

# **PENENTUAN ONSET MONSUN DI WILAYAH INDO-AUSTRALIA BERDASARKAN LOMPATAN ITCZ**

**Didi Satiadi dan Ibnu Fathrio**

Peneliti Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

e-mail: satiadi@bdg.lapan.go.id

Diterima 13 September 2011; Disetujui 8 November 2011

## **ABSTRACT**

Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) is one of the factors affecting weather and climate in the Indonesia Maritime-Continent Region together with El-Niño Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole Mode (IODM), Madden Julian Oscillation (MJO), Tropical Cyclone (TC), and Monsoon. ITCZ influence weather and climate in the Indonesia region. Therefore, monitoring and understanding ITCZ behaviour become important as an alternative method to predict variability, anomaly, and extreme atmospheric conditions in Indonesia region. Research has been conducted to study the behaviour of ITCZ in the Indonesia maritime-continent region using Multi-Functional Transport Satellite (MTSAT) data from year 2006 to 2009. Identification of ITCZ and its movement was carried out based on minimum cloud top temperature observed by MTSAT satellite. Meridional movement of ITCZ were then compared to the Indo-Australia Monsoon Indices and rainfall from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. The results showed that ITCZ positions tend to exist at certain locations and experienced jumps to mid-latitude during seasonal change to dry and wet seasons. The results can be used to predict monsoon onset in the Indo-Australia region based on ITCZ jumps, and also to verify rainfall prediction models which in turn can be applied to hydrological models, environmental models, and rainfall-related disaster early warning systems.

Keywords: *ITCZ, Monsoon, Onset, Satellite, Indonesia*

## **ABSTRAK**

*Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ)* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi cuaca dan iklim di wilayah Benua-Maritim Indonesia bersama-sama dengan *El-Niño Southern Oscillation (ENSO)*, *Indian Ocean Dipole Mode (IODM)*, *Madden Julian Oscillation (MJO)*, *Tropical Cyclone (TC)*, dan Monsun. ITCZ berpengaruh pada cuaca dan iklim di wilayah Indonesia. Oleh karena itu, mengamati dan memahami

perilaku dari ITCZ menjadi sangat penting sebagai alternatif metode prediksi variabilitas, anomali, dan kondisi ekstrim atmosfer di wilayah Indonesia. Penelitian dilakukan untuk mempelajari perilaku ITCZ di wilayah Benua-Maritim Indonesia menggunakan data *Multi-Functional Transport Satellite* (MTSAT) dari tahun 2006 sampai dengan tahun 2009. Identifikasi ITCZ serta pergerakannya dilakukan berdasarkan suhu puncak awan minimum yang diamati melalui satelit MTSAT. Pergerakan meridional ITCZ tersebut kemudian dibandingkan dengan Indeks Monsun Indo-Australia dan data curah hujan dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi ITCZ cenderung berada di lokasi tertentu dan mengalami lompatan ke lintang menengah pada peralihan ke musim kemarau dan ke musim hujan. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi *onset* monsun di wilayah Indo-Australia, juga dapat digunakan untuk verifikasi model prediksi curah hujan yang selanjutnya dapat diaplikasikan untuk model-model hidrologi, model lingkungan, dan sistem peringatan dini bencana alam yang terkait dengan curah hujan.

Kata Kunci: *ITCZ, Monsun, Onset, Satelit, Indonesia*

## **1 PENDAHULUAN**

Indonesia memiliki iklim yang khas disebabkan oleh posisi Indonesia yang berada di wilayah tropis dan merupakan negara kepulauan sehingga biasa disebut sebagai Benua Maritim Indonesia. Daerah tropis menyimpan energi Matahari lebih besar sepanjang tahunnya jika dibandingkan dengan daerah lintang tinggi. Surplus energi ini selanjutnya menjadi pendorong terjadinya peristiwa konveksi sehingga konveksi ini akan lebih sering terjadi di benua maritim. Awan konveksi yang tumbuh didominasi oleh awan cumulonimbus yang dicirikan oleh hujan-hujan lebat.

Konveksi di daerah tropis juga merupakan bagian yang penting dalam sirkulasi atmosfer global. Surplus energi di daerah ekuatorial menjadikan wilayah tropis sebagai wilayah yang bertekanan rendah yang mengundang angin dari daerah lintang tinggi bergerak menuju ekuatorial dan selanjutnya menyebabkan konvergensi dan menyebabkan konveksi. Konvergensi ini akan diikuti divergensi angin yang membentuk pusat tekanan tinggi di lapisan atmosfer yang lebih tinggi dan selanjutnya angin tersebut akan bergerak ke bawah menuju daerah bertekanan rendah di daerah subtropik di belahan Bumi utara dan selatan. Sirkulasi ini dikenal sebagai sirkulasi Hadley yang ditemukan di kawasan 23,5° LU s.d 23,5° LS. Sirkulasi Hadley merupakan salah satu

bagian dari sirkulasi atmosfer untuk memenuhi kesetimbangan momentum di planet Bumi.

Salah satu bagian yang penting dalam sirkulasi Hadley adalah *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ), ditunjukkan oleh pita awan dan hujan yang mengelilingi Bumi dan memanjang dari barat ke timur. Pita ini tidak lain adalah pita konvergensi yang terbentuk di daerah ekuatorial akibat konvergensi angin yang datang dari daerah lintang tinggi belahan Bumi bagian utara dan selatan. ITCZ ini sangat penting untuk dipelajari karena dengan memahami dinamika dari ITCZ kita dapat memahami lebih dalam fenomena-fenomena atmosfer lainnya. Misalnya, lokasi dan intensitas ITCZ dapat mempengaruhi distribusi angin di wilayah tropis, yang merupakan faktor penting dalam interaksi atmosfer-laut, yang merupakan inti dari fenomena *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). Simulasi ENSO yang baik membutuhkan simulasi ITCZ yang baik, yang pada akhirnya membutuhkan pemahaman terorisitas yang baik mengenai ITCZ. Simulasi yang baik dari ITCZ juga berarti simulasi yang baik dari fenomena *Madden Jullian Oscillation* (MJO). MJO tidak lain adalah osilasi konveksi dengan periode 40-60 harian yang terjadi dalam ITCZ di Samudra Hindia dan Samudra Pasifik bagian barat. Banyak model-model atmosfer gagal dalam mensimulasikan MJO yang menguat saat belahan Bumi utara mengalami musim dingin. Hal ini disebabkan karena model atmosfer tersebut gagal dalam mensimulasikan variasi musiman dari pergerakan ITCZ sepanjang garis lintang. Pemahaman ITCZ yang lebih baik akan dapat menjelaskan mekanisme pembentukan siklon tropis dan fenomena *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) yang terjadi di Samudra Hindia. Pemahaman yang baik juga dapat meningkatkan akurasi prediksi hujan serta kondisi ekstrim yang akan terjadi seperti banjir, longsor dan kemarau melalui model prediksi cuaca dan iklim.

Teori awal yang dominan tentang ITCZ dikemukakan oleh Charney pada tahun 1971 yang dikembangkan berdasar pada teori *Convective Instability of Second Kind* (CISK) untuk menjelaskan mekanisme pembentukan siklon tropis. Teori ini menyebutkan bahwa konvergensi uap air di *boundary-layer* berperan sebagai pendorong untuk pertumbuhan konveksi, selanjutnya dengan semakin kuatnya konveksi akan memberikan efek balik dengan semakin memperkuat konvergensi pada *boundary layer*. Menurut Charney, gaya Coriolis yang besar berperan penting dalam mekanisme CISK atau pembentukan konveksi, sehingga ITCZ sangat mungkin ditemukan di daerah kutub yang memiliki gaya Coriolis yang besar. Namun karena suplai uap air yang lebih melimpah terdapat di ekuator, maka ITCZ cenderung terbentuk di dekat ekuator. Penelitian penting ITCZ selanjutnya

dilakukan oleh Pike di tahun 1971 dan Sumi pada tahun 1992. Pike dan Sumi melakukan eksperimen dengan model planet air dengan nilai suhu permukaan laut (selanjutnya disingkat sebagai SST yaitu *Sea Surface Temperature*) yang seragam dan menunjukkan keberadaan ITCZ yang tetap di dekat ekuator. Hal ini bertentangan dengan teori Charney yang memprediksi bahwa dengan SST seragam seharusnya terbentuk di kutub. Selanjutnya penjelasan mengenai alasan mengapa ITCZ cenderung terbentuk didekat ekuator yang sekaligus menjawab hasil eksperimen Sumi dan Pike diberikan oleh Chao (2000) dan Chao dan Chen (2004). Chao dan Chen juga menjawab permasalahan kemunculan ITCZ ganda dalam eksperimen yang dilakukan oleh Sumi yang bukan disebabkan oleh resolusi horisontal dari model yang digunakan oleh Sumi.

Eksperimen model planet air dilakukan oleh Chao (2000) dengan menggunakan Model Sirkulasi Global atau *Global Circulation Model* (GCM) telah menunjukkan betapa pentingnya fenomena ITCZ ini sekaligus menjawab persoalan-persoalan ITCZ sebelumnya. Chao (2000) menjelaskan bahwa pergerakan ITCZ terkait erat dengan perubahan musim atau monsun. Chao (2000) mengidentifikasi monsun dari ITCZ yang terletak di lokasi lintang lebih 10 derajat dari ekuator. Chao (2000) juga menunjukkan bahwa pergerakan utara-selatan ITCZ mengalami loncatan yang tiba-tiba dari ekuator menuju lintang yang lebih tinggi dan selanjutnya hal ini didefinisikan sebagai *onset* monsun. Teori monsun yang berdasarkan ITCZ ini sangat berbeda dengan teori klasik yang menjelaskan bahwa sirkulasi monsun disebabkan oleh perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Eksperimen yang dilakukan Chao (2000) telah membuktikan bahwa sirkulasi atmosfer terkait dengan monsun tetap terjadi meskipun tanpa kehadiran daratan. Kontras temperatur antara daratan dan lautan hanya memodifikasi formasi dari sirkulasi monsun dan mempengaruhi penentuan lokasi yang disukai oleh ITCZ untuk ditempati. Pergerakan ITCZ terkait dengan monsun ini dapat dijelaskan dengan memahami kesetimbangan antara dua buah gaya tarik yang bekerja pada ITCZ yang disebabkan oleh rotasi Bumi (gaya Coriolis) dan lokasi dari puncak dari suhu SST. Kesetimbangan antara dua tarikan gaya inilah yang akhirnya menentukan posisi-posisi yang disukai oleh ITCZ.

Eksperimen yang dilakukan Chao (2000) ini yang menjadi dasar penelitian ITCZ yang dilakukan dalam makalah ini. Perkembangan terbaru teknologi satelit untuk mengamati cuaca dan iklim telah memungkinkan para peneliti sains atmosfer untuk melahirkan suatu hipotesis baru mengenai sirkulasi monsun yang dapat dijelaskan melalui pergerakan ITCZ. Makalah ini akan membuktikan hasil

eksperimen yang dilakukan oleh Chao (2000) berbasis observasi menggunakan satelit *Multi-functional Transport Satellite* (MTSAT) yang dioperasikan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA). Makalah ini akan menunjukkan bahwa ITCZ cenderung menyukai posisi-posisi lintang tertentu dan mengalami lompatan tiba-tiba berkaitan dengan *onset* monsun dan peralihan musim. Dalam makalah akan dibahas sekilas tentang teori dasar yang akan menjelaskan dua gaya tarik utama yang bekerja pada ITCZ, dan analisa data satelit MTSAT untuk mengungkap perilaku ITCZ.

## 2 METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data liputan awan dari Satelit MTSAT kanal IR1 dengan panjang gelombang 10,3 – 11,3 mikrometer yang sensitif terhadap suhu puncak awan (*Cloud Top Temperature*) selama tahun 2006-2009 dengan resolusi waktu 1 jam dan resolusi spasial 4 km dengan domain pengamatan antara 70°LS-70°LU dan antara 80°BT-210°BT.
- Data harian Indeks Monsun Australia selama tahun 2006-2009.
- Data curah hujan rata-rata bulanan dari TRMM tipe 3B43 selama tahun 2006-2009.

Tabel 2-1 memperlihatkan spesifikasi satelit MTSAT yang digunakan.

Tabel 2-1: SPESIFIKASI SATELIT MTSAT

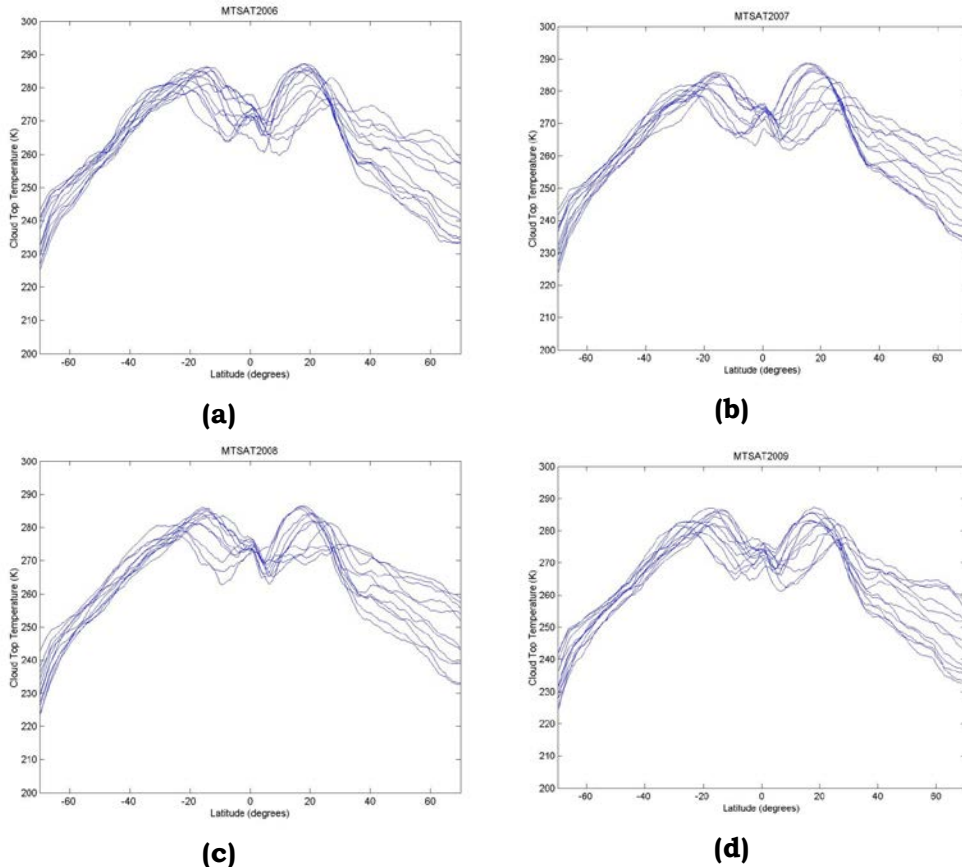
<b>PARAMETER</b>	<b>KETERANGAN</b>
Operator	Japan Meteorological Agency (JMA)
Tahun Peluncuran	2005
Orbit	Geostationer
Posisi	140 derajat timur
Ketinggian	35.800 km di atas katulistiwa
Instrumen Utama	Multispectral Imager
Panjang Gelombang	IR1 (10,3-11,3 $\mu\text{m}$ ), IR2 (11,5-12,5 $\mu\text{m}$ ), IR3 (6,5-7,0 $\mu\text{m}$ ), IR4 (3,5-4,0 $\mu\text{m}$ ), Visible (0,55-0,90 $\mu\text{m}$ )
Resolusi	1 km (VIS) dan 4km (IR), Brightness Level 10 bits (1024 gradation)
Frekuensi	S-Band (reception 2026-2035 MHz transmisi 1677-1695 MHz) UHF (reception 402 MHz transmisi 468 MHz)

Data dari satelit MTSAT adalah tingkat kecerahan (*brightness level*) 10-bit yang memberikan 1024 tingkat kecerahan yang berbeda dari setiap elemen gambar (*pixel*). Data tingkat kecerahan ini kemudian dikonversikan menjadi suhu puncak awan dalam Kelvin. Awan yang lebih tinggi memiliki suhu yang lebih rendah sehingga akan terlihat lebih terang pada citra satelit, sedangkan awan yang lebih rendah akan memiliki suhu yang lebih tinggi sehingga akan terlihat lebih gelap.

Data dari satelit MTSAT merupakan data jam-jaman (*hourly*) yang kemudian dirata-ratakan menjadi data rata-rata bulanan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bulanan (Januari s.d. Desember) selama empat tahun pengamatan (2006 s.d 2009) untuk domain wilayah antara  $70^{\circ}\text{LS}$ - $70^{\circ}\text{LU}$  dan antara  $80^{\circ}\text{BT}$ - $210^{\circ}\text{BT}$ . Data ini kemudian dirata-ratakan terhadap zonal untuk mendapatkan profil suhu rata-rata zonal ( $80^{\circ}\text{BT}$ - $210^{\circ}\text{BT}$ ) terhadap lintang ( $70^{\circ}\text{LS}$ - $70^{\circ}\text{LU}$ ). Posisi rata-rata lintang ITCZ didefinisikan sebagai suhu yang paling rendah (minimum) pada profil ini antara  $20^{\circ}\text{LS}$ - $20^{\circ}\text{LU}$ . Hal ini dilakukan dengan asumsi bahwa zona konvergensi dari sirkulasi Hadley menghasilkan awan-awan yang paling tinggi sehingga memberikan suhu puncak awan yang paling rendah (minimum). Dengan demikian, posisi rata-rata lintang ITCZ untuk setiap bulan diperoleh, sehingga pergerakan posisi lintang ITCZ setiap tahunnya dapat diperoleh. Pergerakan posisi ITCZ ini kemudian dibandingkan dengan data rata-rata bulanan indeks monsun Indo-Australia dan data curah hujan rata-rata bulanan dan rata-rata wilayah Indo-Australia yang diperoleh dari satelit TRMM tipe 3B43.

### **3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

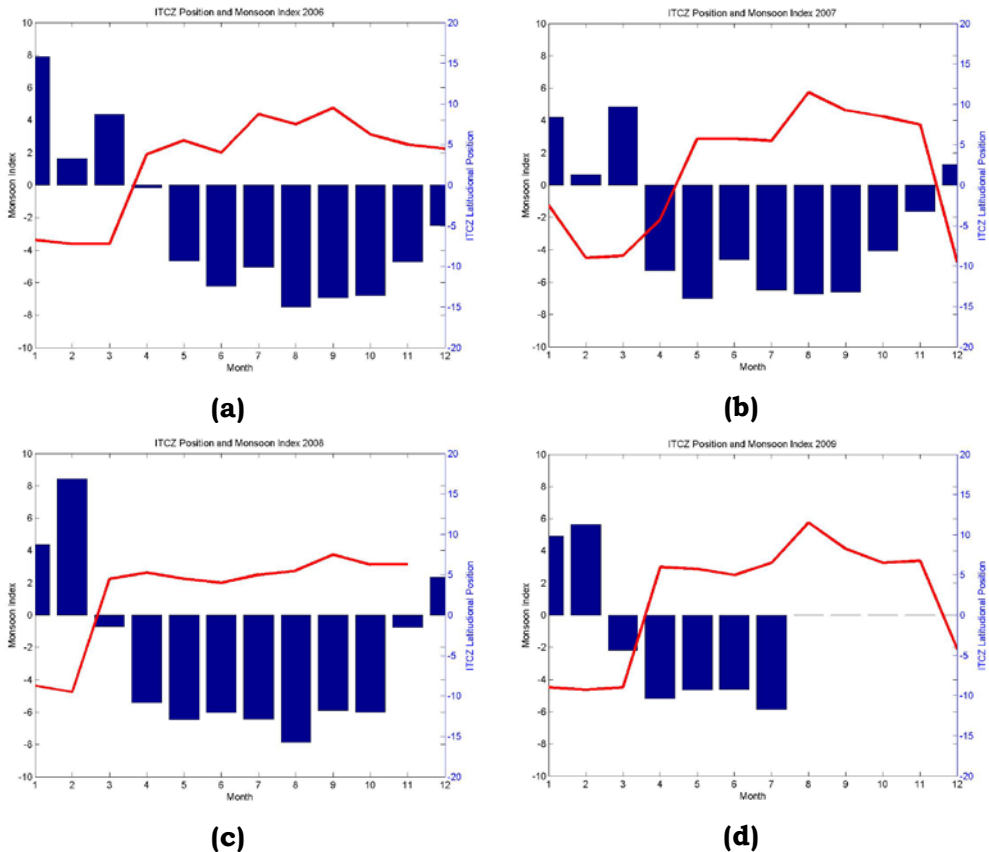
Profil rata-rata zonal dari suhu puncak awan menurut satelit MTSAT merupakan hasil-hasil awal yang ingin diketahui dari penelitian ini. Gambar 3-1 memperlihatkan profil suhu puncak awan rata-rata zonal ( $80^{\circ}\text{BT}$ - $210^{\circ}\text{BT}$ ) dan bulanan (Januari s.d Desember) terhadap lintang ( $70^{\circ}\text{LS}$ - $7^{\circ}\text{LU}$ ) untuk tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008, dan (d) 2009.



Gambar 3-1: Profil Suhu Puncak Awan Rata-Rata Bulanan (Januari s.d. Desember) dan Rata-Rata Zonal ( $80^{\circ}\text{BT}$ - $210^{\circ}\text{BT}$ ) Terhadap Lintang ( $70^{\circ}\text{LS}$ - $7^{\circ}\text{LU}$ ) Tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008, dan (d) 2009

Gambar 3-1 memperlihatkan bahwa suhu puncak awan pada umumnya mengalami minimal antara  $20^{\circ}\text{LS}$  dan  $20^{\circ}\text{LU}$  yang mengindikasikan posisi dari ITCZ dengan puncak-puncak awan yang tinggi dan dengan demikian suhu puncak awan yang paling rendah. Gambar 3-1 juga memperlihatkan bahwa pada umumnya setiap tahun memiliki dua minimal suhu puncak awan antara  $20^{\circ}\text{LS}$  dan  $20^{\circ}\text{LU}$ . Hal ini mengindikasikan distribusi bimodal dari ITCZ di sebelah selatan dan sebelah utara dari garis katulistiwa. Gambar 3-1 juga memperlihatkan bahwa profil suhu puncak awan di sebelah selatan katulistiwa pada umumnya relatif lebih seragam setiap tahunnya dibandingkan dengan suhu puncak awan di sebelah utara katulistiwa yang memperlihatkan variasi yang relatif lebih besar setiap tahunnya.

Dari Gambar 3-1 di atas dapat dilihat bahwa posisi lintang ITCZ rata-rata setiap bulannya dapat diidentifikasi dengan jelas berdasarkan suhu puncak awan minimum. Selanjutnya, yang ingin diketahui adalah bagaimana posisi lintang ITCZ rata-rata bulanan tersebut bergerak atau berevolusi dari bulan ke bulan. Gambar 3-2 memperlihatkan deret waktu dari nilai rata-rata bulanan dari posisi lintang ITCZ (garis merah) dan indeks monsun Indo-Australia (batang biru) selama tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008 dan (d) 2009.



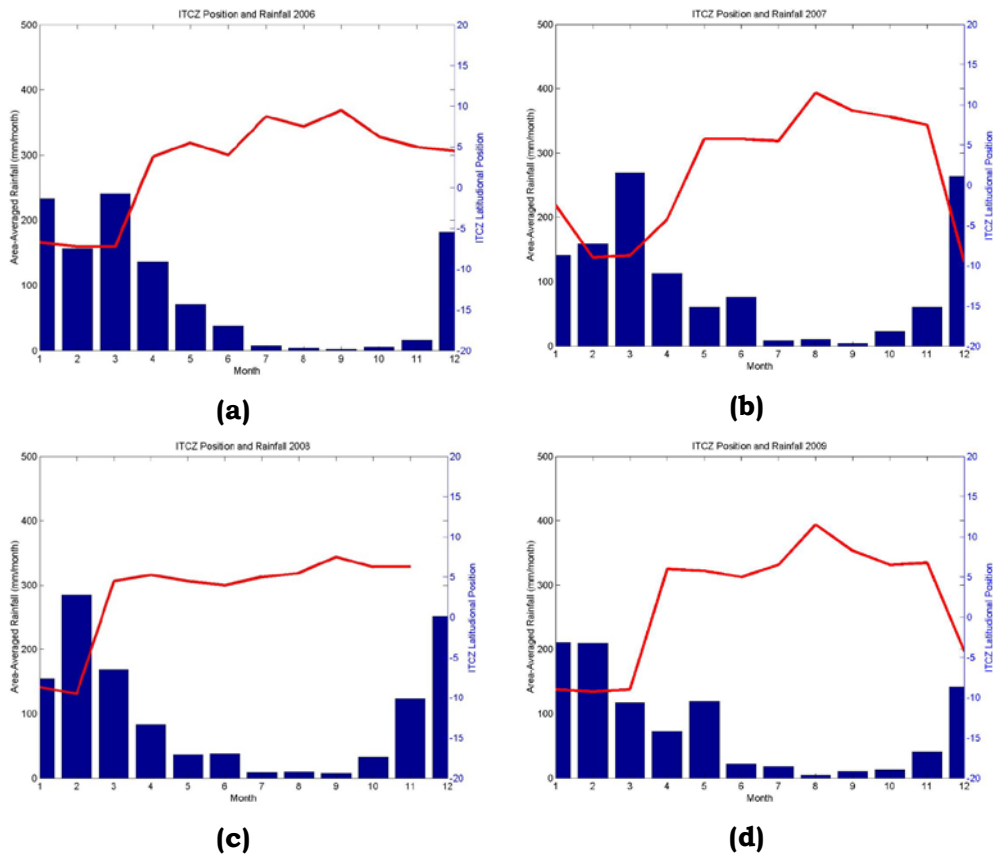
Gambar 3-2: Deret Waktu Rata-Rata Bulanan Posisi Lintang ITCZ (garis merah) dan Indeks Monsun Indo-Australia (batang biru) Selama Tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008, (d) 2009

Gambar 3-2 memperlihatkan bahwa gerakan meridional (utara-selatan) tahunan dari ITCZ tidak selalu berlangsung bertahap (*gradual*) tetapi pada waktu-waktu tertentu mengalami lompatan ke arah kutub (utara atau selatan). Gambar 3-2 juga memperlihatkan bahwa ketika ITCZ melompat dari selatan ke utara, indeks monsun Indo-Australia cenderung berubah dari positif ke negatif. Sebaliknya, ketika ITCZ



melompat dari utara ke selatan, indeks monsun Indo-Australia cenderung berubah dari negatif ke positif. Dengan demikian, Gambar 2 di atas membuktikan bahwa pergerakan ITCZ hasil pengamatan satelit MTSAT selama siklus tahunannya mengalami lompatan yang berkaitan dengan perubahan indeks monsun Indo-Australia.

Selanjutnya, yang ingin diketahui dari penelitian ini adalah hubungan antara lompatan ITCZ dengan curah hujan rata-rata di wilayah Indo-Australia ( $40^{\circ}\text{BT}$ - $110^{\circ}\text{BT}$ ,  $15^{\circ}\text{LS}$ - $5^{\circ}\text{LS}$ ). Gambar 3-3 memperlihatkan deret waktu dari nilai rata-rata bulanan dari posisi lintang ITCZ (garis merah) dan curah hujan rata-rata wilayah monsun Indo-Australia (batang biru) dari satelit TRMM selama tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008 dan (d) 2009.



Gambar 3-3: Deret Waktu Rata-Rata Bulanan Posisi Lintang ITCZ (garis merah) dan Curah Hujan Rata-Rata Wilayah Monsun Indo-Australia (batang biru) Selama Tahun (a) 2006, (b) 2007, (c) 2008, (d) 2009

Gambar 3-3 memperlihatkan bahwa ketika ITCZ melompat dari selatan ke utara, curah hujan di wilayah monsun Indo-Australia cenderung menurun. Sebaliknya, ketika ITCZ melompat dari utara ke selatan, curah hujan di wilayah Monsun Indo-Australia cenderung meningkat.

Hasil yang diperlihatkan pada Gambar 3-2 dan Gambar 3-3 selama empat tahun terakhir (2006-2009) memberikan suatu kemungkinan untuk menggunakan lompatan meridional dari ITCZ yang dipantau oleh satelit MTSAT sebagai pertanda dari *onset* monsun di wilayah Indo-Australia. Pergantian musim di berbagai tempat di wilayah ini diperkirakan terjadi setelah lompatan meridional dari ITCZ.

#### **4 KESIMPULAN**

Hasil pengamatan dari satelit MTSAT pada tahun 2006 s.d 2009 memperlihatkan bahwa posisi lintang ITCZ pada umumnya memiliki distribusi bimodal dan cenderung berada di lokasi tertentu di sebelah utara dan selatan garis katulistiwa yang merupakan atraktor ITCZ. Hasil pengamatan juga memperlihatkan bahwa pergerakan ITCZ setiap tahunnya tidak selalu bertahap atau gradual, tetapi pada waktu-waktu tertentu mengalami lompatan ke arah kutub utara maupun kutub selatan, yang berkaitan dengan *onset* monsun atau peralihan musim.

Perbandingan antara lompatan ITCZ dengan indeks monsun Indo-Australia dan curah hujan rata-rata wilayah Indo-Australia (40°BT-110°BT, 15°LS-5°LS) dari satelit TRMM memperlihatkan bahwa lompatan ITCZ berkaitan dengan perubahan tanda indeks monsun Indo-Australia dan kenaikan atau penurunan curah hujan di wilayah Indo-Australia.

Hasil pengamatan tersebut mendukung hasil percobaan oleh Chao (2000), Chao dan Chen (2001, 2004) menggunakan model sirkulasi umum, yang memperlihatkan bahwa ITCZ cenderung berada di lokasi-lokasi tertentu yang ditentukan oleh atraktor-atraktor ITCZ, yaitu gaya Coriolis dan puncak suhu permukaan laut. Hasil-hasil percobaan Chao (2000), Chao dan Chen (2001, 2004) dengan model sirkulasi umum juga memperlihatkan bahwa gerakan meridional tahunan ITCZ tidak selalu bertahap, tetapi mengalami lompatan-lompatan ke arah kutub yang berkaitan dengan *onset* monsun.

## DAFTAR RUJUKAN

- Chao WC, 2000. *Multiple Quasi-equilibria of the ITCZ and the Origin of Monsoon Onset*, J Atmos Sci 57: 641-651.
- Chao WC, Chen B., 2001. *Multiple Quasi-equilibria of the ITCZ and the Origin of Monsoon Onset*, Part II. Rotational ITCZ attractors. J Atmos Sci 58: 2820-2831.
- Chao WC, Chen B., 2001. *The Origin of Monsoons*, J Atmos Sci 58: 3497-3507.
- Chao WC, Chen B., 2004. *Single and Double ITCZ in an Aqua-planet Model with Constant SST and Solar Angle*, Clim Dynamics 22: 447-459.
- Charney J. G., 1971. *Tropical Cyclogenesis and the Formation of the ITCZ*, Mathematical Problems of Geophysical Fluid Dynamics, W. H. Reid Ed. Lectures in Applied Mathematics Amer Math Soc 13:355-368.
- Pike A. C., 1971. *Intertropical Convergence Zone Studied with an Interacting Atmosphere and Ocean Model*, Mon Wea Rev 99:469-477.
- Sumi A., 1992. *Pattern Formation of Convective Activity over the Aqua-Planet with Globally Uniform Sea Surface Temperature*, J Meteor Soc Japan 70:855-876.