

# KETERKAITAN ANTARA MONSUN INDO-AUSTRALIA DENGAN VARIABILITAS MUSIMAN CURAH HUJAN DI BENUA MARITIM INDONESIA SECARA SPASIAL BERBASIS HASIL ANALISIS DATA SATELIT TRMM

*RELATIONSHIP BETWEEN INDO-AUSTRALIAN MONSOON WITH SEASONAL RAINFALL VARIABILITY IN INDONESIAN MARITIME CONTINENT SPATIALLY BASED ON ANALYSIS RESULT OF TRMM SATELLITE DATA*

*Danang Eko Nuryanto<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl Angkasa I No 2 Kemayoran Jakarta Pusat 10720 Indonesia  
Email: danang.eko@bmg.go.id

Naskah masuk: 11 April 2012; Perbaikan terakhir: 19 Desember 2012; Naskah diterima: 21 Desember 2012

---

## **ABSTRAK**

Studi mengenai aktivitas curah hujan Benua Maritim Indonesia (BMI) menjadi penting karena dikaitkan dengan aktivitas Monsun Indo-Australia. Analisis spasial digunakan untuk memberikan gambaran secara luas mengenai curah hujan spasial BMI terkait dengan Monsun Indo-Australia. Data yang dipergunakan adalah data curah hujan spasial dari Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) dan angin zonal 850 mb, guna menghitung indeks Monsun Indo-Australia, dari National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Setelah dihitung indeks Monsun Indo-Australia, dipilih Australian Monsoon Index 0 AUSMI0 dan AUSMI3, maka selanjutnya dilakukan korelasi lag (waktu jeda) pada masing-masing indeks, terhadap curah hujan spasial. Diperoleh hasil bahwa Monsun Indo-Australia cenderung tidak berkaitan terhadap variabilitas musiman curah hujan BMI saat periode JJA. Wilayah BMI dengan variabilitas musiman curah hujan mempunyai keterkaitan paling kuat saat periode DJF adalah Lampung, Jawa, Kalimantan bagian selatan dan Makasar. Wilayah BMI dengan variabilitas musiman curah hujan mempunyai keterkaitan yang sangat kuat pada saat dan sebelum Monsun Indo-Australia aktif.

Kata kunci: monsun, indeks monsun, benua maritim indonesia

## **ABSTRACT**

Study of Indonesian Maritime Continent (IMC) rainfall activity is important because of the relationship with Indo-Australian Monsoon. Spatial analysis is used to provide a broad overview of the IMC spatial rainfall associated with Indo-Australian monsoon. This study uses the spatial rainfall data from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and 850 mb zonal wind from National Centers for Environmental Prediction (NCEP), in order to calculate Indo-Australian Monsoon Index. Choosing AUSMI0 and AUSMI3 Australian Monsoon Index after calculating the Indo-Australian Monsoon index is to conduct lag-time correlation on each index to spatial rainfall. The results show that the Indo-Australian Monsoon region do not tend to be associated with JJA period of IMC seasonal rainfall variability. The IMC region with seasonal rainfall variability that linked most strongly during DJF period is Lampung, Java, southern Kalimantan and Makassar. The IMC region with seasonal rainfall variability has a very strong relationship at the time and before activity the Indo-Australian Monsoon.

Keywords: monsoon, monsoon index, indonesian maritime continent

---

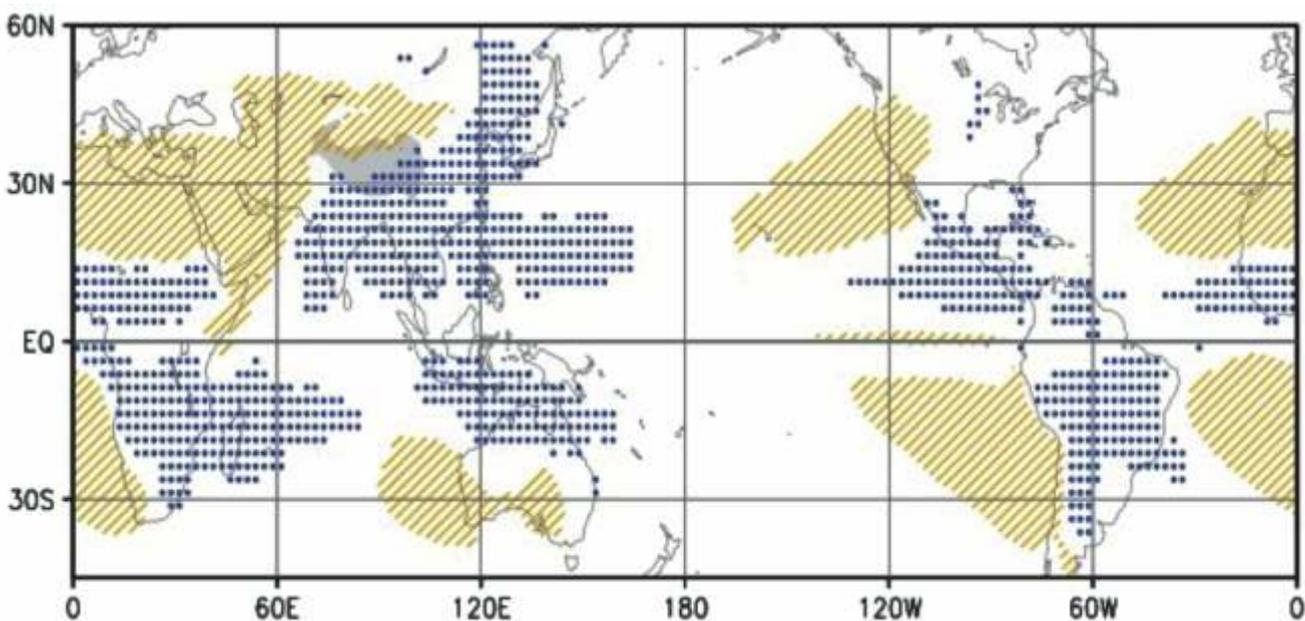
## I. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai bagian dari benua maritim dengan ciri khasnya daratan yang dikelilingi laut, dimana aktivitas konveksi yang terjadi merupakan bagian dari sirkulasi global [1,2,3]. Dengan demikian Benua Maritim Indonesia dapat dipandang sebagai bagian penting Monsun musim dingin Asia, karena musim basahnya dengan hujan lebat dan berkaitan dengan pelepasan panas laten yang menyediakan sumber panas maksimum untuk sirkulasi skala planet. Dalam hal ini benua maritim diapit oleh dua sistem Monsun yaitu Monsun Asia dan Monsun Australia. Akibatnya benua maritim juga disebut wilayah transisi antara Monsun musim panas Asia dan Monsun musim panas Australia [4].

Menurut Webster dan Fasullo [5] ada empat mekanisme penggerak dasar sistem sirkulasi, yaitu: (1) perbedaan distribusi pemanasan matahari antara bumi belahan utara (BBU) dengan bumi belahan selatan (BBS) terhadap sirkulasi musiman; (2) kapasitas panas daratan lebih kecil daripada lautan, yang menghasilkan gradien temperatur yang besar antara permukaan daratan dan lautan; (3)

rotasi bumi, menghasilkan gaya coriolis yang memberi efek pada intensitas aliran angin dan arus laut; dan (4) proses udara basah, dimana semakin banyak udara basah pada benua yang panas maka semakin banyak jumlah panas yang ditambahkan pada sistem.

Berdasarkan sudut pandang tersebut, Monsun kemudian dapat dipandang sebagai fenomena global. Beberapa peneliti mengajukannya sebagai Monsun Global (MG). Trenberth et. al. [6] menggambarkan MG sebagai variasi musiman skala-global sirkulasi bolak-balik sepanjang wilayah tropis, sedangkan Wang dan Ding [7] juga telah menunjukkan bahwa MG merupakan mode dominan dari variasi tahunan curah hujan tropis dan angin tingkat bawah. Selanjutnya dengan menggunakan data *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)* dan *Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation (CMAP)*, Wang et. al. [8] mendefinisikan wilayah Monsun berdasarkan karakteristik curah hujan (musim panas basah vs musim dingin kering), dan wilayah MG yang dihasilkan mencakup seluruh Monsun regional Asia Selatan, Asia Timur, Australia, Afrika Utara (Barat) dan Selatan, dan Amerika Utara dan Selatan (Gambar 1).



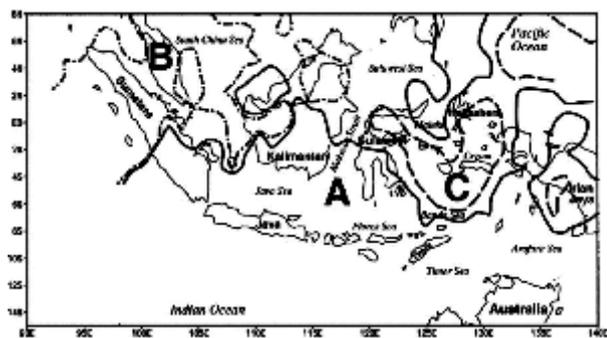
Gambar 1. Wilayah presipitasi Monsun global (titik-titik biru) yang didefinisikan sebagai selisih rata-rata presipitasi lokal musim panas terhadap musim dingin lebih dari 2.0 mm/hari dan rasio presipitasi lokal musim panas terhadap total tahunan lebih dari 55%. (Sumber: Wang et. al, 2011 [8])

Setelah era Ramage [1], tidak sedikit peneliti yang meneliti aktivitas Monsunal di sekitar Indonesia. Aldrian dan Susanto [9] telah membagi wilayah Indonesia menjadi 3 tipe wilayah curah hujan yaitu tipe Monsunal, ekuatorial dan lokal (Gambar 2), dimana tipe Monsunal lebih di dominasi oleh wilayah Indonesia bagian selatan. Chang et. al. [4] juga membagi wilayah Benua Maritim Indonesia menjadi 3 wilayah yang merepresentasikan variabilitas curah hujan (Gambar 3) yaitu wilayah lautan barat daya (SWO), wilayah Sumatera (SMP) dan wilayah Benua Maritim tengah (CMC).

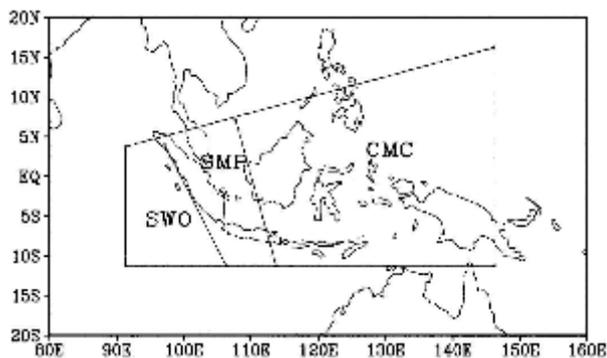
Zhang dan Wang [10] menyebutkan bahwa wilayah Indonesia bagian selatan merupakan bagian dari wilayah Monsun Australia. Monsun Indonesia-Australia merupakan salah satu daerah dengan Monsun kuat. Beberapa peneliti mendefinisikan wilayah Monsun Australia dengan cara yang tidak sama, sehingga ada empat definisi indeks Monsun Australia (AUSMI). AUSMI-0 didefinisikan sebagai rata-rata  $U_{850}$  di atas wilayah  $110^{\circ}\text{BT} - 150^{\circ}\text{BT}$  dan  $2.5^{\circ}\text{LS} - 15^{\circ}\text{LS}$  [11]. AUSMI-1 didefinisikan sebagai rata-rata anomali  $U_{850}$  di atas wilayah  $120^{\circ}\text{BT} - 150^{\circ}\text{BT}$  dan  $10^{\circ}\text{LS} - 0^{\circ}$  [12]. AUSMI-2 didefinisikan sebagai indeks geser angin

vertikal antara  $U_{850}$  dan  $U_{200}$  di atas wilayah  $120^{\circ}\text{BT} - 150^{\circ}\text{BT}$  dan  $10^{\circ}\text{LS} - 0^{\circ}$  [13]. Terakhir AUSMI-3 didefinisikan sebagai rata-rata  $U_{850}$  di atas wilayah  $110^{\circ}\text{BT} - 130^{\circ}\text{BT}$  dan  $5^{\circ}\text{LS} - 15^{\circ}\text{LS}$  [14]. Hasil rangkuman Nuryanto dan Gunawan [15] menyarankan untuk menggunakan AUSMI0 dan AUSMI3 karena cenderung bersesuaian dengan curah hujan pada wilayah selatan Indonesia. Wilayah untuk mendefinisikan indeks Monsun Australia dapat di perhatikan pada Gambar 4.

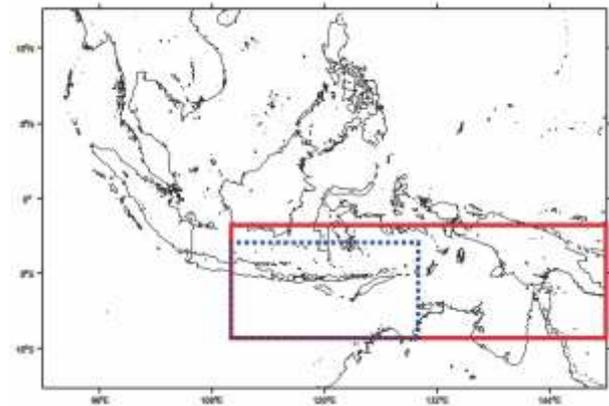
Berdasarkan wilayah yang dipakai untuk mendefinisikan indeks Monsun tersebut yang tidak sepenuhnya berada di Benua Australia, namun sebagian wilayah yang digunakan untuk mendefinisikan indeks Monsun Australia justru memotong wilayah Indonesia. Dengan alasan ini untuk selanjutnya penulis akan menggunakan istilah Monsun Indo-Australia dengan indeks Monsun menggunakan definisi AUSMI0 dan AUSMI3 (Gambar 4).



Gambar 2. Tiga tipe wilayah curah hujan : tipe A (tipe Monsunal), tipe B (tipe ekuatorial) dan tipe C (tipe lokal). (Sumber: Aldrian and Susanto, 2003 [6])



Gambar 3. Tiga wilayah yang merepresentasikan variabilitas curah hujan di Indonesia: wilayah lautan barat laut (SWO), wilayah Sumatera (SMP) dan wilayah tengah Benua Maritim (CMC). (Sumber: Chang et. al., 2004 [4])



Gambar 4. Dua wilayah definisi indeks Monsun, yaitu AUSMI-0 (garis merah) dan AUSMI-3 (garis titik-titik biru). (Diadaptasi dari: Nuryanto dan Gunawan, 2010 [15])

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis keterkaitan antara Monsun Indo-Australia dengan variabilitas musiman curah hujan di BMI berbasis hasil analisis data satelit TRMM secara spasial.

## 2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data komponen angin zonal 850 milibar ( $U_{850}$ ) bulanan dari data reanalisis NCEP yang tersedia pada <http://www.cdc.noaa.gov/>. Data  $U_{850}$  bulanan tersebut digunakan untuk menghitung nilai indeks Monsun Australia yang telah didefinisikan pada bagian pendahuluan yaitu AUSMI0 dan AUSMI3.

Data lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan dari pemantauan satelit TRMM yang dikenal dengan nama 3B43. Data 3B43 TRMM memiliki resolusi temporal bulanan (*monthly*) dan resolusi spasial  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  yang merupakan data grid presipitasi kombinasi antara data satelit dan stasiun pengukur untuk periode 1998 – 2009. Tidak dipergunakan data 2010 dan 2011 karena akan dibahas pada penelitian selanjutnya mengingat tahun 2010 terjadi peningkatan curah hujan yang cukup signifikan terutama pada saat musim kering pada beberapa wilayah di Indonesia (Bandung, [16]) bahkan di beberapa negara lain (Afrika Selatan, [17]).

Alasan dipergunakan data satelit TRMM adalah karena data satelit TRMM mempunyai kemampuan dapat menghasilkan set data presipitasi (curah hujan) yang hampir homogen (*nearly homogeneous*) baik untuk daerah di atas daratan maupun di atas lautan, dengan resolusi spasial (grid) di permukaan hingga  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  dan resolusi temporal hingga tiap 3 jam-an [18] sehingga dapat dijadikan sebagai wahana yang tepat digunakan untuk studi karakteristik dan mekanisme curah hujan tropis. Bowman [19] telah melakukan studi komparasi presipitasi selama 5 tahun dari satelit TRMM dengan data pengamatan dari 25 stasiun curah hujan *National Oceanic and Atmospheric Administration/Pacific Marine*

*Environment Laboratory* (NOAA/PMEL). Hasilnya mengindikasikan bias yang sangat kecil antara satelit TRMM dengan hasil pengamatan dengan  $r^2 = 0.97$ . Dengan menggunakan data TRMM tersebut penulis akan membuktikan apakah wilayah BMI merupakan salah satu dari MG atau bukan. Untuk itu dilakukan dengan mencari selisih presipitasi lokal musim panas terhadap musim dingin lebih dari 2.0 mm/hari dan rasio presipitasi lokal musim panas terhadap total tahunan lebih dari 55% (Wang et. al. [8]). Dengan musim panas BBS merupakan November – Maret (NDJFM) dan musim panas BBU adalah Mei – September (MJJAS).

Dalam pengolahan data selanjutnya dipergunakan metode korelasi. Korelasi merupakan metode statistik yang dapat menunjukkan bagaimana dan seberapa kuat hubungan pasangan variabel data. Perhitungan korelasi menghasilkan 3 tipe korelasi, yaitu : korelasi *concurrent* yaitu jika kedua variabel berada pada perioda waktu yang sama (*lag* 0), korelasi *lead* yaitu jika variabel tak bebas pada waktu sekarang dan variabel bebas pada perioda waktu setelahnya dan korelasi *lag* yaitu jika variabel tak bebas pada perioda waktu sekarang dan variabel bebas pada perioda waktu sebelumnya. Dalam hal ini indeks konvektif dianggap sebagai variabel bebas sementara indeks iklim lainnya sebagai variabel tak bebas.

Metode perhitungan korelasi *lag* digunakan untuk mendefinisikan proses interaksi yang terjadi di wilayah penelitian. Dari perhitungan korelasi *lag* antara dua variabel iklim dapat diketahui variabel mana yang mempengaruhi variabel yang lainnya. Untuk menghitung korelasi *lag* pada *lag* ke *d* dihitung dengan Pers. (1) (Wilks, D. S. [20]) sebagai berikut:

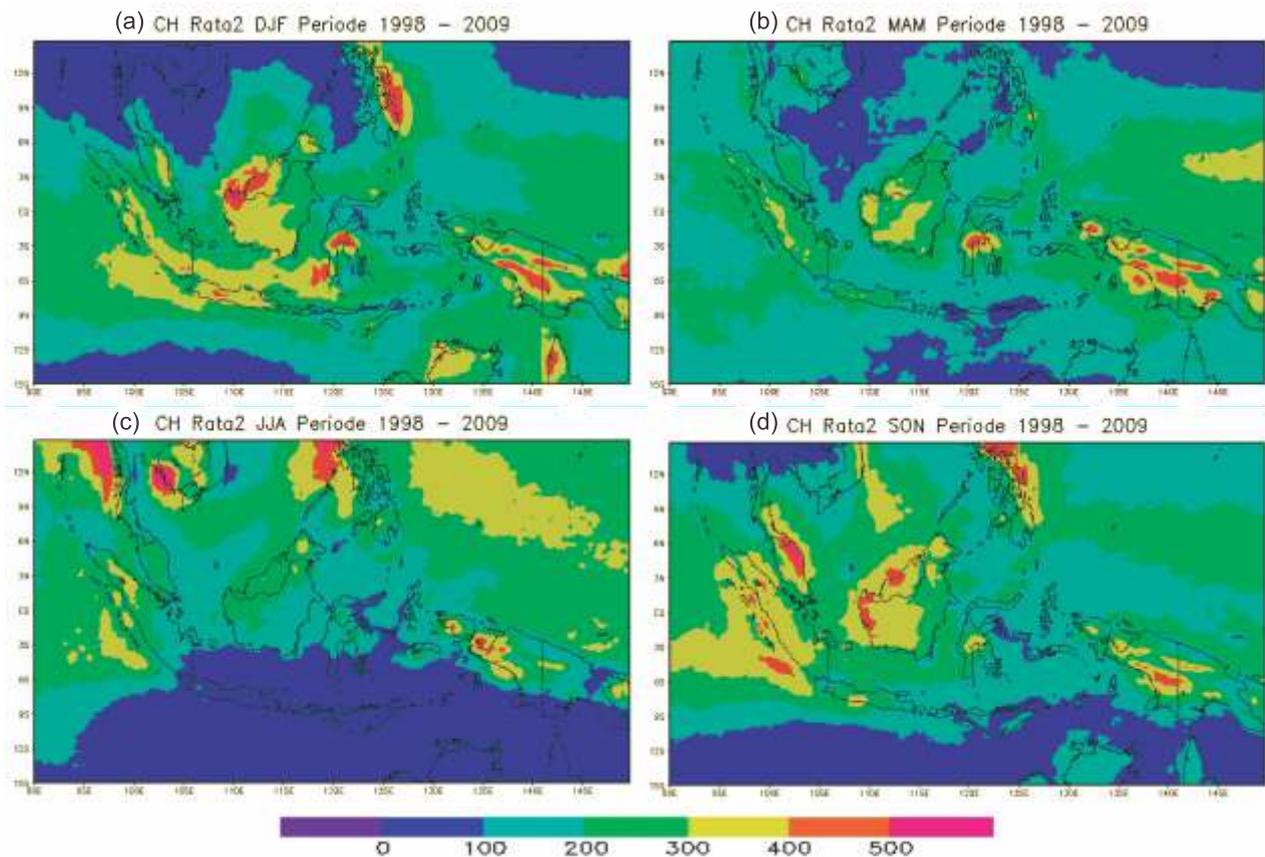
$$C(A, B, d) = \frac{\sum_{i=1}^t [(a_i - \bar{a})(b_{i-d} - \bar{b})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^t (a_i - \bar{a})^2 \sum_{i=1}^t (b_{i-d} - \bar{b})^2}} \quad (1)$$

Dimana  $C(A, B, d)$  merupakan nilai korelasi *lag* antara variabel *A* dan *B* dengan *lag* *d*. Nilai  $a_i$  merupakan nilai ke *i* dari deret waktu data *A* dan  $\bar{a}$  adalah rata-rata semua nilai data *A*. Nilai  $b_{i-d}$  merupakan nilai ke  $(i-d)$  dari deret waktu data *B* dan  $\bar{b}$  adalah rata-rata semua nilai data *B*. Jika nilai *d* positif maka *b* *lag* dan jika *d* negatif maka *b* *lead*.

Untuk menguji hubungan antara Monsun Asia dengan ENSO, Wang et. al. [21] menerapkan korelasi *lag* indeks Nino 3.4 dengan *Indian Monsoon Index* (IMI) dan *West North Pacific Monsoon Index* (WNPMI). Pada penelitian ini korelasi *lag* diaplikasikan *A* sebagai data indeks Monsun Indo-Australia (AUSMI) dan *B* sebagai data curah hujan spasial dari satelit TRMM. Dengan demikian akan diperoleh korelasi *lag* secara spasial, sehingga akan diketahui wilayah Monsunal BMI mana yang mempunyai keterkaitan lebih kuat dengan Monsun Indo-Australia.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Distribusi musiman pada wilayah BMI dengan menghitung komposit DJF, MAM, JJA dan SON periode tahun 1998 – 2009 menggunakan data TRMM dapat diperhatikan pada Gambar 5. Dari hasil komposit DJF menunjukkan bahwa curah hujan merata hampir di seluruh wilayah BMI kecuali pada sebagian kecil wilayah Sulawesi Utara. Pada periode MAM terjadi pengurangan curah hujan pada wilayah NTB dan NTT. Sedangkan pada periode JJA hampir seluruh wilayah di Indonesia terutama pada wilayah Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT, sebagian kecil Kalimantan bagian selatan dan Sulawesi Selatan serta Sulawesi Tenggara terjadi penurunan curah hujan yang sangat signifikan. Terakhir untuk periode SON mulai terjadi peningkatan curah hujan, namun belum sebesar curah hujan pada periode DJF.



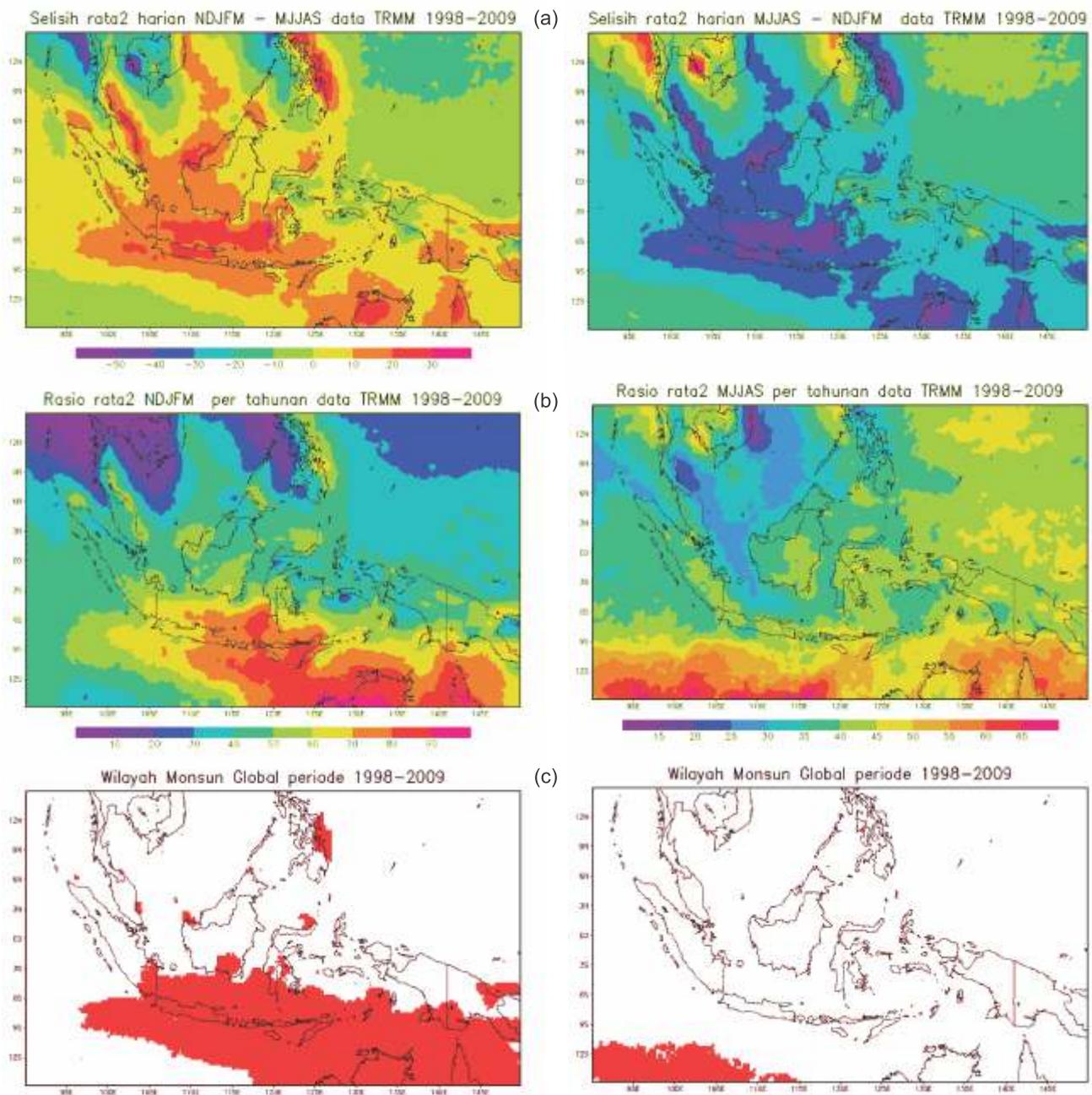
**Gambar 5. Plot rata-rata hujan (a) DJF (b) MAM (c) JJA (d) SON periode 1998 – 2009 menggunakan data TRMM**

Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa terdapat sistem iklim tertentu yang mempengaruhi curah hujan di Indonesia. Menurut Hendon [22] selama musim kering (JJA dan SON) curah hujan bawah normal Indonesia cenderung terjadi bersama dengan pemanasan SST di Pasifik Tengah, secara lokal pendinginan SST di sekitar Benua Maritim dan pemanasan SST di Lautan India sebelah barat; sebaliknya selama musim basah (DJF dan MAM) cenderung tidak berkorelasi dengan SST. Dalam disertasi Faqih [23] ditunjukkan peran signifikan dari SST regional (Benua Maritim) dalam pengaturan dampak dari penggerak iklim Indo-Pasifik pada variabilitas curah hujan wilayah (BMI).

Terlihat bahwa ada dua periode siklus semi-tahunan yaitu periode DJF-JJA dan periode MAM-SON, dimana DJF-JJA menunjukkan periode basah-kering sedangkan MAM-SON menunjukkan periode transisi basah-kering ke transisi kering-basah. Pada periode DJF-JJA terlihat ada kondisi saling berkebalikan antara utara-selatan, begitu juga pada periode MAM-SON terlihat ada kondisi

saling berkebalikan antara barat-timur. Pola curah hujan rata-rata JJA periode 1998 – 2009 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan dengan pola curah hujan rata-rata DJF periode 1998 – 2009, terutama pada wilayah Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT, sebagian kecil Kalimantan bagian selatan dan Sulawesi Selatan serta Sulawesi Tenggara. Perbedaan pola intensitas pada dua periode rata-rata tersebut jelas terlihat pada wilayah-wilayah tersebut. Perbedaan signifikan pada wilayah tersebut selanjutnya oleh beberapa peneliti [4,6,7] dikatakan sebagai wilayah Monsun.

Karena wilayah BMI berada di daerah tropis dengan sebagian wilayahnya berada di BBU dan sebagian wilayahnya berada di BBS, maka untuk menyelidiki wilayah Monsun tersebut digunakan definisi MG menurut Wang et. al [8], yaitu dengan curah hujan musim panas merupakan NDJFM dan curah hujan musim panas adalah MJJAS. Gambar 6 merupakan ilustrasi hasil perhitungan untuk menunjukkan wilayah yang termasuk MG dengan curah hujan musim panas NDJFM.



**Gambar 6.** (a) Plot selisih curah hujan rata-rata harian NDJFM – MJJAS, (b) Rasio curah hujan rata-rata NDJFM per rata-rata tahunan, dan (c) Wilayah MG berdasarkan (6.a) dan (6.b) periode 1998 – 2009 menggunakan data TRMM.

**Gambar 7.** (a) Plot selisih curah hujan rata-rata harian MJJAS - NDJFM , (b) Rasio curah hujan rata-rata MJJAS per rata-rata tahunan, dan (c) Wilayah MG berdasarkan (7.a) dan (7.b) periode 1998 – 2009 menggunakan data TRMM.

Pada Gambar 6.a merupakan selisih curah hujan rata-rata harian (mm/hari) NDJFM terhadap MJJAS menggunakan data TRMM periode 1998 – 2009. Terlihat pada sebagian besar wilayah selatan Indonesia mempunyai selisih positif > 2 mm/hari, yaitu Lampung, Kalimantan Barat dan Selatan, Sulawesi Selatan, Jawa, Bali, NTB, NTT dan Papua bagian selatan. Sedangkan Gambar 6.b merupakan rasio curah hujan rata-rata NDJFM per rata-rata tahunan menggunakan data TRMM periode 1998 – 2009. Terlihat juga bahwa pada sebagian wilayah selatan Indonesia mempunyai nilai > 55%, yaitu Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT, Kalimantan bagian selatan, Makasar dan Papua bagian selatan. Jika kedua gambar ini digabungkan

maka akan diperoleh wilayah MG seperti yang terlihat pada Gambar 5.c dimana pada wilayah BMI mempunyai aktivitas MG pada periode NDJFM.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa wilayah Monsun Indo-Australia yang meliputi bagian selatan wilayah BMI, Timor Leste dan Australia bagian Utara, merupakan bagian dari MG seperti yang dikemukakan oleh Wang et. al. [8]. Sedangkan, wilayah BMI yang berada dalam wilayah MG adalah Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT, Kalimantan bagian selatan, Makasar dan Papua bagian selatan. Untuk selanjutnya wilayah Monsunal BMI didefinisikan sebagai wilayah Lampung,

Jawa, Bali, NTB, NTT, Kalimantan bagian selatan, Makasar dan Papua bagian selatan.

Gambar 7 menunjukkan perhitungan untuk menunjukkan wilayah yang termasuk MG dengan curah hujan musim panas MJJAS. Pada Gambar 7.a merupakan selisih curah hujan rata-rata harian (mm/hari) MJJAS terhadap NDJFM menggunakan data TRMM periode 1998 – 2009. Terlihat pada sebagian wilayah timur Indonesia mempunyai selisih positif  $> 2$  mm/hari, yaitu Sulawesi Utara, Maluku dan Papua Barat. Sedangkan Gambar 7.b merupakan rasio curah hujan rata-rata MJJAS per rata-rata tahunan menggunakan data TRMM periode 1998 – 2009. Terlihat juga bahwa pada tidak ada wilayah BMI yang mempunyai nilai  $> 55\%$ . Jika kedua gambar ini digabungkan maka akan diperoleh wilayah MG seperti yang terlihat pada Gambar 7.c dimana wilayah BMI tidak terlihat aktivitas MG pada periode MJJAS.

Selanjutnya akan ditunjukkan seberapa besar keterkaitan variabilitas musiman curah hujan BMI dengan Monsun Indo-Australia dengan menggunakan analisis korelasi spasial. Gambar 8.a merupakan korelasi spasial curah hujan BMI pada *lag* 0 dengan Monsun Indo-Australia yang direpresentasikan dengan AUSMI0 dan AUSMI3 menggunakan data TRMM periode 1998 – 2009. Dari kedua definisi indeks Monsun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan korelasi spasial curah hujan dengan indeks Monsun.

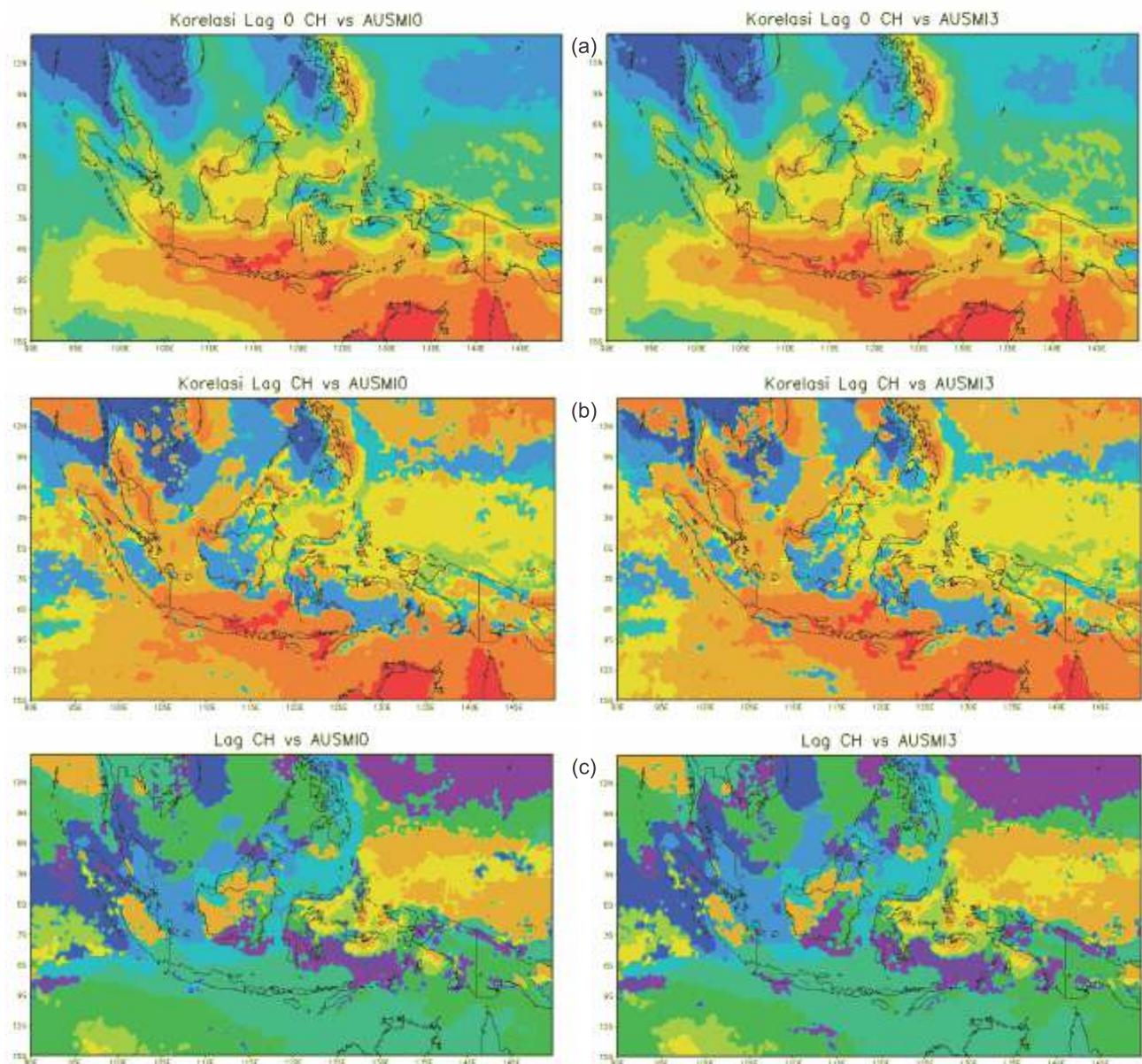
Secara umum terlihat bahwa wilayah BMI bagian selatan mempunyai korelasi positif yang signifikan (0.6 – 0.9) dengan Monsun Indo-Australia. Korelasi positif tersebut berada dalam wilayah Monsunal BMI, artinya curah hujan Monsunal BMI ada kecenderungan mempunyai keterkaitan dengan Monsun Indo-Australia. Sementara itu curah hujan di wilayah lain BMI meliputi sebagian

besar Sumatera, Kalimantan bagian utara, Sulawesi bagian tengah dan utara, Maluku dan Papua bagian barat mempunyai korelasi yang cukup lemah dengan Monsun Indo-Australia.

Namun ada hal menarik pada wilayah Monsunal BMI, yaitu ada wilayah anomali Monsunal BMI. Wilayah yang dimaksud adalah Cilacap dan sekitarnya, terlihat mempunyai korelasi cukup rendah (+0.3) dibandingkan dengan wilayah lainnya yang sama-sama di Pulau Jawa (  $+0.6$ ), dimana dikenal sebagai wilayah Monsun global (MG). Anomali ini terlihat pada kedua definisi indeks Monsun (AUSMI0 dan AUSMI3) yang sama-sama menunjukkan korelasi yang cukup rendah pada wilayah tersebut. Anomali pada wilayah tersebut menunjukkan kemungkinan kuatnya pengaruh lokal terhadap curah hujan.

Sedangkan pada Gambar 8.b merupakan korelasi maksimum pada *lag* yang ditunjukkan pada Gambar 8.c. Terlihat bahwa korelasi positif yang cukup signifikan terjadi pada wilayah Monsunal BMI yaitu pada wilayah BMI bagian selatan meliputi Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT Kalimantan Selatan dan Makasar. Wilayah Monsunal BMI lainnya ternyata mengalami korelasi yang kurang signifikan yaitu Cilacap. Namun pada wilayah dengan korelasi positif tersebut curah hujan mengalami *lead* 1 bulan dibanding dengan Monsun Indo-Australia.

Pada Gambar 8.c merupakan *lag* yang menunjukkan korelasi maksimum pada Gambar 8.b. Terlihat bahwa *lag* dominan dari korelasi maksimum cukup signifikan dengan *lag* -1 (*lead* 1 bulan) terjadi pada wilayah Monsunal BMI yaitu pada wilayah BMI bagian selatan meliputi Lampung, Jawa, Bali, NTB dan NTT, kecuali Kalimantan Selatan dan Makasar dengan *lag* 0 dan Cilacap dengan *lag* -6 (*lead* 6 bulan).



**Gambar 8.** (a) Plot korelasi spasial lag 0, (b) plot korelasi maksimum pada saat lag pada Gambar 8.c dan (c) plot lag pada saat korelasi maksimum pada Gambar 8.b, masing-masing antara curah hujan TRMM dengan AUSMI0 dan AUSMI3 pada periode 1998 – 2009

Dengan demikian wilayah Monsunal BMI mempunyai keterkaitan yang sangat kuat pada saat dan sebelum Monsun Indo-Australia aktif. Artinya bahwa Monsun Indo-Australia cenderung hampir sinkron dengan variabilitas musiman curah hujan wilayah BMI. Dengan kata lain kedua wilayah tersebut mempunyai karakter Monsun yang hampir sama, sehingga memungkinkan untuk dikatakan bahwa Monsun BMI merupakan bagian dari Monsun Indo-Australia atau sebaliknya.

Hasil analisis statistik keterkaitan antara Indeks Monsun Indo-Australia dengan anomali curah hujan di beberapa kawasan Indonesia (Lampung, Bali, NTB, NTT, Kalimantan Selatan, Makasar, Papua Selatan dan Cilacap) yang merupakan wilayah Monsunal di Indonesia berbasis data satelit TRMM bulanan periode 1998 – 2009 dapat diperhatikan pada Tabel 1. Baik AUSMI0 dan AUSMI3 secara umum sangat baik berkorelasi positif ( $\pm 0.69 - 0.84$ ) pada lag 0 bulan untuk wilayah Lampung,

Bali, NTB, NTT dan Makasar, artinya pada wilayah tersebut aktivitas curah hujan terjadi pada bulan yang sama dengan Monsun Indo-Australia. Justru untuk wilayah Kalimantan Selatan dan Cilacap menunjukkan korelasi negatif ( $\pm [-0.56] - [-0.74]$ ) dengan lead 5 (untuk AUSMI3) dan lead 6 (untuk AUSMI0) bulan artinya setelah curah hujan turun 5/6 bulan kemudian Monsun Indo-Australia aktif. Bahkan untuk wilayah Papua Selatan, meskipun korelasinya positif ( $\pm 0.74 - 0.75$ ) namun berada pada lag 1 bulan, artinya curah hujan terjadi setelah Monsun Indo-Australia aktif.

Selanjutnya ditunjukkan variabilitas musiman curah hujan Indonesia terkait dengan Monsun Indo-Australia. Gambar 9 merupakan curah hujan rata-rata musiman pada saat AUSMI kuat dan lemah. Definisi AUSMI kuat dan lemah merujuk pada Kajikawa et. al. [12]. Tahun pada saat Monsun kuat adalah tahun 1999 dan 2001, sedangkan tahun pada saat Monsun lemah adalah 1998 dan 2005.

**Tabel 1. Hasil Analisis Statistik Keterkaitan antara Indeks Monsun Indo-Australia dengan Anomali Curah Hujan di Beberapa Kawasan Indonesia Berbasis Data Satelit TRMM Bulanan Periode 1998 – 2009.**

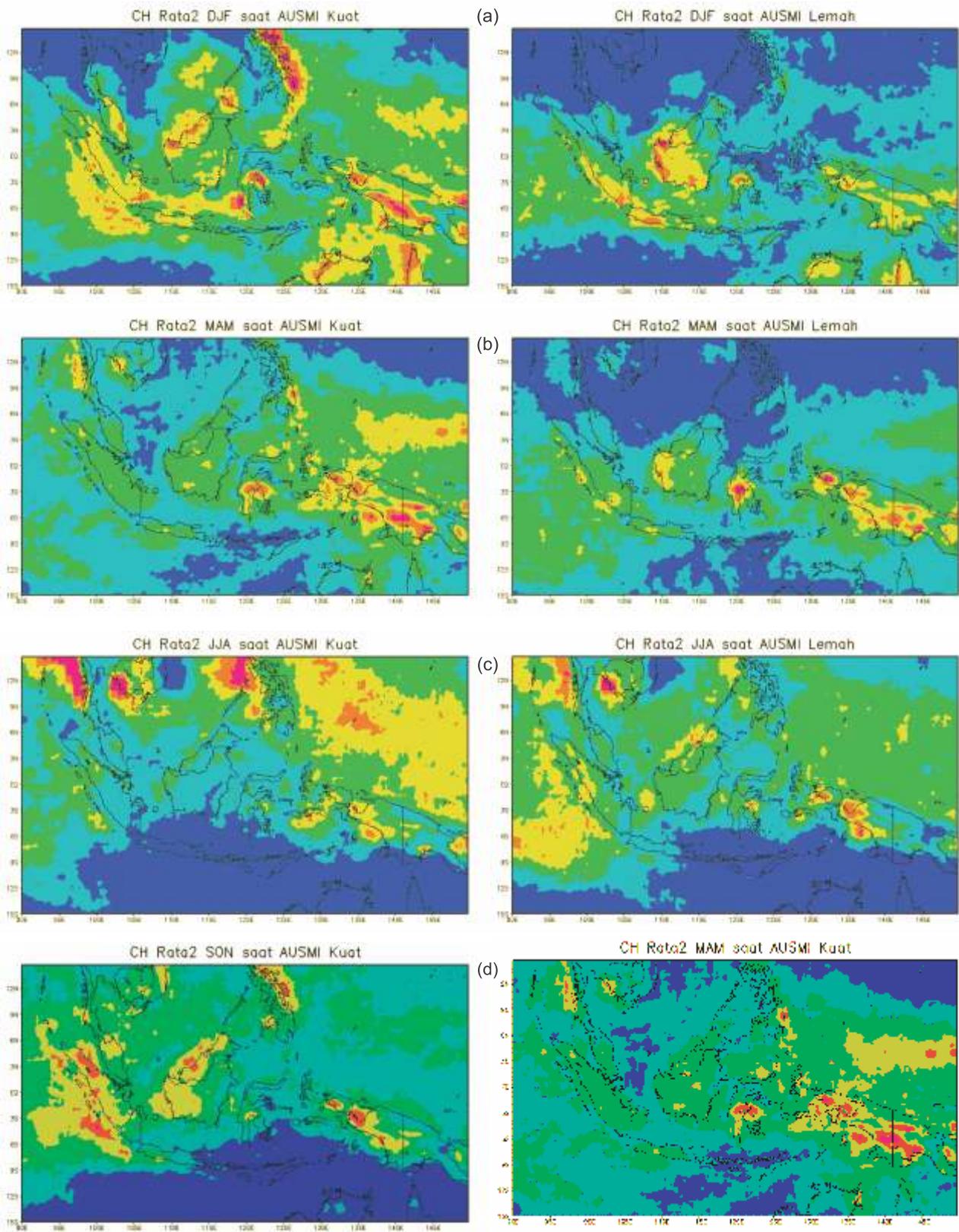
No.	Lokasi Pengamatan (berdasarkan grid)	Korelasi antara Monsun Indo-Australia dengan Anomali Curah Hujan				
		n=Jumlah data	Standar Deviasi Error (STD)	Koefisien Korelasi (R)		Waktu Jeda/Lag Time (bulan)
				AUSMI0	AUSMI3	
1.	Lampung [105.27; -5.45]	144	110.34	0.75	0.73	0
2.	Bali [115.22; -8.65]	144	114.38	0.78	0.79	0
3.	NTB [116.12; -8.58]	144	110.71	0.69	0.69	0
4.	NTT [123.58; -10.18]	144	127.70	0.83	0.84	0
5.	Kalimantan Selatan [115.5; -2.5]	144	117.53	-0.58	-0.56	6/5
6.	Makasar [119.42; -5.13]	144	194.79	0.81	0.81	0
7.	Papua Selatan [140.33; -8.47]	144	119.28	0.75	0.74	-2
8.	Cilacap [109.2; -7.45]	144	159.23	-0.74	-0.71	6

Pada DJF Gambar 9 dibandingkan dengan Gambar 5.a wilayah Lampung dan Makasar mengalami peningkatan intensitas curah hujan ketika Monsun Indo-Australia menguat sedangkan wilayah lain pada wilayah Monsunal BMI mengalami penurunan. Namun ketika Monsun Indo-Australia melemah justru wilayah Cilacap dan sekitarnya mengalami peningkatan intensitas curah hujan ( $\pm 25\%$ ). Dengan demikian peran kondisi lokal wilayah Cilacap dan sekitarnya tidak terpengaruh oleh Monsun Indo-Australia.

Untuk JJA intensitas curah hujan wilayah Monsunal BMI tidak mengalami perubahan (cenderung tetap kering) pada saat Monsun Indo-Australia kuat. Justru saat Monsun Indo-Australia lemah pada sebagian wilayah Monsun BMI meliputi Lampung, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi Selatan mengalami peningkatan intensitas

curah hujan (cenderung basah, meskipun tidak sebesar DJF). Pada saat MAM dan SON tidak ada perubahan yang signifikan terhadap curah hujan baik ketika Monsun Indo-Australia kuat maupun lemah. Hal ini mengindikasikan bahwa periode transisi MAM dan SON di BMI tidak terkait dengan Monsun Indo-Australia. Dengan kata lain variabilitas curah hujan pada MAM dan SON tidak mempunyai kaitan dengan aktivitas Monsun Indo-Australia.

Dengan demikian keterkaitan Monsun Indo-Australia pada periode DJF tidak jelas, hanya beberapa wilayah Monsunal BMI yang meningkat intensitas curah hujannya pada saat Monsun Indo-Australia kuat dan terjadi peningkatan intensitas curah hujan saat Monsun Indo-Australia melemah di Cilacap dan sekitarnya.



Gambar 9. Curah hujan rata-rata musiman (a) DJF (b) MAM (c) JJA dan (d) SON pada saat AUSMI kuat dan lemah periode 1998 – 2009 menggunakan data TRMM.

Selanjutnya pada periode MAM dan SON tidak ada aktivitas Monsun Indo-Australia yang berkaitan dengan curah hujan di BMI. Pada saat Monsun Indo-Australia JJA lemah justru meningkatkan intensitas curah hujan di beberapa wilayah Monsunal BMI. Dengan hasil tersebut dapat diketahui bahwa tidak seluruh wilayah Monsunal BMI terkait dengan Monsun Indo-Australia.

Menarik untuk dipelajari bahwa saat periode JJA intensitas curah hujan wilayah Monsunal BMI justru tetap kering saat Monsun Indo-Australia kuat dan bertambah saat Monsun Indo-Australia lemah. Hal ini mengindikasikan ada faktor lain yang menambah intensitas curah hujan wilayah Monsunal BMI saat Monsun Indo-Australia lemah. Dengan kata lain dominasi Monsun Indo-Australia pada wilayah Monsunal BMI terjadi pada saat Monsun Indo-Australia kuat, dan ketika Monsun Indo-Australia lemah dominasinya terhadap wilayah Monsunal BMI tidak terlihat.

#### 4. Kesimpulan

Wilayah bagian selatan BMI, yaitu Lampung, Jawa, Bali, NTB, NTT, Kalimantan Selatan, Makasar dan Papua bagian selatan merupakan bagian dari wilayah Monsun global.

Wilayah BMI dengan variabilitas musiman curah hujan mempunyai keterkaitan paling kuat Monsun Indo-Australia saat periode DJF adalah Lampung, Jawa, Kalimantan bagian selatan dan Makasar. Wilayah BMI dengan variabilitas musiman curah hujan mempunyai keterkaitan yang sangat kuat pada saat dan sebelum Monsun Indo-Australia aktif ( $R = \pm 0.6 - 0.8$ ).

Dominasi Monsun Indo-Australia pada wilayah Monsunal BMI terjadi pada saat Monsun Indo-Australia kuat, dan ketika Monsun Indo-Australia lemah dominasinya terhadap wilayah Monsunal BMI tidak terlihat.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang anomali wilayah Monsun Cilacap dan sekitarnya, yaitu kemungkinan wilayah tersebut mempunyai pola iklim lokal. Dalam hal ini ada faktor lain yang menambah intensitas curah hujan wilayah Monsunal BMI (Cilacap) saat Monsun Indo-Australia lemah.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ramage, C. S. (1968). Role of a tropical "maritime continent" in the atmospheric circulation, *Monthly Weather Review*, 96, 365–370.
- [2] Saito, K., Keenan, T., Holland, G., & Puri, K. (2001). Numerical simulation of the diurnal evolution of tropical island convection over the maritime continent, *American Meteorological Society*, 129, 378–400.
- [3] Hara, M., Yoshikane, T., & Kimura, F. (2006). *Mechanism of diurnal cycle of convective activity over borneo island*, 7th WRF User's Workshop, Boulder, Colorado, US.
- [4] Chang, C. P., Wang, Z., Ju, J., & Li, T. (2004). On the relationship between western maritime continent monsoon rainfall and enso during northern winter, *Journal of Climate*, 17, 665–672.
- [5] Webster, P. J. & Fasullo, J. (2003). *Monsoon: dynamical theory*, *Encyclopedia of atmospheric sciences*, 1370–1386.
- [6] Trenberth, K. E., Stepaniak, D. P., & Caron, J. M. (2000). The global monsoon as seen through the divergent atmospheric circulation, *Journal of Climate*, 13, 3969–3993.
- [7] Ding, Q. H., Wang, B., Wallace, M., & Branstator, G. (2011). Tropical-extratropical teleconnections in boreal summer: observed interannual variability, *Journal of Climate*, 24, 1878–1896.
- [8] Wang, B., Liu, J., Kim, H. -J., Webster, P. J., & Yim, S. Y. (2011). Recent change of the global monsoon precipitation (1979–2008), *Climate Dynamics*, DOI: 10.1007/s00382-011-1266-z.
- [9] Aldrian, E. & Susanto, R.D. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature, *International Journal of Climatology*, 23, 1435–1452.
- [10] Zhang, S. & Wang, B. (2008). Global summer monsoon rainy seasons, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1659.
- [11] Hung, C. W. & Yanai, M. (2004). Factors contributing to the onset of the Australian summer monsoon, *Quart. Journal of Royal Meteorological Society*, 130, 739–758.
- [12] Wang, B., Kang, I. S., & Lee, J. Y. (2004). Ensemble simulation of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs, *Journal of Climate*, 17, 803–818.
- [13] Webster, P. J. (2006). *The coupled monsoon system*, In: *The Asian Monsoon*, Wang B (eds), Springer: New York. 3–66787.
- [14] Kajikawa, Y., Wang, B., & Yang, J. (2009). A multi-time scale australian monsoon index, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.1955.
- [15] Nuryanto, D. E. & Gunawan, D. (2010, July). Influence of Australian monsoon on rainfall over Indonesia, *Proceedings of the International Symposium on Equatorial Monsoon System*, Jakarta, ISBN : 978-979-15549-7-8.
- [16] Hanifah, A. & Enderwin. (2011). Analisis intensitas curah hujan wilayah Bandung pada awal 2010, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(2), 145-149.
- [17] Food security early warning system. (2011). 2010/2011 Agricultural Season, (<http://www>.

- sadc.int/fanr/aims/rews/SADC%20Agromet%20Update%20-%20 January\_2011.pdf*), diakses 7 Maret 2012.
- [18] About TRMM, TRMM Background. (2012). ([http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview\\_dir/background.html](http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html)), diakses 7 Maret 2012.
- [19] Bowman, K. P. (2005). Comparison of TRMM precipitation retrievals with rain gauge data from ocean buoys, *Journal of Climate*, 18, 178 – 190.
- [20] Wilks, D. S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Academic Press, USA, 627pp.
- [21] Wang, B., Wu, R., & Lau, K. –M. (2001). Interannual variability of the Asian summer monsoon: contrasts between the Indian and the Western North-East Asian monsoon, *Journal of Climate*, 14, 4073 – 4090.
- [22] Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local air–sea interaction, *Journal of Climate*, 16, 1775 – 1790.
- [23] Fakih, A. (2010). *Rainfall Variability in the Austral-Indonesian region and the role of Indo-Pacific climate drivers*, Dissertation, University of Southern Queensland, 99 – 102.