

Penentuan Wilayah Kunci Keragaman Iklim Indonesia Menggunakan Indikator Global untuk Mendukung Adaptasi Perubahan Iklim

Determination of Key Areas of Indonesia's Climate Variability Using Global Indicators to Support Climate Change Adaptation

Woro Estiningtyas*¹, Erni Susanti¹, Haris Syahbuddin², Andi Amran Sulaiman³

¹ Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Cimanggu Bogor 16111, Indonesia

² Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 10, Cimanggu, Bogor 16114, Indonesia

³ Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Jl. RM Harsono No. 3, Ragunan, Pasar Minggu, Jakarta Selatan 12550, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 21 Februari 2018

Direview: 11 April 2018

Disetujui: 27 Agustus 2018

Kata kunci:

Keragaman iklim Indonesia

Indikator global

Curah hujan

Wilayah kunci

Keywords:

Indonesia's climate variability

Global indicators

Rainfall

Key areas

Abstrak. Mengingat wilayah Indonesia memiliki keragaman iklim yang sangat tinggi, maka diperlukan suatu data dan informasi yang menyajikan wilayah kunci yang memiliki keeratan hubungan dengan indikator global. Tulisan ini menyajikan hasil analisis indikator global dengan anomali curah hujan di Indonesia pada setiap periode waktu tiga bulanan (DJF, MAM, JJA, dan SON) serta pada lag 0 hingga lag 3 berdasarkan korelasi dan signifikansi pada taraf nyata ($P < 0,1$) sebagai dasar penentuan wilayah kunci keragaman iklim Indonesia. Berdasarkan hasil analisis, wilayah kunci pada periode DJF adalah Kalimantan bagian selatan serta Sulawesi bagian barat dan selatan. Pada MAM adalah Sumatera bagian barat, Jawa bagian utara, Banten bagian timur, Nusa Tenggara Barat, Bali bagian utara, Nusa Tenggara Timur bagian timur, Kalimantan Selatan bagian utara, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Selatan. Untuk periode JJA wilayah kuncinya adalah Sumatera bagian tengah, Jawa Timur, Kalimantan Selatan bagian utara dan Sulawesi bagian barat. Untuk periode SON wilayah kunci adalah Sumatera Barat, Bengkulu, Riau, Jawa Timur, Bali, Kalimantan Selatan dan Sulawesi Selatan, masing-masing dengan indikator global dan lag terpilih berdasarkan nilai korelasi dan signifikansinya.

Abstract. Considering that Indonesia's territory has a very high climatic diversity, data and information are needed for serve areas that have a relationship with the global climatic indicators. This paper presents the results of the analysis of the global indicators with the rainfall anomaly in Indonesia at three monthly period (DJF, MAM, JJA, and SON) as well as at lag 0 to lag 3 based on correlation and high significance ($P < 0.1$). Key areas for DJF are southern part of Kalimantan, western and southern parts of Sulawesi. For MAM are western part of Sumatera, northern part of Java, eastern part of Banten, West Nusa Tenggara, northern part of Bali, East Nusa Tenggara, northern part of South Kalimantan, West Sulawesi, and South Sulawesi. For JJA are central part of Sumatera, East Java, northern part of South Kalimantan and western part of Sulawesi. For SON period the key areas are West Sumatra, Bengkulu, Riau, East Java, Bali, South Kalimantan, and South Sulawesi. Each area has a global indicator and a selected lag based on the correlation value and its significance.

Pendahuluan

Fenomena alam yang semakin menguat saat ini dan menjadi topik diskusi serta bahasan di berbagai pertemuan adalah perubahan iklim. Menurut IPCC (2001) perubahan iklim merujuk pada variasi rata-rata kondisi iklim suatu tempat atau pada variabilitasnya yang nyata secara statistik untuk jangka waktu yang panjang (biasanya dekade atau lebih). Sementara iklim didefinisikan sebagai sintesis kejadian cuaca selama kurun waktu yang panjang yang secara statistik cukup dapat dipakai untuk menunjukkan nilai statistik yang berbeda dengan keadaan pada setiap

saatnya (WMO 1979). Sedangkan keragaman iklim merupakan berbagai kondisi iklim yang dipengaruhi tempat (posisi geografi, ketinggian tempat, sebaran daratan dan lautan serta arah angin) dan waktu (peredaran bumi pada sumbunya dan peredaran bumi mengelilingi matahari) (Hidayati 2001). Perubahan parameter iklim (curah hujan, suhu udara, dan sebagainya) dari waktu ke waktu dalam jangka panjang akibat perubahan iklim akan memengaruhi keragaman iklim. Demikian juga beberapa sirkulasi atmosfer yang berpengaruh seperti Siklus Walker dan Siklus Hadley.

Dampak perubahan iklim sudah dirasakan pada berbagai sektor. Menurut Surmaini *et al.* 2017 dalam 50

*Corresponding author: woro_esti@yahoo.com

tahun terakhir terjadi peningkatan suhu yang lebih cepat yaitu sebesar $0,16^{\circ}\text{C}/\text{dekade}$. Peningkatan suhu tersebut cenderung menurunkan curah hujan di kawasan benua maritim, terutama wilayah Indonesia bagian selatan dan timur. Menurut Boer (2017) ancaman perubahan iklim pada pusat produksi pertanian, khususnya wilayah bagian selatan equator, ditunjukkan dengan musim kemarau akan semakin panjang dan musim hujan semakin pendek. Hasil penelitian Foerster dalam Syahbuddin *et al.* 2015 menyebutkan bahwa kenaikan muka air laut 1-2 m menyebabkan kehilangan luas panen total wilayah Sumatera Utara, Sumatera Barat, Lampung, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi Selatan sekitar 74.000-165.000 ha atau setara dengan kehilangan produksi sekitar 238.650-532.125 ton beras. Hasil penelitian Ruminta dan Handoko (2016) di Sumatera Selatan memperlihatkan bahwa telah terjadi peningkatan suhu sebesar $0,4-0,6^{\circ}\text{C}$ dan penurunan curah hujan hingga 197 mm. Semua bukti tersebut menunjukkan bahwa perubahan iklim membawa dampak yang cukup signifikan, khususnya di sektor pertanian. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya dalam rangka menekan dampaknya dengan adaptasi dan mitigasi melalui penelitian dan kajian tentang hubungan indikator global dengan parameter iklim yang erat kaitannya dengan pertanian yaitu curah hujan. Indikator global merupakan parameter yang dinyatakan dalam bentuk indeks yang digunakan untuk mengetahui fenomena, pengaruh serta hubungan dan interaksi antara laut dan atmosfer, seperti *Sea Surface Temperature* (SST), *Southern Oscillation Index* (SOI), dan lain-lain.

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk mengetahui hubungan curah hujan di Indonesia dengan indikator global (Estiningtyas *et al.* 2007a, Estiningtyas *et al.* 2007b, Estiningtyas *et al.* 2005a, Estiningtyas *et al.* 2005b). Indikator global digunakan dalam analisis karena memiliki pola hubungan dengan parameter iklim yaitu curah hujan. Penggunaan indikator global untuk analisis adalah melalui suatu ukuran yang disebut indeks global. Indeks global berbeda-beda nilainya berdasarkan lokasi pengamatannya. Beberapa indeks sudah dikaji dan diteliti diantaranya adalah *ENSO Modoki Index* (EMI) (Windari *et al.* 2012), *ENSO index* (Wolter *et al.* 2011), *Southern Oscillation Index* (SOI) (Yasin *et al.* 2004). Di India, indeks global digunakan untuk mendeteksi datangnya awal musim hujan (*summer monsoon onset*) (Paid dan Nair 2009). Hattori, Mori, dan Matsumoto (2011) mempelajari karakteristik dari arus lintas utara katulistiwa (*cross-equatorial northerly surge*) dan hubungannya dengan pola curah hujan di atas laut Cina Selatan dan Maritim kontinental. Sementara untuk mendeteksi *Australian Monsoon Index* digunakan data global berupa data angin zonal 850hPa (Kajikawa *et al.* 2009). Data indikator global juga

digunakan untuk melihat variabilitas di dalam tahun dari *Asian Summer Monsoon* (Wang *et al.* 2001). Masing-masing indikator global memiliki spesifikasi terkait posisi dan sifat datanya. Dalam penelitian ini digunakan sebelas indikator global untuk mengetahui berbagai tingkat korelasi dan signifikansinya terhadap anomali curah hujan. Keeratan hubungan antara indikator global dengan curah hujan juga diperlihatkan dari beberapa hasil penelitian. Hasil penelitian Estiningtyas *et al.* (2005a) menunjukkan bahwa hubungan curah hujan dengan *Sea Surface Temperature* (SST) Niño 3.4 menghasilkan nilai korelasi pada musim kemarau yang lebih tinggi (99,35%) dibandingkan pada musim hujan (80,82%) pada wilayah monsun, demikian juga pada wilayah ekuatorial pada musim kemarau 98,93% dan pada musim hujan 93%. Hasil penelitian Hendon (2003) menunjukkan bahwa variabilitas SST Niño 3.4 memengaruhi 50% variasi curah hujan seluruh Indonesia, sedangkan variabilitas SST di Laut India memberikan pengaruh 10-15%. Pengamatan terhadap tahun-tahun El Niño yang terjadi dalam periode 1896-1987 memperlihatkan indikasi bahwa untuk setiap peningkatan anomali suhu muka laut di daerah Niño 3, curah hujan regional di Indonesia turun sekitar 60 mm (Boer *et al.* 1999). Aldrian dan Susanto (2003) juga melakukan korelasi antara curah hujan dengan SST yang memperlihatkan bahwa untuk Indonesia pada musim kemarau, anomali SST yang mencapai $+1^{\circ}\text{C}$ sudah menyebabkan curah hujan turun sampai di bawah normal. Dengan kata lain anomali curah hujan pada musim kemarau berkorelasi kuat dengan variasi ENSO di Pasifik, sebaliknya pada musim hujan korelasi tersebut lemah. Berdasarkan beberapa hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada wilayah yang sensitif dan yang kurang atau tidak sensitif terhadap perubahan/variabilitas iklim. Sebaran wilayah ini bisa diketahui apabila ada data dan informasi spasial yang menunjukkan hubungan antara indikator global dengan parameter iklim seperti curah hujan.

Indonesia sebagai negara tropis dengan posisi diapit dua samudera dan dua benua memiliki karakteristik iklim yang kompleks dan dinamis. Ramage (1968 dan 1971) dalam Hermawan (2015) menamakan Indonesia sebagai *Indonesian Maritime Continent* (IMC) atau Benua Maritim Indonesia (BMI) dimana 2/3 wilayahnya didominasi oleh lautan. Oleh karena itu wilayah Indonesia senantiasa didominasi oleh kumpulan awan raksasa (*giant clouds*) sebagai penyimpan bahang (panas) terbesar. Secara garis besar Indonesia terbagi menjadi tiga pola curah hujan, yaitu Monsunal, Ekuatorial, dan Lokal (Aldrian dan Susanto 2003). Beberapa mekanisme yang memengaruhi iklim Indonesia antara lain siklus Hadley, siklus Walker, Monsun, *Dipole Mode Index* (DMI), *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) serta sebaran luas daratan dan lautan sangat memengaruhi dinamika iklim di Indonesia.

Hasil penelitian Hidayat dan Kizu (2010) menyebutkan bahwa variabilitas curah hujan di Indonesia juga dipengaruhi secara signifikan oleh fase *Madden Julian Oscillation* (MJO). Mengingat keragaman iklim wilayah Indonesia yang sangat tinggi memerlukan suatu pendekatan dalam rangka memperoleh wilayah kunci (*key area*) yang dapat digunakan sebagai indikator perubahan/keragaman iklim di Indonesia. Wilayah kunci adalah suatu wilayah yang dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui dampak perubahan iklim. Wilayah ini ditentukan berdasarkan pendekatan adanya keeratan hubungan (korelasi) antara indikator global dengan anomali curah hujan. Wilayah dengan korelasi yang kuat menggambarkan bahwa apabila terjadi perubahan iklim, maka akan sangat berpengaruh terhadap anomali curah hujan di wilayah tersebut baik meningkat ataupun menurun. Hasil analisis wilayah kunci ini memberikan data dan informasi tentang status setiap wilayah kunci terhadap perubahan/keragaman iklim dan dampaknya pada sektor pertanian yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam melakukan program dan aksi adaptasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah kunci (*key area*) keragaman iklim di Indonesia pada setiap periode musim dan tenggang waktu (*time lag*) untuk mendukung adaptasi perubahan iklim.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2016 mencakup seluruh wilayah Indonesia. Analisis dilakukan melalui dua tahapan, yaitu : (1) Analisis korelasi dan signifikansi antara indikator iklim global dengan anomali curah hujan untuk periode tiga bulanan berturut-turut (Desember-Januari-Februari/DJF, Maret-April-Mei/MAM, Juni-Juli-Agustus/JJA, dan September-Oktober-November/SON) pada lag 0 hingga lag 3; dan (2) Pemetaan nilai korelasi dan signifikansi antara indikator global dengan anomali curah hujan. Data yang digunakan adalah data curah hujan bulanan dari 464 stasiun hujan yang tersebar di Indonesia dengan periode 1955-2014 (Gambar 1) dan data indeks global.

Data indeks global yang digunakan ada 11, yaitu: Anomali dari *Sea Surface Temperature* (SST) pada zona: (1) NIÑO1.2, (2) NIÑO3, (3) NIÑO 4, (4) NIÑO3.4, (5) *Trans Niño Index* (TNI), (6) *Oceanic Niño Index* (ONI), (7) *Multivariate Niño Index* (MEI), (8) *Japan Meteorological Agency Sea Surface Temperature* (JMASST), (9) *ENSO Modoki Index* (EMI), (10) *Southern Oscillation Index* (SOI), dan (11) *Outgoing Longwave Radiation* (OLR). Kesebelas indeks ini digunakan untuk mengetahui keberagaman hubungan antara indeks global

dengan anomali curah hujan berdasarkan spesifikasi lokasi dari setiap indeks global.

Nilai anomali curah hujan bulanan di setiap stasiun hujan dihitung berdasarkan selisih antara nilai pengamatan pada satu bulan tertentu dengan nilai rerata bulan yang sama dari hasil pengamatan selama 65 tahun (1951-2014) (tergantung lamanya periode data di setiap stasiun hujan) dengan persamaan :

$$\Delta Y_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_j$$

$$\bar{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ij}}{N_j}$$

- Y_j = Nilai rata-rata curah hujan pada bulan ke-j,
 Y_{ij} = Data curah hujan bulan ke-j pada pengamatan ke-i,
 ΔY_{ij} = Anomali curah hujan bulan ke-j pada pengamatan ke-i, dan
 N_j = Jumlah pengamatan untuk curah hujan bulan ke-j.



Gambar 1. Sebaran stasiun iklim yang digunakan dalam analisis

Figure 1. Distribution of climate stations used in the analysis

Definisi lag adalah jeda atau tenggang waktu antara kondisi prediktor iklim global dengan kondisi curah hujan di Indonesia. Lag yang digunakan adalah lag 0, 1, 2, dan 3 bulan sebelum kondisi curah hujan bulanan di satu titik pengamatan. Untuk melihat hubungan antara curah hujan dengan prediktor iklim global dan keterkaitannya antar musim, maka analisis dilakukan dengan membagi data curah hujan dalam empat periode waktu, yaitu DJF, MAM, JJA dan SON. Pembagian ini disesuaikan dengan pola curah hujan di Indonesia, dimana menurut Hermawan (2015), curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh monsun yang digerakkan oleh sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah di Benua Asia dan Australia secara bergantian. Pada periode DJF ini pergeseran semu matahari berada pada 23,5° di belahan bumi selatan (*tropics of capricorn*) sehingga bertiup angin dari utara menuju selatan yang dikenal dengan monsun barat. Enam bulan berikutnya

yaitu periode JJA berlaku sebaliknya (*tropics of cancer*) yakni angin monsun timur, sedangkan bulan-bulan lainnya (MAM dan SON) diistilahkan dengan musim peralihan.

Analisis korelasi digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara curah hujan dengan indikator global. Korelasi yang digunakan adalah korelasi Pearson, dengan persamaan :

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}}$$

dimana:

- n = Banyaknya pasangan data X dan Y
- $\sum x$ = Total jumlah dari variabel X
- $\sum y$ = Total jumlah dari variabel Y
- $\sum x^2$ = Kuadrat dari total jumlah variabel X
- $\sum y^2$ = Kuadrat dari total jumlah variabel Y
- $\sum xy$ = Hasil perkalian dari total jumlah variabel X dan variabel Y

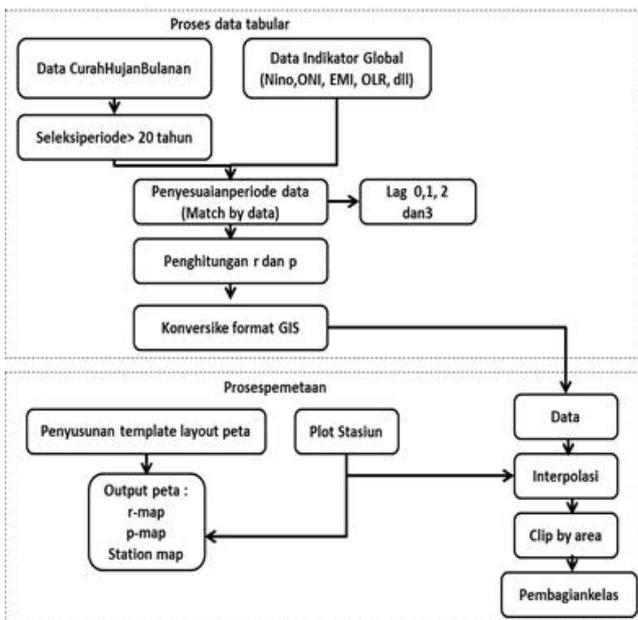
Koefisien korelasi (r) menunjukkan keeratan hubungan antar variabel. Keeratan hubungan antara indikator global dengan anomali curah hujan diperoleh dengan membandingkan kedua variabel tersebut secara musiman periode tahun 1955-2014. Nilai signifikansi dapat menunjukkan apakah kedua parameter berpengaruh nyata atau tidak. Penelitian ini menggunakan selang kepercayaan 90%. Dikatakan signifikan ketika nilai p atau untuk *alpha* kurang dari 0,1. Selanjutnya nilai korelasi yang didapatkan pada tiap stasiun dipetakan secara spasial dengan menggunakan interpolasi. Garis besar tahapan penelitian disajikan dalam Gambar 2.

Hasil dan Pembahasan

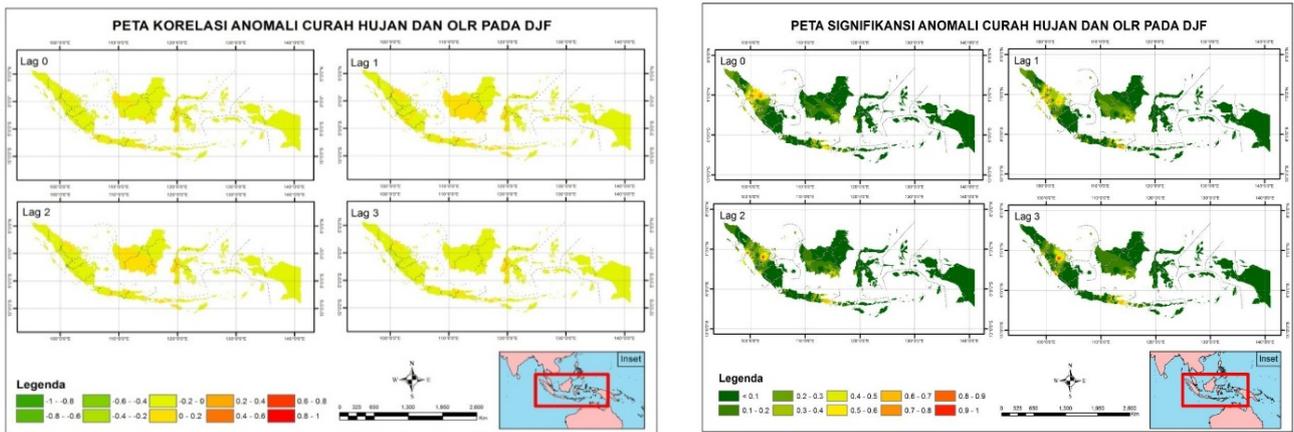
Korelasi Indikator Global dan Anomali Curah Hujan

Setiap indikator iklim global memiliki korelasi yang berbeda-beda dengan curah hujan pada suatu wilayah berdasarkan karakteristik curah hujan itu sendiri. Selain itu hubungan indikator global juga berbeda-beda di setiap musim dan tenggang waktu (*time lag*) di setiap wilayah Indonesia. Sebagai contoh di Jawa Tengah tenggang waktu yang dominan antara SST Niño3.4 dengan anomali curah hujan adalah dua bulan (*lag-2*) (Estiningtyas 2007). Artinya bahwa SST Niño 3.4 pada dua bulan sebelumnya berkorelasi cukup kuat dengan curah hujan bulan ini. Korelasi bisa bernilai negatif atau positif. Bernilai negatif artinya meningkatnya indeks indikator global berdampak terhadap menurunnya anomali curah hujan, sedangkan berkorelasi positif artinya meningkatnya indeks indikator global berdampak pada meningkatnya anomali curah hujan.

Hasil identifikasi pada periode DJF menunjukkan bahwa wilayah yang memiliki korelasi cukup tinggi dan berpengaruh nyata adalah wilayah Kalimantan bagian selatan dan Sulawesi bagian barat dan selatan. Untuk wilayah Kalimantan bagian selatan, ada dua indikator yang berpengaruh nyata pada lag 2 yaitu Niño 1.2 dan MEI masing-masing dengan korelasi -0,2 hingga -0,4. Artinya meningkatnya nilai indeks Niño 1.2 dan MEI berpengaruh pada menurunnya curah hujan di wilayah Kalimantan bagian selatan. Wilayah lain yang berpengaruh nyata adalah Sulawesi bagian barat dan selatan untuk 2 indikator yaitu indikator ONI pada lag 2 dengan korelasi -0,2 hingga -0,4 dan untuk indikator OLR pada lag 2 dengan korelasi 0,4 hingga 0,6 (Gambar 3). Keduanya memberikan pengaruh yang berbeda terhadap curah hujan. Peningkatan indeks ONI berdampak pada menurunnya curah hujan di wilayah Sulawesi bagian barat dan selatan, sedangkan peningkatan indeks OLR membawa pengaruh berupa meningkatnya curah hujan. Pada periode DJF, wilayah yang sudah teridentifikasi ini menjadi perhatian utama terkait dengan kejadian iklim ekstrim yang diindikasikan oleh indeks globalnya. Pemantauan terhadap indeks NIÑO 1.2, MEI, ONI, dan OLR sangat penting memberikan informasi apakah akan terjadi anomali iklim atau tidak. Salah satu indeks global yang berkorelasi kuat pada DJF adalah OLR. Data radiasi gelombang panjang atau OLR ini telah banyak digunakan dalam mempelajari siklus tahunan konveksi dan curah hujan, seperti di lautan Pasifik dan Hindia Tropis yang diteliti oleh (Murakami *et al.* 1986, Meehl 1987, Nitta *et al.* 1992, Murakami dan Wang 1993, Murakami dan Matsumoto 1994, Sofianti 2012).

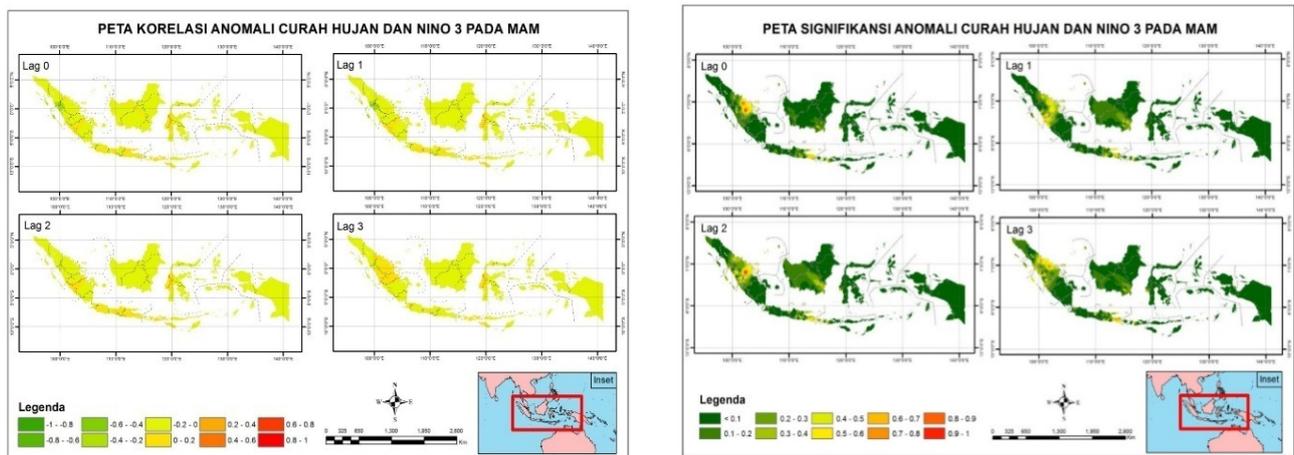


Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian
Figure 2. Flowchart of research



Gambar 3. Sebaran nilai korelasi dan signifikansi antara OLR dengan anomali curah hujan pada DJF

Figure 3. Distribution of correlation values and significance between OLR and rainfall anomaly in DJF



Gambar 4. Sebaran nilai korelasi dan signifikansi antara anomali SST Niño 3 dengan anomali curah hujan pada MAM

Figure 4. Distribution of correlation values and significance between SST Niño 3 and rainfall anomaly in MAM

Nilai OLR negatif terlihat pada awal dan akhir tahun karena keadaan tersebut berkaitan dengan bulan basah, atau dengan kata lain bersamaan dengan bertambahnya awan konvektif yang terjadi rata-rata pada bulan DJF. Sementara nilai positif OLR terlihat pada pertengahan tahun dan berkaitan dengan bulan kering yang terjadi rata-rata pada bulan JJA (Sofiati *et al.* 1998 dalam Sofianti 2012).

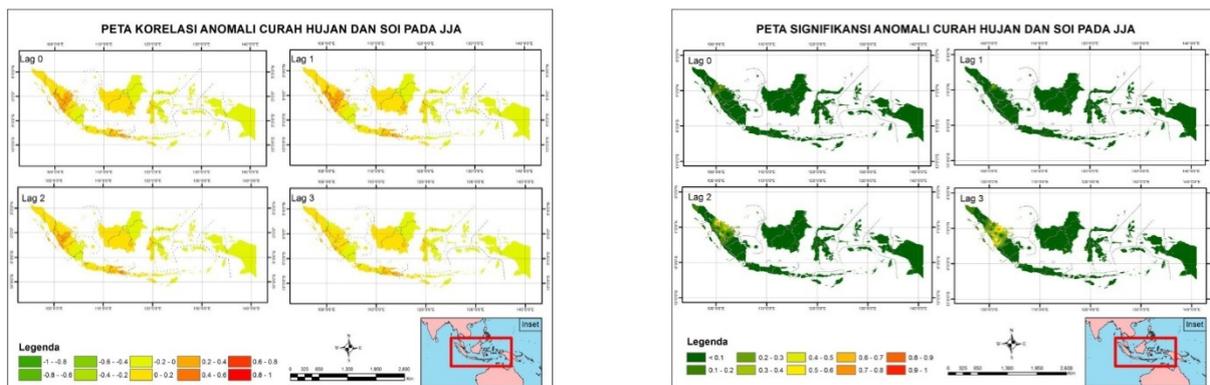
Pada periode MAM, ada beberapa wilayah yang memperlihatkan korelasi hingga 0,6 baik positif maupun negatif dan berpengaruh nyata. Wilayah ini antara lain Sumatera bagian barat untuk Niño 3 lag 0, Jawa bagian utara dan Banten bagian timur untuk JMASST lag 3, NTB untuk Niño 3 lag 2, serta Bali bagian utara dan NTT bagian timur untuk Niño 4 lag 1. Korelasi yang cukup kuat

antara anomali curah hujan di Pulau Sumatera dengan indikator iklim global ditunjukkan oleh SST Niño 3 pada lag 0, dengan nilai sekitar -0,6 pada musim MAM (Gambar 4). Di Sumatera bagian barat meningkatnya suhu permukaan laut di Niño 3 lag 0 berdampak terhadap penurunan anomali curah hujan dengan korelasi mencapai -0,6. Wilayah Riau dan Bengkulu mengalami peningkatan curah hujan karena korelasi dengan SST Niño 3 memiliki nilai 0,2 pada lag 0. Demikian juga dengan lokasi Bali bagian utara dan NTT bagian timur, sedangkan di Jawa bagian utara dan Banten bagian timur peningkatan suhu permukaan laut JMASST berdampak pada peningkatan curah hujan, demikian juga dengan NTB untuk indikator Niño 3 lag 2. Selain berpengaruh terhadap penurunan anomali curah hujan di Sumatera bagian barat, SST Niño 3

juga berpengaruh kuat terhadap curah hujan di wilayah NTB. Gambar 4 menunjukkan bahwa SST Niño 3 pada lag 2 memiliki korelasi kuat positif sebesar 0,6 dengan anomali curah hujan di NTB. Artinya, peningkatan SPL Niño 3 pada lag 2 berpengaruh terhadap meningkatnya anomali curah hujan di NTB. Pengaruh SST Niño 3 terhadap curah hujan di Sumatera bagian barat pada lag 0 adalah berbanding terbalik, artinya peningkatan SST Niño 3 berdampak pada menurunnya curah hujan. Dapat diartikan bahwa SST Niño 3 berpengaruh nyata terhadap curah hujan di Sumatera terutama Sumatera bagian barat dan NTB. Daerah Niño 3 (5° LU-5°LS dan 150°- 90°BB) ini dulunya memiliki fokus utama untuk memantau dan memprediksi El Niño, namun dalam perkembangannya para peneliti kemudian mengetahui bahwa wilayah kunci untuk penggabungan interaksi laut-atmosfer untuk ENSO terletak di sebelah barat, yaitu Niño 3.4. Menurut Trenberth (1997), perubahan nilai SST di daerah ini dapat mengakibatkan penyimpangan iklim di sekitar pantai barat Peru dan di wilayah Indonesia. Anomali suhu permukaan laut di wilayah Niño 3.4 (170°-120°BB, 5°LU-5°LS) memiliki hubungan yang lebih kuat terhadap anomali curah hujan bulanan dibandingkan dengan anomali suhu permukaan laut di zona lain.

Pada periode JJA, wilayah Indonesia yang memiliki korelasi kuat dengan indikator global dan berpengaruh nyata meliputi Sumatera bagian tengah dengan korelasi 0,6 untuk indikator SOI lag 1, Jawa Timur untuk indikator SOI lag 2 dengan korelasi 0 hingga 0,6, Kalimantan Selatan bagian utara untuk indikator OLR pada lag 2 dengan korelasi 0 hingga 0,6 serta Sulawesi bagian barat dengan indikator SOI pada lag 0 dengan korelasi 0,4 hingga 0,6. Berdasarkan analisis menunjukkan bahwa pada periode JJA, indikator global yang paling banyak

berpengaruh terhadap curah hujan di Indonesia adalah SOI pada lag 0 hingga 2 (Gambar 5). Semua wilayah tersebut memperlihatkan korelasi positif, artinya peningkatan SOI memberikan pengaruh pada peningkatan curah hujan di wilayah Sumatera bagian tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi bagian barat. Pada periode JJA ini indeks global yang dominan adalah SOI. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai signifikansi korelasi SOI dengan curah hujan di Sumatera mayoritas memiliki nilai yang kurang dari α 0,1, kecuali di wilayah Riau dan Bengkulu memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,1. Diperoleh bahwa untuk sebagian besar wilayah Sumatera, indikator SOI pada lag 1 memiliki pengaruh nyata dan positif, sedangkan untuk wilayah Sumatera Selatan dan Lampung memiliki pengaruh yang negatif. Selain Pulau Sumatera, indikator SOI juga memiliki pengaruh kuat terhadap curah hujan di Pulau Jawa dan Sulawesi. Pada Pulau Jawa, indikator SOI memiliki korelasi yang kuat pada lag 2. Korelasi kuat ini lebih banyak terjadi di wilayah Jawa Timur (0,2-0,6). Indikator SOI ini juga memiliki nilai signifikansi kurang dari 0,1, kecuali wilayah Banten Utara. Artinya, peningkatan indeks SOI pada lag 2 memberikan indikasi peningkatan anomali curah hujan di Pulau Jawa. Di Pulau Sulawesi, indikator SOI memiliki korelasi kuat pada lag 0. Korelasi kuat mencapai 0,6 terjadi di Sulawesi Barat bagian selatan dan sekitarnya yang memiliki korelasi berkisar antara 0-0,4. Dilihat dari nilai signifikansinya, indikator SOI pada lag 0 dengan curah hujan di Sulawesi memiliki nilai yang kurang dari α 0,1. Artinya, indikator SOI pada lag 0 memiliki pengaruh nyata terhadap peningkatan curah hujan di Sulawesi bagian barat. Hubungan SOI dan curah hujan bersifat berlawanan. Jika SOI meningkat maka curah hujan menurun dan sebaliknya. Penurunan curah hujan yang drastis pada



Gambar 5. Sebaran nilai korelasi dan signifikansi antara SOI dengan anomali curah hujan pada JJA
 Figure 5. Distribution of correlation values and significance between SOI and rainfall anomaly in JJA

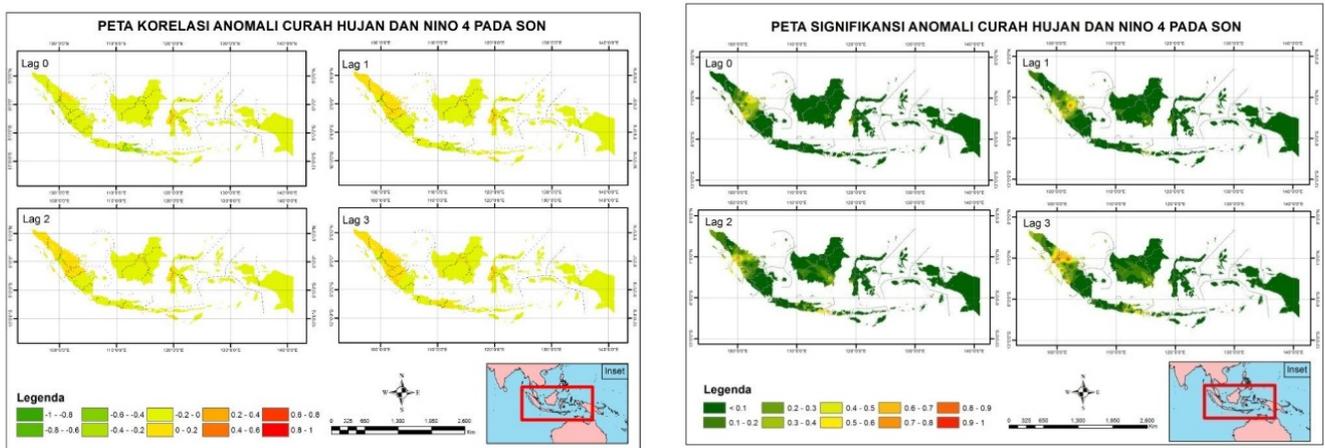
umumnya terjadi jika nilai SOI juga meningkat drastis seperti pada peristiwa El Niño (Irawan 2006). Jadi pada JJA indikator yang berpengaruh nyata adalah SOI untuk wilayah kunci Sumatera bagian tengah, Jawa Timur, dan Sulawesi bagian barat serta OLR untuk wilayah kunci Kalimantan selatan bagian utara.

Pada periode SON, indikator global yang berpengaruh nyata terhadap anomali curah hujan di beberapa wilayah Indonesia adalah SOI, Niño 4, dan ONI. Indikator Niño 4 merupakan indikator yang memengaruhi keberagaman curah hujan di Pulau Jawa, Kalimantan Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan serta Bali dan Nusa Tenggara pada musim SON. Di wilayah Jawa bagian timur, SST Niño 4 berpengaruh nyata dan menghasilkan nilai korelasi yang cukup tinggi yaitu -0,8 pada lag 0. Untuk wilayah Kalimantan bagian selatan, Sulawesi bagian selatan dan Sulawesi bagian barat korelasi kuat negatif dengan kisaran nilai -0,4 hingga -0,6. Untuk wilayah Bali dan Nusa Tenggara korelasi negatif dengan besaran -0,2 hingga -0,4 (Gambar 6). Indeks v 4 (5°LU-5°LS dan 160°BT-150°BB) menangkap anomali SST di khatulistiwa Pasifik Tengah. Wilayah ini cenderung memiliki varian kurang dari daerah Niño lainnya. Indeks Niño4 ini digunakan untuk melihat tingkat keparahan penyimpangan iklim karena terletak di daerah paling barat Samudera Pasifik dibandingkan dengan daerah Niño lainnya. Oleh karena itu untuk wilayah Indonesia bagian timur lebih banyak dipengaruhi oleh Niño 4 ini. Menurut penelitian So'langi *et al.* (2015) di wilayah Papua dan Papua Barat indeks global yang memberikan korelasi terkuat terhadap curah hujan di Indonesia adalah Niño 4 dan yang terlemah adalah Niño

3.4. Hal ini dikarenakan wilayah Niño 4 yang lebih dekat ke wilayah Papua. Dengan wilayah yang dekat maka tidak diperlukan jeda waktu atau jeda waktu relatif pendek untuk melihat dampaknya terhadap penurunan curah hujan di Indonesia. Hasil identifikasi wilayah kunci keragaman iklim Indonesia yang berkorelasi cukup kuat dan signifikan disajikan dalam Tabel 1.

Wilayah Kunci Keragaman Iklim Indonesia: Deteksi Dini dan Implikasinya Terhadap Adaptasi Perubahan Iklim

Analisis penentuan wilayah kunci keragaman iklim Indonesia merupakan salah satu pendekatan untuk mengetahui wilayah mana di Indonesia yang memiliki korelasi cukup kuat dan signifikan antara anomali curah hujan dengan indikator global dimana informasi ini masih terbatas ketersediaannya. Pada Tabel 1 disajikan deteksi dini wilayah kunci keragaman iklim Indonesia pada setiap periode tiga bulanan dan lag 0 hingga 3. Setiap wilayah yang teridentifikasi merupakan indikator untuk mengetahui perubahan iklim atau kejadian iklim ekstrim di Indonesia melalui pemantauan terhadap indeks global yang terpilih sesuai dengan tenggang waktunya. Beberapa hal yang menarik adalah bahwa Pulau Kalimantan khususnya Kalimantan Selatan menjadi wilayah kunci keragaman iklim Indonesia pada setiap musim, meskipun dengan indikator global yang berbeda-beda. Artinya wilayah ini perlu mendapat perhatian utama ketika ada indikasi kejadian iklim ekstrim atau perubahan iklim. Perhatian lebih ditekankan pada wilayah dengan nilai korelasi negatif karena berdampak pada berkurangnya curah hujan, meskipun korelasi positif juga tidak bisa diabaikan karena dampak curah hujan berlebih atau



Gambar 6. Sebaran nilai korelasi dan signifikansi antara anomali SST Niño 4 dengan anomali curah hujan pada SON

Figure 6. Distribution of correlation values and significance between SST Niño 4 and rainfall anomaly in SON

Tabel 1. Deteksi dini wilayah kunci keragaman iklim Indonesia berdasarkan hasil korelasi anomali curah hujan dengan indikator global

Table 1. Early detection of key areas of Indonesia's climate variability based on correlation between rainfall anomaly and global indicators

Musim	Lokasi	Spesifik	Indikator	Lag	Koefisien korelasi (*)
DJF	Kalimantan	Bagian selatan	NIÑO 12	2	-0,2 sd -0,4
			MEI	2	-0,2 sd -0,4
	Sulawesi	Bagian barat dan selatan	ONI	2	-0,2 sd -0,4
			OLR	2	0,4 sd 0,6
MAM	Sumatera	Bagian barat	NIÑO 3	0	-0,6 sd 0
	Jawa	Bagian utara dan Banten bagian timur	JMASST	3	0 sd 0,6
	NTB	NTB	NIÑO 3	2	0,6
	Bali, NTT	Bali bagian utara, NTT bagian timur	NIÑO 4	1	-0,6 sd -0,4
	Kalimantan	Kalsel bagian utara	TNI	0	-0,4 sd 0
	Sulawesi	Sulbar, Sulsel	EMI	3	-0,4 sd 0
JJA	Sumatera	Bagian tengah	SOI	1	0,6
	Jawa	Jatim	SOI	2	0 sd 0,6
	Kalimantan	Kalsel bagian utara	OLR	2	0 sd 0,6
	Sulawesi	Bagian barat	SOI	0	0,4 sd 0,6
SON	Sumatera	Barat, Bengkulu, Riau	SOI	0	0,4 sd 0,6
	Jawa	Jatim	NIÑO 4	0	-0,8 sd 0
			SOI	0	0,4 sd 0,6
	Bali	Bali	NIÑO 4	0	-0,2 sd -0,4
	Kalimantan	Selatan	ONI	0	-0,4 sd -0,6
	Sulawesi	Selatan	NIÑO 4	0	-0,4 sd -0,6

(*) Korelasi dengan taraf nyata ($P < 0,1$)

bahkan banjir bisa saja terjadi. Demikian juga dengan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. Pada periode JJA baik Kalimantan Selatan maupun Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat memiliki korelasi yang positif antara indikator global dengan anomali curah hujan. Peluang peningkatan curah hujan perlu diwaspadai agar tidak mengakibatkan banjir, namun di sisi lain bisa dimanfaatkan untuk menyediakan air bagi tanaman khususnya tanaman pangan melalui penerapan teknologi panen air (*water harvesting*). Jawa Timur menjadi wilayah kunci utama pada periode SON dengan korelasi negatif yang cukup tinggi yaitu -0,8 untuk indikator Niño 4 lag-0, sedangkan untuk indikator SOI memberikan hasil korelasi yang positif. Oleh karena itu untuk Jawa Timur pada periode SON lebih disarankan menggunakan prediktor Niño 4. Hal menarik lainnya dari hasil analisis adalah bahwa korelasi antara anomali curah hujan dengan indikator global pada periode JJA seluruhnya memberikan nilai positif. Artinya peningkatan indeks global membawa pengaruh berupa peningkatan curah hujan di wilayah kunci.

Secara umum wilayah kunci yang telah diidentifikasi lebih sensitif terhadap perubahan iklim dibandingkan wilayah lainnya karena penyimpangan/anomali terhadap indikator global akan berpengaruh nyata terhadap anomali

curah hujan yang dampaknya sangat berpengaruh terhadap sektor pertanian khususnya tanaman pangan. Implikasi lainnya adalah bahwa indikator global yang terpilih dapat digunakan sebagai prediktor anomali curah hujan, sehingga dapat dilakukan prediksi curah hujan di wilayah kunci tersebut untuk mengetahui pola dan besaran curah hujan yang akan terjadi beberapa waktu ke depan. Wilayah kunci yang teridentifikasi sebagian besar merupakan sentra produksi pangan di Indonesia, sehingga gangguan atau guncangan terhadap produksi pangan di wilayah kunci ini akan sangat berpengaruh terhadap ketersediaan pangan di wilayah lainnya dan bahkan Indonesia. Oleh karena itu, besarnya dampak perubahan iklim ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menyusun program dan aksi adaptasi terhadap perubahan iklim didukung dengan data dan informasi tentang tingkat kerentanan terhadap perubahan iklim. Penelitian Estiningtyas *et al.* (2016) menghasilkan data dan informasi tentang sebaran tingkat Kerentanan Usahatani Pangan dan Risiko Iklim pada level kabupaten di Pulau Jawa dan Sulawesi dalam bentuk atlas. Dari atlas ini dapat diketahui tingkat kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim (banjir/kekeringan) di setiap kabupaten mulai dari ekstrim tinggi hingga ekstrim rendah serta faktor determinan yang berkontribusi paling besar

terhadap tingkat kerentanannya. Faktor determinan ini sangat membantu dalam memberikan informasi tentang langkah aksi adaptasi yang harus dilakukan sesuai dengan potensi dan sumberdaya di setiap Kabupaten.

Untuk sektor pertanian, adaptasi menjadi prioritas karena berkaitan dengan produktivitas dan ketahanan pangan, sedangkan mitigasi merupakan keuntungan tambahan (*co-benefits*) dan dilaksanakan selama tidak mengurangi produktivitas dan ketahanan pangan. Adaptasi dan mitigasi harus dilakukan secara bersinergi. Hal ini sejalan dengan arah dan strategi sektor pertanian menghadapi perubahan iklim.

Wilayah kunci yang teridentifikasi berdasarkan keeratan hubungan antara indikator global dengan curah hujan memberikan data dan informasi wilayah prioritas adaptasi. Perubahan terhadap indikator global dapat menjadi deteksi dini adanya perubahan curah hujan di wilayah kunci tersebut yang berpengaruh besar terhadap kegiatan pertanian. Dengan mengetahui sebaran wilayah kunci keragaman iklim Indonesia dapat diketahui wilayah mana yang menjadi prioritas pemantauan dampak akibat perubahan/keragaman iklim sehingga dapat disusun suatu pendekatan dan strategi untuk mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim. Adaptasi perubahan iklim menjadi penting karena ke depan perubahan iklim merupakan faktor yang tidak boleh diabaikan untuk keberlanjutan masa depan. Bahkan mantan Sekretaris Jenderal PBB mengemukakan bahwa “Perubahan iklim merupakan satu-satunya ancaman terbesar terhadap keberlanjutan masa depan kita, akan tetapi pada waktu yang bersamaan, upaya yang dilakukan untuk mengatasinya akan memberikan peluang emas untuk mendorong kesejahteraan, keamanan dan masa depan yang lebih cerah bagi semua” (Moon *dalam* Boer 2017b). Apabila upaya adaptasi ini dilakukan berdasarkan hasil penelitian dan kajian yang komprehensif dan mendalam maka bukan tidak mungkin peluang emas tersebut akan bisa diraih.

Kesimpulan

Beberapa indikator global yang berpengaruh nyata dan berkorelasi cukup kuat dengan anomali curah hujan di beberapa wilayah kunci di Indonesia pada lag 1 hingga 3 yaitu Niño3, Niño 4, SOI, ONI, dan OLR.

Wilayah kunci keragaman iklim Indonesia yang teridentifikasi pada DJF adalah Kalimantan bagian selatan dan Sulawesi bagian barat dan selatan yang menjadi wilayah kunci untuk indikator masing-masing yaitu Niño 1.2 dan ONI keduanya pada lag-2. Pada MAM wilayah kunci menyebar lebih banyak yaitu di Sumatera bagian barat (Niño 3 lag-0), NTB (Niño 3, lag 2), Jawa bagian

utara dan Banten bagian timur (JMASST, lag-3), Bali bagian utara dan NTT bagian timur (Niño 4, lag-1), Kalimantan Selatan bagian utara (TNI, lag-0) serta Sulawesi Barat dan Sulawesi Selatan (EMI, lag-3). Untuk periode JJA, beberapa wilayah kunci meliputi Sumatera bagian tengah (SOI, lag-1), Jawa Timur (SOI, lag-2), Kalimantan Selatan bagian utara (OLR, lag-2) dan Sulawesi bagian barat (SOI, lag-0). Periode SON, beberapa wilayah di Sumatera, Bali, Kalimantan, dan Sulawesi menjadi wilayah kunci keragaman iklim Indonesia, khususnya Sumatera Barat, Bengkulu, dan Riau (SOI, lag-0), Jawa Timur (Niño 4, lag-0 dan SOI, lag-0), Bali (Niño 4, lag-0), Kalimantan Selatan (ONI, lag-0), dan Sulawesi Selatan (Niño 4, lag 0).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada evaluator Prof. Dr. Fahmuddin Agus, M.Sc dan Prof. Dr. Erna Sri Adiningsih, M.S yang telah memberikan saran, masukan serta perbaikan untuk makalah ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Irna Rizkiana Putri dan Urfana Istiqomah mahasiswa Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor yang telah membantu penyiapan dan analisis data dalam rangka kerja praktek lapang di Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor.

Daftar Pustaka

- Aldrian E, Susanto RD. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature, *International Journal Of Climatology*, Int. J. Climatol. 23:1435-1452.
- Aldrian E. 2000. Pola hujan rata-rata bulanan wilayah Indonesia : tinjauan hasil kontur data penakar dengan resolusi ECHAM T-42. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 1(2): 113-123.
- Boer R. 2017. Implementasi NDC dan Integrasi Adaptasi dan Mitigasi Menuju Kedaulatan Pangan. Bahan tayang Lokakarya dan Seminar Nasional Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim. Bogor 13-14 September 2017.
- Boer R, Notodipuro KA, Las I. 1999. Prediction of Daily Rainfall Characteristic from Monthly Climate Indicate. Paper presented at the second International Conference on Science and Technology for the Assesment of Global Climate Change and Its impact on Indonesian Maritime Continent, 29 November-1 December 1999.
- Estiningtyas W, Syahbuddin H, Sumaryanto, Mulyani A, Setyorini D, Kartiwa B, Rakhman A, Susanti E, Surmaini E, Suciantini, Apriyana Y, Pramudia A, Sarvina Y, Kurniawan H, Nugroho AA, Samudera RP, Hutami AS. 2016. Analisis dan Pemetaan Tingkat Kerentanan Pangan terhadap Anomali Iklim (El Niño, La Niña). Laporan Akhir. Balai

- Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Estiningtyas W. 2007a. Pengaruh tenggang waktu (time lag) antara curah hujan dengan suhu permukaan laut Niño 3.4 terhadap performa model prediksi hujan. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, BMKG.
- Estiningtyas W, Ramadhani F, Aldrian E. 2007b. Analisis korelasi curah hujan dan suhu permukaan laut wilayah Indonesia, serta implikasinya untuk prakiraan curah hujan: studi kasus Kabupaten Cilacap. *Jurnal Agromet Indonesia* 21(2). Desember 2007, ISSN: 0126-3633.
- Estiningtyas W. 2005a. Prediksi Curah Hujan dengan Metode Filter Kalman untuk Menyusun Pola Tanam. Tesis. Program Studi Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- Estiningtyas W, Ramadhani F. 2005b. Prediksi curah hujan berdasarkan suhu permukaan laut Niño 3.4: Suatu pendekatan dengan metode Filter Kalman. *Jurnal Agromet* 19(2). Desember 2005.
- Hattori M, Mori S, Matsumoto J. 2011. The cross-equatorial northerly surge over the maritime continent and its relationship to precipitation patterns. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 89A:27-47.
- Hendon HH. 2003. Indonesian Rainfall Variability : Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. *American Meteorology Society*.
- Hermawan E. 2015. Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya. Buku. LIPI Press, Jakarta. 141 hal.
- Hidayati R. 2001. Masalah Perubahan Iklim di Indonesia Beberapa Contoh Kasus. Program Pasca Sarjana S-3, Institut Pertanian Bogor, November 2001.
- Hidayat R, Kizua S. 2010. Influence of the Madden-Julian Oscillation on Indonesian rainfall variability in austral summer. *Int. J. Climatol.* 30:1816-1825.
- Irawan B. 2013. Dampak El Niño dan La Niña terhadap produksi padi dan palawija. Hlm 29-51. *Dalam Soeparno et al. (Eds). Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Kajikawa, Wang YB, Yang J. 2009. A multi-time scale Australian monsoon index. *International Journal of Climatology*. *Int. J. Climatol.* Published online in Wiley InterScience. (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1955.
- Las I. 2004. Menyiasati Fenomena Anomali Iklim bagi Pemantapan Produksi Padi Nasional pada Era Revolusi Hijau Lestari-Strategi dan Inovasi Teknologi untuk Antisipasi dan Penanggulangan. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Agrometeorologi. Badan Litbang Pertanian.
- Meehl GA. 1987. The Annual Cycle and Interannual Variability in The Tropical Pacific and Indian Ocean Regions. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 27-50.
- Murakami T, Matsumoto J, 1994. Summer monsoon over the Asian Continent and Western North Pacific. *Journal Meteorology Society Japan* 72:719-745.
- Murakami T, Wang B. 1993. Annual variations of the equatorial East-West circulation over the Indian and Pacific Oceans. *J. Climate*, 6:932-952.
- Murakami T, Chen LX, Xie A, 1986. Relationship Among Seasonal Cycles, Low-Frequency Oscillations, and Transient Disturbances as Revealed from Outgoing Long Wave Radiation Data. *Mon. Wea. Rev.* 113:1456-1465.
- Nitta T, Mizuno T, Takahashi K. 1992. Multi-scale convective systems during the initial phase of the 1986/87 El Niño. *J. Met. Soc. Japan*, 70:447-466.
- Pai DS, Nair RM. 2009. Summer monsoon onset over Kerala: New definition and prediction. *J. Earth Syst. Sci.* 118(2):123-135.
- Ruminta, Handoko. 2016. Vulnerability assessment of climate on agriculture sector in the South Sumatra Province, Indonesia. *Asian J. Crop Sci.* 8(2):31-42.
- Sofianti I. 2012. Karakteristik *outgoing longwave radiation* (OLR) berdasarkan *empirical orthogonal function* (EOF) dan kaitannya dengan curah hujan di wilayah Indonesia. *Jurnal Sains Dirgantara.* 10(1):35-46.
- So'langi LN, Nuryadi. 2015. Hubungan curah hujan dengan fenomena global (SOI, Niño 4, Niño 3.4 & Niño West) di wilayah Papua dan Papua Barat. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika* 2(2):176-185. Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, BMKG.
- Surmaini E, Estiningtyas W, Las I. 2017. Mewujudkan Sistem Usahatani Inovatif Dalam Menghadapi Tantangan Perubahan Iklim. Buku. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Trenberth KEDP, Stepaniak. 2001. Indices of el niño evolution. *Journal of Climate* 14:1697-1701.
- Trenberth. 1997. The definition of el niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*.
- Wang B, Wu R, Lau KM. 2001. Interannual Variability of the Asian Summer Monsoon: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. *American Meteorological Society* 14:4073-4090.
- Windari EH, Faqih A, Hermawan E. 2012. El niño Modoki dan pengaruhnya terhadap perilaku curah hujan musonal di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 13(3):149-160.
- Wolter K, Timlin MS. 2011. El niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext). *Int. J. Climatol.* 31: 1074-1087.
- WMO (World Meteorological Organization). 1979. World Climate Conference, A Conference of Experts on Climate and Mankind. Geneva, February 1979.
- Yasin I, Ma'shum M, Abawi Y, Hadiyahwaty L. 2004. Penggunaan Indeks Osilasi Selatan untuk memperkirakan sifat hujan musiman guna menentukan strategi tanam di lahan tadah hujan di Pulau Lombok. *Jurnal Agromet.* 18(2): 24-36.