sebesar 0.083.

Pemodelan untuk kecepatan angin zonal di Manado menunjukkan bahwa model yang cocok adalah ARIMA(2,1,2). Bentuk persamaan modelnya adalah: $Z_t = (1 + \phi_1)Z_{t-1} + (-\phi_1 + \phi_2)Z_{t-2} - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$, sehingga persamaannya menjadi $Z_t = 1.4472 Z_{t-1} - 0.2842 Z_{t-2} - 0.5847 a_{t-1} - 0.3883 a_{t-2}$.

Model ARIMA(2,1,2) untuk kecepatan angin zonal di Manado artinya peramalan data angin zonal periode mendatang tergantung pada data tiga waktu sebelumnya dan galat dua waktu sebelumnya. Model tersebut dapat digunakan untuk menduga kecepatan angin tiga hari ke depan. Hasil prediksi menunjukkan bahwa kecepatan angin pada tanggal 1-3 Januari 2011 menunjukkan kecenderungan untuk membentuk angin timuran. Artinya kemungkinan curah hujan tidak akan tinggi.



Gambar 12. Plot data asli kecepatan angin zonal di Pontianak dengan hasil prediksi ARIMA(2,0,0) 1 Oktober 2010-31 Desember 2010



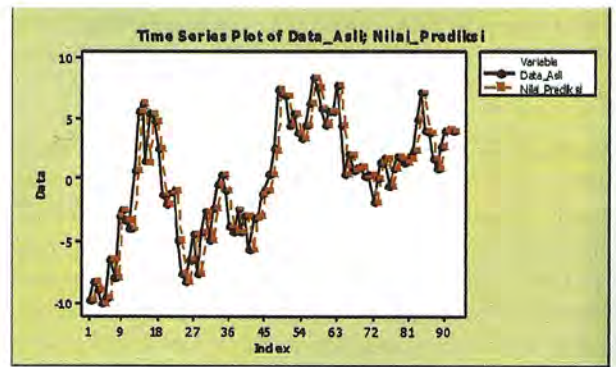
Gambar 13. Plot data asli kecepatan angin zonal di Manado dengan hasil prediksi ARIMA (2,1,2) periode 1 Oktober 2010 -31 Desember 2010

Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa plot data prediksi mendekati plot data asli dengan nilai r sebesar 0,785. Hasil prediksi ini cukup baik karena menghasilkan galat rata-rata yang kecil yaitu sebesar 0.042 dan RMSE sebesar 0.084.

Analisis yang sama dilakukan untuk data kecepatan angin zonal di Biak. Hasil penaksiran model menunjukkan bahwa model ARIMA(0,1,3) merupakan model terbaik. Bentuk persamaan modelnya adalah: $Z_t = Z_{t-1} - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_3 a_{t-3}$, sehingga persamaannya menjadi $Z_t = Z_{t-1} - 0,00957 - 0,1385 a_{t-1} - 0,2385 a_{t-2} - 0,1874 a_{t-3}$

Model ARIMA(0,1,3) untuk kecepatan angin zonal di Biak artinya peramalan data angin zonal periode mendatang tergantung pada data satu waktu sebelumnya dan galat tiga waktu sebelumnya. Model tersebut dapat digunakan untuk menduga kecepatan angin satu hari ke depan. Hasil prediksi menunjukkan bahwa kecepatan angin pada tanggal 1 Januari 2011 masih didominasi angin baratan. Artinya kemungkinan curah hujan tetap tinggi.

Gambar 14 menunjukkan bahwa plot data perkiraan mendekati data asli dengan r sebesar 0,897. Nilai galat rata-rata dari model ini pun kecil yaitu sebesar 0.160, dan nilai RMSE sebesar 0.084 sehingga model ini dinilai baik.



Gambar 14. Plot data asli kecepatan angin zonal di Biak dengan hasil prediksi ARIMA (0,1,3) periode 1 Oktober 2010 -31 Desember 2010

4. Kesimpulan

Di kawasan Pontianak, Manado, dan Biak terdapat suatu sinyal MJO yaitu terjadinya osilasi kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb sekitar 45 harian.

Data kecepatan angin zonal pada lapisan 850 mb memiliki korelasi yang signifikan terhadap data indeks MJO global yaitu RMM1 dan RMM2 pada selang kepercayaan 95%, dimana koefisien determinasi (R^2) rata-rata melebihi 0.5. Hal tersebut mengindikasikan bahwa data kecepatan angin zonal cukup valid dan dapat digunakan untuk mendeteksi kejadian MJO di Indonesia. Model prediksi ARIMA untuk kecepatan angin zonal di Pontianak adalah ARIMA(2,0,0) dengan persamaan $Z_t = 0.33396 + 0.6792 Z_{t-1} + 0.0762 Z_{t-2} + a_t$. Model ini dapat digunakan untuk menduga kecepatan angin zonal tiga hari ke depan. Model prediksi untuk Manado adalah ARIMA(2,1,2) dengan persamaan $Z_t = 1.4472 Z_{t-1} - 0.2842 Z_{t-2} - 0.5847 a_{t-1} - 0.3883 a_{t-2}$, yang dapat digunakan untuk menduga kecepatan angin zonal dua hari ke depan, sedangkan untuk Biak adalah ARIMA(0,1,3) dengan persamaan $Z_t = Z_{t-1} - 0,00957 + 0,1385 a_{t-1} + 0,2385 a_{t-2} + 0,1874 a_{t-3}$ yang dapat digunakan untuk menduga kecepatan angin zonal satu hari ke depan.

Daftar Pustaka

- [1] Hermawan E. (2002). Perbandingan Antara Radar Atmosfer Khatulistiwa dengan Middle and Upper Atmosphere Radar dalam Pemantauan Angin Zonal dan Angin Meridional. *Warta LAPAN*, 4 (1), 8-16.
- [2] Madden R. A., & Julian P., (1971). Detection of a 40±50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J Atmos Sci*, 28, 702-708.
- [3] Madden R. A., & Julian P., (1994). Observations of the 40-50 day tropical oscillation. *Month Weather Rev*, 122, 814-837.
- [4] Seto T. H., (2004). Pengaruh Osilasi Madden-Julian Terhadap Variabilitas Curah Hujan Tropis.

- [5] Rui H., & Wang B., (1990). Development characteristics and Dynamic Structure of Tropical Intraseasonal Convection Anomalies. *American Meteorological Society*, 47, 357-379.
- [6] Wheeler M., & Hendon H. H., (2004). An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development Of An Index For Monitoring And Prediction. *Month Weather Rev*, 132, 1917-1932.
- [7] Evana L., (2009). Pengembangan Model Prediksi Madden-Julian Oscillation (MJO) Berbasis Hasil Analisis Data Real Time Multivariate MJO (RMM1 dan RMM2). Skripsi, FMIPA: Institut Pertanian Bogor.
- [8] Geerts B., & Wheeler M., (1998). The Madden-Julian oscillation. <http://www-das.uwo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/mjo.html>, diakses 12 Oktober 2011.
- [9] Aldrian, E., (2000). Pola hujan rata-rata bulanan wilayah Indonesia; tinjauan hasil kontur data penakar dengan resolusi ECHAM T-42. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 1(2), 113-123.
- [10] Seto T. H., (2002). Pengamatan Osilasi Madden Julian dengan Radar Atmosfer Equator (EAR) di Bukittinggi Sumatera Barat. *Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 3, 121-124.
- [11] Nurhayati N., (2007). Propagasi dan Struktur Vertikal MJO Indonesia Bagian Barat Berbasis Hasil Analisis Data EAR, BLR Radiosonde dan NCEP/NCAR Reanalysis. FMIPA: Institut Pertanian Bogor.
- [12] Matthews A. J., (2000). Propagation mechanisms for the Madden-Julian Oscillation. *Quart J Roy Meteor Soc*, 126, 2637-2652.
- [13] Kubota. H. *et.al.* (2006). Observations Of The Structures Of Deep Convections And Their Environment During The Active Phase Of An Madden-Julian Oscillation Event Over Equatorial Western Pacific. *Jurnal Of The Meteorology Society Of Japan*, 84 (1), 115.
- [14] Donald A., Meinke H., Power B., Maia A. H. N., Wheeler M. C., White N., Stone R. C., & Ribbe J. (2006). Near-global impact of the Madden-Julian oscillation on rainfall. *Geophy. Res. Lett.*, 33, L09704, doi: 10.1029/2005GL025155.
- [15] Zhang C., (2005). Madden-Julian Oscillation. *Rev. Geophys.* 43. RG2003, doi: 10.1029/2004RG000158.
- [16] Junaeni, I., (2006). Analisis Variabilitas Curah Hujan wilayah Indonesia berdasarkan Pengamatan Tahun 1975-2004. *Jurnal Matematika UNDIIP*, 9 (2).