

EL NIÑO MODOKI DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERILAKU CURAH HUJAN MONSUNAL DI INDONESIA

EL NIÑO MODOKI AND ITS INFLUENCE TO THE MONSOONAL RAINFALL BEHAVIOR OVER INDONESIA

***Ela Hasri Windari*^{*1}, *Akhmad Faqih*¹, dan *Eddy Hermawan*²**

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4, Bogor 16680

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

*Email: ela.windari@gmail.com

Naskah masuk: 25 Juni 2012; Perbaikan terakhir: 11 Desember 2012; Naskah diterima: 21 Desember 2012

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kejadian El Niño Modoki dan pengaruhnya terhadap keragaman curah hujan bertipe monsun di Indonesia. Selain itu, di dalam penelitian ini juga dikaji perbedaan antara El Niño Modoki dengan El Niño konvensional yang telah dikenal selama ini. Analisis Power Spectral Density terhadap data indeks aSML periode 1979–2010 menghasilkan perbedaan karakteristik temporal antara keduanya. El Niño Modoki memiliki siklus 6–8 tahunan sedangkan El Niño konvensional memiliki siklus 4–5 tahunan. Hasil ini juga didukung oleh hasil analisis Wavelet yang menunjukkan pola osilasi dominan El Niño konvensional ~4 tahunan sedangkan El Niño Modoki hampir mendekati pola dekadal (~10 tahunan). Hasil analisis komposit dari tujuh kejadian El Niño Modoki, yaitu tahun 1986/87, 1990/91, 1992/93, 1994/95, 2002/2003, 2004/2005, dan 2009/2010 menunjukkan bahwa anomali hangat yang berkaitan dengan peristiwa El Niño biasanya konsisten melampaui nilai threshold sekitar periode Juli–Maret. Fase pertumbuhan mulai terlihat sekitar Maret atau April hingga Januari kemudian mulai turun sekitar bulan Februari. Puncak anomalnya terjadi pada bulan Agustus–Januari. Menurut hasil analisis regresi anomali curah hujan terhadap EMI periode 1971–2000, El Niño Modoki memberikan pengaruh yang jelas terhadap penurunan curah hujan di wilayah Sumbawa Besar, Makassar, dan Banjar Baru pada musim JJA dan semakin kuat pengaruhnya pada musim SON. Wilayah Lampung hanya merasakan pengaruh Modoki dengan jelas pada musim JJA saja sedangkan Indramayu pada musim SON. Penggunaan indeks EMI yang memasukkan informasi aSML di sekitar wilayah Indonesia menyebabkan nilai korelasi silang yang signifikan antara anomali curah hujan dengan EMI hanya menghasilkan jeda maksimum satu bulan.

Kata kunci: El Niño Modoki, El Niño Konvensional, perilaku curah hujan monsun.

ABSTRACT

This study aims to investigate El Niño Modoki phenomenon and its influence to monsoonal rainfall behavior over Indonesia. The study is also intended to identify the differences between the El Niño Modoki and the well-known El Niño events, referred in this study as Conventional El Niño. Power Spectral Density and Wavelet analysis shows a different strength in the temporal cycle of both events, four years interannual cycles of Nino-4 index and nearly decadal (~10 years) cycles of EMI index. The composite of seven El Niño Modoki events in 1986/87, 1990/91, 1992/93, 1994/95, 2002/03, 2004/05, and 2009/10, shows the El Niño Modoki events indicated by the raise of EMI exceeding its defined threshold occurred from July to March. The growing phase started from March or April until January then continued by decaying phase around February. Regression analysis resulted the El Niño Modoki strongly influence monsoonal rainfall behavior over Sumbawa Besar, Makassar, and Banjar Baru during both June-July-August (JJA) and September-October-November (SON) periods, over Lampung only during JJA, and Indramayu during SON. The use of EMI which includes SST anomaly around Indonesia led to a significant cross-correlation values $\square\square$ between monsoonal rainfall anomaly and EMI with only maximum of one month lag time.

Keywords: El Niño Modoki, Conventional El Niño, monsoonal rainfall behavior.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan wilayah perairan yang relatif cukup luas, memiliki karakteristik yang berbeda dengan atmosfer di wilayah khatulistiwa lainnya. Hal ini diantaranya disebabkan oleh Indonesia diapit oleh dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudera (Hindia dan Pasifik). Ramage [1] menyebut kondisi ini sebagai *Indonesia Maritime Continent* (IMC) atau "Benua Maritim Indonesia" (BMI).

Keragaman iklim berhubungan dengan dinamika sirkulasi Walker sebagai peredaran zonal (timur-barat), salah satunya berkaitan dengan adanya fenomena interaksi lautan-atmosfer yang dikenal dengan istilah *El Niño and Southern Oscillation* (ENSO) dengan dua kemungkinan kejadiannya yaitu El Niño atau La Niña. Siklus El Niño biasanya muncul antara 4-7 tahun sekali, namun dalam beberapa tahun terakhir muncul lebih awal dan semakin sering terjadi. Tercatat bahwa dalam tempo 12 tahun (1994-2006) terjadi enam kali El Niño; 1994, 1997, 2002, 2003, 2006. Menurut Yeh *et al.* [2], hal ini diperkirakan berkaitan dengan perubahan iklim yang terjadi sebagai akibat adanya pemanasan global. Data anomali suhu muka laut (aSML) di wilayah Niño (sepanjang Samudera Pasifik ekuator bagian tengah dan timur) menunjukkan bahwa frekuensi kejadian El Niño semakin meningkat.

Ashok *et al.* [3] telah melakukan kajian terhadap anomali suhu muka laut di Samudera Pasifik tropis yang terjadi pada tahun 2004 terutama terkait dengan pola penghangatan dan pola interaksinya. Hasil kajian tersebut memperkenalkan suatu istilah yang menggambarkan pola anomali penghangatan suhu muka laut (SML) yang berbeda dari biasanya, dikenal dengan istilah El Niño Modoki. Kemudian istilah ini semakin menarik perhatian kalangan komunitas peneliti iklim global. Sehingga mulai banyak yang mengkaji tentang fenomena El Niño Modoki, dampaknya, dan interaksinya di berbagai wilayah secara global (contoh: Chang *et al.* [4], Gen *et al.* [5], Yu & Kim [6], Lee & McPhaden [7]).

Tahun 2002 dan 2004 adalah tahun yang menunjukkan pola penghangatan suhu muka laut yang terkonsentrasi hanya di Pasifik tropis bagian tengah. Tahun 2002, fenomena iklim ekstrim kering panjang terjadi di Australia dan tercatat sebagai kekeringan dengan peringkat ke-4 terparah sepanjang sejarah kekeringan di Australia. Wilayah Amerika utara bagian barat mulai dari Alaska hingga California juga mengalami kekeringan. Jepang juga mengalami iklim ekstrim pada tahun 2004 ditandai oleh adanya 10 kejadian topan yang memecahkan rekor topan musim panas. Hasil analisis kajian Ashok *et al.* [3] dan Weng *et al.* [8] menyatakan bahwa fenomena iklim ekstrim pada kedua tahun tersebut tidak bisa dijelaskan oleh pola interaksi El Niño yang biasa terjadi karena adanya indikasi kecenderungan fenomena iklim ekstrim di atas sebagai dampak interaksi El Niño Modoki terhadap kondisi iklim global.

Fenomena El Niño Modoki juga baru dipublikasikan tahun 2004 oleh peneliti JAMSTEC pada berbagai *press release*. Sejauh ini, dari kajian yang dilakukan peneliti Badan Riset Kelautan Jepang (*Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology*, JAMSTEC), wilayah Indonesia belum banyak diteliti. Kajian ini merupakan pengembangan dari jurnal Ashok *et al.* [3] yang membahas tentang El Niño Modoki dan pola telekoneksinya, namun belum mengkaji pengaruhnya terhadap curah hujan musonal di Indonesia. Sehingga dapat dikatakan bahwa kajian ini melanjutkan pembahasan Ashok *et al.* [3] tentang El Niño Modoki dengan pendalamannya pada materi curah hujan musonal di Indonesia.

1.2. Tujuan

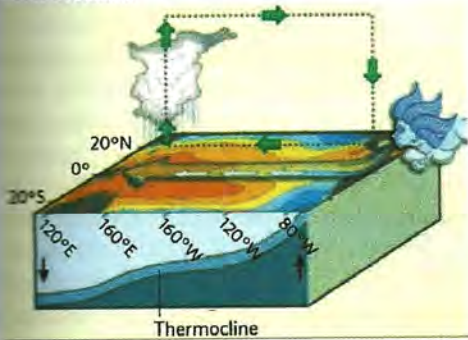
Tujuan dilakukannya kajian tentang El Niño Modoki dan pengaruhnya terhadap perilaku curah hujan musonal di Indonesia yang diwakili oleh lima wilayah kajian ini adalah untuk mempelajari perbedaan antara El Niño Konvensional dan El Niño Modoki, mengetahui apakah aSML El Niño Modoki juga dapat digunakan sebagai prediktor curah hujan dan membandingkannya dengan aSML El Niño Konvensional, dan mengetahui pola interaksi El Niño Modoki terhadap perilaku curah hujan musonal di Indonesia.

1.3. Landasan teori

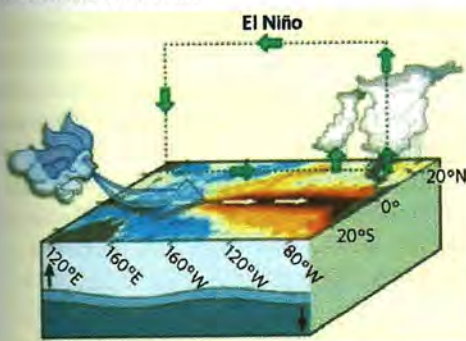
Adanya perubahan karakteristik dan perilaku ENSO di Samudera Pasifik ekuator bagian tengah yang dikenal dengan istilah El Niño Modoki semakin menambah kompleksitas dan dinamika kajian interaksi atmosfer dan lautan. Menurut Wiratmo [9], Pemahaman tentang mekanisme fisik fenomena iklim global El Niño terlebih dahulu memerlukan pemahaman terhadap sistem angin pasat normal di Pasifik tropis.

Kondisi normal (Gambar 1a) ditandai dengan SML yang lebih dingin di Pasifik timur dan lebih hangat di Pasifik barat. Angin mengalir menuju suhu air laut yang lebih hangat karena tekanan udara di atas muka lautnya lebih rendah. Suhu air laut yang hangat memanaskan udara di atasnya sehingga udara tersebut naik. Udara yang naik digantikan oleh udara di tempat lain. Angin yang bergerak ke barat sepanjang ekuator mendorong air panas ke barat sehingga termoklin naik dan air dingin di bawahnya muncul ke muka laut (*upwelling*) wilayah Pasifik timur ekuator. *Upwelling* mendinginkan air permukaan di Pasifik timur (Wiratmo [9]).

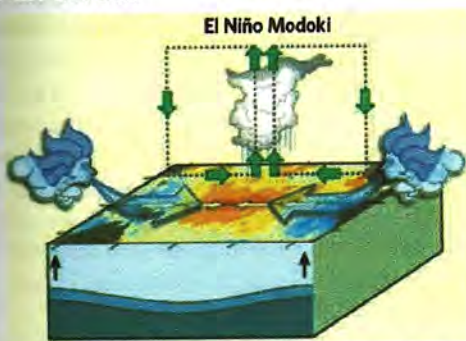
Kondisi Normal



El Niño Konvensional



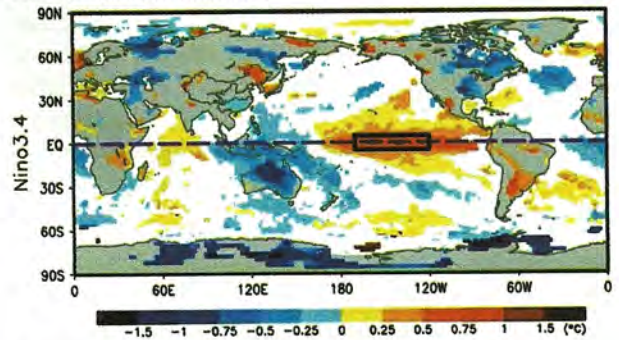
El Niño Modoki



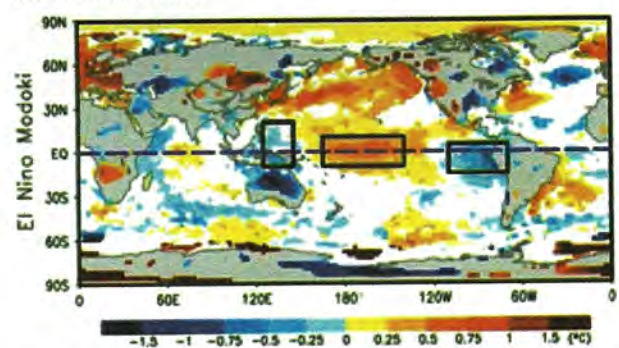
Gambar 1. Skematik mekanisme fisik kondisi Normal, El Niño Konvensional dan Modoki [10].

Pada saat El Niño terjadi (Gambar 1b), seluruh sistem yang dijelaskan di atas melemah. Angin pasat melemah, khususnya di batas barat Pasifik ekuator sehingga air yang menumpuk di barat berbalik ke arah timur dan membawakolam hangat tersebut bersamanya. Sedangkan kejadian El Niño Modoki (Gambar 1c) merupakan sejenis kondisi anomali yang perbedaannya sangat jelas dengan El Niño Konvensional. SML yang lebih hangat terbentuk di Pasifik bagian tengah, diapit dengan SML yang lebih dingin di sisi barat dan timurnya. Sehingga pola konveksi atmosfer yang terjadi adalah tekanan udara di sisi timur dan barat lebih tinggi akibat udaranya yang lebih dingin membuat angin yang bertiup berasal dari kedua kutub tersebut menuju ke bagian tengah Pasifik tropis ekuator. Angin tersebut mengakibatkan awan-awan konvektif yang bersumber dari sisi barat dan timur berpusat di bagian tengah. Sehingga wilayah Pasifik tengah mengalami anomali yang tidak biasa, menjadi lebih basah, dan kedua sisi yang mengapitnya lebih kering akibat penarikan awan-awan konvektif.

a. El Niño Konvensional



b. El Niño Modoki



Gambar 2. Pola penghangatan El Niño Konvensional dan El Niño Modoki di Pasifik tropis (Weng *et al.* [8]).

El Niño Modoki jelas berbeda dengan fenomena El Niño yang biasanya terjadi (selanjutnya disebut sebagai El Niño Konvensional). El Niño Konvensional ditandai dengan anomali penghangatan yang kuat di sepanjang Pasifik timur ekuator (Gambar 2a) sedangkan El Niño Modoki berkaitan dengan anomali penghangatan yang kuat di pasifik tropis bagian tengah disertai dengan pendinginan di bagian timur dan baratnya (Gambar 2b). Sehubungan dengan pola penghangatan dan pendinginan yang tidak biasa ini, telekoneksiya juga berbeda dari pola telekoneksi El Niño Konvensional (Ashok *et al.* [3]).

NOAA telah mendefinisikan kejadian El Niño berdasarkan indeks Niño3.4 sebagai suatu fenomena di Samudera Pasifik ekuator yang dicirikan oleh SML mulai beranjak positif di atas normal (periode klimatologis 1971–2000 sebagai acuan) di wilayah Niño3.4 yang melebihi atau sama dengan 0.5°C, rata-rata 3 bulan berturut-turut atau lebih [11]. Sedangkan El Niño Modoki didefinisikan oleh Ashok *et al.* [3] melalui suatu persamaan matematis sebagai berikut:

$$EMI = [SSTA]_{\text{Central}} - (0.5[SSTA]_{\text{East}} + 0.5[SSTA]_{\text{West}})$$

Keterangan:

$$[SSTA]_{\text{Central}} = 165^{\circ}\text{E} - 140^{\circ}\text{W}, 10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}$$

$$[SSTA]_{\text{East}} = 110^{\circ}\text{W} - 70^{\circ}\text{W}, 15^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$$

$$[SSTA]_{\text{West}} = 125^{\circ}\text{E} - 145^{\circ}\text{E}, 10^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{N}$$

Persamaan di atas menghasilkan suatu indeks yang dikenal sebagai El Niño Modoki Index (EMI). EMI menjadi tolak ukur kejadian El Niño Modoki. Menurut Ashok *et al.* [3], anomali SML dikategorikan termasuk ke

dalam fase El Niño Modoki kuat ketika amplitudo indeksnya $\geq 0.7\sigma$, dengan σ adalah standar deviasi musiman, sehingga berdasarkan ketentuan tersebut diperoleh 0.50°C dan 0.54°C sebagai *threshold* EMI untuk musim panas (*boreal summer*) dan musim dingin (*boreal winter*). Istilah *boreal summer* dan *boreal winter* ini mengacu pada kondisi musim panas dan musim dingin di belahan bumi utara.

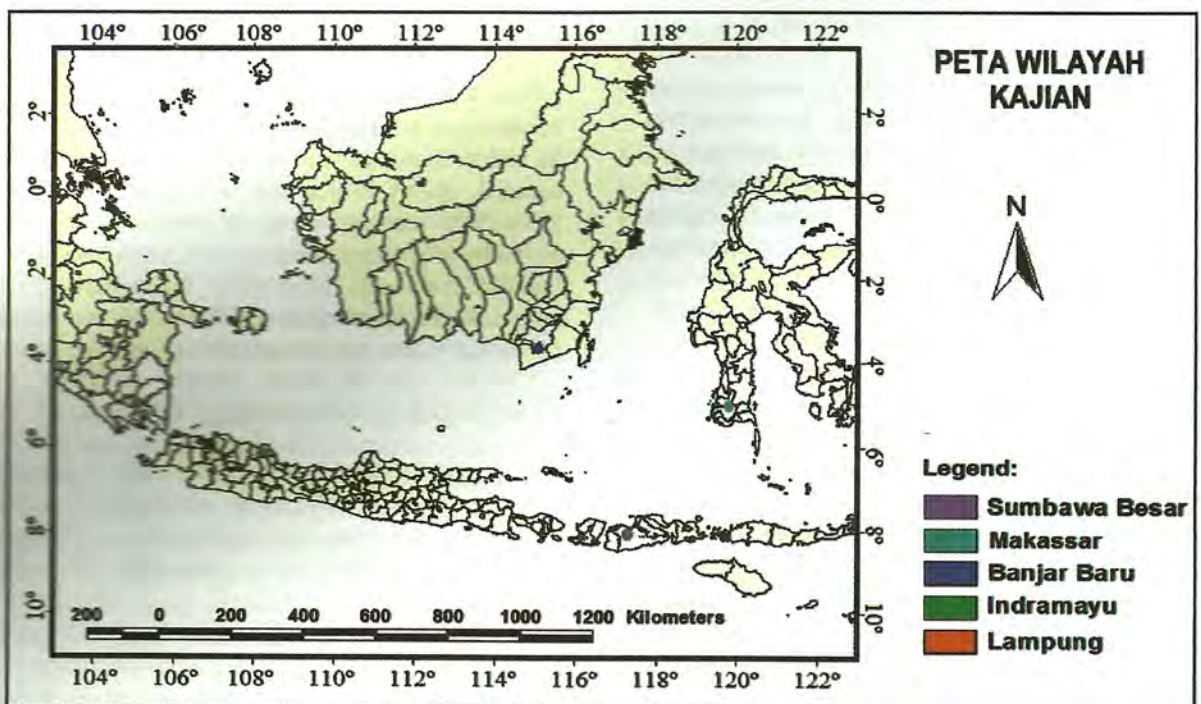
Fenomena yang sepiintas terlihat seperti El Niño di Pasifik tengah pada tahun 2004 telah memicu terjadinya gelombang panas dan banjir di berbagai wilayah Jepang. Yamagata [12] mengatakan bahwa peningkatan aSML di wilayah ini mampu mengaktifkan arus konveksi dan memicu terbentuknya tekanan yang lebih tinggi di Pasifik tengah. Akibatnya, musim panas di Jepang lebih hangat dari kondisi musim panas normalnya sedangkan untuk dampaknya di Indonesia, masih belum dikaji secara mendalam.

Salah satu faktor pengendali keragaman iklim khususnya curah hujan antar tahunan di wilayah Indonesia adalah fenomena berskala global, El Niño. Menurut Aldrian dan Susanto [13], efek kejadian El Niño terhadap curah hujan di Indonesia akan dimulai pada bulan April dan berakhir pada bulan Desember. Menurut Hendon [14], korelasi curah hujan di Indonesia terhadap El Niño Konvensional lebih kuat pada musim kemarau sedangkan korelasinya pada musim hujan lemah.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data anomali suhu muka laut dan curah hujan wilayah kajian. Data aSML 4 wilayah Niño di Pasifik tropis, yaitu: Niño1+2, Niño3, Niño3.4, dan Niño4 periode 1970–2010 dapat diperoleh dari website NOAA: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/SSToi.indices>, data EMI (El Niño Modoki Index) periode 1970–2010 diperoleh dari website JAMSTEC Jepang: <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/DATA/emi.monthly.txt>. Kajian ini juga menggunakan data pengamatan curah hujan rata-rata bulanan periode 1970–2000 wilayah kajian bertipe hujan monsun di Indonesia. Data pengamatan curah hujan merupakan data stasiun meteorologi/klimatologi yang berlokasi di wilayah kajian dan data ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Kajian ini juga memanfaatkan data curah hujan berbasis observasi satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) 3B43 periode 1998–2010, yang diperoleh dari: ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B43_V6/.

Wilayah kajian yang dipilih yaitu: Lampung ($103^{\circ}40''$ – $105^{\circ}50''$ BT, $3^{\circ}45''$ – $6^{\circ}45''$ LS), Indramayu ($107^{\circ}52''$ – $108^{\circ}36''$ BT, $6^{\circ}15''$ – $6^{\circ}40''$ LS), Makassar ($119^{\circ}25''$ BT, $5^{\circ}8''$ LS), Banjar Baru ($03^{\circ}27''$ – $03^{\circ}29''$ LS, $114^{\circ}45''$ – $114^{\circ}45''$ BT), dan Sumbawa Besar ($116^{\circ}42''$ – $118^{\circ}22''$ BT, $8^{\circ}8''$ – $9^{\circ}7''$ LS). Kelima wilayah ini mewakili wilayah BMI bertipe curah hujan monsun. Hal ini dilihat berdasarkan plot distribusi curah hujan bulanan kelima wilayah kajian yang membentuk pola monsun dan didukung oleh hasil analisis PSD yang berpola osilasi 12 bulanan (*annual oscillation, AO*). Gambar 3 menunjukkan peta wilayah kajian.



Gambar 3. Peta wilayah kajian bertipe curah hujan monsun.

Kajian ini terdiri atas tiga tahap analisis, yang pertama yaitu analisis spektral menggunakan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) dan transformasi wavelet. Analisis spektral digunakan untuk melihat periode osilasi dominan dari data Niño3.4, EMI, dan curah hujan wilayah kajian. Tahap selanjutnya adalah metode korelasi untuk mengetahui hubungan antara EMI terhadap 4 indeks Niño, dan membandingkan hubungan antara curah hujan terhadap EMI, Niño4, dan Niño3.4. Tahap ini dilakukan untuk melihat hubungan secara statistik antara dua variabel yang dibandingkan. Jika terdapat korelasi yang nyata dan signifikan maka data anomali SML tersebut dapat digunakan sebagai prediktor untuk memperkirakan kondisi curah hujan musonal wilayah kajian. Selain itu, juga dilakukan tahapan analisis spasial *Hovmoller* untuk mengkaji pergerakan curah hujan spasial terhadap waktu.

3. Hasil dan Pembahasan

Kajian ini membandingkan antara El Niño Konvensional dan El Niño Modoki berdasarkan sudut pandang temporal. Selain itu, kajian ini juga membahas tentang pengaruh dan interaksi El Niño Modoki terhadap perilaku curah hujan musonal di Indonesia. Data anomali SML wilayah Niño yang dipilih adalah data rata-rata bulanan deret waktu ± 30 tahun (1979–2010). Pemilihan deret waktu ini terkait dengan syarat klimatologis bahwa diperlukan data ± 30 tahun untuk menyatakan kondisi normal.

3.1. Perbandingan El Niño Modoki dan El Niño konvensional

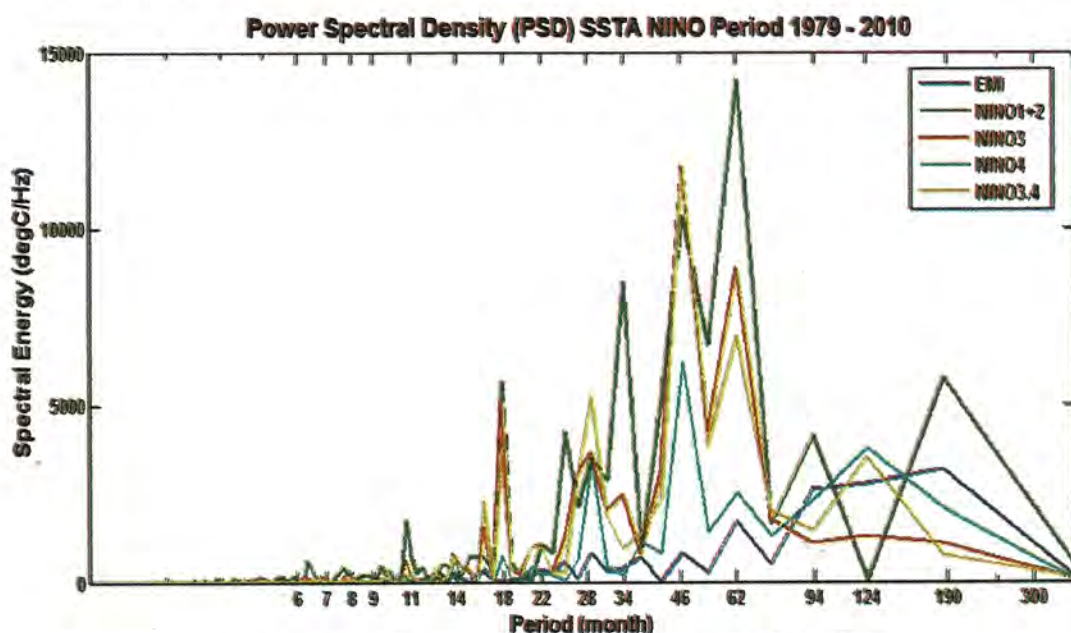
Analisis regresi antara indeks Niño terhadap EMI (1979–2010) menghasilkan koefisien determinasi (R^2) indeks Niño4 terhadap EMI 0.57, sedangkan EMI dengan

indeks Niño yang lain hanya 0.07, 0.03, dan 0.23 untuk Niño1+2, Niño3, dan Niño3.4. Nilai R^2 diuji pada selang kepercayaan 95%. Nilai p-value 0.00 membuktikan bahwa hasil ini sangat signifikan pada selang kepercayaan 95%. Artinya, ada hubungan yang erat antara EMI terutama terhadap Niño4. Pola deret waktu wilayah Niño yang mendekati pola anomali SML EMI adalah Niño4.

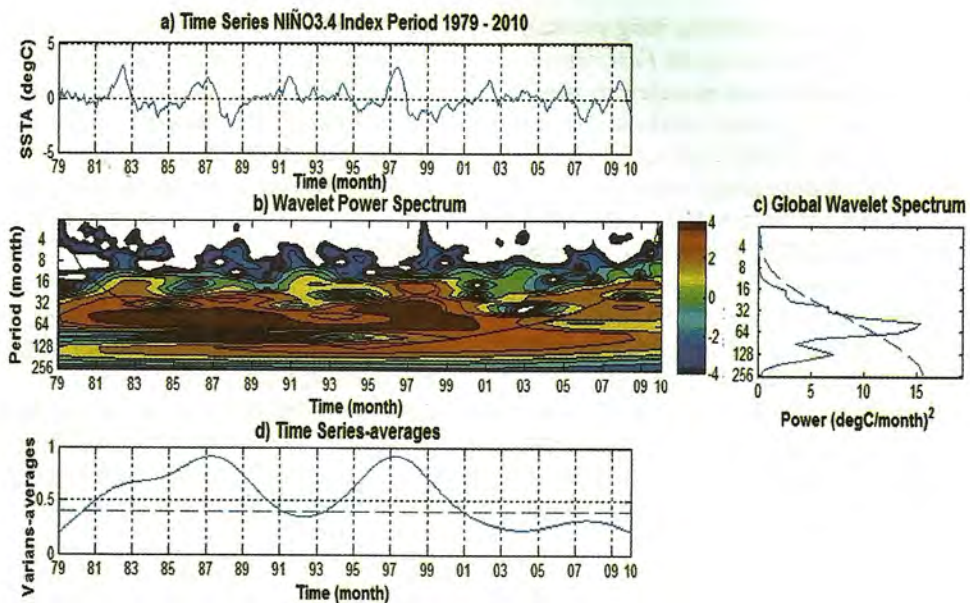
Kemiripan pola antara anomali SML EMI dan Niño4 berhubungan dengan letak Niño4 yang berada tepat di Samudera Pasifik ekuator bagian tengah dan termasuk dalam wilayah yang menjadi dasar perhitungan indeks EMI. Sehingga kejadian bertipe El Niño Modoki juga sering disebut oleh para peneliti iklim global sebagai El Niño Pasifik Tengah (*Central Pacific El Niño*).

Berdasarkan hasil diatas, maka ketika menggunakan anomali SML Niño4 untuk mendefinisikan El Niño Konvensional tidak hanya melihat indeks anomalnya saja tetapi juga perlu melihat pola penghangatan SML karena berpeluang mengarah pada pola penghangatan bertipe El Niño Modoki terutama setelah tahun 1978. Hasil tersebut semakin mempertegas kajian Ashok dan Yamagata [10] dan Gen *et al.* [15] terkait penggunaan Niño4 tersebut, terutama setelah tahun 1978.

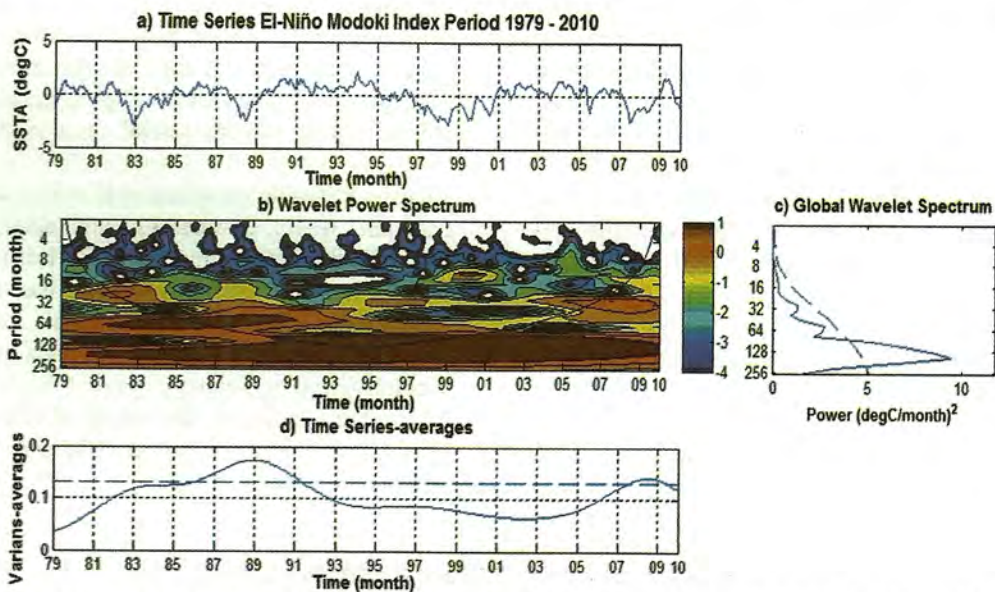
Analisis PSD menghasilkan pola osilasi dominan suatu data deret waktu. Gambar 4 menunjukkan hasil analisis PSD terhadap data anomali SML EMI dan Niño3.4 yang masing-masing indeks anomalnya mewakili El Niño Modoki dan El Niño Konvensional. Penentuan pola osilasi dominannya berdasarkan pada puncak energi spektral tertinggi. Sehingga diperoleh hasil bahwa pola osilasi dominan paling kuat untuk Niño3.4 berada pada skala periodisitas 48–62 bulanan (Gambar 4, lihat puncak energi spektral pada warna coklat muda).



Gambar 4. Periodisitas anomali SML Niño dan EMI 1979 – 2010.



Gambar 5. Analisis Wavelet Niño3.4 (1979–2010) (a) plot deret waktu (b) spektrum kuasa Wavelet (c) spektrum Wavelet global (d) rata-rata varians.



Gambar 6. Analisis Wavelet EMI (1979–2010) (a) plot deret waktu (b) spektrum kuasa Wavelet (c) spektrum Wavelet global (d) rata-rata varians.

Sedangkan energi spektral aSML EMI paling kuat berada pada skala periodisitas 62–94 bulanan (Gambar 4, puncak energi spektral untuk warna biru tua). Sehingga dapat ditandai bahwa periode ulang kejadian El Niño Konvensional adalah sekali dalam skala waktu 4–5 tahunan sedangkan kejadian El Niño Modoki berulang dalam skala waktu 5–8 tahunan.

Spektrum wavelet global menunjukkan hasil yang konsisten dengan hasil analisis PSD. Osilasi dominan El Niño Konvensional (Gambar 5c) berada pada periodisitas ~48 bulanan (4–5 tahunan). Hal ini terlihat dari puncaknya yang berada di pertengahan skala 32–64 bulanan. Osilasi dominan El Niño Modoki (Gambar 6c) berada pada periodisitas yang hampir mendekati pola osilasi dekadal ~10 tahunan.

Spektrum wavelet pada Gambar 5 dan Gambar 6 di atas juga menegaskan bahwa kejadian El Niño Konvensional dan El Niño Modoki memiliki ukuran sebaran data anomali SML yang berbeda. Dengan melihat kondisi hangat yang ditunjukkan oleh spektrum warna merah, anomali positif kuat SML Niño3.4 (Gambar 5b) dapat mencapai +4°C. Sedangkan anomali positif kuat SML EMI (Gambar 6b) hanya mencapai +1°C. Ukuran sebaran data aSML El Niño Modoki yang lebih rendah dibandingkan El Niño Konvensional disebabkan oleh EMI sebagai hasil formulasi tiga wilayah perhitungan yang mencakup pola penghangatannya di sepanjang Pasifik tropis.

Komposit analisis dilakukan dengan melihat kondisi rata-rata anomali suhu muka laut EMI pada kejadian El Niño Modoki kuat yang muncul sejak periode 1979 hingga 2010. Berdasarkan hasil analisis komposit tujuh kejadian

El Niño Modoki (1986/87, 1990/91, 1992/93, 1994/95, 2002/2003, 2004/2005, dan 2009/2010), pola penghangatan SML El Niño Modoki akan mulai terbentuk sekitar bulan Maret atau April dan dilanjutkan oleh fase penurunannya dimulai Februari. EMI akan mencapai puncak anomali yang konsisten melampaui nilai *threshold* ($> 0.53^{\circ}\text{C}$) pada kisaran waktu bulan Agustus–Januari.

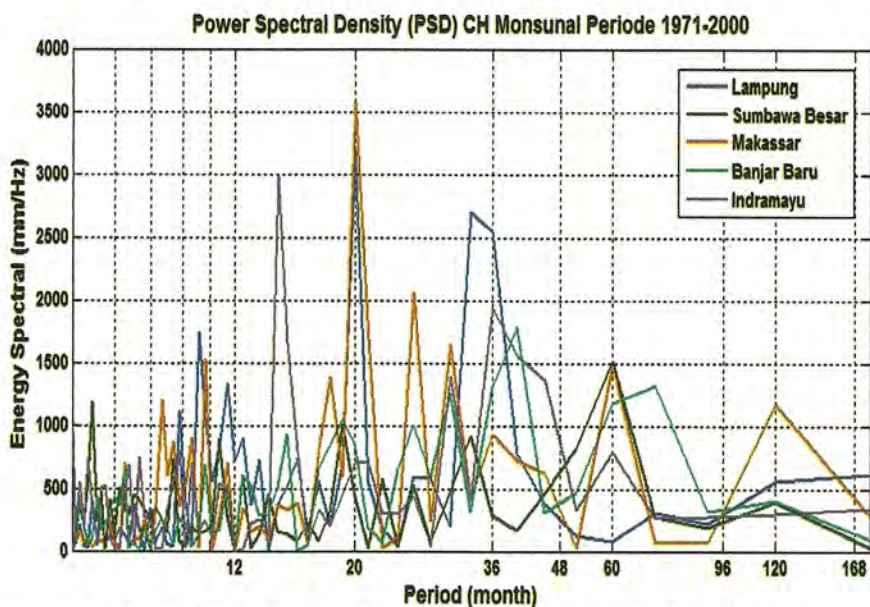
3.2. Perbandingan pengaruh El Niño Modoki dan El Niño konvensional terhadap curah hujan musonal di Indonesia

Aldrian dan Susanto [13] menyatakan bahwa pola curah hujan di Indonesia terdiri dari tiga macam: musonal, ekuatorial, dan lokal. Kajian ini mengambil pola curah hujan musonal untuk melihat pengaruh interaksi El Niño Modoki terhadap perilaku curah hujan di Indonesia, dengan menganalisis curah hujan lima wilayah di Indonesia. Walaupun tidak ditampilkan, hasil analisis PSD terhadap curah hujan bulanan kelima wilayah kajian menunjukkan pola musonal yang berosilasi tahunan (*annual oscillation, AO*).

Gambar 7 merupakan hasil analisis PSD terhadap curah hujan wilayah kajian. Masing-masing wilayah menunjukkan puncak energi spektral yang berbeda-beda. Puncak energi spektral untuk Indramayu (plot spektral

ungu) berada pada periode 15 bulanan (~1,5 tahunan). Makassar (plot spektral merah) dan Lampung (plot spektral biru gelap) berada pada periode yang sama, yaitu 20 bulanan (~2 tahunan). Curah hujan Banjar Baru dan Sumbawa Besar juga menunjukkan sinyal periodisitas yang berbeda. Puncak energi spektral Banjar Baru (plot spektral biru terang) berada pada periode 40 bulanan (~3,5 tahunan) dan Sumbawa Besar (plot spektral hijau) pada periode 60 bulanan (~5 tahunan).

Namun, kelima curah hujan wilayah kajian menunjukkan puncak energi spektral tertinggi yang sama dan sinyal yang lebih teratur ketika berada tepat pada periode 60 bulanan, kecuali untuk wilayah Lampung. Artinya, selain wilayah Lampung, curah hujan musonal wilayah kajian memiliki pola osilasi dominan yang kuat dan menunjukkan puncak energi spektral yang sama tepat pada periode ~5 tahunan. Sehingga hasil analisis PSD ini menunjukkan bahwa keragaman iklim global antar tahunan (*inter-annual variability*) ikut mempengaruhi curah hujan musonal. Keeratan hubungan antar variabel dapat dijelaskan melalui nilai koefisien korelasi (r). Koefisien korelasi anomali SML terhadap curah hujan per musim diperoleh dengan membandingkan kedua variabel tersebut secara musiman untuk masing-masing wilayah kajian periode 1971–2000. Musim basah Des–Jan–Feb (DJF), musim kering Jun–Jul–Agust (JJA), dan musim peralihan Mar–Apr–Mei dan Sep–Okt–Nov (MAM dan SON).



Gambar 7. Pola osilasi dominan curah hujan musonal wilayah kajian.

Tabel 1. Koefisien korelasi anomali curah hujan terhadap EMI (musiman: DJF, MAM, JJA, SON).

Curah Hujan	EMI							
	DJF	P-value	MAM	P-value	JJA	P-value	SON	P-value
Lampung	0.03	0.87	-0.24	0.21	-0.32	0.04	-0.24	0.20
Sumbawa Besar	0.34	0.07	-0.26	0.16	-0.37	0.04	-0.50	0.01
Makassar	-0.15	0.44	0.03	0.88	-0.40	0.03	-0.62	0.00
Banjar Baru	-0.32	0.09	0.17	0.36	-0.47	0.01	-0.60	0.00
Indramayu	0.15	0.43	-0.29	0.12	-0.08	0.69	-0.41	0.03

Menurut Hendon [14], korelasi curah hujan di Indonesia terhadap El Niño Konvensional lebih kuat pada musim kemarau sedangkan pada musim hujan lemah. Weng *et al.* [9] menyebutkan bahwa korelasi anomali curah hujan pada musim JJA di wilayah China, Jepang, dan USA cukup signifikan terhadap EMI dan indeks Niño3 pada selang kepercayaan 80%. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan hal yang sama antara pengaruh El Niño Modoki terhadap curah hujan monsunil wilayah kajian. El Niño Modoki berpengaruh lebih kuat pada musim kering JJA daripada musim basah DJF. Sedangkan pada musim peralihan, pengaruhnya lebih kuat pada SON daripada MAM. Artinya, pada saat El Niño modoki terjadi maka wilayah kajian mengalami kekeringan yang ditandai oleh curah hujan pada musim JJA dan SON jauh berkurang dari kondisi rata-ratanya, dapat dikatakan juga bahwa pada saat tersebut curah hujan berada di bawah batas normal.

Oleh karena kajian ini menggunakan selang kepercayaan 95%, jika $P\text{-value} < 0.05$ maka hubungan dikatakan signifikan. Hasil regresi Tabel 1 menunjukkan bahwa koefisien korelasi masing-masing wilayah untuk musim

kering JJA dan musim peralihan SON lebih tinggi dan signifikan dibandingkan musim basah DJF dan musim peralihan MAM. Nilai signifikansi ($P\text{-value}$) musim DJF dan MAM jauh melebihi batas 0.05 sehingga dapat dikatakan bahwa El Niño Modoki tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada kedua musim tersebut. Jadi, El Niño Modoki lebih memberikan pengaruh signifikan pada JJA dan SON daripada DJF dan MAM.

Menurut tabel nilai kritis koefisien korelasi Pearson pada jumlah data $N = 30$ ($df(N-2) = 28$), hasil korelasi dikatakan signifikan jika koefisien korelasi Pearson (*Pearson Coefficient Correlation*) > 0.31 (*one-tailed test*) pada selang kepercayaan 95%. Jumlah data $N = 30$ menunjukkan periode uji data 30 tahun (1971–2000). Sehingga menurut ketentuan tersebut, El Niño Modoki memberikan pengaruh yang jelas terhadap penurunan curah hujan Sumbawa Besar, Makassar, dan Banjar Baru pada musim JJA dan semakin kuat pengaruhnya pada musim SON. Lampung hanya merasakan pengaruhnya dengan jelas pada musim JJA saja sedangkan Indramayu hanya pada musim SON.

Tabel 2. Koefisien korelasi anomali curah hujan terhadap EMI, Niño3.4, dan Niño4 (musiman: JJA dan SON)

Curah Hujan	JJA					
	EMI	P-value	Niño3.4	P-value	Niño4	P-value
Lampung	-0.32	0.04	-0.50	0.01	-0.57	0.00
Sumbawa Besar	-0.37	0.04	-0.21	0.27	-0.23	0.22
Makassar	-0.40	0.03	-0.65	0.00	-0.61	0.00
Banjar Baru	-0.47	0.01	-0.72	0.00	-0.63	0.00
Indramayu	-0.08	0.69	-0.60	0.00	-0.49	0.01
Curah Hujan	SON					
	EMI	P-value	Niño3.4	P-value	Niño4	P-value
Lampung	-0.24	0.20	-0.51	0.00	-0.47	0.01
Sumbawa Besar	-0.50	0.01	-0.21	0.26	-0.38	0.04
Makassar	-0.62	0.00	-0.76	0.00	-0.85	0.00
Banjar Baru	-0.60	0.00	-0.72	0.00	-0.74	0.00
Indramayu	-0.41	0.03	-0.53	0.00	-0.54	0.00

Tabel 2 hanya membandingkan hubungan antara curah hujan monsunil di wilayah kajian terhadap EMI, Niño3.4, dan Niño4 pada musim JJA dan SON. Koefisien korelasi pada Tabel 2 dapat dijadikan acuan untuk menentukan aSML mana diantara EMI, Niño3.4, atau Niño4 yang lebih baik digunakan sebagai prediktor perilaku curah hujan monsunil masing-masing wilayah kajian. Anomali SML Niño3.4 masih sangat baik digunakan sebagai prediktor dalam menjelaskan perilaku curah hujan monsunil di Lampung, Indramayu, dan Banjar Baru. Hal tersebut berdasarkan pada hasil koefisien korelasi rata-rata dari kedua musim JJA dan SON antara anomali curah hujan terhadap Niño3.4 yang lebih tinggi dan signifikan dibanding EMI dan Niño4.

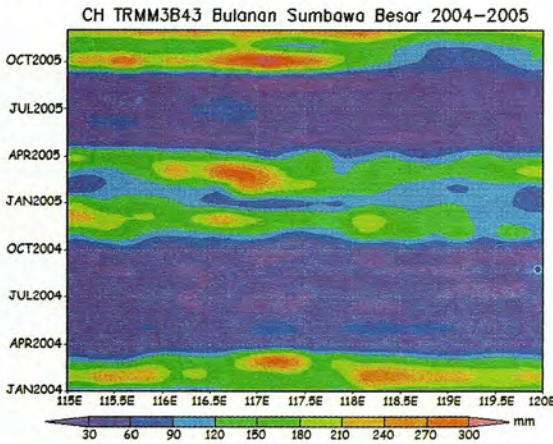
Nilai korelasi wilayah Lampung, Indramayu, dan Banjar Baru pada musim JJA: -0.50, -0.72, -0.60 dan -0.51, -0.72, -0.53 pada musim SON.

Walaupun begitu, ketika pola penghangatan Pasifik tropis mengarah pada El Niño Modoki maka untuk wilayah Banjar Baru lebih baik menggunakan EMI sebagai prediktor. Karena pada kejadian bertipe El Niño Modoki (seperti 1994), curah hujan Banjar Baru terpengaruh kuat dibanding wilayah kajian lainnya. Sumbawa Besar lebih baik menggunakan EMI sebagai prediktor curah hujannya karena anomali curah hujannya terhadap EMI lebih tinggi dan signifikan dibandingkan dengan Niño3.4 dan Niño4. Sedangkan Makassar lebih baik

menggunakan Niño4 sebagai prediktor untuk menjelaskan perilaku curah hujannya.

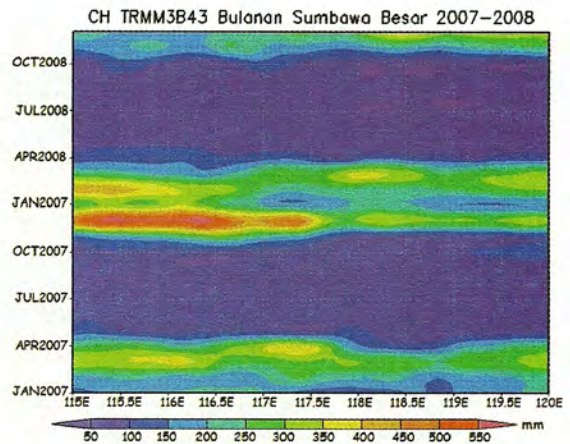
Korelasi negatif pada Tabel 1 dan 2 mengindikasikan adanya hubungan yang berbanding terbalik. Secara fisis dapat diartikan bahwa ketika SML di pasifik tropis mulai menghangat dari kondisi normalnya, maka wilayah Indonesia yang bertipe curah hujan musonal akan mengalami penurunan curah hujan dari kondisi normal. Hal ini terlihat jelas pada musim JJA dan pengaruhnya semakin menguat pada musim SON ditandai dengan musim kering akan terasa sangat kering dan lebih lama daripada kondisi biasanya.

a. Sumbawa Besar

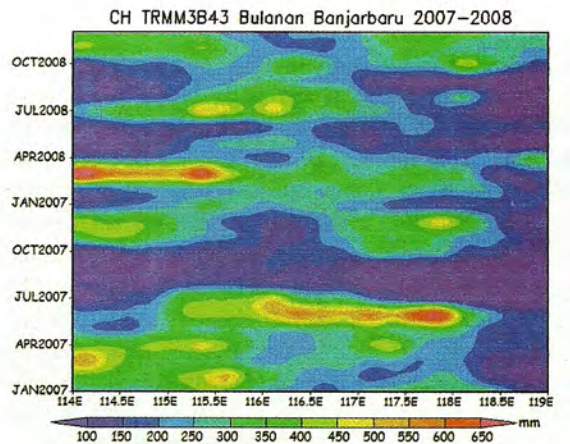
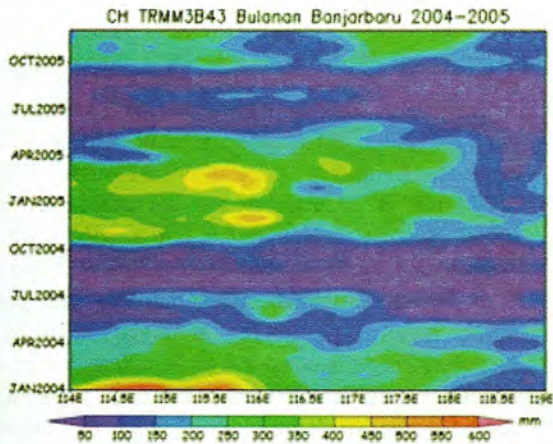


3.3. Pola interaksi El Niño Modoki terhadap perilaku curah hujan musonal di Indonesia

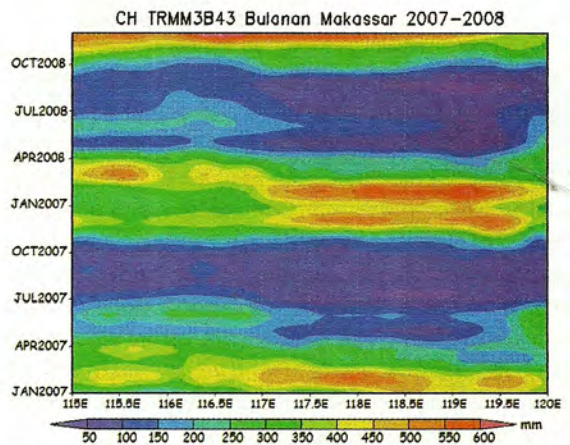
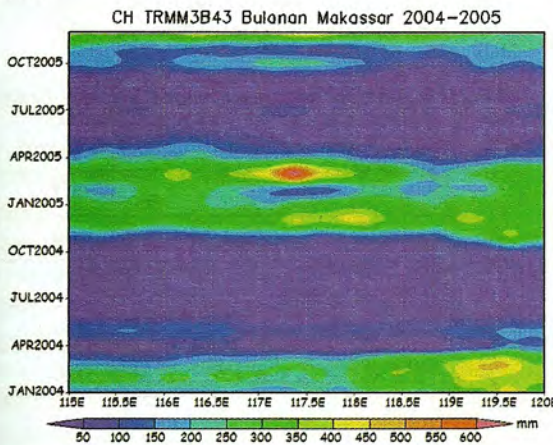
Analisis spasial menggunakan diagram Hovmoller telah digunakan secara luas di bidang oseanografi dan meteorologi. Kajian ini menggunakan plot Hovmoller untuk membandingkan bagaimana fitur seperti curah hujan spasial bergerak terhadap waktu pada tahun kejadian El Niño Modoki dan tahun normal. Gambar 8 menunjukkan perbandingan secara spasial kejadian El Niño Modoki tahun 2004/05 terhadap tahun normal 2007/08 menggunakan analisis spasial Hovmoller.



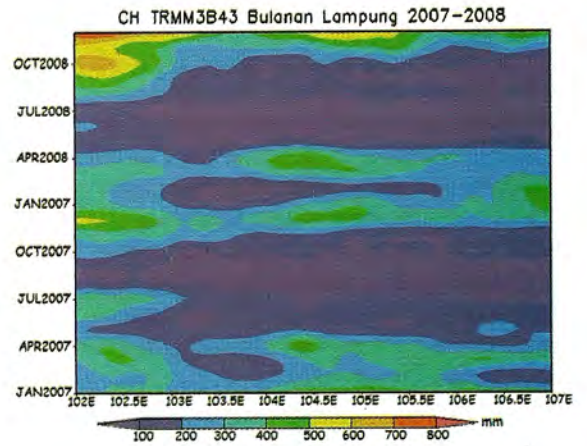
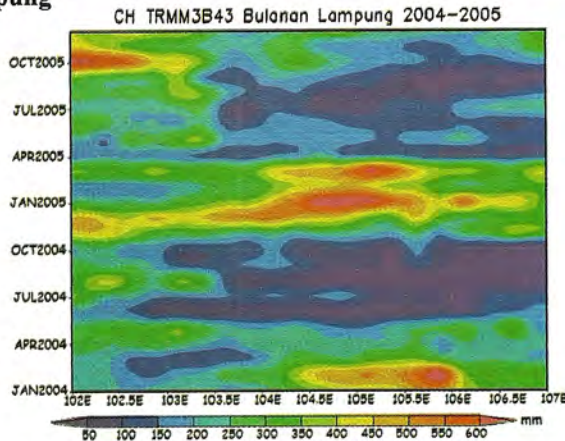
b. Banjar Baru



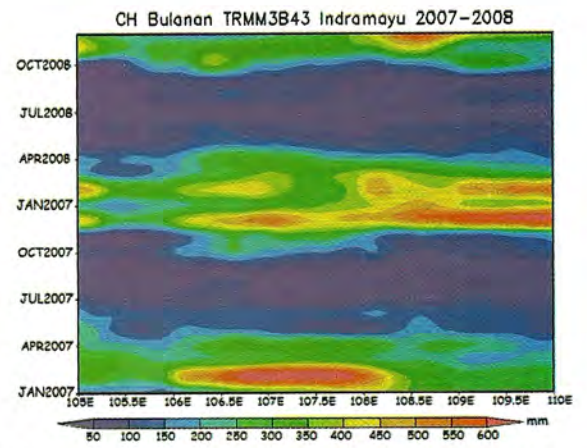
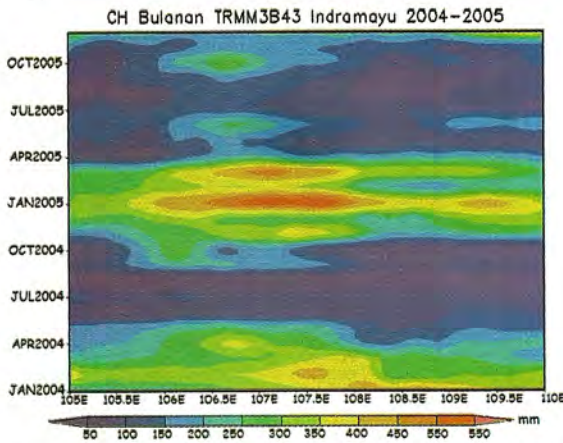
c. Makassar



d. Lampung



e. Indramayu



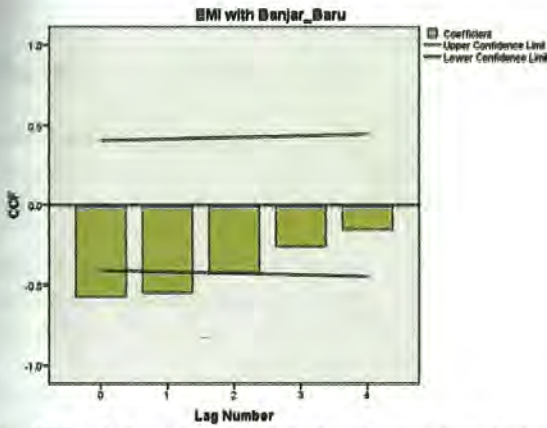
Gambar 8. Analisis spasial Hovmoller dengan GrADS 2.0 terhadap wilayah kajian tahun El Niño Modoki kuat dibandingkan dengan tahun normal.

Menurut Aldrian dan Susanto [13], pengaruh El Niño di Indonesia akan mulai terasa pada bulan April. Awal musim kering ditandai dengan curah hujan bulanan < 150 mm. Batas 150 mm berdasarkan kriteria BMKG dalam menentukan batas antara musim kemarau dan musim hujan, yaitu jumlah curah hujan per dasarian (*decad*) adalah 50 mm. Jika jumlah curah hujan 1 dasarian dan dasarian berikutnya < 50 mm, maka musim kemarau tiba. Jika jumlah curah hujan 1 dasarian dan dasarian berikutnya \geq 50 mm, maka musim hujan dimulai. Berdasarkan Gambar 8a, dengan memperhatikan variasi spektrum warna yang mewakili rentang nilai tertentu curah hujannya maka curah hujan Sumbawa Besar (117°–118°BT) biasanya akan mulai menurun sekitar bulan Mei atau Juni (awal musim kering) pada tahun normal 2007. Namun pada El Niño Modoki 2004 mengalami kemajuan waktu penurunan curah hujan (awal musim kering) menjadi sekitar bulan Maret atau April. Banjar Baru (114°–115°BT) dan Makassar (119°–120°BT) biasanya akan memasuki musim kering sekitar bulan Juni atau Juli (Gambar 8b dan 8c). Namun pada saat El Niño Modoki terjadi, penurunan curah hujan terjadi lebih awal yaitu dimulai sekitar April atau Mei. Berdasarkan pola tersebut, El Niño Modoki dapat menyebabkan kemajuan awal musim kering sekitar satu bulan dari kondisi normalnya. Hal ini diindikasikan dengan penurunan curah hujan melewati batas kondisi normal pada bulan tersebut.

Analisis spasial Hovmoller pada Gambar 8d dan 8e menunjukkan hasil yang berbeda antara kejadian El Niño Modoki tahun 2004 terhadap tahun normal 2007 untuk wilayah Lampung (104°–106°BT) dan Indramayu (107°–109°BT). Curah hujan kedua wilayah tersebut akan mulai menurun sekitar bulan Juni sebagai awal musim kering pada tahun normal. Pada tahun El Niño Modoki tidak terjadi perubahan pola terhadap waktu penurunan curah hujan wilayahnya. Sehingga hasil ini dapat memperkuat pernyataan bahwa kejadian bertipe El Niño Modoki tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan pola curah hujan di Lampung dan Indramayu terhadap waktu. Bahkan antara tahun El Niño Modoki dan tahun normal tidak menunjukkan adanya pergeseran waktu penurunan curah hujan.

Tabel 3. Korelasi silang: series pair EMI with Banjar Baru.

Lag	Cross Correlation	Std. Error ^a
0	-.572	.204
1	-.544	.209
2	-.421	.213
3	-.259	.218
4	-.153	.224



Gambar 9. Jeda waktu curah hujan Banjar Baru terhadap EMI 1994.

Analisis korelasi silang (*cross correlation*) pada kajian ini bertujuan untuk melihat jeda waktu terhadap terjadinya penurunan curah hujan pada saat kejadian El Niño Modoki. Gambar 9 mengambil kejadian El Niño Modoki 1994 terhadap anomali curah hujan Banjar Baru karena pada kajian ini Banjar Baru memiliki koefisien korelasi yang tertinggi terhadap EMI diantara anomali curah hujan wilayah lainnya. Hal ini berdasar pada nilai korelasi musimannya. Asumsi yang digunakan adalah terjadi penurunan curah hujan setelah pola penghangatan El Niño Modoki terbentuk. Kriteria pemilihan indikator jeda waktu tersebut adalah nilai korelasi yang tertinggi selama periode pengujian dan diutamakan yang berada di sekitar dan setelah lag nol.

Hasil analisis korelasi silang pada Tabel 3 untuk wilayah Banjar Baru menunjukkan bahwa jeda waktu (*lag time*) antara fase hangat EMI dan perubahan curah hujan musonal berkisar 0 hingga 1 bulanan. Hasil ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi silang tertinggi berada pada lag 0 hingga 1 bulanan. Jeda waktu hingga satu bulanan berarti bahwa El Niño Modoki dapat mempengaruhi curah hujan musonal hingga satu bulan berikutnya. Sehingga informasi EMI tersebut dapat digunakan sebagai prediktor untuk memperkirakan kondisi hujan musonal satu bulan ke depan.

Walaupun yang ditampilkan hanya Banjar Baru, hasil yang sama juga ditunjukkan oleh anomali curah hujan wilayah kajian lainnya untuk tahun kejadian El Niño Modoki dengan koefisien korelasi silang tertinggi berada pada lag 0 hingga 1 bulanan.

Hasil analisis komposit terhadap tujuh kejadian El Niño Modoki menunjukkan fase hangat suhu muka lautnya akan mulai naik sekitar bulan Maret atau April. Menurut hasil analisis spasial Hovmoller, secara umum curah hujan musonal di Indonesia akan mulai mengalami penurunan pada tahun normal sekitar bulan Mei atau Juni. Namun, pada tahun kejadian El Niño Modoki penurunan terjadi lebih awal yaitu sekitar bulan April atau Mei. Maka hal ini sesuai dengan hasil analisis korelasi silang yang mengindikasikan bahwa jeda waktu antara penurunan curah hujan terhadap fase hangat El Niño Modoki adalah pada kisaran waktu satu bulanan.

4. Kesimpulan

El Niño Modoki berbeda dengan El Niño Konvensional, baik dari karakteristik spasial dan temporalnya. Karakteristik spasial dibedakan oleh pola penghangatan keduanya dan karakteristik temporal dibedakan oleh pola osilasi dominan keduanya. El Niño Modoki memiliki siklus 5–8 tahunan, sedangkan El Niño Konvensional hanya 4–5 tahunan. Pola penghangatan Niño4 memiliki keterkaitan dan kemiripan dengan pola penghangatan EMI. Hasil analisis komposit tujuh kejadian bertipe El Niño Modoki (1979–2010) memperkirakan bahwa fase pertumbuhan anomali hangat dimulai sekitar Maret atau April hingga Januari kemudian mulai turun pada Februari.

Berdasarkan koefisien korelasi musiman yang bernilai signifikan hanya pada musim JJA dan SON, maka hasil kajian ini menyimpulkan bahwa anomali SML EMI dapat digunakan sebagai prediktor curah hujan di Indonesia. Perbandingan dengan indeks El Niño Konvensional menghasilkan bahwa anomali SST wilayah Niño3.4 sangat baik digunakan sebagai prediktor dalam menjelaskan perilaku curah hujan musonal untuk wilayah Lampung, Indramayu, dan Banjar Baru. Walaupun begitu, ketika pola penghangatan Pasifik tropis mengarah pada El Niño Modoki maka untuk wilayah Banjar Baru lebih baik menggunakan anomali SML EMI sebagai prediktor. Sumbawa Besar lebih baik menggunakan EMI sebagai prediktor curah hujannya. Sedangkan wilayah Makassar lebih baik menggunakan Niño4 sebagai prediktor untuk menjelaskan perilaku curah hujannya.

Pola interaksi antara curah hujan musonal wilayah kajian terhadap El Niño Modoki dianalisis berdasarkan pada sudut pandang temporal dan spasial. Hasil analisis temporal menunjukkan bahwa jeda waktu antara penurunan curah hujan musonal terhadap fase hangat EMI berkisar satu bulanan. Analisis spasial Hovmoller menunjukkan penurunan curah hujan untuk awal musim kering (JJA) pada tahun normal mulai terlihat sekitar bulan Mei atau Juni, namun pada tahun El Niño Modoki bergeser lebih awal menjadi bulan April atau Mei. Hal ini terlihat jelas di wilayah Banjar Baru, Makassar, Sumbawa Besar. Namun untuk wilayah Lampung dan Indramayu tidak terlihat adanya perubahan waktu penurunan curah hujan antara tahun normal dan El Niño Modoki. Kajian ini dapat dilanjutkan dengan membahas wilayah bertipe curah hujan ekuatorial sehingga dapat diperoleh perbandingan pola curah hujan mana diantara musonal dan ekuatorial yang sangat kuat dipengaruhi oleh El Niño Modoki.

Daftar Pustaka

[1] Ramage C.S. (1968). Role of a tropical "maritime continent" in the atmospheric circulation. *Mon Wea Rev*, 96, 365–369.

- [2] Yeh S.W., J.S. Kug, B. Dewitte, M. H. Kwon, B. P. Kirtman, & F.F. Jin. (2009). El Niño in a changing climate. *Nature*, 461, 511–514.
- [3] Ashok K., S.K. Behera., S.A. Rao, H. Weng, & T. Yamagata. (2007). El Niño Modoki and Its Teleconnection. *J Geophys Res*, 112, C11007.
- [4] Chang C.W.J., H.H. Hsu, C.R. Wu, & W.J. Sheu. (2008). Interannual mode of sea level in the South China Sea and the roles of El Niño and El Niño Modoki. *J Geophys Res*, 35, L03601.
- [5] Gen L., R. Baohua, Y. Chengyun, & Z. Jianqiu. (2010). Traditional El Niño and El Niño Modoki revisited: is El Niño Modoki linearly independent of traditional El Niño?. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 3(2), 70–74.
- [6] Lee T., & M.J. McPhaden. (2010). Increasing intensity of El Niño in the Central-Equatorial Pacific. *Geophysical Research Letters*, 37(14):1-5.
- [7] Yu J.Y., & S.T. Kim. (2010). Three evolution patterns of Central-Pacific El Niño. *Geophysical Research Letters*, 1-18.
- [8] Weng H.Y., K. Ashok, S.K. Behera, A.S. Rao, & T. Yamagata. (2007). Impacts of Recent El Niño Modoki on Dry/Wet Conditions in the Pacific Rim during Boreal Summer. *J Climate Dynamics*, 29, 113–129.
- [9] Wiratmo J. (1998). *Sudah Benarkah Pemahaman Anda tentang La Niña dan El Niño?*. Bandung: Penerbit ITB.
- [10] Ashok K., and T. Yamagata. (2009). The El Niño with a difference. *Nature*, 461, 481–484.
- [11] **Gets U.S. Consensus for El Niño/La Niña Index Definitions.** (2003). (<http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s2095.htm>), diakses 14 Mei 2011.
- [12] Mock El Niño: Culprit behind Heat Wave, Floods. (2004). (<http://www.japantimes.co.jp/cgi-bin/getarticle.pl5?nn20040724f3.htm>), diakses 22 April 2011.
- [13] Aldrian E., & R.D. Susanto. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *Int J Clim*, 23, 1435–1452.
- [14] Hendon H.H. (2003). Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local air–sea interaction. *Journal of Climate*, 16, 1775–1790.
- [15] Gen L., R. Baohua, Y. Chengyun, and Z. Jianqiu. (2010). Indices of El Niño and El Niño Modoki: An improved El Niño Modoki index. *Advances In Atmospheric Sciences*, 27, 1-11.