

Kejadian Iklim Ekstrem dan Dampaknya Terhadap Pertanian Tanaman Pangan di Indonesia

Extreme Climate Events and their Impacts on Food Crop in Indonesia

Elza Surmaini¹ dan Akhmad Faqih²

¹ Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1, Cimanggu, Bogor 16111. Email: e_surmaini@yahoo.com

² Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan IPA, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Dramaga, Gedung FMIPA, Wing 19 Lantai 4, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680

Diterima 3 September 2016; Direview 3 Oktober 2016; Disetujui dimuat 29 Oktober 2016

Abstrak. Perubahan iklim telah mengganggu sistem iklim global dan menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem. Tulisan ini merupakan tinjauan mengenai proyeksi skenario iklim, faktor pengendali kejadian iklim ekstrem, serta dampaknya terhadap sektor pertanian di Indonesia. Dampak kejadian iklim ekstrim yang dominan pada sektor pertanian adalah kerusakan tanaman akibat kekeringan dan banjir. Akibat perubahan iklim, kekeringan dan banjir diproyeksikan akan meningkat frekuensi dan intensitasnya di masa akan datang. Informasi prediksi musim dapat digunakan untuk mengetahui intensitas dan wilayah yang terdampak dalam 1-2 musim ke depan. Sedangkan dampak jangka panjang 2-3 dekade ke depan dapat diketahui berdasarkan skenario proyeksi iklim. Prediksi musim telah banyak di manfaatkan untuk menyusun strategi dan kebijakan operasional seperti menyesuaikan waktu tanam, pemilihan komoditas, dan distribusi peralatan pertanian. Namun, kajian proyeksi iklim dan dampaknya terhadap produksi pangan masih sangat terbatas. Informasi tersebut diperlukan dalam perencanaan arah dan pembangunan pertanian ke depan. Oleh karena itu, kajian proyeksi iklim dan dampaknya terhadap produksi pangan perlu menjadi prioritas penelitian pertanian di Indonesia.

Kata kunci: Iklim Ekstrem / Skenario Iklim / Prediksi / Banjir / Kekeringan / Tanaman Pangan

Abstract. Climate change has disrupted the global climate system and lead to increase frequency and intensity of extreme climate events. This paper is an overview of future climate scenarios, driving force of extreme climate events, and its impacts on the agricultural sector in Indonesia. The common impacts of extreme climate events in Indonesia's agriculture are crop damaged due to drought and flood. Due to climate change, drought and flood events is projected to intensify in the future. Seasonal prediction have been widely used to formulate operational strategies and policies such as planting time, commodity choice, and distribution of agricultural equipment. While, the climate projections are required for the forthcoming decades. However, the study of climate projections and their impact on food production for the next decades is still very limited. The information are required for planning and direction of future agricultural development. Therefore, the study of climate projections and their impact on food crop should be a priority of agricultural research in Indonesia.

Keywords: Extreme Climate / Climate Scenarios / Prediction / Flood / Drought / Food Crop

PENDAHULUAN

Pencapaian kedaulatan pangan, yang merupakan bagian dari agenda nomor tujuh Nawa Cita, sangat penting agar Indonesia dapat mengatur kebutuhan pangan rakyatnya secara berdaulat (Kementerian Pertanian 2015). Untuk mencapai hal tersebut, pemerintah terus berupaya meningkatkan dan mempertahankan produksi dan cadangan pangan nasional. Ditengah permintaan produksi pangan yang terus meningkat akibat peningkatan penduduk dan pergeseran pola pangan masyarakat, ketersediaan produksi komoditas dapat

terganggu sebagai konsekuensi logis dampak perubahan iklim global (Soeparno *et al.* 2013).

Perubahan iklim yang menyebabkan perubahan pola hujan, panjang musim hujan, pergeseran awal musim hujan, dan meningkatnya kejadian iklim ekstrem berdampak serius terhadap sektor pertanian, terutama tanaman pangan. Tanaman pangan pada umumnya memiliki siklus hidup pendek, sehingga dampak kejadian iklim ekstrem seperti El Niño dan *La Niña* dapat diketahui langsung dari perubahan kuantitas produksi tanaman. Secara ekonomi, produksi pangan yang fluktuatif karena anomali iklim akan mempengaruhi ketersediaan pangan nasional. Sebagai

contoh, kejadian El Niño yang kuat seperti tahun 1997 dan 2015 tidak hanya menyebabkan gagal panen dan tertundanya waktu tanam, tetapi juga menaikkan harga pangan dan berkontribusi pada kerentanan pangan jutaan orang. *World Food Program* (2016) mengestimasi bahwa produksi pangan harus meningkat 50% di tahun 2030 agar dapat memenuhi permintaan dari meningkatnya populasi. Pada saat yang sama, akibat perubahan iklim diproyeksikan akan terjadi penurunan produksi pangan dunia 1-7% sampai tahun 2060. Jika dampak perubahan iklim tidak diantisipasi, diperkirakan sekitar 20% penduduk dunia berisiko kelaparan. Boer *et al.* (2011) menyatakan bahwa penurunan produksi padi di Jawa pada tahun 2025 akibat kenaikan suhu dan konversi lahan mencapai 6 juta ton dan pada tahun 2050 mencapai lebih dari 12 juta ton dengan asumsi terjadi laju konversi lahan sawah 0,77% per tahun.

Di masa depan, kejadian iklim ekstrem seperti kekeringan dan banjir diproyeksi akan lebih sering terjadi dengan durasi dan intensitas yang lebih tinggi. Untuk menghindari kerugian yang lebih besar, upaya adaptasi sangat penting dilakukan dengan menyesuaikan pola tanam dengan pola iklim pada masa yang akan datang. Walaupun proyeksi iklim menyisakan banyak ketidakpastian, upaya analitis untuk mendapat gambaran dampak perubahan iklim perlu dilakukan. Selanjutnya strategi adaptasi jangka panjang perlu disiapkan mulai saat ini seperti perencanaan infrastruktur yang perlu dibangun, pengembangan wilayah baru yang lebih tahan dampak perubahan iklim, dan pengembangan varietas yang lebih toleran kondisi ekstrem.

Makalah ini merupakan tinjauan mengenai proyeksi perubahan curah hujan, suhu dan kejadian iklim ekstrem, faktor pengendali terjadinya kejadian iklim ekstrem, serta dampak kejadian iklim ekstrem terhadap sektor pertanian di Indonesia.

PROYEKSI PERUBAHAN IKLIM

Perubahan iklim bukanlah hal baru, karena pada dasarnya kondisi iklim di bumi sejak dari zaman terbentuknya hingga sekarang ini, terus mengalami perubahan pada semua skala waktu. Salah satu faktor penyebabnya adalah perubahan energi gelombang panjang yang dipancarkan kembali ke angkasa, sehingga menyebabkan perubahan keseimbangan radiasi. Contoh utama yang menyebabkan faktor ini ialah perubahan konsentrasi gas rumah kaca (GRK).

Selain itu, perubahan iklim dapat juga terjadi melalui perubahan radiasi masuk (misalnya karena perubahan orbit bumi), dan perubahan albedo (contohnya karena perubahan tutupan awan, aerosol, atau tutupan lahan).

Di dalam Annex III Laporan Penilaian ke-5 (*Fifth Assessment Report*, AR5), perubahan iklim didefinisikan sebagai perubahan kondisi iklim yang dapat diidentifikasi oleh adanya perubahan nilai rata-rata dan/atau variabilitas sifat-sifatnya, dan berlangsung selama jangka waktu yang panjang (IPCC 2013). Perubahan tersebut dapat terjadi baik melalui proses internal yang bersifat alami atau karena pengaruh faktor pengendali lain yang bersifat eksternal. Salah satunya yaitu akibat perubahan antropogenik terus-menerus dalam komposisi atmosfer atau penggunaan lahan akibat aktivitas manusia. Untuk mengetahui dampaknya digunakan proyeksi iklim dengan beberapa skenario berdasarkan faktor yang menjadi pemicu perubahan iklim.

SKENARIO PERUBAHAN IKLIM

Skenario iklim merupakan salah satu cara untuk mengetahui proyeksi iklim ke depan dengan mempertimbangkan berbagai hal yang mempengaruhi kondisi iklim. Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) membentuk badan khusus untuk kajian iklim bernama *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). IPCC telah melakukan kajian skenario iklim untuk mengetahui proyeksi perubahan iklim global dan regional sampai tahun 2100. Proyeksi ini diperlukan untuk mengetahui kondisi iklim di masa yang akan datang berdasarkan skenario iklim yang ditetapkan. Penyusunan proyeksi perubahan iklim dilakukan dengan menggunakan skenario emisi atau skenario perubahan iklim yang hingga saat ini terus mengalami perbaikan.

Proyeksi perubahan iklim umumnya memiliki ketidakpastian (*uncertainty*), sehingga semakin jauh periode proyeksi di masa akan datang maka tingkat ketidakpastiannya akan semakin tinggi. Skenario emisi secara umum didasarkan pada skenario perubahan faktor-faktor pengendali emisi. Faktor pengendali tersebut berkontribusi terhadap peningkatan emisi dan konsentrasi GRK di atmosfer yang akan mempengaruhi besaran *Radiative Forcing* (RF, dalam satuan $W m^{-2}$). RF berkaitan dengan perubahan keseimbangan energi di bumi. Peningkatan nilai RF dapat menyebabkan efek pemanasan sehingga terjadi peningkatan suhu rata-rata global yang menyebabkan perubahan iklim.

Informasi skenario perubahan nilai RF digunakan sebagai salah satu input dalam simulasi model iklim global, dimana luaran dari model tersebut digunakan untuk kajian proyeksi perubahan berbagai unsur iklim. Di dalam laporan AR5 IPCC, digunakan skenario perubahan iklim generasi terbaru yang dikenal dengan istilah *Representative Concentration Pathways* (RCP, Moss *et al.* 2008; 2010). Skenario RCP memiliki representasi menyeluruh dari perkiraan rentang alur RF di masa depan. Skenario ini dibagi menjadi empat mulai dari skenario terendah yang optimis hingga skenario yang paling ekstrem atau pesimis. Ke empat skenario tersebut adalah RCP 2,6 (strategi mitigasi agresif, kenaikan RF $2,6 \text{ W m}^{-2}$), RCP 4,5 (menengah-tinggi, kenaikan RF $4,5 \text{ W m}^{-2}$), RCP 6.0 (menengah-tinggi, kenaikan RF $6,0 \text{ W m}^{-2}$) dan RCP 8,5 (*business as usual*, kenaikan RF $8,5 \text{ W m}^{-2}$).

Nilai pada masing-masing skenario tersebut merepresentasikan besaran nilai RF yang akan dicapai pada tahun 2100 dan masing-masing mewakili nilai konsentrasi GRK yang setara pada akhir abad ke-21 tersebut. Sebagai contoh, skenario RCP4.5 didasarkan pada asumsi bahwa besarnya nilai RF pada tahun 2100 adalah $4,5 \text{ W m}^{-2}$ atau setara dengan konsentrasi CO_2 sebesar 650 ppm (Moss *et al.* 2010). Dari seluruh skenario yang ditawarkan oleh IPCC, diharapkan negara-negara sepakat untuk melakukan skenario mitigasi agresif. Skenario tersebut dibangun dari besaran emisi masih dapat dihasilkan agar kenaikan temperatur rata-rata bumi tidak melebihi 2°C .

PROYEKSI CURAH HUJAN DAN SUHU WILAYAH INDONESIA

Perubahan iklim berimplikasi pada perubahan sifat berbagai parameter atau unsur iklim seperti curah hujan, suhu dan unsur iklim lainnya. Gambar 1 menunjukkan proyeksi perubahan curah hujan tahunan di masa akan datang berdasarkan ke-empat skenario RCP pada tiga periode 30 tahunan yang berbeda (Faqih *et al.* 2016). Hasil proyeksi menunjukkan sebagian wilayah Indonesia diproyeksikan akan mengalami peningkatan curah hujan tahunan dan sebagian lagi mengalami penurunan (Gambar 1). Peningkatan curah hujan umumnya terjadi di bagian utara Pulau Sumatra dan Kalimantan, Sulawesi, dan sebagian besar Papua. Sebaliknya, penurunan curah hujan diproyeksikan akan terjadi bagian selatan Sumatera dan Kalimantan, di sebagian besar Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. .

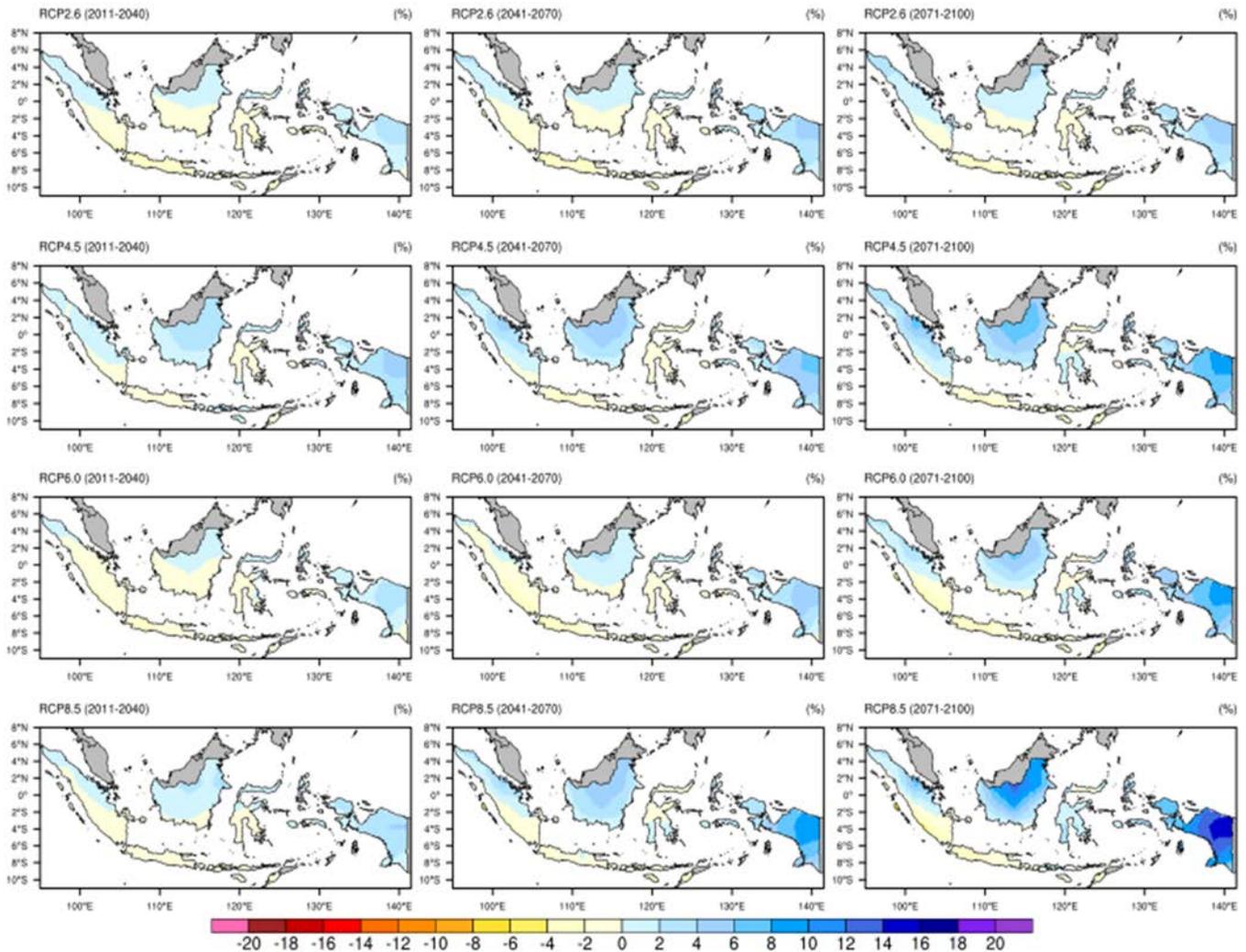
Proyeksi perubahan curah hujan di masa akan datang dapat menjadi informasi awal untuk melihat kecenderungan kondisi iklim ekstrem. Pada wilayah yang diproyeksikan akan mengalami penurunan curah hujan, terdapat kemungkinan meningkatnya peluang terjadinya kekeringan. Sebaliknya, pada wilayah yang cenderung mengalami peningkatan curah hujan, kemungkinan berpeluang terjadinya frekuensi dan intensitas curah hujan ekstrem.

Proyeksi suhu untuk Indonesia berdasarkan skenario RCP disajikan pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin ekstrem skenario RCP yang digunakan, maka peningkatan suhu semakin besar. Hal ini dapat terlihat dari perbandingan antara skenario optimis dengan strategi mitigasi agresif (RCP 2,6) dan skenario yang pesimis (RCP 8.5). Perbedaan dari peningkatan suhu rata-rata semakin besar pada periode 2071-2100, dimana pada RCP 8.5 mengalami peningkatan mencapai 4°C , sementara pada RCP 2.6 berada di bawah 1°C . Peningkatan suhu rata-rata yang tinggi pada periode tersebut untuk RCP 8.5 dikarenakan besaran RF pada tahun 2100 yang meningkat hingga $> 8,5 \text{ W m}^{-2}$. Nilai ini setara dengan konsentrasi >1.370 ppm CO_2 -ekivalen. Sedangkan pada skenario RCP 2.6, nilai RF memiliki alur naik dan turun, dengan puncak nilai mencapai sekitar 3 W m^{-2} setara dengan 490 ppm CO_2 -ekivalen.

KEJADIAN IKLIM EKSTREM

Berdasarkan definisi perubahan iklim menurut IPCC di atas, maka perubahan iklim tidak cukup hanya dilihat dari adanya perubahan nilai rata-rata jangka panjang. Perubahan iklim juga perlu dilihat dari perubahan pada variabilitas unsur-unsur iklim yang umumnya terkait dengan perubahan pada kejadian iklim ekstrem. Kejadian iklim ekstrem disebabkan oleh terjadi anomali dari berbagai sirkulasi yang mempengaruhi iklim di wilayah Indonesia. IPCC (2012) telah memberikan peringatan bahwa perubahan iklim berpotensi menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi, luasan wilayah, durasi dan waktu terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrem. Kejadian ekstrem tersebut dapat menyebabkan terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrem yang belum pernah terjadi sebelumnya.

Annual Rainfall Changes in Indonesia



Sumber: Faqih *et al.* (2016)

Gambar 1. Proyeksi perubahan curah hujan tahunan rata-rata (dalam %) di Indonesia berdasarkan rata-rata ensemble multimodel dari 24 model GCM CMIP5 untuk skenario RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5) pada periode 30 tahun 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. Perubahan dihitung terhadap periode baseline 1981-2010

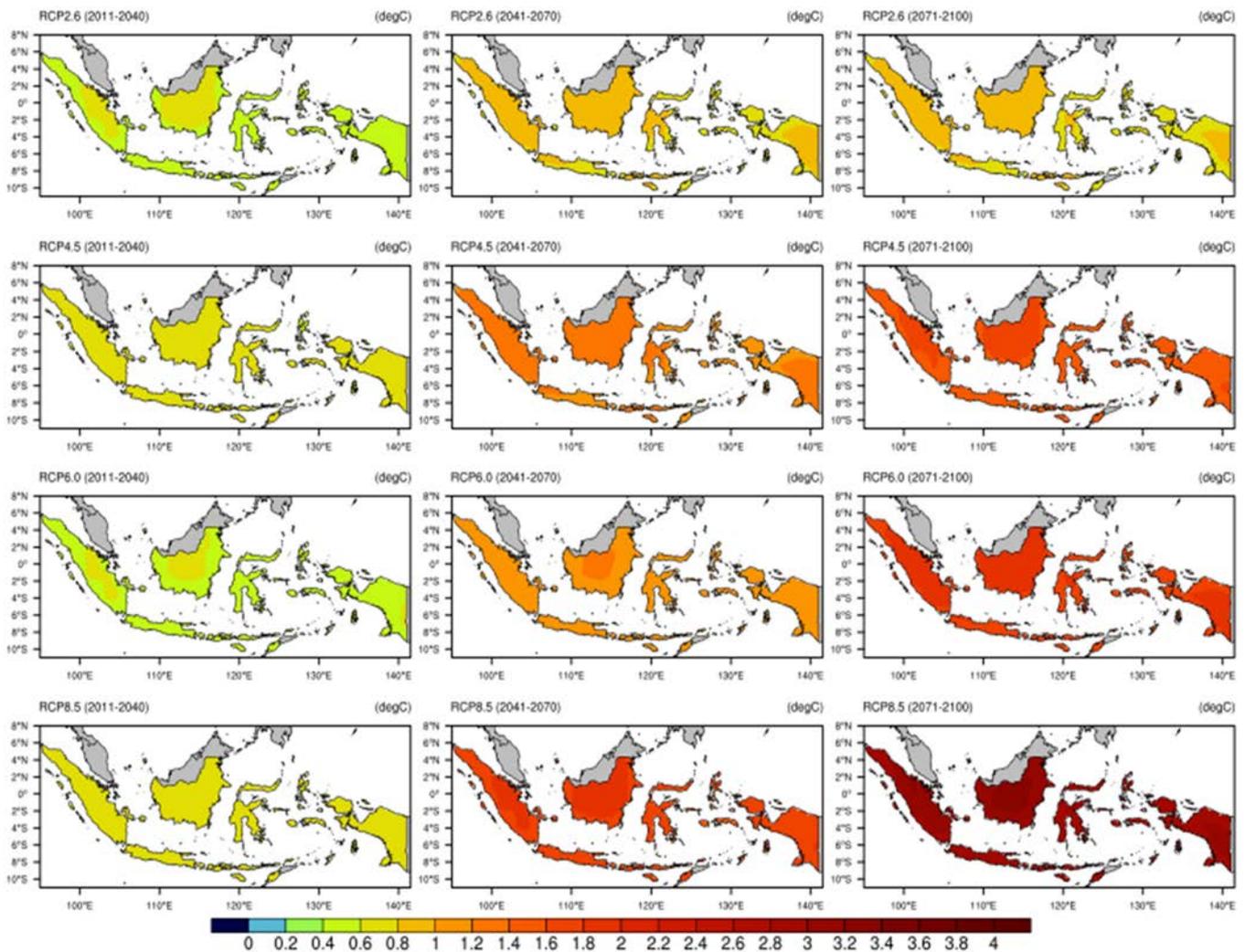
Figure 1. Averaged annual rainfall projection (in %) in Indonesia based on ensemble mean of 24 model GCM CMIP5 using RCP scenario (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5) for 30 year periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100. The change is calculated relative to baseline period 1981-2010

FENOMENA YANG MEMPENGARUHI KEJADIAN IKLIM EKSTREM DI INDONESIA

Variabilitas alami (*natural variability*) dari sistem iklim umumnya berperan penting dalam mempengaruhi frekuensi dan intensitas kejadian ekstrem. Peranan tersebut seringkali melibatkan proses yang kompleks dalam dinamika dan sirkulasi atmosfer berbagai skala ruang dan waktu. Kejadian iklim ekstrem di Indonesia umumnya terkait dengan fenomena yang mempengaruhi variabilitas iklim mulai

dari skala intra-musiman (*intraseasonal*), antar-tahun (*interannual*), hingga antar-dasawarsa (*interdecadal*).

Di dalam laporan *Working Group 1* (IPCC 2013) disebutkan 18 jenis sirkulasi iklim yang berpengaruh dalam skala regional. Dari jumlah tersebut terdapat beberapa yang cukup berperan dalam mempengaruhi variabilitas iklim di wilayah Indonesia, diantaranya yaitu *Madden-Julian Oscillation* (MJO), *Boreal Summer Intraseasonal Oscillation* (BSISO), *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) dan *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO), *Indian Ocean Dipole* (IOD).



Sumber: Faqih *et al.* (2016, dimodifikasi)

Gambar 2. Perubahan suhu udara rata-rata tahunan di Indonesia (dalam °C) berdasarkan rata-rata ensemble multimodel dari 24 model GCM CMIP5 untuk skenario RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5) pada periode 30 tahunan 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. Perubahan dihitung relatif terhadap periode baseline 1981-2010

Figure 2. Averaged annual temperature change in Indonesia (in °C) based on ensemble mean of 24 multimodel GCM CMIP5 for RCP scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 dan RCP8.5) for 30-year period 2011-2040, 2041-2070 dan 2071-2100. The change is calculated relative to baseline period 1981-2010

Ke-empat jenis variabilitas iklim tersebut mempunyai panjang siklus yang berbeda-beda.

MJO merupakan salah satu fenomena iklim dengan siklus sekitar 30-60 harian yang dominan mempengaruhi keragaman iklim dalam skala intramusiman di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia (Hidayat dan Kizua 2010; Madani *et al.* 2012; Madden dan Julian 1971; 1972; 1994; Wheeler dan Hendon 2004). Kejadian MJO menyebabkan peningkatan kejadian curah hujan ekstrem, dimana selama fase aktifnya meningkatkan kejadian ekstrim hingga 40% dibandingkan dengan saat fase pasif (Jones *et al.* 2004).

Fase MJO dapat diidentifikasi menggunakan data iklim harian, seperti curah hujan dan angin di berbagai wilayah di Indonesia. Fenomena lainnya yang mirip dengan MJO, yaitu BSISO. BSISO memiliki karakter mirip MJO namun lebih kompleks, dengan arah pergerakan yang cenderung ke arah utara dan cakupan wilayah yang menjauhi ekuator (Lee *et al.* 2013). BSISO diketahui berpengaruh terhadap peningkatan curah hujan ekstrem, seperti di Cina bagian selatan (Hsu *et al.* 2016). Fenomena ini relatif baru dan belum banyak dikenal dan diteliti pengaruhnya di wilayah Indonesia. Dengan memperhatikan jalur propagasi dari

BSISO1 dan BSISO2 yang melewati sebagian wilayah Indonesia, diperkirakan fenomena ini juga berkontribusi terhadap peningkatan kejadian curah hujan ekstrem di Indonesia.

Dalam skala antar-tahun, ENSO merupakan fenomena dominan yang berpengaruh terhadap keragaman iklim, khususnya curah hujan di wilayah Indonesia. Kejadian El Niño (*La Niña*) sebagai representasi dari periode hangat (dingin) ENSO berkontribusi besar dalam peningkatan kejadian iklim ekstrem yang menyebabkan bencana kekeringan (banjir) di sebagian besar wilayah Indonesia (Boer dan Subbiah 2003; Naylor *et al.* 2002). Dalam skala antardasawarsa, kondisi ekstrem terkait dengan adanya modulasi fenomena iklim seperti ENSO dengan variabilitas iklim skala dekadal seperti PDO (Dong *et al.* 2006; Heinrich *et al.* 2009; Yeh dan Kirtman 2005).

Selain ENSO, fenomena IOD juga berperan penting dalam mempengaruhi keragaman curah hujan (Saji *et al.* 1999) dan peningkatan kejadian iklim ekstrem di Indonesia. IOD positif berasosiasi dengan peningkatan kejadian kekeringan di Indonesia khususnya di wilayah bagian barat, sedangkan IOD negatif berkaitan dengan peningkatan frekuensi dan intensitas curah hujan ekstrem yang berpotensi mengakibatkan banjir. Kejadian IOD yang bersamaan dengan ENSO dapat memperparah kejadian iklim ekstrem, seperti yang terjadi pada saat El Niño 1997/98 yang berbarengan dengan kejadian IOD positif. Hubungan antara IOD dan ENSO dapat saling menguatkan atau saling melemahkan.

Data historis anomali suhu permukaan laut menunjukkan bahwa ENSO telah mengalami perubahan frekuensi dan intensitas dan berasosiasi dengan intensitas kejadian cuaca dan iklim ekstrem yang semakin kuat (WMO 2013). IPCC (2013) dengan meyakinkan (*high confidence*) menyatakan bahwa fenomena ENSO akan tetap menjadi fenomena iklim dominan yang mempengaruhi variabilitas iklim dalam skala interannual. Pengaruh ENSO terhadap variabilitas curah hujan diperkirakan akan semakin intensif disebabkan karena adanya perubahan kadar kelembaban di atmosfer akibat meningkatnya suhu global. Walaupun demikian, proyeksi berbagai model mengenai arah kecenderungan perubahan intensitas dan pola spasial ENSO masih menunjukkan tingkat kepercayaan yang rendah (Guilyardi *et al.* 2012; IPCC 2013; Kim dan Yu 2012).

Perubahan iklim juga diperkirakan berpengaruh terhadap IOD dan mempengaruhi kondisi iklim

ekstrem yang terkait dengan fenomena tersebut. Variabilitas IOD yang merupakan hasil interaksi antara suhu muka laut di bagian barat dan timur Samudera Hindia yang juga berhubungan dengan adanya tren peningkatan suhu permukaan laut di kedua wilayah tersebut. Tren iklim yang terjadi ditengarai memiliki peran penting yang menyebabkan semakin meningkatnya intensitas dan frekuensi kejadian IOD positif dalam beberapa dekade terakhir (Ihara *et al.* 2008).

Tren Kejadian Iklim Ekstrem di Indonesia

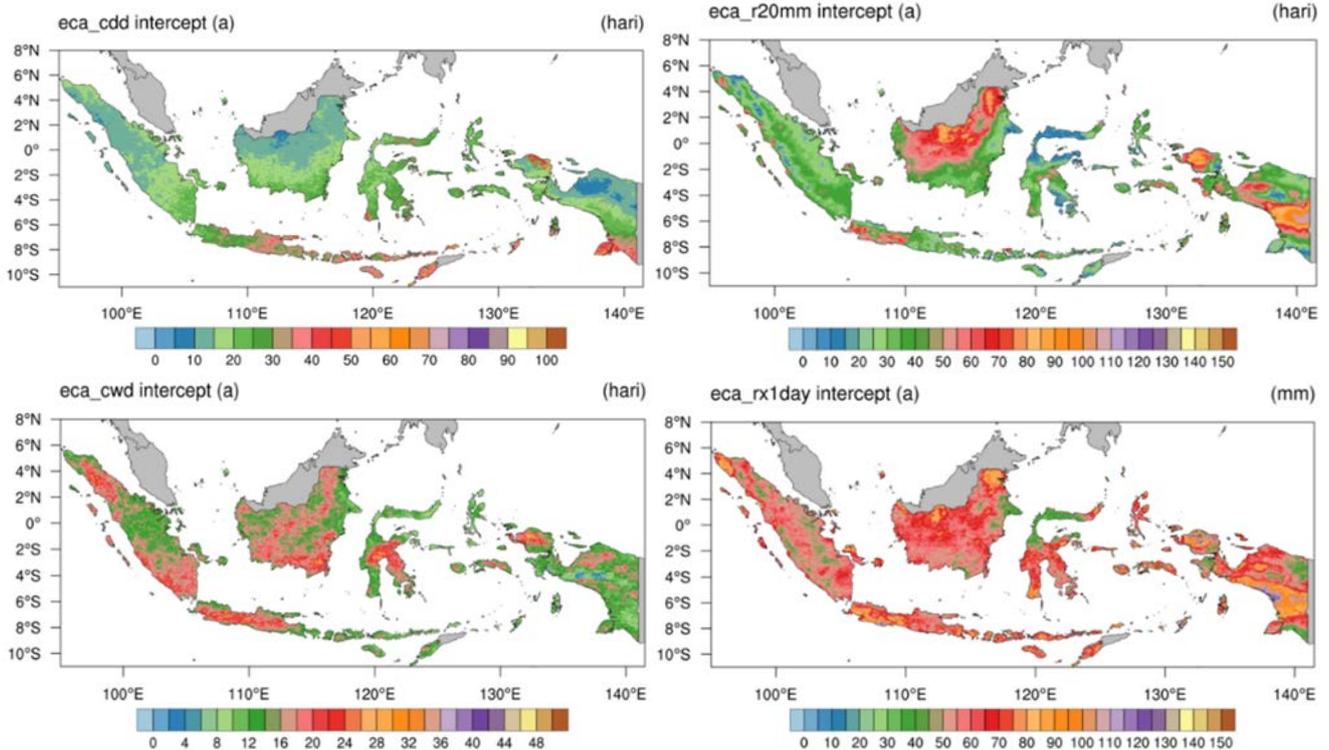
Pada kondisi iklim ekstrem, parameter iklim seperti suhu dan curah hujan dapat naik atau turun secara signifikan dibanding dengan kondisi normal. Proyeksi iklim di masa depan memiliki ketidakpastian sehingga menghasilkan berbagai kemungkinan yang terjadi terhadap berbagai faktor pengendali iklim dan iklim ekstrem. Salah satu kondisi yang mungkin terjadi akibat peningkatan suhu global adalah akan semakin meningkatnya luasan dan intensitas sirkulasi monsun (IPCC 2013). Peningkatan intensitas akan berkontribusi terhadap peningkatan curah hujan ekstrem di wilayah yang terpengaruh monsun dan tidak menutup kemungkinan cakupan wilayah yang terpengaruh akan semakin luas.

Berbagai faktor pengendali variabilitas iklim yang berperan penting dalam mempengaruhi kejadian iklim ekstrem kemungkinan memiliki respon yang berbeda terhadap perubahan iklim. Secara umum terdapat empat kemungkinan berbagai variabilitas iklim tersebut dalam merespon perubahan iklim (IPCC 2013), yaitu: i) Tidak ada perubahan, artinya perubahan iklim tidak mempengaruhi mode variabilitas iklim sehingga akan terus terjadi seperti yang telah terjadi sebelumnya; ii) Perubahan indeks, kondisi dimana perubahan iklim berpengaruh pada perubahan distribusi peluang dari indeks mode variabilitas iklim, contohnya berupa pergeseran pada nilai rata-rata dan/atau ragam, atau perubahan yang lebih kompleks pada parameter bentuk seperti terjadinya perubahan pada kerapatan peluang; iii) Perubahan spasial, dimana perubahan iklim mendorong kemungkinan terjadinya perubahan pola spasial dari suatu mode variabilitas iklim, contohnya yaitu munculnya karakteristik baru dari ENSO (seperti El Niño Modoki); atau terjadinya perubahan pada amplitudo lokal dari suatu pola iklim; iv) Perubahan struktur, yaitu kemungkinan terjadinya perubahan tipe dan jumlah mode variabilitas iklim dan keterkaitan

antar mode tersebut, atau munculnya suatu mode variabilitas iklim baru yang belum pernah ada sebelumnya.

Disamping telah diketahuinya peranan berbagai mode variabilitas iklim terhadap variabilitas dan kondisi kejadian ekstrem, para peneliti juga telah melakukan pengembangan berbagai metode yang digunakan untuk identifikasi atau monitoring kejadian iklim ekstrem. Salah satu identifikasi kondisi ekstrem adalah dengan menggunakan berbagai indeks ekstrem. Indeks tersebut dapat digunakan sebagai proksi untuk kajian bencana terkait iklim ekstrem. Hasil kajian *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI, lihat <http://www.wcrp-climate.org/etccdi>), telah menemukan 27 indeks utama (lihat: http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml) yang dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan iklim terkait dengan kondisi ekstrem. Indeks tersebut dihitung dari data harian curah hujan dan suhu dan telah disepakati secara internasional. Contoh hasil perhitungan dari empat indeks di wilayah Indonesia disajikan pada Gambar 3.

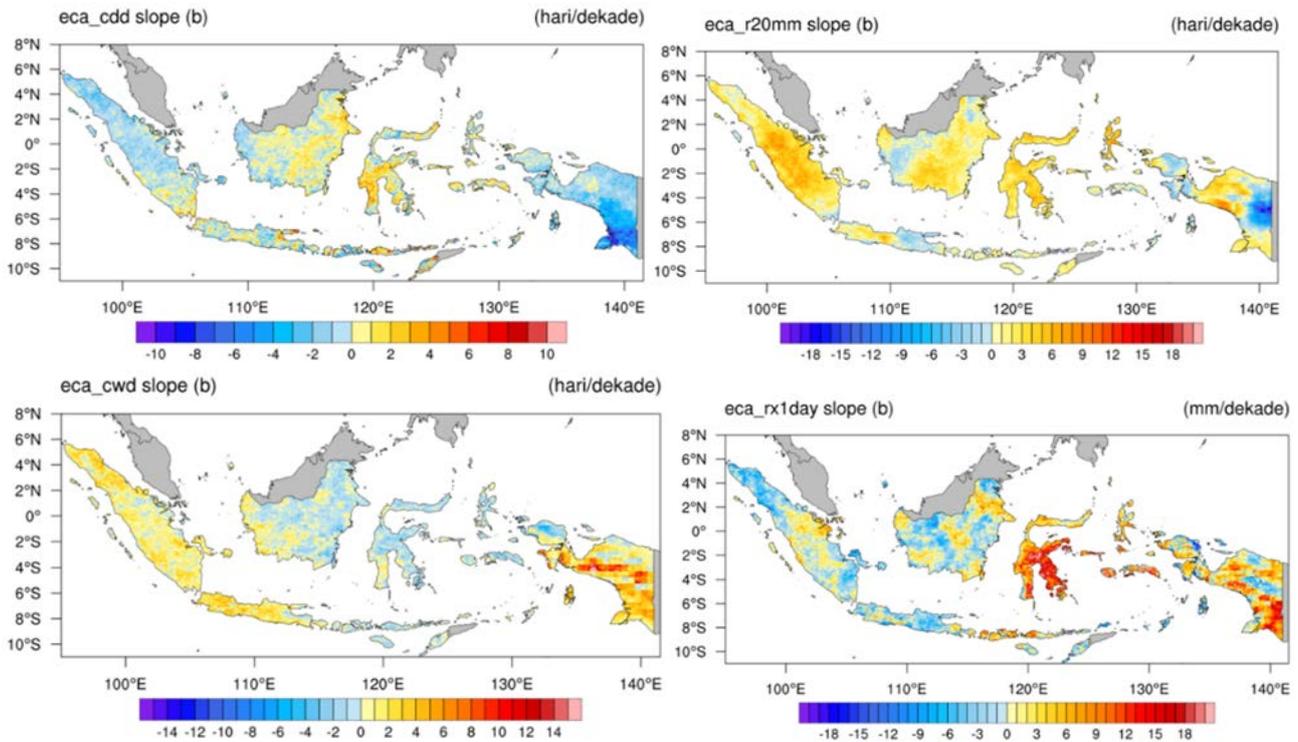
Gambar 4 menunjukkan contoh nilai rata-rata atau klimatologi dan nilai tren dari empat contoh indeks ETCCDI, yaitu *Maximum length of dry spell* atau *maximum number of consecutive days with rainfall < 1mm* (CDD), *Maximum length of wet spell or maximum number of consecutive days with rainfall ≥ 1mm* (CWD), *Annual count of days when precipitation ≥ 20mm* (R20mm), dan *Monthly maximum 1-day precipitation* (Rx1day). Data curah hujan harian dari *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* versi 2,0 (CHIRPS v2.0, Funk *et al.* 2014; 2015) digunakan untuk menghitung keempat indeks diatas. Sebagai contoh, indeks CDD atau nilai maksimum deret hari kering, dapat digunakan sebagai indikator untuk kekeringan karena nilai ini menunjukkan deret hari kering terpanjang dalam suatu satuan waktu tertentu. Indeks Rx1day dapat digunakan sebagai indikator kejadian curah hujan ekstrem di suatu wilayah. Indeks tersebut bermanfaat untuk monitoring dan prediksi kejadian iklim ekstrim di bidang pertanian dengan mengaitkan dengan data bencana terkait iklim di bidang pertanian.



Sumber: Faqih *et al.* (2016, dimodifikasi)

Gambar 3. Nilai rata-rata beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY

Figure 3. Averaged of 30 year ETCCDI index (for period 1981-2010) in Indonesia based on CHIRPS v2.0 data : a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY



Sumber: Faqih *et al.* (2016, dimodifikasi)

Gambar 4. Tren spasial beberapa indeks ETCCDI selama 30 tahun (periode 1981-2010) di wilayah Indonesia berdasarkan data CHIRPS v2.0: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY

Figure 4. Spatial tren of several ETCCDI index for 30 year (period 1981-2010) in Indonesia based on CHIRPS v2,0 data: a) CDD, b) CWD, c) R20MM, dan d) RX1DAY

Berkaitan dengan tren perubahan iklim, Gambar 4 memberikan tren dari empat contoh indeks ekstrem ETCCDI. Nilai tren dihitung dari data seri waktu tahunan masing-masing indeks yang diambil dari *slope* persamaan regresi linear indeks tersebut terhadap waktu. Secara spasial, nilai tren menunjukkan variasi wilayah yang mengalami tren peningkatan dan penurunan. Sebagian wilayah di Pulau Sumatra, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi menunjukkan tren peningkatan untuk indeks CDD yang menunjukkan peningkatan tren kekeringan di wilayah tersebut. Kondisi berkebalikan terjadi di wilayah Papua, dimana tren peningkatan CWD lebih dominan, menunjukkan bahwa wilayah tersebut cenderung mengalami peningkatan kondisi yang lebih basah. Untuk kondisi curah hujan ekstrem dari nilai curah hujan harian maksimum (Rx1day), beberapa wilayah khususnya di Sulawesi dan Papua menunjukkan laju peningkatan yang cukup besar.

Masing-masing dari indeks ekstrem utama dalam ETCCDI dapat dimanfaatkan untuk berbagai kajian perubahan iklim terkait kondisi ekstrem dan

penggunaan indeksnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan keterkaitannya dengan masing-masing sektor, salah satunya di bidang pertanian. Oleh karena itu, perlu kajian lebih dalam lagi berkaitan dengan kondisi historis dan proyeksi indeks iklim ekstrem di masa akan datang untuk Indonesia. Kajian ini masih belum banyak dilakukan dan dimanfaatkan dalam proses pengambilan kebijakan.

DAMPAK KEJADIAN IKLIM EKSTREM PADA SEKTOR PERTANIAN

Kejadian bencana alam akibat iklim ekstrem yang menyebabkan kerugian terbesar pada sektor pertanian adalah banjir, kekeringan dan tanah longsor. Lassa (2012) mengkuantifikasi dampak berbagai jenis bencana alam pada sektor pertanian (Tabel 1). Berdasarkan data periode tahun 1970-2010, terdapat kerusakan 3,44 juta ha akibat puso dan gagal panen berbagai jenis komoditas akibat kejadian lebih dari 7500 kejadian bencana alam (Tabel 1).

Pada sektor pertanian di Indonesia, kejadian iklim ekstrem yang paling besar pengaruhnya adalah kejadian El Niño dan *La Niña*. El Niño didominasi oleh penurunan curah hujan yang menyebabkan bencana kekeringan, sebaliknya *La Niña* berasosiasi dengan peningkatan curah hujan yang menjadi pemicu kejadian banjir. Dampak kejadian iklim ekstrem tersebut dapat berupa berkurangnya luas panen atau turunnya produktivitas. Namun, kejadian iklim ekstrem juga dapat menimbulkan kondisi iklim yang kondusif bagi komoditas pertanian tertentu, Sebagai contoh, musim hujan yang berkepanjangan akibat *La Niña* menimbulkan dampak positif pada produksi padi akibat meningkatnya luas tanam pada musim kemarau (MK).

DAMPAK EL NIÑO DAN LA NIÑA TERHADAP TANAMAN PANGAN

Kejadian iklim ekstrem yang paling besar pengaruhnya terhadap sektor pertanian adalah kejadian El Niño, sehingga banyak kajian mengenai dampaknya terutama pada tanaman pangan. Kajian awal dampak El Niño dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu menunjukkan bahwa terdapat telekoneksi antara El Niño dengan produksi padi di Indonesia (Kirono dan Tapper 1999; Naylor *et al.* 2001; 2002). Falcon *et al.* (2004) menyatakan bahwa setiap kenaikan 1°C indeks Niño 3.4 pada bulan Agustus menyebabkan penurunan 1,32 juta ton produksi padi pada tahun berikutnya. SPL Niño 3.4 mempengaruhi produksi padi di 12 provinsi terutama Jawa dan Sulawesi Selatan.

Data dari Kementerian Pertanian menunjukkan bahwa pada tahun-tahun El Niño yang terjadi dalam rentang waktu 1989-2015, tanaman padi yang terkena kekeringan mencapai 350-870 ribu ha, yang sebagian besar terjadi bulan Mei sampai Oktober (Gambar 5). Hal yang sama disampaikan oleh Irawan (2013), dari 11 kejadian El Niño periode 1970-2012 terdapat 8 kasus diantaranya berlangsung selama Bulan Maret sampai Oktober. Kajian lain menyatakan bahwa pada kondisi El Niño, sebagian besar tanaman padi pada MK mengalami kekeringan (Alimoeso *et al.* 2002; Meinke dan Boer 2002). Kejadian El Niño tersebut memperbesar peluang terjadinya kegagalan panen pada MK akibat tanaman mengalami kekurangan air.

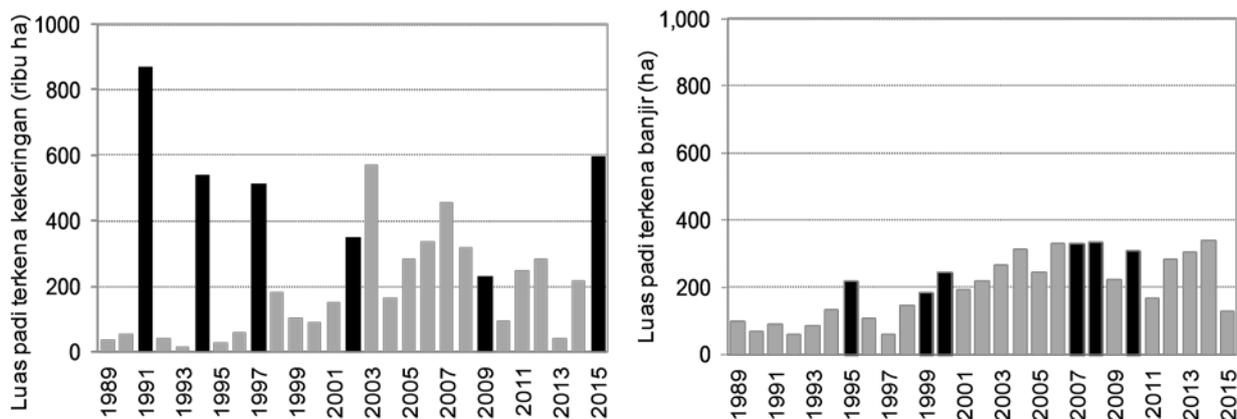
Hasil kajian D'Arrigo dan Wilson (2008) menyimpulkan bahwa dampak kejadian kekeringan akibat El Niño tahun 1997/1998 menyebabkan

Tabel 1. Luas kerusakan lahan pertanian akibat bencana terkait iklim

Table 1. Agricultural land damage due to climate related hazard

Jenis bencana	Jumlah kejadian	Luas kerusakan	Luas kerusakan/kejadian
	 ha	
Banjir (1970-2011)	3.980	1.187.349	298
Kekeringan (2003-2010)	1.141	1.667.766	1.182
Tanah longsor (1999-2011)	1.596	52.273	33
Tanah longsor + banjir (1970-2011)	305	287.046	941
OPT	17	191.601	11.271
Jumlah	7.576	3.446.708	13.952

Sumber: Lassa (2012)



Sumber: Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan

Gambar 5. Luas tanaman padi terkena kekeringan dan banjir periode 1989-2015

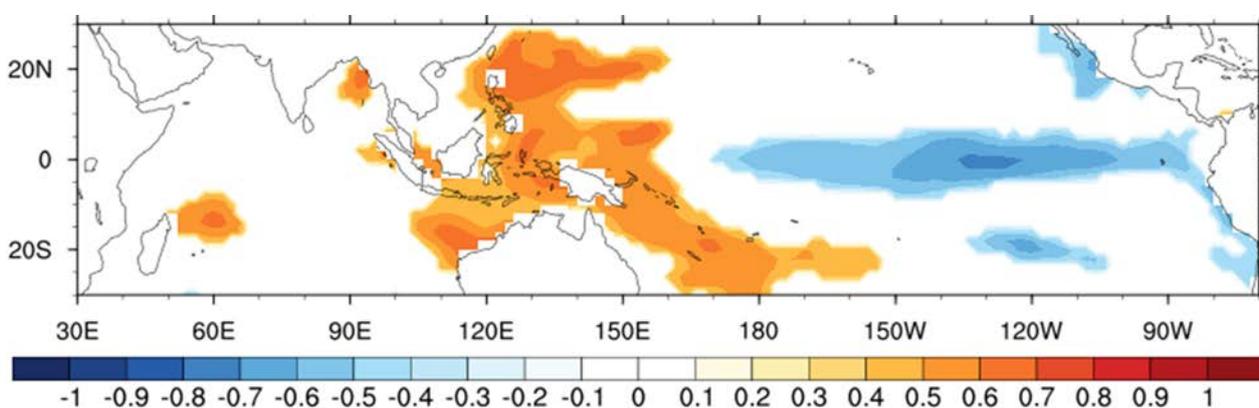
Figure 5. Paddy affected area due to drought and flood during 1985-2105

kehilangan produksi mencapai 3 juta ton (dibanding produksi padi tahun 1996). Sedangkan menurut Sumaryanto *et al.* (2011) pengaruh El Niño terhadap penurunan produktivitas padi relatif kecil yaitu sebesar 0,15% dan penurunan terbesar pada tanaman padi pada periode Januari-April yaitu sebesar 0.47%. Boer *et al.* (2014) menyatakan bahwa kenaikan 1°C indeks Niño 3.4 bulan Agustus menyebabkan penurunan produksi padi periode Januari-April tahun berikutnya sebesar 10-20% di Pulau Jawa dan lebih dari 20% di Provinsi Sulawesi Selatan. Lebih lanjutnya dinyatakan bahwa peningkatan indeks Niño 3.4 pada Bulan Mei-Agustus akan berdampak langsung terhadap penurunan produksi padi periode September-Desember. Lebih detil Surmaini *et al.* (2015) mengkaji kehilangan produksi akibat kekeringan pada MK. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kekeringan tanaman padi lebih luas pada kejadian El Niño dengan intensitas lemah dan sedang seperti tahun 1991, 1994, 2002 dan 2004. Rata-rata kehilangan produksi padi akibat kekeringan pada periode Mei-Oktober sebesar 1,3 juta ton. Nilai tersebut belum memperhitungkan penurunan produksi akibat penurunan luas tanam.

El Niño menyebabkan mundurnya waktu tanam pada musim hujan (MH) sampai kumulatif curah hujan mencukupi untuk melakukan penanaman (Heytens 1991; Naylor *et al.* 2001; 2007). Menurut Naylor *et al.* (2002), perbedaan luas tanam padi pada tahun El Niño 1982/83 dan *La Niña* 1975/76 adalah sekitar 800 ribu ha, atau setara dengan 3,5 juta ton atau 7% total produksi padi tahunan. Lebih lanjutnya dinyatakan

bahwa pada El Niño kuat tahun 1997/1998, periode Mei sampai September 1997 terjadi penurunan luas tanam sebesar 925 ribu ha yang menyebabkan penurunan produksi padi periode September 1997–April 1998 mencapai 4,8 juta ton. Laporan luas tanam dari Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2015) pada El Niño dengan intensitas kuat tahun 2015 terjadi penurunan luas tanam periode Oktober-Desember 2015 seluas 2,19 juta ha dibanding periode yang sama tahun 2014. Menurut Irawan (2013) rata-rata penurunan produksi tahunan padi pada tahun El Niño periode 1970-2010 mencapai 1,76 juta ton.

Pada sektor pertanian, pengaruh El Niño dapat menyebabkan terjadinya penurunan hasil panen. Boer *et al.* 2014 menyatakan terdapat korelasi yang signifikan antara anomali hasil panen di Jawa Barat selama periode Januari-Februari-Maret-April (JFMA (t)) dengan anomali suhu permukaan laut (ASPL) bulan Juli-Agustus-September pada tahun sebelumnya (JAS (t-1)) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai korelasi yang signifikan di wilayah bagian timur dan tengah Samudera Pasifik Tropis (kontur warna biru) menunjukkan adanya hubungan signifikan antara peristiwa ENSO dengan anomali hasil panen padi di Jawa Barat. Korelasi negatif mengindikasikan bahwa pada saat ASPL positif sebagai indikasi kejadian El Niño pada periode JAS, menyebabkan penurunan hasil panen di musim tanam 1 (periode JFMA tahun berikutnya). Turunnya hasil panen kemungkinan terjadi karena awal musim tanam normal yang terganggu akibat mundurnya MH akibat El Niño. Penetapan awal tanam yang tidak tepat ketika terjadi El Niño



Sumber: Boer *et al.* (2014)

Gambar 6. korelasi spasial antara anomali hasil panen padi di Provinsi Jawa Barat pada periode Januari hingga April (JFMA (t)) dengan ASPL periode Juli-Agustus-September pada tahun sebelumnya (JAS (t-1)). Kontur warna menunjukkan nilai korelasi signifikan pada selang kepercayaan 95%

Figure 6. Spatial correlation between paddy yield anomaly and sea surface temperature anomaly Juli-Agustus-September in the previous year (JAS (t-1)) in west Java Province during January to April (JFMA (t)). Color contour indicated significant correlation at 95% confidence interval

berkontribusi terhadap menurunnya hasil panen. Oleh karena itu, pemanfaatan informasi prediksi iklim musim dengan mempertimbangkan prediksi maju-mundurnya awal musim terkait fenomena iklim seperti ENSO yang telah diintegrasikan dalam Kalender Tanam Terpadu sangat penting dalam pengelolaan pertanian khususnya tanaman pangan.

Selain tanaman padi, kondisi El Niño juga menyebabkan penurunan produksi pada tanaman palawija. Menurut Irawan (2013), penurunan produksi jagung dan kedelai yang umumnya diusahakan pada lahan sawah irigasi pada MK akibat El Niño relatif besar yaitu masing-masing 414 ribu ton (5,67%) dan 44 ribu ton (4,85%). Hal yang sama juga terjadi pada tanaman ubikayu yang diusahakan pada lahan kering, penurunan produksi mencapai 257 ribu ton (1,67%).

Fenomena yang berlawanan terjadi pada saat *La Niña*, yang umumnya sebagian besar diikuti oleh peningkatan curah hujan pada MK berpeluang meningkatkan produksi pangan. Peningkatan luas panen dan produksi akibat *La Niña* paling tinggi terjadi pada tanaman kedelai yaitu sebesar 5,07% (118 ribu ton), kemudian Jagung 3,55% (113 ribu ton). Ubikayu 2,66% (102 ribu ton) dan paling rendah pada tanaman padi sebesar 2,43% (141 ribu ton). Dampak yang rendah pada tanaman padi, karena a) sebagian besar padi pada MK diusahakan pada lahan di sawah irigasi yang tidak sepenuhnya tergantung pada curah hujan, b) tanaman padi hanya sebagian kecil diusahakan pada MK sehingga peningkatan curah hujan tidak berpengaruh besar terhadap luas panen, dan c) peningkatan curah hujan tersebut berpotensi menyebabkan kejadian banjir menyebabkan tanaman mengalami puso. Namun demikian luas tanaman yang terkena banjir jauh lebih rendah pada kondisi *La Niña*, dibanding tanaman terkena kekeringan pada kondisi *El Niño* (Gambar 5). Dalam konteks adaptasi iklim, hal tersebut menunjukkan bahwa petani mampu memanfaatkan peluang tersebut untuk meningkatkan luas panen (Irawan 2013).

DAMPAK KEJADIAN IKLIM EKSTREM LAINNYA TERHADAP TANAMAN PANGAN

Kajian dampak iklim ekstrem lainnya yang berpengaruh terhadap iklim di Indonesia seperti IOD, Monsun, dan MJO terhadap pertanian sangat terbatas. Kajian yang mulai dikembangkan adalah IOD, namun masih sangat terbatas. Kajian dampak IOD selalu dikaitkan dengan ENSO karena pengaruhnya terhadap curah hujan akan signifikan jika terjadi pada waktu dan

fase yang sama. Pengaruh ENSO dan IOD akan semakin kuat apabila dua fenomena terjadi bersamaan dengan fase sama (Luo *et al.* 2010; Cai *et al.* 2011). Pengaruh ENSO dan IOD paling kuat antara bulan Juli-Desember yang bersamaan dengan waktu puncak ENSO dan IOD (Gusmira 2005; Mulyanti *et al.* 2015). ENSO maupun IOD berkorelasi negatif dengan kekeringan mulai bulan Juli dan mencapai puncaknya ketika Oktober-Desember. Seperti pada kejadian *El Niño* tahun 1997 dan 2015 bersamaan dengan IOD positif yang menyebabkan kekeringan juga terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia.

Dampak *El Niño* dan IOD positif yang terjadi bersamaan pada tahun 1997/1998 menyebabkan mundurnya waktu tanam MH 1997/1998 mundur hingga 2-3 bulan yang kemudian berdampak terhadap mundurnya waktu tanam MK 1998 (Las 2000). Pada periode tersebut produksi padi turun sebesar 6,5% dan terjadi peningkatan impor beras sebesar 3 juta ton pada tahun 1998 (Apriyana dan Kailaku 2015). Selanjutnya dinyatakan bahwa dampak *El Niño* dan IOD positif terhadap mundurnya waktu tanam lebih besar di daerah dengan pola hujan monsun. Di daerah Karawang (pola curah hujan monsun), *El Niño* dan IOD positif menyebabkan puncak tanam mundur 2-6 dasarian dan terjadi penurunan luas panen pada Juli-Oktober. Namun, di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat (pola hujan ekuatorial) hanya berdampak pada sebagian wilayah. Di daerah yang terdampak terjadi kemunduran puncak tanam sampai 2 bulan yaitu dari bulan Oktober menjadi Desember.

Dalam kajian Apriyana dan Kailaku (2015) dinyatakan bahwa dampak *El Niño* dan IOD positif terhadap mundurnya waktu tanam lebih luas di daerah dengan pola hujan monsun. Misalnya, di daerah Karawang *El Niño* dan IOD positif menyebabkan puncak tanam mundur 2-6 dasarian di seluruh wilayah dan terjadi penurunan luas panen pada Juli-Oktober. Namun, di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat (pola hujan ekuatorial) hanya berdampak pada sebagian wilayah. Di daerah yang terdampak terjadi kemunduran puncak tanam sampai 2 bulan yaitu dari bulan Oktober menjadi Desember. Hasil kajian Mulyanti *et al.* 2015 menyimpulkan bahwa pada saat ENSO dan IOD terjadi bersamaan dan pada fase yang sama, asosiasi kedua indeks tersebut lebih akurat dalam menggambarkan dampaknya terhadap produksi. Selanjutnya dinyatakan bahwa produktivitas padi lahan kering pada MH dapat diduga menggunakan indeks ENSO dan IOD bulan Oktober untuk kepentingan manajemen risiko kegagalan panen padi.

Kajian dampak perubahan iklim terhadap produksi pangan di Indonesia telah dilakukan oleh beberapa peneliti, namun lebih banyak melihat dampak kenaikan suhu dan konsentrasi CO₂. Cline (2007), menyatakan pada tahun 2080 mendatang, penurunan produktivitas pertanian di Indonesia akibat pemanasan global berkisar antara 15-25%. Kalau pengayaan CO₂ di atmosfer diperhitungkan, penurunan produktivitas berkisar antara 5-15% dari produktivitas saat ini. Hasil penelitian Boer *et al.* (2012) menunjukkan terjadi penurunan hasil padi pada tahun 2050 sebesar 2% jika tidak terjadi iklim ekstrem dan meningkatkan menjadi 5,2% jika terjadi iklim ekstrem.

Hasil kajian Boer (2008) di Pulau Jawa menunjukkan bahwa kenaikan suhu 0,5°C dan peningkatan konsentrasi CO₂ dari 370 menjadi 425 ppm (SRESB1) menyebabkan penurunan produksi padi pada tingkat kabupaten sebesar 12.500 ton pada tahun 2025. Sedangkan kenaikan suhu 1°C dan konsentrasi CO₂ menjadi 440 ppm (SRESA2) diperkirakan menyebabkan penurunan produksi sebesar 72.500 ton pada tahun 2050. Menurut Apriyana *et al.* (2016) untuk Provinsi Sulawesi Selatan dan Nusa Tenggara Barat, diproyeksikan akan terjadi penurunan produksi padi gogo menurut skenario SRESA2 antara 20-25% pada tahun 2050. Dengan perlakuan adaptasi melalui skenario SRESB1 penurunan produksi dapat diminimalkan hanya menjadi 7-10%. Penurunan produksi jagung menurut skenario SRESA2 hingga tahun 2050 antara 9-15%, sedangkan dengan menggunakan skenario SRESB1 penurunan produksi menjadi 5-8%.

Berbagai kajian mengenai dampak kejadian iklim ekstrem dan perubahan iklim di Indonesia masih terbatas baik dalam skala wilayah dan jenis komoditas. Seiring dengan kajian skenario perubahan iklim yang terus disempurnakan, kajian dampaknya pada sektor pertanian perlu terus dikembangkan dan menjadi prioritas penelitian untuk mengisi kekurangan informasi yang terjadi selama ini.

PENUTUP

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah perubahan frekuensi, luas wilayah, durasi dan waktu terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrem. Kejadian iklim ekstrem disebabkan oleh terjadi anomali dari berbagai sirkulasi yang mempengaruhi iklim di wilayah Indonesia. Sirkulasi yang dominan pengaruhnya terhadap iklim di Indonesia diantaranya adalah ENSO, dan IOD. Untuk wilayah Indonesia yang sangat luas, dampak kejadian iklim ekstrem tersebut tidak sama

untuk setiap wilayah. Dampak ENSO sangat dominan di bagian selatan dan timur wilayah Indonesia seperti Sumatera bagian Selatan, Jawa, Sulawesi, sebagian Kalimantan dan Papua, sedangkan dampak IOD lebih dominan di wilayah bagian barat. Oleh karena itu langkah-langkah adaptasi harus dilakukan harus dilakukan secara tepat dan efisien agar mengenai wilayah yang tepat dan sesuai dengan besar dampak yang ditimbulkan. Untuk itu prioritas utama adaptasi dilakukan di wilayah sentra produksi pangan yang paling rentan terkena dampak.

Dampak yang paling sering terjadi dari kejadian iklim ekstrem pada sektor pertanian adalah tanaman terkena dan puso akibat kekeringan dan banjir. Dampak kekeringan jauh lebih luas daripada banjir, dan keduanya menyebabkan penurunan luas panen dan produksi, terutama tanaman padi. Selain itu, diproyeksikan penurunan produksi yang lebih tinggi sebagai akibat peningkatan kejadian iklim ekstrem di masa datang. Upaya antisipasi dampak kejadian iklim ekstrem dapat dilakukan dengan identifikasi atau deteksi dan monitoring kejadian iklim ekstrem menggunakan berbagai indeks seperti panjang deret hari kering dan hari hujan, kejadian hujan ekstrem, dan jumlah kejadian hujan ekstrem.

Informasi prediksi cuaca/iklim jangka pendek yang cepat terdiseminasi dan dipahami dan handal sangat perlu untuk meminimalkan kerugian akibat gagal tanam dan kehilangan hasil. Saat ini informasi tersebut sudah cukup didesiminasikan dengan baik kepada para pengambil kebijakan di sektor pertanian. Berdasarkan informasi tersebut strategi adaptasi jangka pendek dan kebijakan operasional dapat disusun dan diimplementasikan. Namun demikian, kajian mengenai proyeksi iklim ekstrem dan kaitan dengan produksi pangan dengan masih sangat terbatas. Proyeksi iklim diperlukan untuk antisipasi jangka panjang seperti perencanaan pengembangan wilayah sentra produksi pangan yang lebih tahan dan perencanaan infrastruktur mengatasi permasalahan dampak iklim ekstrem dan perubahan iklim di masa datang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini disusun sebagai bagian dari kegiatan Adaptasi Perubahan Iklim tahun 2016 yang dibiayai oleh DIPA BBSDLP. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Fahmuddin Agus, Prof. Dr. Erna Sri Adiningsih, dan Prof. Dr. Irsal Las yang telah memberikan masukan untuk perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimoeso, S., R. Boer, S.W.G. Subroto, E.T. Purwani, dan Y. Sugiarto, R.M.K. Rahadiyan dan Suciantini. 2002. Distribution of drought prone rice growing area in Indonesia. Directorate of Plant Protection, Ministry of Agriculture, Jakarta.
- Apriyana, Y. dan T.E. Kailaku. 2015. Variabilitas Iklim dan Dinamika Waktu Tanam pada wilayah hujan musonal dan ekuatorial. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversiti Indonesia, 1(2):366-372.
- Apriyana, Y., E. Susanti, Suciantini, F. Ramadhani, dan E. Surmaini. 2016. Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan pada Lahan Kering dan Rancang Bangun Sistem Informatiknya. *Informatika Pertanian* 25(1):69-80.
- Boer, R. dan A.P. Subbiah. 2003. Agricultural drought in Indonesia, Agriculture and Drought. Oxford University Press, UK.
- Boer, R. 2008. Pengembangan Sistem Prediksi Perubahan Iklim untuk Ketahanan Pangan. Laporan Akhir Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Pertanian. Badan Litbang Pertanian.
- Boer, R. 2011. Ancaman Perubahan Iklim terhadap Ketahanan Pangan. Presentasi pada Workshop Nasional dan FGD Adaptasi Perubahan Iklim. Bandung 9-10 November 2011. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Boer, R, A. Faqih, dan R. Ariani. 2014. Relationship between Pacific and Indian Ocean Sea Surface Temperature Variability and Rice Production, Harvesting Area and Yield in Indonesia. Paper presented in EEPSEA conference on the Economics of Climate Change. 27-28 February, Siem Reap, Cambodia.
- Cai, W., P. van Rensch, T. Cowan, dan H.H. Hendon, 2011, Teleconnection pathways of ENSO and the IOD and the Mechanisms for Impacts on Australian Rainfall, *J. Clim*, 24: 3910-3923.
- Cai, R., J.D. Mullen, J.C. Bergstrom, W.D. Shurley, dan M.E. Wetzstein, 2013, Using a Climate Index to Measure Crop Yield Response, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 45 (4):719-737.
- Cline, W. R. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country* (Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).
- Dong, B., R.T. Sutton, dan A.A. Scaife. 2006. Multidecadal modulation of *El Niño*-Southern Oscillation (ENSO) variance by Atlantic Ocean sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 33: 08705.
- Faqih, A. R. Hidayat, S.D. Jatmiko, dan Radini. 2016. Climate modeling and analysis for Indonesia 3rd national communication (TNC): Historical and climate and future climate scenarios in Indonesia. Final Report. Ministry of Environment and Forestry (MoEF). United National Development Programme (UNDP) and Bogor Agricultural University.
- Funk, C., P. Peterson, M. Landsfeld., D. Pedreros, J. Verdin, S. Shukla, G. Husak, J. Rowland, L. Harrison, A. Hoell, dan J. Michaelsen. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(150066).
- Funk, C.C., P.J. Peterson, M.F.Landsfeld , D.H.Pedreros , J.P. Verdin, J.D. Rowland, B.E. Romero, G.J. Husak, J.C. Michaelsen, dan A.P. Verdin. 2014. A quasi-global precipitation time series for drought monitoring. U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p.
- Guilyardi, E., H. Bellenger, M. Collins, S. Ferrett, W. Cai, dan A. Wittenberg. 2012. A first look at ENSO in CMIP5. *CLIVAR Exchanges*, 58: 29-32.
- Heinrich, I., K.Weidner, G.Helle, H. Vos, J. Lindsay, dan J. Banks.2009. Interdecadal modulation of the relationship between ENSO, IPO and precipitation: insights from tree rings in Australia. *Climate Dynamics* 33(1): 63-73.
- Heytens, P. 1991. Rice Production Systems, 38-57 dalam Pearson, S., Falcon, W.P., Heytens, E. Monke dan Naylor, R, Eds, *Rice Policy in Indonesia*, Cornell University Press, Ithaca, 38-57.
- Hidayat, R., dan S. Kizua. 2010. Influence of the Madden-Julian Oscillation on Indonesian rainfall variability in austral summer. *International Journal of Climatolology*, 30: 1816-1825.
- Hsu, P.-C., J.-Y Lee, dan K.-J. Ha. 2016. Influence of boreal summer intraseasonal oscillation on rainfall extremes in southern China. *International Journal of Climatology*, 36(3):1403-1412.
- Ihara, C., Y. Kushnir, dan M.A. Cane. 2008. Warming Trend of the Indian Ocean SST and Indian Ocean Dipole from 1880 to 2004. *Journal of Climate*, 21(10): 2035-2046.
- IPCC. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, C., D.E. Waliser, K.M. Lau, dan W Stern. 2004. Global occurrences of extreme precipitation and the Madden-Julian Oscillation: observations and predictability. *Journal of Climate*, 17(23): 4575-4589.
- Kim, S.T. dan J.-Y. Yu. 2012. The two types of ENSO in CMIP5 models. *Geophysical Research Letters*, 39 L11704.
- Lassa, J.A. 2012. Emerging Agricultural Involution in Indonesia: Impact of Natural Hazards and Climate Extremes on Agricultural Crops and Food System', in Sawada, Y. and S. Oum (eds.), *Economic and Welfare Impacts of Disasters in East Asia and Policy Responses*. ERIA Research Project Report 2011-8, Jakarta: ERIA. pp.601-640.

- Lee, J.-Y., B. Wang, M.C. Wheeler, X. Fu, D.E. Waliser, dan I.-S. Kang, 2013. Real-time multivariate indices for the boreal summer intraseasonal oscillation over the Asian summer monsoon region. *Climate Dynamics*, 40: 493–509.
- Madani, N., E. Hermawan, dan A. Faqih. 2012. Pengembangan model prediksi Madden-Julian Oscillation (MJO) berbasis hasil analisis data wind profiler radar (WPR). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(01): 1-80.
- Madden, R.A. dan P.R. Julian. 1971. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *Journal of Atmospheric Science*. 28: 702-708.
- Madden, R.A. dan P.R. Julian. 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *Journal of Atmospheric Science*, 29: 1109-1123.
- Madden, R.A. dan P.R. Julian. 1994. Observations of the 40-50-Day Tropical Oscillation-A Review. *Monthly Weather Review*, 122(5): 814-837.
- Meinke, H. dan Boer, R. 2002. Plant growth and the SOI. dalam Partridge, I.J., dan Ma'shum, M., Eds, *Will It Rain? The effect of the Southern Oscillation and El Niño in Indonesia*. Queensland Government, Department of Primary Industry, Australia. p. 25-28.
- Moss, R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J.F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meje, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D.V. Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J.P.V. Ypersele, dan A.M. Zurek. 2008. *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R. Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant, dan T.J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747-756
- Mulyanti, H., H.A. Sudibyakto, dan M.P. Hadi. 2015. Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Kekeringan Meteorologis Untuk Pengembangan Peringatan Dini Pertanian Padi Lahan Kering di Pulau Jawa. *Jurnal Riset Kebencanaan Indonesia* 1(2):1-14
- Naylor, R.L., W. Falcon, N. Wada, dan D. Rochberg, 2002. Using El Niño-Southern Oscillation Climate Data to Improve Food Policy Planning in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 38(1): 75–91.
- Saji, N.H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, dan T. Yamagata. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401: 360-363.
- Surmaini E., T.W. Hadi, K. Subagyono, dan N., T. Puspito. 2015. Early detection of drought impact on rice paddies in Indonesia. *Theoretical and Applied Climatology* 121: 669-684.
- Wheeler, M.C., dan H.H. Hendon. 2004. An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction. *Monthly Weather Review*, 132(8): 1917-1932.
- WMO. 2013. *The global climate 2001-2010: A decade of climate extremes. Summary Report*, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland.
- World Food Program. 2016. *How Climate Change Affect Hunger*. <http://www.wfp.org/climate-change>. Diakses 21 Juli 2016.
- Yeh, S.-W., dan B.P. Kirtman. 2005. Pacific decadal variability and decadal ENSO amplitude modulation. *Geophysical Research Letters*. 32: 05703.