

# **Analisis Spektrum Wavelet dalam Mengidentifikasi Terjadinya Fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO) di atas Kawasan Kototabang dan Sekitarnya**

**Eddy Hermawan**

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN, Bandung

E-mail : eddy@bdg.lapan.go.id

## **Abstrak**

Dalam makalah ini dilakukan analisis fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO) yang melewati Kototabang dan sekitarnya menggunakan data *Boundary Layer Radar* (BLR) dan *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) periode September-Desember 2001 sebagai kelanjutan dari studi yang telah dilakukan oleh Indriaty, T. (2005). Penelitian ini penting dilakukan mengingat MJO diduga memiliki peran aktif yang cukup besar terhadap distribusi curah hujan harian yang terjadi di beberapa wilayah Kototabang dan sekitarnya. Analisis data dibagi menjadi dua tahap, yaitu analisis secara profil vertikal menggunakan data BLR dan EAR, dan analisis horizontal permukaan menggunakan data curah hujan harian masing-masing untuk stasiun BMG-Sicincin ( $0.6^{\circ}$  LS;  $100.22^{\circ}$  BT), stasiun BMG-Padangpanjang ( $0.5^{\circ}$  LS;  $100.41^{\circ}$  BT), dan SPD (Stasiun Pengamat Dirgantara)-Kototabang ( $0.2^{\circ}$  LS;  $100.32^{\circ}$  BT). Hasil analisis profil vertikal dari gambar vektor angin zonal-vertikal EAR menunjukkan bahwa adanya pergerakan angin dominan ke arah timur di lapisan permukaan dan ke arah barat di lapisan atas untuk periode September-Desember 2001. Hal ini sesuai dengan teori skema perpotongan MJO sepanjang ekuator. Hasil dari data BLR juga menunjukkan konsistensi dengan data EAR. Analisis juga menunjukkan adanya fenomena MJO yang melewati Kototabang sekitar pertengahan November hingga pertengahan Desember 2001. Sementara itu, analisis horizontal permukaan dengan menggunakan teknik wavelet spektrum pada tiga lokasi pengamatan yang berbeda, yaitu stasiun BMG-Sicincin, stasiun BMG-Padangpanjang, dan SPD-Kototabang, hasilnya menunjukkan adanya osilasi sekitar 48 harian, dimana hasil ini konsisten dengan hasil yang telah dilakukan oleh Matthews (2000). Tetapi, tetapi ketika dilakukan korelasi silang (*cross-correlation*) antara data angin zonal dengan data curah hujan, hasilnya menunjukkan nilai korelasi yang tidak signifikan (nilainya sangat kecil). Maka aktivitas curah hujan di permukaan tidak didominasi oleh fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO).

Kata kunci : Wavelet, MJO, curah hujan harian

## **Abstract**

This paper is concerning the analysis *Madden Julian Oscillation* (MJO) phenomena crossing over Kototabang and surrounding areas using *Boundary Layer Radar* (BLR) and *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) data from September until December 2001 to continue Indriaty, T's research (2005). This research is very important, considering active role of *Madden Julian Oscillation* on daily rainfall intensity distribution over Kototabang and surrounding area. Data analysis is divided into two steps, first is the vertical profile analysis using BLR and EAR data. The second step is surface analysis using rainfall intensity data from three weather stations in West Sumatera, which are BMG-Sicincin stations ( $0.6^{\circ}$  LS;  $100.22^{\circ}$  BT), BMG-Padangpanjang stations ( $0.5^{\circ}$  LS;  $100.41^{\circ}$  BT), and SPD (Stasiun Pengamat Dirgantara)-Kototabang ( $0.2^{\circ}$  LS;  $100.32^{\circ}$  BT). The result of vertical profile analysis of zonal-vertical wind vector EAR figure shows dominant eastward wind movement in surface layer and westward wind movement in upper layer during September-December 2001 period. This is consistent with schematic theory of the MJO- cross section along equator. The result of BLR data also shows consistency with EAR data. The analysis also described MJO phenomena

which crossing over Kototabang around mid November until mid December 2001. Meanwhile, surface horizontal analysis using wavelet spectrum technique on three different locations, which are BMG-Padangpanjang stations, BMG-Padangpanjang stations, and SPD (Stasiun Pengamat Dirgantara)-Kototabang, showed around 48 days oscillation. It was consistent with the result from Matthews (2000). Detailed informations what is MJO, why we used the wavelet technique, and how the comparison between wavelet and FFT techniuie will be discussed in this simple paper.

Keywords : Wavelet, MJO, daily rainfall

## 1. PENDAHULUAN

Iklm di kawasan tropis tidak mudah diprediksi seperti halnya iklim di lintang tengah. Hal ini disebabkan variabel cuaca di lintang tengah (awan, presipitasi, angin, temperatur dan tekanan) diatur oleh gelombang Rossby di lapisan troposfer atas dan berinteraksi dengan iklim di permukaan dalam suatu proses yang disebut instabilitas baroklinik. Di daerah tropis tidak ada ketidakstabilan dominan atau pergerakan gelombang. Oleh karena itu cuaca di daerah tropis hanya dapat di prediksi untuk periode 1 hingga 10 hari kemudian. Hingga saat ini, variasi iklim tropis dalam skala waktu kurang dari setahun umumnya dianggap acak/berubah-ubah.

Roland Madden dan Paul Julian (1971) menemukan osilasi 30 hingga 60 hari ketika mereka menganalisis anomali angin zonal di Pasifik Tropis yang dikenal dengan *Madden Julian Oscillation* (MJO). Mereka menggunakan data tekanan selama 10 tahun di Pulau Canton ( $2.8^{\circ}$  LS di Pasifik) dan data angin di lapisan atas Singapura. Sejak peristiwa El-Nino pada tahun 1982-1983, variasi frekuensi rendah di wilayah tropis, baik itu waktu *intra-annual* (kurang dari setahun) dan *inter-annual* (lebih dari setahun), mendapat banyak perhatian para ilmuwan dan hubungannya dengan MJO berkembang dengan sangat cepat.

MJO ternyata juga menunjukkan osilasi antara 40 hingga 50 hari yang menjadikan fluktuasi *intra-annual* untuk menjelaskan variasi iklim di wilayah tropis. MJO mempengaruhi seluruh lapisan troposfer tropis, tetapi lebih terlihat jelas di Pasifik Barat dan Hindia. MJO melibatkan variasi angin, *sea surface temperature* (SST), perawanan, dan hujan. Karena kebanyakan curah hujan tropis adalah konvektif, dan puncak awan konvektif sangat dingin (memancarkan sedikit radiasi gelombang panjang), maka fenomena MJO terlihat jelas pada variasi *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) yang terukur dari sensor inframerah pada satelit.

Atas dasar pemikiran itulah maka studi ini dilakukan dengan tujuan utama mengidentifikasi terjadinya fenomena MJO berbasis hasil analisis data curah hujan harian yang ada di kawasan Kototabang dan sekitarnya menggunakan teknik analisis spektrum *wavelet*. Hal ini dilakukan atas dasar hipotesis bahwa fenomena MJO terkait erat dengan pergerakan cluster awan konvektif dari arah Barat menuju Timur sepanjang Pasifik Tropis yang ditandai dengan adanya konvergensi pada lapisan bawah (troposfer) dan divergensi pada lapisan atas (stratosfer bawah), terutama pada saat bulan basah, seperti hasil kajian yang telah dilakukan oleh Indriaty, T. (2005).

## 2. TEORI DASAR

### 2.1. Madden Julian Oscillation (MJO)

Penjalaran Osilasi ke arah timur dengan periode 30 hingga 60 harian di atmosfer tropis pertama kali diteliti oleh Rolland Madden dan Paul Julian pada tahun 1971 (Chang & Lim, 1986). Osilasi ini merupakan sirkulasi skala besar yang terjadi di daerah ekuator dan berpusat di Samudera Hindia dan bergerak ke arah timur antara  $10^{\circ}$  LU dan  $10^{\circ}$  LS. Fenomena inilah yang biasa disebut dengan *Madden Julian Oscillation* (MJO). Walaupun demikian, ada dua

mekanisme utama yang dapat diterima untuk menjelaskan tentang mekanisme MJO ini, yaitu CISK (*Conditional Instability of the Second Kind*), (Lau and Peng, 1987) dan *Evaporation-wind feedback*, (Neelin, et.al., 1987). Pada mekanisme CISK, dua kategori telah diusulkan untuk menjelaskan penelitian osilasi *intra-annual* tropis yang prediksi utamanya antara 30-50 hari, yaitu :

- Berdasarkan penjalaran gelombang Kelvin ke arah Timur yang ditandai dengan pemanasan awan cumulus.
- Berdasarkan interaksi dengan osilasi tetap pada keadaan dasar.

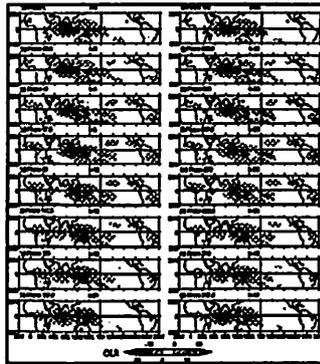
Meskipun dua buah kategori telah diajukan untuk menjelaskan osilasi 30 hingga 50 hari, pemahaman teoritis untuk fenomena ini belum cukup. Kategori pertama menginterpretasikan osilasi sebagai propagasi gelombang Kelvin ke arah timur. Karena teori gelombang ekuatorial (Lindzen, 1967) memperkirakan panjang gelombang vertikal yang sangat pendek untuk kecepatan propagasi yang lambat, sebuah teori dalam kategori ini harus menghasilkan struktur vertikal yang terlihat jelas.

Percobaan awal dilakukan oleh Chang (1977), yang menunjukkan bahwa ketika pemanasan awan cumulus dan penghilangan (disipasi) awan dilakukan, gelombang Kelvin dengan kecepatan propagasi yang lambat akan meningkat dikarenakan adanya keseimbangan antara pemanasan dan penghilangan tersebut. Mode Kelvin yang lambat ini menunjukkan kemiringan fase (*phase tilt*) barat laut-tenggara (timur laut-barat daya) di Belahan Bumi Utara (Belahan Bumi Selatan), dan menghasilkan suatu yang cocok dengan propagasi ke arah kutub. Dari sudut pandang teori CISK, Chang (1977) menjelaskan mode Kelvin dapat dihargai sebagai jenis dari *mode mild* CISK dimana pemanasan terdistribusi sehingga generasi energi CISK diseimbangkan oleh penghilangan (disipasi).

Kategori ke dua mempertimbangkan osilasi sebagai hasil dari eksitasi/gangguan dari osilasi stasioner pada persamaan dasar. Webster (1983) menunjukkan bahwa osilasi *quasi-fortnightly* bisa didapat dari siklus hidrologi pada model monsun; Goswami dan Shukla (1984) menemukan bahwa interaksi antara konveksi dan sirkulasi zonal simetrik dapat mengakibatkan osilasi *intraannual* (kurang dari setahun); Yamagata dan Hayashi (1984), Salby dan Garcia (1986) mempertimbangkan respon untuk menentukan lokasi pemanasan dan menemukan respon sirkulasi Walker (sirkulasi atmosfer zonal) yang menyerupai osilasi 30-50 hari; serta Anderson dan Stevens (1986) menemukan beberapa mode frekuensi rendah pada sirkulasi Hadley (sirkulasi atmosfer meridional). Tetapi bagaimanapun studi-studi ini secara umum tidak menjelaskan asimetri yang hanya berpropagasi menuju ke arah timur.

Dua studi model numerik global yaitu, Lau dan Peng (1986) dan Hayashi dan Sumi (1986), memberikan pandangan menarik terhadap fenomena yang memberikan dukungan kuat pada propagasi gelombang Kelvin. Pada model simulasi mereka; tipe pemanasan laten CISK membentuk gangguan ekuatorial sendiri (*self-sustained*) yang berpropagasi ke arah timur dengan kecepatan sekitar 20 m/s. Sirkulasi skala zonal sebagian besar memiliki angka gelombang (*wavenumber*) satu, tetapi gerakan keatas (*upward*) dan pemanasan konvektif terkonsentrasi pada interval longitudinal  $< 3000$  km. Gangguan-gangguan ini mempunyai corak keseluruhan yang menyerupai penelitian osilasi 30-50 hari. Struktur keseluruhannya memperlihatkan bahwa mereka berhubungan dengan propagasi gelombang Kelvin, meskipun kecepatan propagasinya yang entah bagaimana lebih cepat dari yang diteliti, tapi lebih lambat daripada gelombang-gelombang Kelvin bebas pada skala vertikal yang serupa.

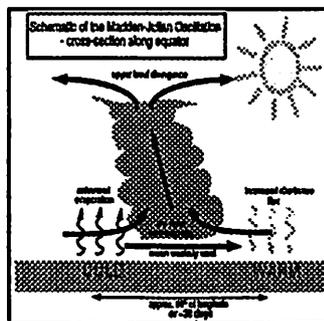
Matthews A.J (2000) mengatakan bahwa gugus-gugus awan tumbuh di Samudera Hindia lalu bergerak ke arah timur dan membentuk siklus MJO. Berikut merupakan gambar siklus MJO yang dimaksud (Gambar 2.1.1.)



Gambar 2.1.1 Siklus MJO (Matthews, 2000)

Gambar diatas menunjukkan siklus MJO dengan interval  $22.5^{\circ}$  (selama 3 harian). Pada awal siklus MJO (fase  $a=0^{\circ}$ ), terlihat bahwa konveksi tumbuh dan berkembang di wilayah Samudera Hindia dan daerah kering (*supression*) berada di wilayah Samudera Pasifik. Konveksi dan supresi ini bergerak menuju timur, hingga pada fase  $a=180^{\circ}$  posisinya berkebalikan, yaitu konveksi berada di Samudera Pasifik dan supresi berada di Samudera Hindia. Kondisi ini akan bergerak juga ke arah timur hingga akhirnya kembali pada fase  $a=0^{\circ}$ , dimana konveksi bearada di Samudera Hindia dan supresi berada di Samudera Pasifik. Penjalaran ini terjadi terus menerus dengan periode 30-60 hari dengan memberikan efek basah dan kering pada daerah yang dilewati.

Penjalaran MJO ke arah timur mengalami hambatan saat melewati pulau Sumatera akibat faktor orografik. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas konveksi di wilayah Sumatera berperan penting dalam mempengaruhi siklus MJO (Seto,2003). Gambar 2.1.2 di bawah merupakan skema MJO yang dilihat dari penampang melintang sepanjang ekuator di wilayah Samudera Hindia – Pasifik Barat :



Gambar 2.1.2 Skema perpotongan MJO sepanjang ekuator (<http://www.met.rdg.ac.uk/~pete/mjo.html>)

Gambar 2.1.2 menunjukkan aktivitas konvergen (kenaikan massa udara) pada lapisan bawah yang membentuk awan-awan konvektif yang bergerak ke arah timur. dan pada lapisan atasnya terjadi divergen (penurunan massa udara) di sepanjang ekuator.

## 2.2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam studi ini meliputi :

- 2.2.1. Data curah hujan harian dari MAWS (*Mini Automatic Weather Station*) wilayah Kototabang yang diperoleh dari *Research Institute for Suistainable Humanosphere (RISH)*, *Kyoto University* dan *Shimane University*, Jepang, periode September 2001 – Desember 2001.

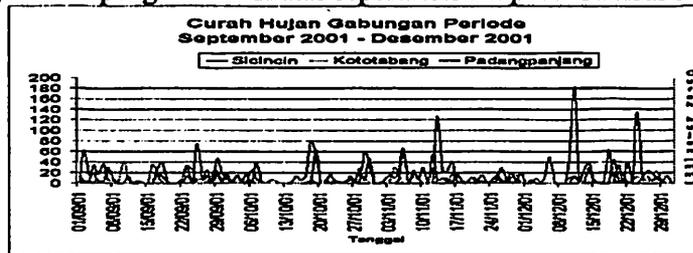
2.2.2. Data curah hujan harian stasiun BMG Sicincin Sumatera Barat ( $0.6^{\circ}$  LS;  $100.22^{\circ}$  BT) dan stasiun BMG Padangpanjang Sumatera Barat ( $0.5^{\circ}$  LS;  $100.41^{\circ}$  BT) periode September hingga Desember 2001.

2.2.3. Data *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) dalam bentuk kontur intensitas curah hujan secara global yang kemudian dipilih hanya untuk wilayah Sumatera saja periode September hingga Desember 2001.

Data-data tersebut kemudian dibuat grafik distribusi curah hujan untuk tiga lokasi pengamatan dengan periode September hingga Desember 2001. Hasilnya dibandingkan dengan data GPCP bulanan dengan waktu pengamatan yang sama. Setelah itu dibuat analisis waveletnya untuk periode September hingga Desember 2001 menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB 6.5.

### 3. Hasil dan Pembahasan

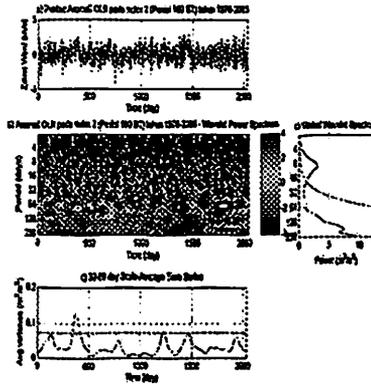
Sehubungan fenomena MJO tidak hanya terfokus pada aktivitas pergerakan angin saja, maka analisis ditunjukkan pula secara spasial dengan penekannya pada data *time-series* curah hujan harian di tiga lokasi pengamatan di atas seperti terlihat pada Gambar 3.1. berikut.



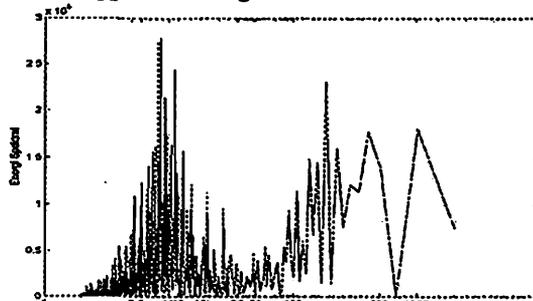
Gambar 3.1. Grafik distribusi curah hujan periode September hingga Desember 2001

Dari Gambar 3.1. diatas dapat dilihat bahwa grafik distribusi curah hujan untuk lokasi stasiun Sicincin, Kototabang, dan Padangpanjang memiliki pola osilasi yang hampir sama dimana mulai bulan Oktober sampai Desember 2001, curah hujan di tiga lokasi tersebut mengalami peningkatan, walaupun nilai curah hujannya tidak maksimum. Hasil ini konsisten dengan hasil data GPCP pada periode yang sama bahwa pada bulan tersebut di wilayah Sumatera Barat memiliki nilai intensitas curah hujan yang tinggi (bulan basah).

Data curah hujan di tiga lokasi pengamatan (Sicincin, Padangpanjang, dan Kototabang) kemudian dibuat analisis waveletnya untuk periode yang sama, yaitu September hingga Desember 2001, menggunakan Matlab 6.5 dengan metode *Mother wavelet 'Morlet'*. Hasilnya menunjukkan gambar wavelet data curah hujan dari stasiun BMG-Sicincin, stasiun BMG-Padangpanjang, dan MAWS-Kototabang, dimana urutan periode osilasi yang dihasilkan (yaitu sekitar 48 harian) relatif lebih kuat terjadi di wilayah stasiun BMG-Sicincin yang diikuti dengan stasiun BMG-Padangpanjang dan terakhir wilayah Kototabang. Urutan ini dilihat dari *peak dominant* yang ada pada gambar *Global Wavelet Spectrum* untuk masing-masing lokasi pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas curah hujan yang terjadi pada saat itu, tidak terpengaruh langsung dengan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) yang ada di Kototabang. Yang menarik disini adalah bahwa hasil ini ternyata juga konsisten dengan data anomali pentad radiasi gelombang panjang yang dikenal dengan istilah *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) baik menggunakan teknik *wavelet* ataupun *Fast Fourier Transform* (FFT) seperti terlihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2. Global wavelet spectrum daripada data pentad anomali OLR pada posisi 100°BT periode 1978 hingga 2004 dengan osilasi dominan sekitar 48 harian



Gambar 3.3. Sama dengan Gambar 3.2., tetapi dengan teknik FFT dimana terlihat adanya osilasi dominan sekitar 48 harian.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisis secara keseluruhan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu ;

- Ditemukannya indikasi fenomena MJO yang melintasi kawasan Kototabang dan sekitarnya berdasarkan hasil analisis data curah hujan harian selama periode September hingga Desember 2001 baik menggunakan teknik *wavelet* maupun FFT dengan osilasi sekitar 48 harian. Hasil ini konsisten dengan hasil kajian Matthews (2000) ketika dia menganalisis pergerakan awan-awan konvektif dengan data OLR-nya, yakni sekitar 48 harian.
- Untuk analisis yang lebih tepat dan akurat maka pembahasan MJO dengan analisis spasial dapat dilakukan dengan mengambil lokasi pengamatan yang lebih luas, misalnya untuk seluruh stasiun yang tersebar di seluruh wilayah Sumatera Barat, khususnya menggunakan analisis SPACE-TIME.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Asnani, G.C. 1993. *Tropical Meteorology : 30-5- day oscillations, 489-494*. Printed by NoblePrinters Pvt.Ltd. Pune-India.
- Chang & Lim. 1986. *A Possible Mechanism for the 30-50 Day Oscillations*. Paper at the International Conference on Monsoon and Mesoscale Meteorology. Taipei.
- Fukao, S., Hashiguchi, H., Yamamoto, M., Tsuda, T., Nakamura, N and Yamamoto, K.M. 2003. *Equatorial Atmosphere Radar (EAR) : System Description and First Result*. Radio Science Center for Space and Atmosphere, Kyoto University, Kyoto, Jepang.

- Hashiguchi, H. 1995. *Development of an L-Band Clear-Air Doppler Radar and Its Application to Planetary Boundary Layer Observation over Equatorial Indonesia*. Radio Science Center for Space and Atmosphere, Kyoto University, Jepang.
- Hidayati, Rini. 2001. *Masalah Perubahan Iklim di Indonesia Beberapa Contoh Kasus*. Makalah Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Indriaty, Toriqa. 2005. *Analisa Aktivitas Skala Meso Didaerah Kototabang dan Kaitannya dengan MJO berdasarkan data EAR*. Tugas akhir program studi Meteorologi. Departemen GM-ITB.
- Madden, R.A. and P.R, Julian. 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the Zonal wind in the tropical Pasific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708.
- Matthews A.J. 2000. *Propagation mechanisms for the Madden-Julian oscillation*. *Quart J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 2637-2652.
- Nurmayani, Henny. 2003. *Pemanfaatan Data BLR Pada Troposfer Bawah Untuk Analisis Awan Hujan Penyebab Banjir*. Studi Kasus Bencana Banjir Besar Jakarta 2002. Institut Pertanian Bogor.
- Seto, Tri Handoko. 2003. *MJO Musim Basah dan Pengaruhnya Terhadap Pola Konveksi Di Sumatera*. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, BPPT.
- Seto, Tri Handoko. 2003. *Baratan Kuat dan Pengaruhnya Terhadap Angin Vertikal dan Konveksi di Bukittinggi Sumatera Barat*. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, BPPT – Jakarta.
- Tauhid, Y.I et.al. 1993. *Teknologi Hujan Buatan Suatu Tantangan di bidang IPTEK*. *Majalah BPPT No. L IV/1993*. BPPT-Jakarta.
- Tjasyono, Bayong. 1999. *Klimatologi Umum*. Penerbit ITB. Bandung.
- Torrence and Compo. 1998. *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- <http://www.physics.adelaide.edu.au/atmospheric/bl.html>
- <http://www.met.rdg.ac.uk/~pete/mjo.html>
- [www.das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/mjo.html](http://www.das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/mjo.html)
- <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>