

EVALUASI PERFORMA INDEKS MONSUN AUSMI DAN WNPMI DI WILAYAH INDONESIA

Evaluation of WNPMI and AUSMI Monsoon Index Performance Over Indonesian Region

Adi Mulsandi ^{1,3)}, Ardhasena Sopaheluwakan ²⁾, Akhmad Faqih ³⁾, Rahmat Hidayat ³⁾, Yonny Koesmaryono ³⁾

¹⁾Jurusan Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No. 5 Tangerang Selatan Banten, 15221

²⁾Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa 1 No.2, Kemayoran, Jakarta Pusat, 10720

³⁾Program Studi Klimatologi Terapan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor, 16680
Email: adimulsandi@apps.ipb.ac.id

Intisari

Iklm di wilayah Indonesia sangat dipengaruhi oleh aktivitas monsun Asia-Australia. Variabilitas kedua sistem monsun tersebut dapat direpresentasikan dengan baik masing-masing oleh indeks monsun Australian Summer Monsoon Index (AUSMI) dan Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI). Saat ini, BMKG secara operasional menggunakan indeks AUSMI dan WNPMI untuk memonitor aktivitas monsun di wilayah Indonesia sebagai bahan prakiraan musim. Meskipun banyak literatur menyatakan bahwa wilayah Indonesia merupakan bagian dari sistem monsun Asia-Australia, namun kondisi topografi lokal yang kompleks berpotensi memodifikasi sirkulasi monsun sehingga perlu dikaji performa kedua indeks tersebut sebelum digunakan secara operasional. Penelitian ini dilakukan untuk menguji performa indeks monsun AUSMI dan WNPMI dalam menggambarkan variasi antartahunan (interannual), variasi dalam musim (intraseasonal), dan siklus tahunan (annual cycle) hujan monsun Indonesia. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa kedua indeks memiliki performa yang sangat baik hanya di wilayah dimana indeks tersebut didefinisikan namun kurang baik untuk wilayah Indonesia seperti yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi yang tidak signifikan dari hasil uji statistik antara kedua indeks dengan curah hujan dari Global Precipitation Climatology Project (GPCP) pada periode 1981-2010. Selain itu, kedua indeks juga memperlihatkan karakteristik siklus tahunan yang berbeda dengan karakteristik siklus tahunan hujan wilayah Jawa sebagai wilayah kunci monsun Indonesia. Hasil ini mengindikasikan perlunya pendefinisian indeks sendiri untuk memonitor aktivitas monsun di wilayah Indonesia.

Kata kunci: AUSMI, Iklim Indonesia, Indeks Monsun, Monsun Indonesia, WNPMI

Abstract

The climate of Indonesia is strongly affected by the Asian-Australian monsoon system. The variability of the two monsoon systems can be well represented by the Western North Pacific Monsoon Index (WNPMI) and the Australian Summer Monsoon Index (AUSMI) respectively. For producing seasonal forecast, BMKG uses the WNPMI and AUSMI monsoon index to monitor monsoon activity in Indonesia. Although most literature states that the Indonesian region is part of the Asian-Australian monsoon system, the complex local topography may modify the monsoon circulation. Hence, it is necessary to assess the performance of the two indices before they are operationally used. This study was conducted to evaluate the performance of the AUSMI and WNPMI monsoon indices in describing the annual cycle, intraseasonal and interannual variability of the Indonesian monsoon rainfall. The results revealed that the two indices only performed very well in the areas where the index was defined but lack of skill for the Indonesian region because of insignificant linear correlation based on a statistical significance test between the two indices and the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) rainfall in the 1981-2010 period. In addition, both monsoon indices and Java rainfall showed different characteristics of the annual cycle. These results indicate that it is necessary to define a specific index for monitoring monsoon activity in Indonesia.

Keywords: Climate Of Indonesia, Monsoon Index, WNPMI, AUSMI, Indonesian Monsoon

1. PENDAHULUAN

Monsun merupakan perubahan sirkulasi atmosfer skala besar secara musiman (Ramage, 1971) diikuti dengan perbedaan mencolok jumlah curah hujan antara musim panas dan dingin (Webster, 1987; Webster *et al.*, 1998; Trenberth *et al.*, 2000; Sabin dan Pauluis, 2020; Chen *et al.*, 2021). Merujuk pada definisi di atas maka hampir seluruh wilayah Indonesia termasuk wilayah monsun (Ramage, 1971; Aldrian dan Susanto, 2003; Zhang *et al.*, 2016).

Aktifitas monsun memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan sosial ekonomi masyarakat (Ramage, 1971; Webster dan Yang, 1992; Webster *et al.*, 1998; World Climate Research Programme (WCRP), 1998; Lau *et al.*, 2000a, 2000b, Mulsandi *et al.*, 2019). Pada sektor pertanian, *onset* (awal) monsun sangat menentukan tanggal waktu tanam padi dan menentukan tanggal waktu tanam untuk periode kedua pada akhir musim hujan (Naylor *et al.*, 2007). Selain itu, Variabilitas monsun juga telah terbukti memengaruhi ketersediaan pangan global dan keamanan pangan di berbagai negara seperti Thailand (Sawano *et al.*, 2008; Somboonsuke *et al.*, 2018), Amerika Serikat (Frisse *et al.*, 2006), Australia (Meinke and Stone 2005), dan di Indonesia (Naylor *et al.*, 2007; Kirono *et al.* 2016). Frisse *et al.* (2006) menjelaskan bahwa kegagalan pertanian di Amerika Serikat berkaitan erat dengan defisit atau kelebihan curah hujan. Di Thailand, kombinasi teknologi dan informasi iklim menghemat lebih banyak baik dari segi waktu maupun pekerjaan dibandingkan teknik *transplanting* (Sawano *et al.*, 2008). Adanya pemahaman ini telah memicu pesatnya perkembangan pengetahuan tentang monsun dalam beberapa dekade terakhir ini.

Untuk dapat mengkuantifikasi variabilitas monsun secara objektif, berbagai wilayah monsun di dunia menggunakan indeks monsun karena mampu mengkuantifikasi variabilitas monsun dengan sangat baik (Shukla and Paolino, 1983; Shukla and Mooley, 1987; Webster and Yang, 1992, Goswami *et al.*, 1999; Wang dan Fan, 1999; Kajikawa *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2016; Ditchek *et al.*, 2016). Saat ini, BMKG secara operasional menggunakan indeks monsun AUSMI dan WNPMI untuk memonitor aktivitas monsun di wilayah Indonesia (BMKG, 2020). Kedua indeks monsun tersebut digunakan sebagai pertimbangan utama dalam pembuatan prakiraan musim BMKG.

Indeks monsun AUSMI memiliki performa yang sangat baik dalam menggambarkan variabilitas monsun musim panas Australia untuk berbagai skala waktu. Sementara itu, indeks monsun WNPMI juga sangat baik dalam menggambarkan kuat dan lemahnya aktifitas monsun di Samudra Pasifik bagian utara. Baik AUSMI maupun WNPMI didefinisikan dengan menggunakan variabel angin. Penggunaan

variabel angin memiliki kelebihan dibanding indeks lain yaitu (1) kedua indeks dibangun dengan tujuan untuk merepresentasikan sirkulasi skala luas monsun sehingga penggunaan variabel angin dalam skala luas dapat mengurangi *noise* fluktuasi skala mikro, (2) ketersediaan data *real-time* untuk monitoring aktifitas monsun, (3) tersedia histori data reanalisis yang panjang, dan (4) dapat digunakan sebagai verifikator model iklim global baik model simulasi maupun model prediksi (Kajikawa *et al.*, 2009). Namun demikian, meskipun kedua indeks yang digunakan oleh BMKG tersebut memiliki performa yang sangat baik dalam menggambarkan variabilitas monsun akan tetapi kehandalan performanya hanya terbatas pada wilayah dimana indeks monsun tersebut didefinisikan. Sementara itu, performa kedua indeks tersebut masih perlu dievaluasi apakah juga baik dalam menggambarkan variabilitas monsun Indonesia. Menurut Qian (2008), keragaman dan kompleksitas kondisi topografi suatu wilayah dapat memodifikasi sirkulasi monsun, sehingga setiap wilayah memiliki karakteristik sirkulasi monsun yang berbeda. Selain itu, posisi lintang juga menentukan pola sirkulasi. Akibatnya, penggunaan indeks monsun AUSMI dan WNPMI bisa jadi kurang tepat untuk wilayah Indonesia yang memiliki kondisi topografi yang beragam dan juga memiliki posisi lintang yang berbeda. Disamping itu juga, kedua indeks didefinisikan dengan menggunakan referensi wilayah hujan mereka sendiri. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi performa indeks monsun AUSMI dan WNPMI untuk melihat sejauh mana kedua indeks monsun tersebut dapat menggambarkan variabilitas monsun di wilayah Indonesia.

2. METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)* rata-rata lima harian (pentad) dalam satuan mm/hari dan data hujan rata-rata bulanan GPCP dalam satuan mm/hari untuk wilayah Indonesia dan sekitarnya (25° LU – 36° LS dan 60° BT – 180° BT). Periode waktu data yang digunakan adalah 1981-2010. Data GPCP diperoleh dari NOAA's *National Centers for Environmental Information (NCEI)* dan dapat di unduh dari alamat <https://www.ncei.noaa.gov/>. Data GPCP merupakan hasil *blending* antara pengamatan satelit dengan data grid hujan (Huffman *et al.*, 1997).

Penelitian ini juga menggunakan data reanalisis harian komponen angin baratan pada level 850 hPa (u850) dalam satuan m/detik yang disediakan oleh NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, diambil dari website dengan alamat <http://www.cdc.noaa.gov/>. Periode waktu yang digunakan untuk data reanalisis angin u850 hPa adalah 1981-2010. Baik data hujan GPCP

maupun data reanalisis angin u850 hPa tersebut memiliki resolusi ruang $2.5^0 \times 2.5^0$.

Data indeks monsun yang digunakan adalah WNPMI dan AUSMI. Indeks monsun WNPMI didefinisikan sebagai perbedaan rata-rata wilayah sirkulasi angin baratan pada level 850-hPa antara wilayah utara ekuator A (5^0 – 15^0 N, 100^0 – 130^0 E) dan wilayah utara ekuator B (20^0 – 30^0 N, 110^0 – 140^0 E) (Wang *et al.*, 2001; Gambar 1). Indeks WNPMI yang dihitung dari perbedaan sirkulasi angin baratan secara melintang tersebut berhasil menggambarkan dengan sangat baik intensitas angin baratan serta vortisitas angin level bawah yang berkaitan dengan aktivitas gelombang Rossby sebagai respon terhadap sumber panas konvektif di laut Filipina (Wang *et al.*, 2001) dimana keduanya adalah mekanisme utama yang mengatur variabilitas hujan di wilayah tersebut. Indeks ini juga dapat merepresentasikan keragaman dominan dari variasi antar tahunan monsun pasifik barat bagian utara (WNPSM). Indeks monsun AUSMI didefinisikan sebagai rata-rata wilayah angin zonal pada wilayah (5^0 – 15^0 S, 10^0 – 130^0 E; Gambar 1). Indeks AUSMI dapat menggambarkan variabilitas sirkulasi skala besar monsun musim panas Australia dengan sangat baik dalam berbagai skala waktu baik siklus tahunan, variasi dalam musim, variasi antar tahunan, maupun variasi dekadal (Kajikawa *et al.*, 2009).

Pengujian kehandalan indeks monsun WNPMI dan AUSMI dilakukan terhadap kemampuannya dalam menggambarkan variabilitas monsun pada multi skala waktu yaitu variasi antar tahunan, variasi dalam musim dan siklus tahunan. Untuk mengetahui performa kedua indeks dalam menggambarkan variasi antar tahunan dilakukan dengan analisis korelasi menggunakan rumus koefisien korelasi Pearson.

Nilai koefisien korelasi (r_{xy}) digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan linear antara dua variabel dengan mengkuantifikasi tingkat keterhubungannya menggunakan parameter kovarian (Wackerly *et al.*, 2008). Selanjutnya nilai kovarian (S_{xy}) distandarkan dengan membagi nilai kovarian tersebut dengan nilai standar deviasi kedua variabel (S_x dan S_y) untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y}$$

Pada tahap akhir, nilai koefisien korelasi yang di peroleh diuji untuk mengetahui signifikansi hubungan kedua variabel menggunakan uji-t. Pada penelitian ini tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 99%.

Parameter yang dikorelasi adalah indeks monsun dengan curah hujan GPCP pada saat belahan Bumi Utara (BBU) musim dingin atau bertepatan dengan musim hujan di sebagian besar wilayah Indonesia yaitu pada bulan Desember-Februari (DJF) dan pada saat BBU musim panas atau bertepatan dengan musim

kemarau di sebagian besar wilayah Indonesia yaitu pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA).

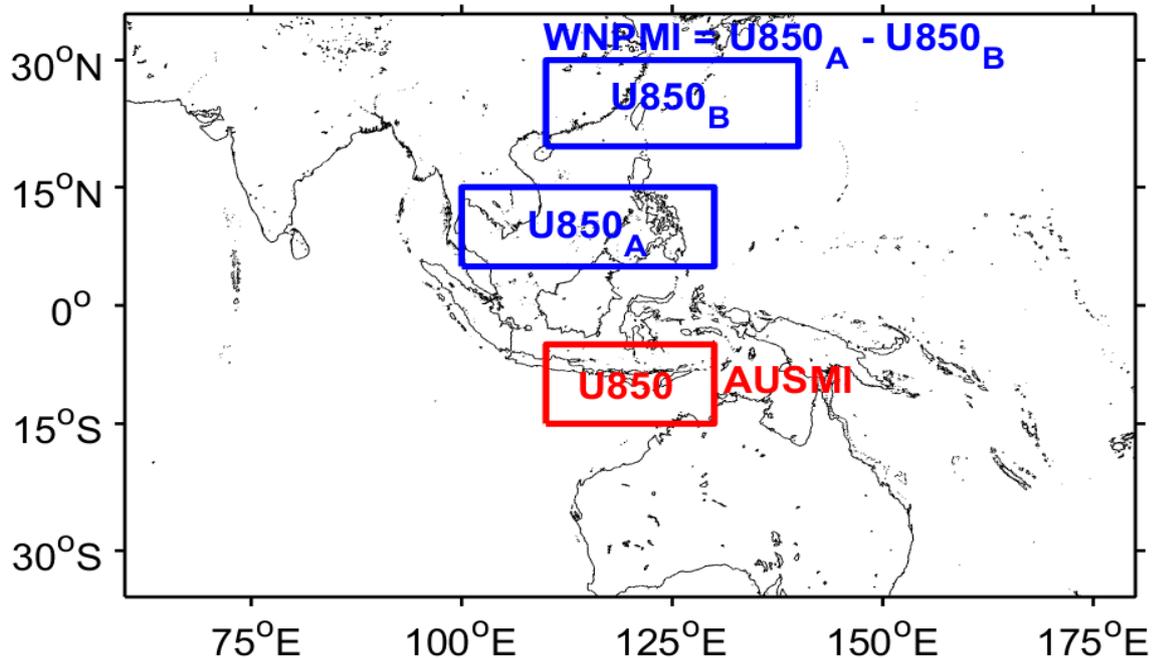
Masih dengan teknik yang sama, penilaian performa kedua indeks dalam menggambarkan variasi dalam musim (*intraseasonal*) dilakukan antara kedua indeks monsun dengan anomali data lima harian (pentad) curah hujan GPCP. Penggunaan data curah hujan lima harian bertujuan untuk dapat menangkap semua variasi dalam musim.

Sementara itu, untuk melihat performa kedua indeks dalam menggambarkan siklus tahunan (*annual cycle*) monsun dilakukan dengan cara menyajikan grafik secara bersama-sama dengan data rata-rata harian indeks monsun (m/detik; grafik garis) dan data rata-rata lima harian curah hujan GPCP (grafik batang) dengan satuan hujan dalam harian (mm/hari) selama kurun waktu 30 tahun (1981-2010). Teknik yang sama juga dilakukan oleh Kajikawa *et al.* (2009). Grafik – grafik tersebut memperlihatkan nilai indeks monsun ketika pada waktu yang bersamaan nilai curah hujan lima harian telah memenuhi syarat awal musim hujan yakni batang pertama setelah enam batang secara berturut-turut bernilai >5 mm/hari dan diikuti oleh 12 batang yang lain (dikonversi dari definisi awal musim hujan BMKG yaitu awal musim adalah dasarian pertama setelah tiga dasarian secara berturut-turut terpenuhi nilai curah hujannya yaitu 50 mm/dasarian atau 5 mm/hari). Performa indeks juga diuji apakah mampu menggambarkan fitur lain dengan baik dari siklus tahunan yaitu puncak dan akhir musim hujan.

Kompleksitas wilayah Indonesia berkaitan dengan letak geografis, kondisi topografi yang kompleks serta wilayah kepulauan telah menghasilkan regionalisasi pengaruh monsun. Wyrski (1956) adalah orang pertama yang mencoba meregionalisasi wilayah hujan di Indonesia dan menemukan sembilan subwilayah hujan dengan karakteristik yang berbeda. Usaha yang sama juga dilakukan Hamada *et al.* (2002) dan ditemukan lima wilayah dengan karakteristik pola hujan tahunan yang berbeda. Hasil yang hampir sama diperoleh oleh Aldrian dan Susanto (2003) namun hanya dikelompokkan menjadi tiga sub-wilayah. Yang lebih baru, Chang (2004) membagi wilayah Indonesia kedalam dua sub-wilayah yaitu Indonesia bagian utara ekuator yang merupakan bagian monsun musim panas Asia dan wilayah Indonesia bagian selatan ekuator yang merupakan bagian monsun musim panas Australia. Dengan mempertimbangkan tingginya variasi spasial hujan di wilayah Indonesia tersebut, maka analisis performa indeks monsun WNPMI dan AUSMI dibatasi hanya untuk wilayah Jawa dimana wilayah ini merupakan wilayah yang memiliki pola monsun paling kuat di Indonesia yang juga disepakati oleh semua literatur (Ramage, 1971; Hamada *et al.*, 2002; Aldrian dan Susanto, 2003; Chang *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2016). Berbeda dengan wilayah Indonesia

lainnya, terdapat perbedaan pandangan terkait wilayah monsun atau bukan. Sebagai contoh, Ramage (1971) berpendapat bahwa wilayah Indonesia seluruhnya adalah monsun. Sementara itu, Aldrian dan Susanto (2003)

berpendapat bahwa wilayah Indonesia yang memiliki pola iklim monsun adalah Jawa dan sebagian wilayah Indonesia bagian selatan lainnya, sedangkan wilayah lainnya adalah ekuatorial dan antimonsun.



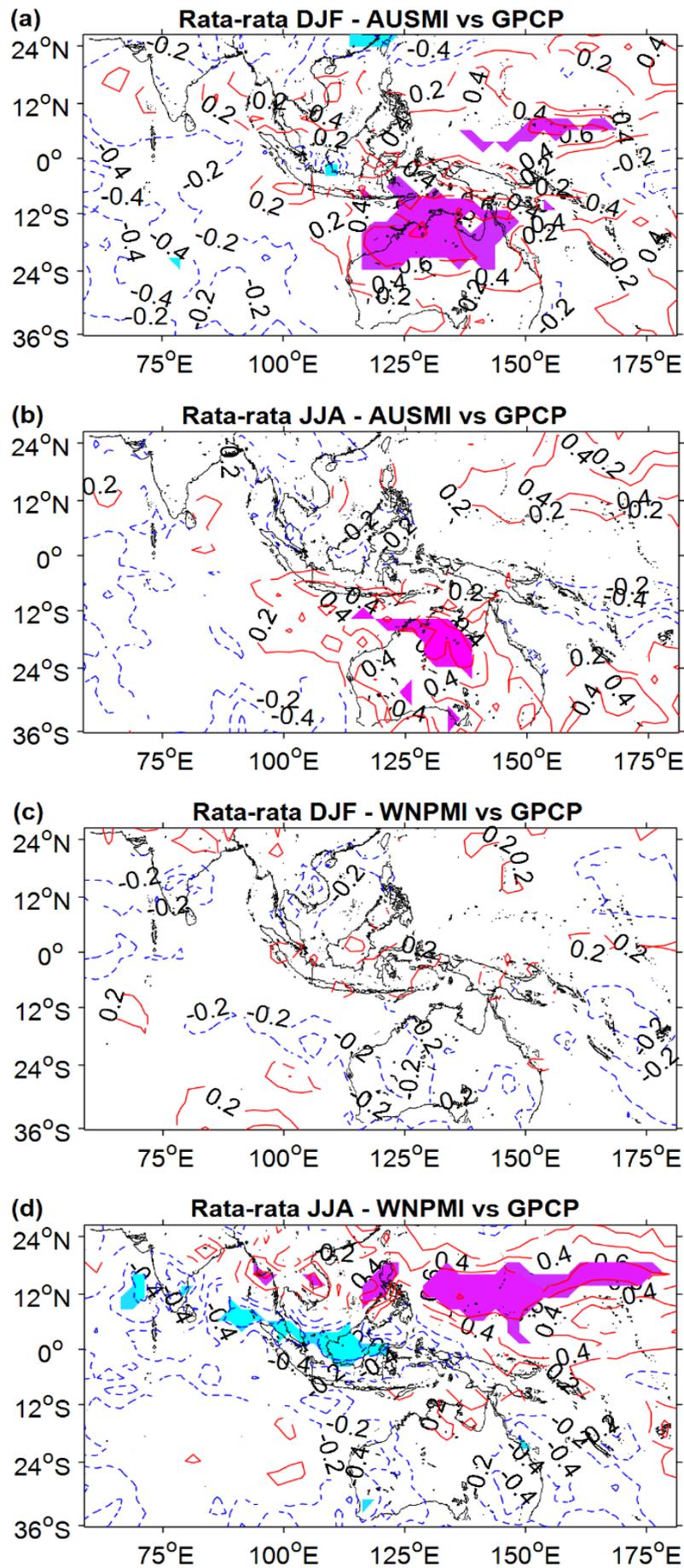
Gambar 1. Area yang digunakan untuk mendefinisikan indeks monsun WNPMI (ditunjukkan dengan kotak warna biru) dan indeks monsun AUSMI (ditunjukkan dengan kotak warna merah).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil evaluasi performa indeks monsun dalam menggambarkan variasi antar tahunan ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi antara indeks WNPMI dan AUSMI monsun dengan anomali rata-rata hujan GPCP pada musim DJF dan JJA (Gambar 2). Nilai koefisien korelasi yang signifikan berdasarkan statistik uji-t (dalam gambar 2 ditunjukkan dengan arsiran warna magenta) antara AUSMI dan curah hujan GPCP terlihat di wilayah Australia (Gambar 2(a), 2(b)) pada kedua musim baik DJF maupun JJA dimana masing-masing memiliki nilai korelasi diatas 0.6 dengan tingkat kepercayaan 99%. Sementara itu, untuk wilayah Indonesia tidak terlihat adanya

korelasi yang signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa indeks monsun AUSMI tidak mampu menggambarkan variasi antar tahunan hujan monsun wilayah Indonesia.

Nilai korelasi yang signifikan antara indeks monsun WNPMI dengan curah hujan GPCP (Gambar 2(c), 2(d)) terlihat di wilayah Samudra Pasifik barat bagian utara namun hanya untuk musim JJA, di sisi lain untuk musim DJF korelasi tidak signifikan baik di wilayah Samudra Pasifik maupun di wilayah Indonesia. Kesimpulan yang sama dapat dikatakan bahwa indeks monsun WNPMI juga gagal menggambarkan variasi antar tahunan hujan monsun di wilayah Indonesia bahkan juga di wilayah sendiri untuk musim DJF.

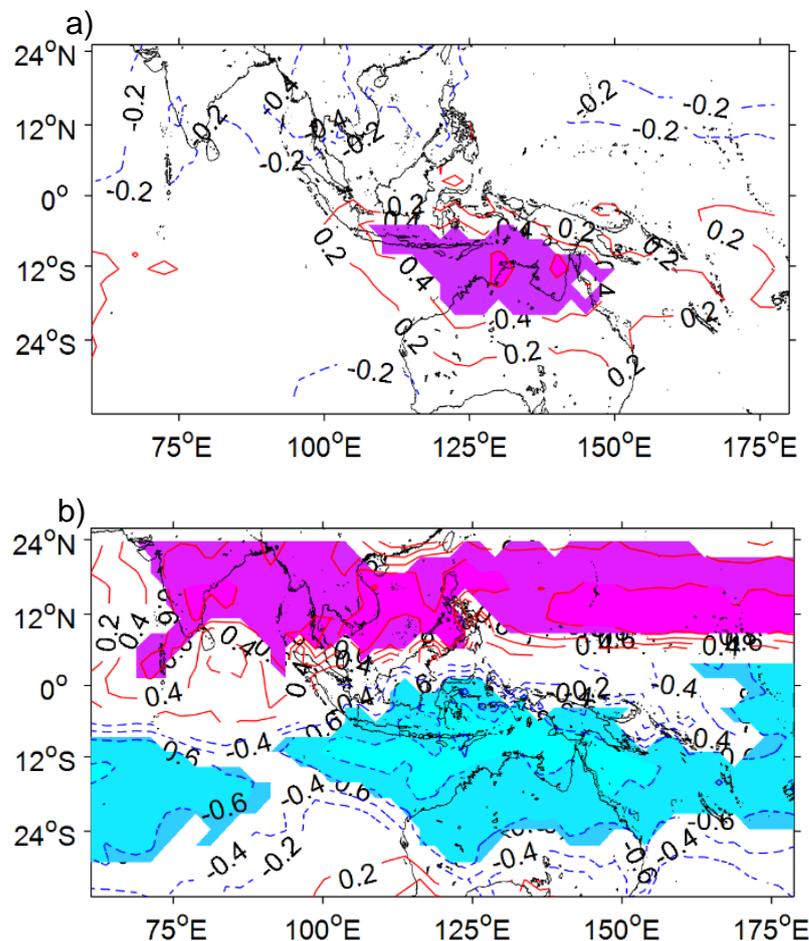


Gambar 2. Koefisien korelasi antara AUSMI dan WNPPI dengan curah hujan GPCP. a) dan c) rata-rata DJF b) dan d) rata-rata JJA selama periode 1981-2010. Nilai korelasi yang signifikan diarsir dengan warna magenta (positif) dan cyan (negatif). Kurva putus-putus warna merah (biru) menunjukkan korelasi positif (negatif)

Nilai koefisien korelasi di wilayah Indonesia menunjukkan nilai yang tidak signifikan bisa jadi karena kedua indeks monsun didefinisikan berdasarkan referensi wilayah hujan di Australia dan di Pasifik barat bagian utara untuk masing-masing indeks AUSMI dan WNPMI. Padahal, mekanisme dinamika atmosfer yang membentuk variasi antar tahunan antara wilayah Indonesia dengan kedua wilayah indeks monsun adalah berbeda. Hasil ini mengindikasikan perlunya mendefinisikan indeks monsun sendiri yang lebih representatif untuk wilayah Indonesia dengan merujuk pada wilayah hujan Indonesia.

Evaluasi performa indeks monsun dalam menggambarkan variasi di dalam musim dilakukan dengan menghitung nilai korelasi data series dengan resolusi waktu lebih tinggi yaitu data rata-rata lima harian (pentad) angin u850 hPa dan data rata-rata lima harian (pentad) hujan

GPCP dalam kurun waktu 30 tahun dari 1981-2010. Hasil korelasi secara spasial ditunjukkan pada Gambar 3a dan 3b. Dapat dilihat bahwa nilai koefisien korelasi positif yang signifikan baik untuk indeks AUSMI maupun indeks WNPMI terdapat pada wilayah dimana kedua indeks tersebut didefinisikan yaitu Pasifik barat bagian utara dan Australia bagian utara untuk masing-masing indeks. Sementara itu, di wilayah Indonesia, nilai korelasi yang didapatkan sebagian besar tidak signifikan, hanya sebagian kecil yang signifikan di wilayah Jawa timur, Bali, dan Nusa Tenggara Timur yang berdekatan dengan wilayah Australia. Wilayah selatan Indonesia terlihat memiliki hubungan yang tidak searah antara indeks monsun WNPMI dengan hujan GPCP yang dapat diinterpretasikan jika aktivitas monsun di Pasifik barat menguat maka aktivitas monsun di selatan Indonesia akan melemah begitu juga sebaliknya.



Gambar 3. Koefisien korelasi antara AUSMI (a) dan WNPMI (b) dengan curah hujan lima harian GPCP. Nilai korelasi yang signifikan diarsir dengan warna magenta untuk yang positif dan warna cyan untuk yang negatif. Kurva putus-putus warna merah (biru) menunjukkan korelasi positif (negatif)

Kondisi diatas, selain alasan penggunaan referensi wilayah hujan untuk kedua indeks, diduga juga karena variasi di dalam musim sangat dipengaruhi oleh proses-proses atmosfer dalam skala regional dimana kondisi topografi lokal wilayah sangat dominan mempengaruhi dinamika atmosfer (Wang *et al.* 2001). Melihat keunikan

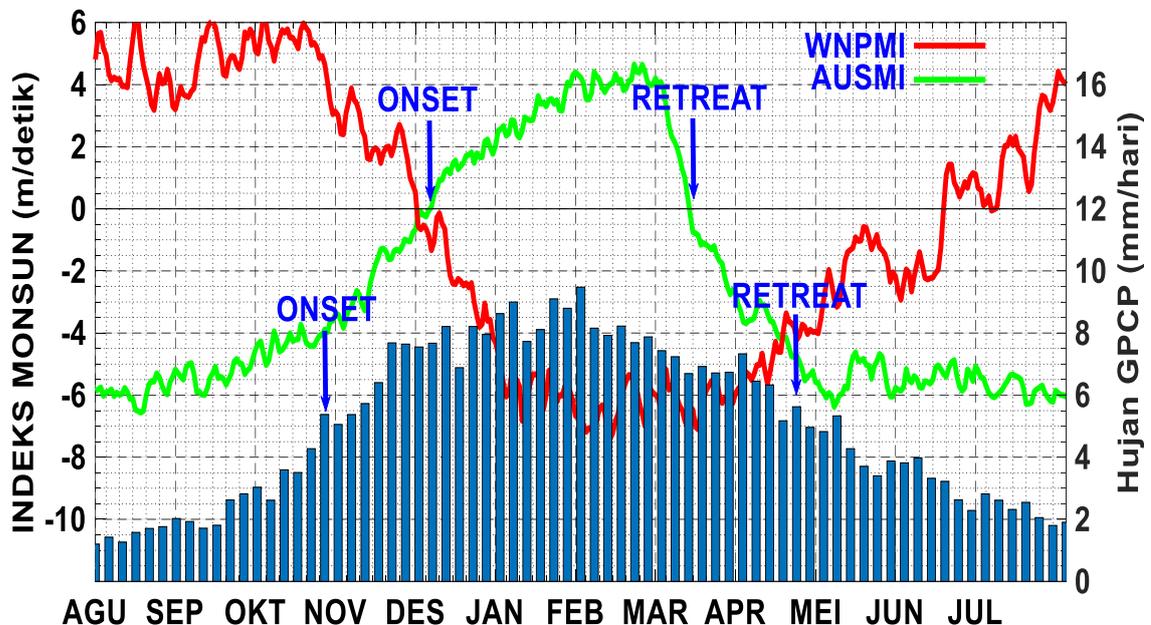
wilayah Indonesia yang terdiri dari banyak pulau yang dikelilingi oleh perairan hangat, topografi kompleks yang dapat membentuk fenomena iklim skala kecil dengan karakteristik awan-awan konvektif yang intens (Hastuti dan Mulsandi, 2017; Muhlis dan Mulsandi, 2017; Aiqiu *et al.*, 2018; Perdana *et al.*, 2019, Mulsandi *et al.*, 2019a dan

2019b), maka modifikasi sirkulasi monsun saat melintas di wilayah Indonesia sangat mungkin terjadi sehingga diduga menjadi penyebab nilai korelasi yang tidak signifikan antara indeks AUSMI dan WNPMI dengan data pentad GPCP wilayah Indonesia dalam kurun waktu 30 tahun dari 1981-2010. Ditambah lagi, perbedaan posisi lintang juga turut mempengaruhi adanya perbedaan mekanisme dinamika atmosfer yang berlaku dan membentuk cuaca dan iklim di kedua wilayah. Wilayah Indonesia berada di lintang rendah dimana mendapatkan pemanasan matahari maksimum sepanjang tahun (Munawar *et al.*, 2020) yang berbeda baik dengan wilayah Pasifik barat bagian utara maupun dengan Australia yang berada di wilayah subtropis.

Pengujian performa indeks monsun dalam menggambarkan siklus tahunan dilakukan dengan melakukan perbandingan grafik antara rata-rata indeks AUSMI dan WNPMI harian dan rata-rata lima harian (pentad) curah hujan GPCP dalam satuan mm/hari untuk wilayah Jawa dalam kurun waktu 30 tahun (1981-2010). Pemilihan wilayah Jawa mempertimbangkan tingginya variasi spasial pengaruh monsun di wilayah Indonesia dimana wilayah Jawa adalah yang paling banyak disepakati peneliti sebagai wilayah musonal (Ramage, 1971; Aldrian dan Susanto, 2003; Chang *et al.*, 2004, Zhang *et al.*, 2016). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa dinamika musiman sirkulasi monsun yang digambarkan oleh indeks AUSMI memperlihatkan terjadinya perubahan arah angin timuran (kemarau) menjadi baratan (hujan) yang menandakan awal musim

hujan (*onset*) terjadi pada pentad kedua bulan Desember. Sementara itu, perubahan arah angin dari baratan ke timuran yang menandakan berakhirnya musim hujan (*retreat*) terjadi pada pentad ke tiga bulan Maret (Gambar 4). Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh data curah hujan di wilayah Jawa dimana *onset* musim hujan wilayah ini terjadi sekitar akhir bulan Oktober dimana konsisten dengan definisi *onset* musim yang didefinisikan oleh BMKG (2020) dan Moron *et al.* (2009a). Sementara itu, akhir musim di wilayah Jawa terjadi pada bulan Mei. Dalam hal ini AUSMI terlambat dalam mendeteksi awal musim hujan di pulau Jawa dan terlalu cepat mendeteksi akhir musim. Keterlambatan dan terlalu awal tersebut diduga disebabkan oleh referensi wilayah hujan saat mendefinisikan indeks monsun dan lokasi lintang yang berbeda dimana Indonesia adalah wilayah tropis sedangkan Australia di subtropis. Kondisi tersebut diduga yang mengakibatkan perbedaan puncak konveksi dimana Indonesia lebih awal memasuki musim hujan dibandingkan wilayah Australia.

Untuk indeks monsun WNPMI sudah jelas tidak dapat digunakan untuk memonitor aktivitas monsun di wilayah Jawa karena antara indeks monsun dan curah hujan berbeda fase puncak musim hujannya (Gambar 4). Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan lokasi pusat aktifitas monsun Pasifik barat bagian utara yang berada di belahan bumi bagian utara (BBU) sehingga puncak konveksi akan berlawanan dengan pusat konveksi di wilayah Jawa yang berada di belahan bumi bagian selatan (BBS).



Gambar 4. Perbandingan antara indeks monsun AUSMI dan WNPMI dengan rata-rata curah hujan lima harian GPCP di wilayah Jawa selama periode 1981-2010. Grafik garis menunjukkan indeks monsun dengan satuan (m/detik) sedangkan grafik batang menunjukkan curah hujan dengan satuan (mm/hari)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Meskipun banyak referensi mengatakan bahwa aktifitas monsun di Indonesia merupakan bagian dari aktifitas monsun Asia - Australia, kajian ini telah membuktikan bahwa monsun Indonesia memiliki karakteristik yang berbeda dengan sistem monsun Asia - Australia. Kondisi tersebut terlihat dari tidak signifikannya hasil uji-t (dengan tingkat kepercayaan 99%) hasil analisis korelasi antara monsun Pasifik barat bagian utara dan monsun Australia (masing-masing direpresentasikan dengan indeks monsun AUSMI dan WNPMI) dengan variasi hujan monsun Indonesia dalam berbagai skala waktu (variasi antar tahun, variasi dalam musim, serta siklus tahunan) di wilayah Indonesia. Hasil studi ini juga menunjukkan bahwa monsun Australia dan monsun Pasifik barat bagian utara memiliki karakteristik siklus tahunan yang berbeda dengan karakteristik siklus tahunan monsun Indonesia.

Tidak signifikannya hubungan antara WNPMI dan AUSMI dengan curah hujan monsun Indonesia dapat diduga terjadi karena dua hal yaitu: (1) penggunaan referensi hujan dalam mendefinisikan indeks monsun dan (2) perbedaan mekanisme dinamika atmosfer yang berlaku di kedua wilayah. Hal ini dipicu oleh kompleksitas topografi wilayah Indonesia, perbedaan posisi lintang wilayah dan perbedaan interaksinya dengan fenomena iklim skala besar lainnya.

4.2 Saran

Analisis lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui secara persis bagaimana mekanisme modifikasi sirkulasi sistem monsun Asia-Australia ketika melintasi wilayah Indonesia. Setelah memahami mekanisme tersebut, kita bisa mendapatkan prekursor yang dapat digunakan untuk mendefinisikan indeks monsun Indonesia dimana sangat diperlukan dalam membuat prakiraan musim. Indeks yang dimaksud berbasis karakteristik cuaca dan iklim lokal wilayah Indonesia sehingga lebih representatif.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk NOAA/OAR/ESRL PSL, Boulder, Colorado, USA, dari website yang beralamat di <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> karena telah menyediakan data NCEP_Reanalysis 2 yang digunakan dalam penelitian ini. Terima kasih juga diucapkan kepada pusat pendidikan dan pelatihan (pusdiklat) BMKG yang telah mensupport terlaksananya penelitian ini melalui beasiswa pendidikan doktor di IPB.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aiqiu, L. F., Lestari, R. E., Mulsandi, A. (2018). Identification of Mesoscale Convective Complex (MCC) During Active and Break Period of Asian Winter Monsoon in 2016 Using Himawari 8 Satellite Imagery. *Proceeding of International Symposium for Sustainable Humanosphere*. 116-120.
- Aldrian, E., Susanto, D.R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23, 1435-1452. doi:10.1002/joc.950.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan geofisika (BMKG). (2020). *Prakiraan Musim Hujan 2020/2021 di Indonesia*. Buku PMH20-21. Jakarta. BMKG. https://cdn.bmkg.go.id/web/Buku_PMH20-21.pdf
- Chang, C.P., Harr P. A., McBride, J., Hsu, H. H. (2004). Maritime Continent monsoon: Annual cycle and boreal winter. *East Asian Monsoon, World Scientific Series on Meteorology and East Asia*, 2, World Scientific, 107–150. doi:10.1175/JCLI-3257.1.
- Carvalho L.M.V., Jones C, Cannon F., Norris J. (2016). Intraseasonal-to-Interannual Variability of the Indian Monsoon Identified with the Large-Scale Index for the Indian Monsoon System (LIMS). *American Meteorological Society*, 29, 2941-2962. doi:10.1175/JCLI-D-15-0423.1
- Chen G., Du Y., Wen Z. (2021). Seasonal, Interannual, and Interdecadal Variations of the East Asian Summer Monsoon: A Diurnal-Cycle Perspective. *J. Climate*. Vol 34. pp. 4403-4421. doi:10.1175/JCLI-D-20-0882.1
- Ditchek S.D., Boos W.R., Camargo S.J. (2016). A Genesis Index for Monsoon Disturbances. *American Meteorological Society*, 29, 5189-5203. doi:10.1175/JCLI-D-15-0704.1
- Fraisse, C., Breuer, N. E., Zierden, D., Bellow, J. G., Paz, J., Cabrera, V. E., Garcia y Garcia, A., Ingram, K.T., Hatch, U., Hoogenboom, G., Jones, J. W., and O'Brien, J. J. (2006). AgClimate: A climate forecast information system for agricultural risk management in the southeastern USA. *Comput. Electron. Agric.*, 53, 13–27, doi:10.1016/j.compag.2006.03.002.
- Goswami, B. N., V. Krishnamurthy, H. Annamalai (1999), A broad-scale circulation index for interannual variability of the Indian summer monsoon, 40. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125, 611–633. doi:10.1002/qj.49712555412
- Hamada JI, Yamanaka MD, Matsumoto J, Fukao S, Winarso PA, Sribimawati T. (2002). Spatial and temporal variations of the rainy

- season over Indonesia and their link to ENSO. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 80: 285–310. doi:10.2151/jmsj.80.285
- Hastuti, M. I., dan Mulsandi, A. (2017). Pemantauan Sebaran Awan Konvektif Menggunakan Metode Cloud Convective Overlays dan Red Green Blue Convective Storms pada Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Hujan Ekstrim Bima 21 Desember 2016). *Seminar Nasional Pengindraan Jauh ke-4 Tahun*.
- Huffman, R F., Adler, P. A., Chang, A., Ferraro, R., Gruber, A., Janowiak, J., McNab, A., Rudolf, B., Schneider, U. (1997). The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. *Bulletin American Meteorology Society*, 78, 5–20. doi:10.1175/1520-0477(1997)078%3C0005TGPCPG%3E20 CO;2
- Kajikawa, Y., Wang, B., Yang, J. (2009). A Multi-time Scale Australian Monsoon Index. *International Journal of Climatology*, 30(8), 1114-1120. doi:10.1002/joc.1955
- Kirono, D. G., Butler, J.R., McGregor, J. L., Ripaldi, A., Katzfey, J., and Nguyen, K. (2016). Historical and future seasonal rainfall variability in Nusa Tenggara Barat province, Indonesia: Implications for the agriculture and water sectors. *Climate Risk Manage.*, 12, 45–58, doi:101016/j.crm.2015.12.002.
- Lau, K. M., Ding, Y., Wang, J.T., Johnson, R., Keenan, T., Cifelli, R., Gerlach, J., Thieleandamp, O., Rickenbach, T., Tsay, S.C., Lin, P.H. (2000a). A report of the field operations and early results of the South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX, *Bulletin American Meteorology Society.*, 81, 1261 – 1270, doi:10.1175/1520-0477(2000)081%3C1261AROTFO%3E2.3 CO;2
- Lau, K. M., Kim, K. M., Yang, S. (2000b). Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of Asian summer monsoon, *Journal Climate*, 13, 2461–2482, doi:10.1175/1520-0442(2000)013%3C2461DABFCO%3E2.0. CO;2
- Meinke, H., and Stone, R. C. (2005). Seasonal and inter-annual climate forecasting: The new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations. *Climatic Change*, 70, 221–253, doi:10.1007/s10584-005-5948-6.
- Moron, V., Robertson A.W., Boer, R. (2009a). Spatial coherence and seasonal predictability of monsoon onset over Indonesia. *Journal of Climate*, 22, 840–850. doi:10.1175/2008JCLI2435.1
- Muhlis, A. dan Mulsandi, A (2017). Distribusi spasial dan temporal Mesoscale Convective Complex (MCC) di Indonesia selama periode MJO menggunakan citra satelit. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. Vol 4(1). pp 22-28.
- Mulsandi, A., Kristianto, A., Zakir, A. (2019a). Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Curah Hujan Lebat Terkait Dengan Kejadian Longsor Di Banjarnegara Menggunakan Asimilasi Data Satelit. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol.19 No.2, 2018: 51 –60. doi:10.29122/jstmcv19i2.3127.
- Mulsandi, A., Mamenun, Fitriano, L., Hidayat, R. (2019b). Perbaikan Estimasi Curah Hujan Berbasis Data Satelit Dengan Memperhitungkan Faktor Pertumbuhan Awan. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol.20 No.2, 2019: 67 – 78. doi:10.29122/jstmc-v20i2.3810.
- Munawar, Mulsandi, A., Hidayat, A.M., (2020). Model Estimasi Data Intensitas Radiasi Matahari Untuk Wilayah Banten. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol.21 No.2, 2020: 53–615. doi:10.29122/jstmc-v21i2.4171.
- Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., and Burke, M. B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104, 7752–7757, doi:10.1073/pnas.0701825104.
- Qian, J. H. (2008). Why precipitation is mostly concentrated over islands in the Maritime Continent. *Journal of Atmospheric Science*, 65, 1428–1441. doi: 10.1175/2007JAS2422.1
- Ramage, C. S. (1971). *Monsoon Meteorology*. Academic Press, New York and London, 296.
- Perdana, I. F. P., Rismana, Y.I, Prasetya, F. A., Mulsandi, A. (2019). Studi Kejadian Mesoscale Convective Complex (Mcc) Di Wilayah Papua Bagian Selatan Pada 9-10 Mei 2018. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika* Vol. 6(1). pp. 58-66. doi:10.36754/jmkg-v6i1.115.
- Sabin T.P., Pauluis O.M. (2020). The South Asian Monsoon Circulation in Moist Isentropic Coordinates. *J. Climate*. Vol 3. Pp 5253-5270. doi:10.1175/JCLI-D-19-0637.1
- Sawano, S., T. Hasegawa, S. Goto, P. Konghakote, A. Polthanee, Y. Ishigooka, T. Kuwagata, and Toritani, H. (2008). Modeling the dependence of the crop calendar for rain-fed rice on precipitation in northeast Thailand. *Paddy Water Environ.*, 6, 83–90, doi:10.1007/s10333-007-0102-x.
- Shukla, J., Paolino, D. A. (1983). The Southern Oscillation and long-range forecasting of the summer monsoon rainfall over India. *Monthly Weather Review*, 111, 1830-1983.

- doi: 10.1175/1520-0493(1983)111%3C1830TSOALR%3E2.0.CO;2
- Shukla, Mooley, D. A. (1987). Empirical prediction of the summer monsoon rainfall over India. *Monthly Weather Review*, 115, 695-703. doi:10.1175/1520-0493(1987)115%3C0695EPOTSM%3E20CO;2
- Somboonsuke, B., Phitthayaphinant, P. Sdoodee, S. and Kongmanee, C. (2018). Farmers' perceptions of impacts of climate variability on agriculture and adaptation strategies in Songkhla Lake basin. *Kasetsart J. Soc. Sci.*, 39, 277–283, doi:10.1016/j.kjss.2018.05.006.
- Trenberth K.E., Stepaniak D.P., Caron J.M. (2000). The global monsoon as seen through the divergent atmospheric circulation. *J Clim* 13:3969–3993. doi:10.1175/1520-0442(2000)013<3969TGMAS>2.0.CO;2
- Wang, B., Wu, R., & Lau, K. M. (2001). Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific–East Asian monsoons. *Journal of climate*, 14(20), 4073-4090. doi:10.1175/1520-0442(2001)014%3C4073IVOTAS%3E20CO;2.
- Wang, B., Z. Fan. (1999). Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, 629–638, doi:10.1175/1520-0477(1999)080<0629 COSASM>2.0.CO;2.
- Webster, P. J., Yang, S. (1992). Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 118, 877 – 926, 1992. doi:10.1002/qj.49711850705
- Webster, P. J., V. Magana, T. N. Palmer, J. Shukla, R. A. Tomas, M. Yanai, and T. Yasunari. (1998). Monsoons: Processes, predictability and prospects for prediction, *Journal of Geophysical Research*, 103, 14,451–14,510. doi:10.1029/97JC02719
- Webster, P. J. (1987). The elementary monsoon. In *Monsoons*, ed. J. S. Fein and P. L. Stephens, New York: John Wiley, pp. 3–32.
- Wackerly D.D., Mendenhall III W, Scheaffer R.L. (2008). *Multivariate probability distributions*. In: *Mathematical Statistics with Applications*. 7th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole, pp. 223–295.
- Wyrtki K. (1956). The rainfall over the Indonesian waters. *Verhandelingen*, 49. Kementrian Perhubungan Lembaga Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- World Climate Research Programme (WCRP). (1998). *CLIVAR Initial Implementation Plan*. WCRP-103, WMO/TD 869, ICPO 14, Geneva, Switzerland, 314.
- Zhang T., Yang S., Jiang X., Zhao P. (2016). Seasonal–Interannual Variation and Prediction of Wet and Dry Season Rainfall over the Maritime Continent: Roles of ENSO and Monsoon Circulation. *J. Climate*. Vol 29. pp 3675-3695. doi:10.1175/JCLI-D-15-0222.1