

PEMANFAATAN MODEL PROYEKSI IKLIM DAN SIMULASI TANAMAN DALAM PENGUATAN ADAPTASI SISTEM PERTANIAN PADI TERHADAP PENURUNAN PRODUKTIVITAS AKIBAT PERUBAHAN IKLIM: STUDI KASUS DI KABUPATEN SUMEDANG, JAWA BARAT

Application of Crop Simulation Model in Strengthening the Adaptation of Rice Production System to Climate-induced Yield Reduction; Case-study in Sumedang District, West Java Province

Candradijaya A¹⁾, Kusmana C²⁾, Syaukat Y²⁾, Syaufina L²⁾, Faqih A²⁾.

1) Pusat Kerjasama Luar Negeri, Kementerian Pertanian, Jl. Harsono RM 3 Gd A It 6 Jakarta

2) Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16880

e-mail: candra@pertanian.go.id atau candra0306@yahoo.com

(Makalah diterima, 16 Juli 2014 – Disetujui, 28 November 2014)

ABSTRAK

Walaupun telah banyak hasil kajian yang menunjukkan dampak buruk perubahan iklim terhadap produktivitas pertanian, intervensi adaptasi untuk mengatasi permasalahan tersebut hingga saat ini masih sangat terbatas, khususnya pada tingkat lokal. Hal ini terkait erat dengan faktor ketidakpastian pada proyeksi iklim dan kemungkinan dampaknya pada masa datang, yang bervariasi antar wilayah, antar model iklim, dan antar komoditas. Kajian ini bertujuan melakukan analisis dampak perubahan iklim terhadap penurunan produktivitas padi dan kinerja adaptasi spontan pada level petani, menggunakan 17 *General Circulation Models* (GCM) dengan skenario perubahan iklim *Representative Concentration Pathways* (RCP)8.5, untuk mewakili kondisi global tanpa kebijakan iklim, dan RCP4.5, mewakili kondisi dengan kebijakan iklim. Selanjutnya model simulasi tanaman (CROPWAT) digunakan untuk membuat simulasi penurunan produktivitas padi akibat perubahan iklim pada periode jangka menengah (2011-2040) dan panjang (2041-2070), serta baseline (1981-2010). Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan November sampai Desember 2013 bertempat di Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Hasil simulasi menunjukkan penurunan produktivitas sebesar -32.00% dan -31.80% pada jangka menengah, untuk skenario RCP8.5 dan RCP4.5 dibandingkan dengan *baseline*. Penurunan tersebut berlanjut dengan level sedikit lebih tinggi pada jangka panjang. Tingkat penurunan produktivitas padi sangat sensitif terhadap keragaman praktek pertanian petani setempat, khususnya terkait keragaman waktu tanam dan pengaturan pemberian air irigasi. Pergeseran waktu tanam mengarah pada kesesuaian dengan pola curah hujan mampu menekan penurunan produktivitas padi sebesar 12,95% untuk pertanian tadah hujan dan 14,07% untuk pertanian beririgasi. Sementara itu, perbaikan sistem pengairan mampu menekan tingkat penurunan hasil sebesar 16,16%. Hasil kajian dapat menjadi bahan masukan bagi para pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi intervensi adaptasi yang bersifat spesifik lokasi.

Kata kunci: Perubahan Iklim, Penurunan Hasil, Adaptasi, Model Iklim Global, Model Simulasi Tanaman

ABSTRACT

Despite the well-documented model-simulated adverse climate change impact on rice yields reported elsewhere, interventions to address the issue seem to be still limited, particularly at local level. This links to the uncertainty that entails to climate projection and its likely future impact, which varies across regions and climate models. The study analyzes climate change-induced rice yield reduction and the adequacy of current adaptations, to cope with a large range of impact under various climate models. Seventeen *General Circulation Models* (GCMs) under *Representative Concentration Pathways* (RCPs) climate change with scenarios of RCP8.5 and RCP4.5, combined with CROPWAT model for near-future (2011-2040) and far-future (2041-2070) projections. The study was conducted in November-December 2013, in Ujungjaya Subdistrict, the District of Sumedang. The output confirms yield reduction to occur in the near-future, to the extent variable across the GCMs. At the highest estimation, rice yield decreases by 32.00% and 31.81%, in comparison to baseline, for near-future under RCP8.5 and RCP4.5, respectively. The reduction extends, with a slightly higher degree, to the far-future. The reduction is sensitive to variation in farming practices of the local farmers, in particular that in planting time and irrigation scheduling. The shifting of planting time to better match rainfall pattern reduces the rice yield by 12.95% for rainfed and 14.07% for the irrigated farming. Meanwhile, improved irrigation scheduling reduces the yield reduction by 16.16%. The findings provide valuable inputs for relevant authorities to understand the climate change-induced rice yield reduction, and to formulate intervention strategies for specific-location adaptation.

Key words: Climate Change, Rice Yields Reduction, Adaptation, Planting Time, Irrigation

PENDAHULUAN

Mayoritas penduduk Indonesia (94%) tergantung pada beras sebagai pangan pokok. Mengingat jumlah penduduknya yang sangat besar, yaitu sekitar 237,64 juta (BPS, 2010), dapat dipahami bahwa Indonesia tidak dapat bergantung sepenuhnya kepada pasar internasional untuk memenuhi kebutuhan beras domestik. Undang-undang Pangan No. 18 Tahun 2012 secara eksplisit mengamanatkan bahwa ketahanan pangan harus berbasis pada hasil produksi domestik dan prinsip kedaulatan pangan. Sehubungan dengan hal tersebut, swasembada pangan pokok, khususnya beras, menjadi solusi penting dalam menjamin ketahanan pangan nasional.

Bagi Indonesia, peningkatan produksi padi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi di masa datang menghadapi tantangan yang semakin berat, khususnya akibat dampak buruk perubahan iklim. Perubahan iklim berdampak pada produktivitas padi akibat pergeseran variabel iklim, seperti suhu dan curah hujan (Dasgupta, 2013). Suhu berpengaruh pada evapotranspirasi tanaman dan menentukan periode pertumbuhan tanaman, dan curah hujan menentukan pasokan air irigasi (FAO, 2009).

Sejumlah kajian menunjukkan perubahan iklim telah terjadi di Indonesia, dengan tingkat perubahan yang bervariasi antar wilayah (Bappenas, 2011). Pada dekade terakhir, suhu mengalami peningkatan sekitar 0.3°C dan curah hujan tahunan menurun sekitar 2-3%. Pola curah hujan juga mengalami perubahan. Pada wilayah bagian selatan, curah hujan cenderung menurun, sedangkan di bagian utara, menunjukkan peningkatan. Perubahan juga terjadi pada pola musiman curah hujan, dimana pada wilayah bagian selatan, curah hujan selama bulan basah cenderung meningkat dan di utara, curah hujan bulan kering menunjukkan penurunan (Hulme dan Sheard 1999; Boer dan Faqih, 2004).

Terkait proyeksi curah hujan, Susandi (2007) memperkirakan Indonesia akan mengalami pemanasan dengan level bervariasi antar wilayah, berkisar antara 1.16°C sampai 1.58°C menjelang tahun 2070. Suhu tertinggi berpotensi terjadi di Pulau Kalimantan. Sementara di Pulau Jawa, peningkatan suhu diperkirakan terjadi pada kisaran 1.30°C di bagian barat dan 1.36°C di bagian timur.

Terkait proyeksi curah hujan, Hulme dan Sheard (1999) memperkirakan curah hujan ke depan bervariasi antar wilayah, dimana sebagian besar menunjukkan kecenderungan yang meningkat, sedangkan untuk wilayah lainnya cenderung menurun, khususnya untuk wilayah bagian selatan. Curah hujan di Pulau Jawa diproyeksikan menurun sekitar 30% hingga menjelang tahun 2080.

Kajian dampak perubahan iklim terhadap produktivitas tanaman secara kuantitatif juga mengalami perkembangan yang cukup pesat. Lasco *et al* (2011) memproyeksikan hasil tanaman pangan di sejumlah Negara Asia menurun

dengan kisaran 2.5-10% hingga 2020 and 5-30% hingga tahun 2050. Sejumlah kajian memproyeksikan perubahan iklim di Indonesia akan menurunkan produktivitas padi hingga 4%, kedelai 10%, dan jagung 50% per tahun (Amin, 2004 dalam World Bank 2007). Lebih lanjut, Bappenas (2011) memproyeksikan hingga tahun 2050, penurunan produktivitas tanaman akan mencapai 20.3-27.1% untuk beras, 13.6% untuk jagung, dan 12.4% untuk kedelai.

Walaupun dampak buruk perubahan iklim diperkirakan terus meningkat, umumnya petani masih dapat bertahan. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh respon adaptasi spontan petani, sebagaimana dilaporkan pada beberapa penelitian terdahulu, yang mencakup adopsi teknologi usaha tani yang adaptif terhadap perubahan iklim, sistem intensifikasi pertanian, penyediaan infrastruktur pertanian yang mendukung aplikasi teknologi, pengembangan jaringan informasi iklim, pengembangan kelembagaan perlindungan petani terhadap dampak ekstrim perubahan iklim pada usahatani, dan kebijakan harga input dan *output* usahatani (Sumaryanto, 2012; Sukartini dan Solihin, 2013)

Namun demikian, faktor ketidakpastian (*uncertainty*) pada proyeksi iklim beserta dampaknya yang bervariasi antar tanaman, wilayah, dan model iklim, membuat para pemangku kepentingan lalai dalam mengembangkan tindakan adaptasi yang memadai, khususnya yang memerlukan investasi yang cukup besar. Oleh karena itu, kajian tentang dampak dan adaptasi perubahan iklim ke depan harus mampu memotret kisaran dampak perubahan iklim secara menyeluruh menggunakan sejumlah asumsi dan skenario yang lebih luas.

Kajian ini bertujuan melakukan analisis dampak perubahan iklim terhadap penurunan produktivitas padi dan kinerja adaptasi spontan pada level petani menggunakan 17 GCM dengan skenario perubahan iklim RCP8.5, untuk mewakili kondisi global tanpa kebijakan iklim, dan RCP4.5, mewakili kondisi dengan kebijakan iklim. Secara rinci tujuan kajian ini adalah (1) Membuat simulasi curah hujan, suhu minimal, dan suhu maksimal untuk jangka menengah (2011-2040), panjang (2041-2070), dan *baseline* (1981-2010) menggunakan 17 GCM dengan skenario perubahan iklim RCP8.5 dan RCP4.5, spesifik untuk lokasi kajian, dan (2) Membuat estimasi dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi untuk beragam praktek pertanian saat ini.

METODE PENELITIAN

Lokasi Kajian

Penelitian dilaksanakan pada Bulan November sampai Desember 2013 bertempat di Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Lokasi penelitian pada posisigeografis antara 107°21' - 108°21'

Tabel 1. Gambaran Keragaman Praktek Pertanian di Lokasi Kajian

Praktek Pertanian	Waktu Tanam	Jadwal Penyiraman ¹⁾	Penyiapan Lahan	Varitas Padi	Luas Tanam (hektar) ²⁾
<u>Beririgasi:</u>					
Praktek I	Oktober	3-3-7-7	Olah tanah	Ciherang	103
	Februari	7-10-14-14			40
	Juni	7-14-14-14			20
Praktek II	November	3-3-7-7	Olah tanah	Ciherang	157
	Maret	7-10-14-14			51
	Juli	7-14-14-14			42
Praktek III	Desember	3-3-7-7	Olah tanah	Ciherang	2.281
	April	7-10-14-14			2.100
	Agustus	7-14-14-14			22
Praktek IV	Januari	3-3-7-7	Olah tanah	Ciherang	25
	Mei	7-10-14-14			10
	September	7-14-14-14			30
<u>Tadah Hujan:</u>					
Praktek I	November	Tanpa irigasi	Olah/Tanpa olah tanah	IR64	455
	Februari				11
Praktek II	Desember	Tanpa irigasi	Olah&Tanpa olah tanah	IR64	84
	Maret				13
Praktek III	Januari	Tanpa irigasi	Olah&Tanpa olah tanah	IR64	15
	April				65

1) Selang waktu penyiraman (hari) untuk 4 tahapan penting pertumbuhan padi (20-45-65-120 hari setelah tanam)
Sumber: DISTAN (2013)

BT dan 6°44' - 7°83' LS. Kecamatan Ujungjaya memiliki luas wilayah 7.236 ha, dimana sektor pertanian menempati luas 3.302 ha atau sekitar 45.63% dari luas wilayah. Berdasarkan pasokan airnya, pertanian dibagi menjadi pertanian tadah hujan (20,14%) yang sumber pengairannya bergantung secara penuh pada curah hujan dan sisanya pertanian beririgasi (79,86%), yang sumber pengairannya didukung oleh infrastruktur irigasi (BPS, 2013). Infrastruktur irigasi di lokasi kajian hampir seluruhnya tidak memiliki kapasitas yang memadai untuk menjamin pasokan air yang stabil sepanjang tahun. Hal ini disebabkan infrastruktur irigasi tidak dilengkapi dengan reservoir air yang mampu menampung air selama musim hujan dan mengalirkan air ke petak-petak sawah pada musim kemarau. Gambaran keragaman praktek pertanian petani kecil di lokasi kajian secara ringkas disajikan pada Tabel 1.

Analisis Perubahan Iklim

Model GCM digunakan untuk membuat simulasi rata-rata bulanan curah hujan, suhu minimal, dan suhu maksimal untuk *baseline*, jangka menengah, dan jangka panjang. Data observasi iklim 30 tahun, yang merupakan periode minimal untuk menentukan perubahan iklim,

diakses dari stasiun iklim terdekat, yaitu Stasiun Jatiwangi. Kinerja GCM diuji dengan membandingkan sebaran data simulasi untuk *baseline* dengan data observasi. Pada kajian ini digunakan 17 GCM dengan skenario perubahan iklim RCP4.5 dan RCP8.5. Skenario RCP8.5 menggambarkan kondisi masa datang tanpa pengaruh kebijakan iklim untuk menurunkan emisi GRK atau serupa dengan A1F1 pada SRES (Riahi *et al.*, 2010) dan RCP4.5 yang menunjukkan kondisi masa datang dengan kebijakan penurunan emisi moderat atau serupa dengan B1 pada SRES (Jubb, Canadell, and Dix, 2010). Tujuh belas GCM yang digunakan meliputi BCC-CSM1(Xin *et al.*, 2013); CCSM4 (Gent *et al.*, 2011); CESMI-CAM5 (Gent *et al.*, 2011); CSIRO-Mk3-6-0 (Rotstayn *et al.*, 2010); FIO-ESM (Song *et al.*, 2012); NOAA GFDLCM3 (Donner *et al.*, 2011); NOAA GFDL ESM2G (Donner *et al.*, 2011); NOAA GFDL ESM2M (Donner *et al.*, 2011); GISS-E2-R1 (Kim *et al.*, 2012); GISS-E2-R2 (Kim *et al.*, 2012); GISS-E2-R3 (Kim *et al.*, 2012); HadGEM2-ES (Jones *et al.*, 2011); IPSL-CM5A-LR (Dufresne *et al.*, 2013); MIROC5 (Watanabe *et al.*, 2010); MIROC-ESM (Watanabe *et al.*, 2010); MIROC-ESM-CHEM (Watanabe *et al.*, 2010); MRI-CGCM3 (Yukimoto *et al.*, 2012). Sebelum digunakan, hasil model dikoreksi menggunakan data observasi, berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{\text{Model (Baseline)-Obs}}{\text{Model (Baseline)}} \times 100\%$$

Faktor koreksi selanjutnya digunakan untuk menentukan curah hujan dan suhu terkoreksi, yang dihitung sebagai berikut:

$$CH_{\text{terkoreksi}} = CH_{\text{model}} - (CH_{\text{model}} \times FK)$$

$$T_{\text{terkoreksi}} = T_{\text{model}} - (T_{\text{model}} \times FK)$$

Selanjutnya proyeksi curah hujan dan suhu masa datang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \Delta CH = \frac{\text{Proyeksi-Baseline}}{\text{Baseline}} \times 100\%$$

$$CH_{\text{proyeksi}} = CH_{\text{obs}} + (CH_{\text{obs}} \times \frac{\% \Delta CH}{100})$$

$$CH_{\text{proyeksi}} = CH_{\text{obs}} + (CH_{\text{obs}} \times \frac{\% \Delta CH}{100})$$

$$T_{\text{proyeksi}} = T_{\text{obs}} + \Delta T$$

Output model simulasi iklim berupa data simulasi *baseline* serta proyeksi 2011-2040 dan 2041-2070 kemudian digunakan sebagai *input* data untuk model simulasi tanaman.

Penurunan Produktivitas Padi

Dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi dihitung menggunakan model simulasi tanaman CROPWAT8.0 yang dikembangkan oleh FAO (Clarke, 1998; FAO, 2006). Sebelum di-*run*, model dikalibrasi menggunakan data lokal, yang meliputi data kondisi iklim, data tanaman, data tanah, dan data jadwal pengairan. Model CROPWAT kemudian di-*run* menggunakan dua pilihan menu, yaitu "*rain-fed*" untuk simulasi penurunan produktivitas sawah tadah hujan dan menu "*irrigate at fixed interval per stage*" untuk sawah beririgasi. Waktu pemberian irigasi mengacu pada kondisi irigasi lokal sebagaimana digambarkan pada Tabel 1.

Model CROPWAT terdiri atas model neraca air sederhana yang memungkinkan dilakukannya simulasi kondisi tanaman dalam tekanan kekurangan air dan estimasi penurunan hasil produksi berdasarkan metodologi penentuan evapotranspirasi dan respon hasil produksi tanaman terhadap ketersediaan air. Estimasi kebutuhan air dihitung dari evapotranspirasi tanaman (ETc), yang merupakan produk dari evapotranspirasi acuan (ETo) dan koefisien tanaman (Kc): ETc = Kc x ETo. ETc dihitung dari tanaman yang tumbuh dalam kondisi pengelolaan dan lingkungan yang optimal. Pada kondisi nyata, tanaman tidak selalu tumbuh pada kondisi optimal, nilai aktual ETc (ETa) pada kajian ini dikoreksi menggunakan koefisien tekanan air atau melakukan

penyesuaian terhadap Kc untuk hambatan lingkungan dan tekanan berbeda: ETa = Ks x ETc.

Nilai Kc diambil dari data FAO. Sementara ETo diukur menggunakan persamaan *Penman-Monteith* sebagai berikut (Monteith, 1981):

$$E_{T_0} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \mu_2)}$$

Dimana ETo menunjukkan evapotranspirasi acuan (mm day⁻¹), Rn radiasi net pada permukaan tanaman (MJ m⁻²day⁻¹), G densitas flux panas pada tanah (MJ m⁻² day⁻¹), T rata-rata suhu udara harian pada ketinggian 2 m (°C), μ2 kecepatan angin pada ketinggian 2m (ms⁻¹), es tekanan uap jenuh (kPa), ea tekanan uap *actual* (kPa), es - ea deficit tekanan uap jenuh (kPa), Δ kemiringan kurva tekanan uap (kPa°C⁻¹).

Koefisien tekanan air (Ks) merupakan fungsi dari total ketersediaan air (*Total Available Water/TAW*), ketersediaan air yang siap digunakan (*Readily Available Water/RAW*) dan depleksi dari area akar (*Depletion from Root Zone/Dr*).

$$K_s = \left(\frac{TAW - DR}{TAW - RAW} \right)$$

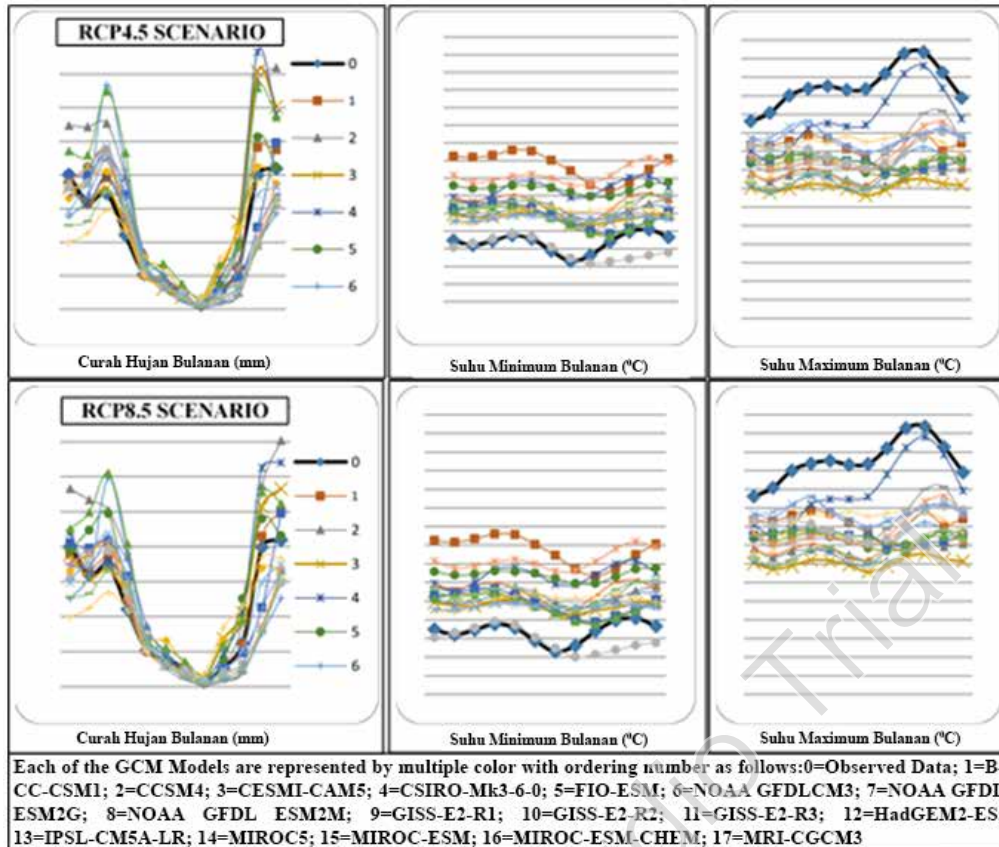
$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m} \right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c} \right)$$

Dimana Ya adalah produktivitas aktual tanaman (ton/ha), Ym hasil produksi maksimal tanaman, Ks koefisien respon hasil produksi, ETa evapotranspirasi *actual*, ETc evapotranspirasi tanaman maksimal, Ky faktor respon tanaman. Nilai Ky > 1 menunjukkan bahwa penurunan hasil secara proporsional lebih besar dari perbedaan relatif antara evapotranspirasi potensial dengan aktual. Oleh karena itu, tanaman dengan nilai Ky < 1 akan memberikan respon penurunan hasil yang lebih kecil. Dalam hal ini, keluaran model CROPWAT adalah data penurunan hasil produksi tanaman padi (1 - Ya/Ym) sebagai akibat perubahan komponen iklim (dalam hal ini perubahan suhu dan curah hujan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Model GCM

Sebagaimana terlihat pada Gambar 1, simulasi GCM untuk rata-rata bulanan curah hujan (CH) menunjukkan hasil yang relatif mendekati data observasi selama musim kemarau. Namun demikian, simulasi GCM untuk CH bulan basah (November - April) cenderung bervariasi. Sebagian GCM (CSIRO-Mk3-6-0, CCSM4, CESMI-CAM5 dan GISS-E2-R3) menunjukkan proyeksi di



Gambar 1. Perbandingan hasil simulasi curah hujan, suhu minimal, dan suhu maksimal dengan data observasi

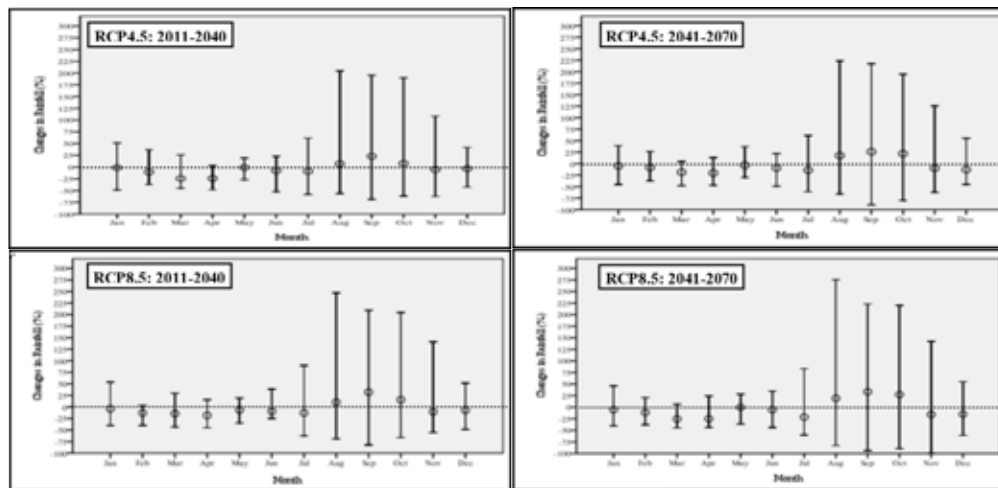
atas data observasi (over-estimasi), dan sebagian model lainnya (MRI-CGCM3 dan NOAA GFDL) cenderung dibawah data observasi (under-estimasi). Selanjutnya, simulasi GCM untuk suhu minimal (T_{Min}) secara keseluruhan cenderung di atas data observasi (over-estimasi), kecuali IPSL-CM5A-LR. Siklus musiman untuk T_{Min} digambarkan dengan relatif cukup baik oleh NOAA-GFDL-CM3 dan NOAA-GFDL-ESM2G. Berbeda dengan T_{Min} , model simulasi GCM suhu maksimal (T_{Max}) bulanan terlihat cenderung di bawah data observasi (under-estimasi). Siklus musiman T_{Max} digambarkan dengan relatif cukup baik oleh MIROC-ESM-CHEM.

Perubahan Pada Curah Hujan dan Suhu

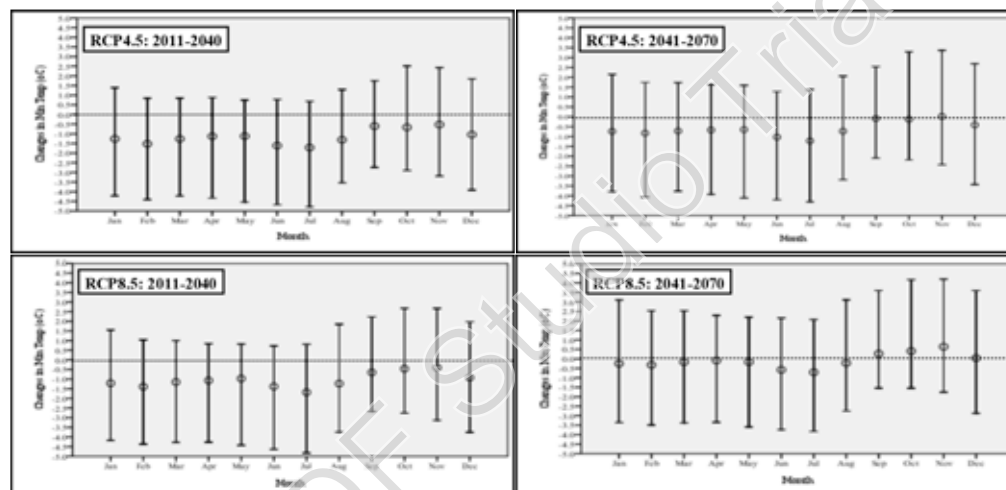
Curah hujan hasil proyeksi mayoritas model GCM dengan RCP4.5 untuk 2011-2040 cenderung menurun pada Februari-April dan meningkat pada Agustus-Oktober (Gambar 2). Penurunan CH terbesar terjadi pada bulan Maret, sementara peningkatan terbesar pada bulan September, dengan median perubahan curah hujan (ΔCH) hasil proyeksi 17 GCM masing-masing sebesar -24,36% dan 22,82%. Kisaran proyeksi ΔCH hasil 17 GCM untuk bulan Agustus, September, dan Oktober lebih lebar dibandingkan kisaran proyeksi bulan lainnya. Hal ini berhubungan erat dengan kejadian hujan yang tidak beraturan selama periode tersebut.

Berdasarkan pola CH bulanan periode *baseline* (Gambar 1), Agustus menunjukkan bulan dimana CH paling rendah, sementara September dan Oktober adalah transisi dari musim kemarau ke musim hujan. Pola proyeksi ΔCH dengan RCP4.5 untuk periode 2011-2040 menunjukkan kemiripan dengan proyeksi RCP8.5 untuk 2041-2070, namun tingkat perubahannya sedikit lebih besar. Berdasarkan data rata-rata tahunan, proyeksi CH 2011-2040 dan 2041-2070 menunjukkan penurunan sebesar -6,81% dan -7,34% untuk RCP8.5, serta -5,01% dan -6,21% untuk RCP4.5, relatif terhadap *baseline*. Menurut Hoogenboom (2000), walaupun tidak terkait langsung dengan proses pertumbuhan tanaman, curah hujan menentukan pasokan air irigasi untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman.

Mayoritas GCM pada RCP4.5 menunjukkan terjadinya penurunan T_{Min} bulanan pada 2011-2040, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai median perubahan suhu minimal (ΔT_{Min}) hasil proyeksi 17 GCM, yang berfluktuasi di bawah nol sepanjang tahun (Gambar 3). Penurunan tertinggi terjadi bulan Juli, dimana median ΔT_{Min} sebesar -1,71°C, sementara penurunan terkecil terjadi pada Bulan Oktober sebesar -0,66°C. Mengacu pada pola T_{Min} bulanan untuk periode *baseline* (Gambar 1), penurunan tertinggi terjadi bersamaan dengan T_{Min} tertinggi. Kisaran proyeksi ΔT_{Min} hasil 17 GCM relatif konstan sepanjang tahun, dimana penurunan T_{Min} terbesar terjadi pada bulan Juli sebesar -4.78°C (BCC-CSM1), dan kenaikan tertinggi pada bulan



Gambar 2. Perubahan curah hujan bulanan relatif terhadap *baseline* (1981-2010) hasil proyek 17 GCM pada RCP4.5 and RCP8.5 untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070



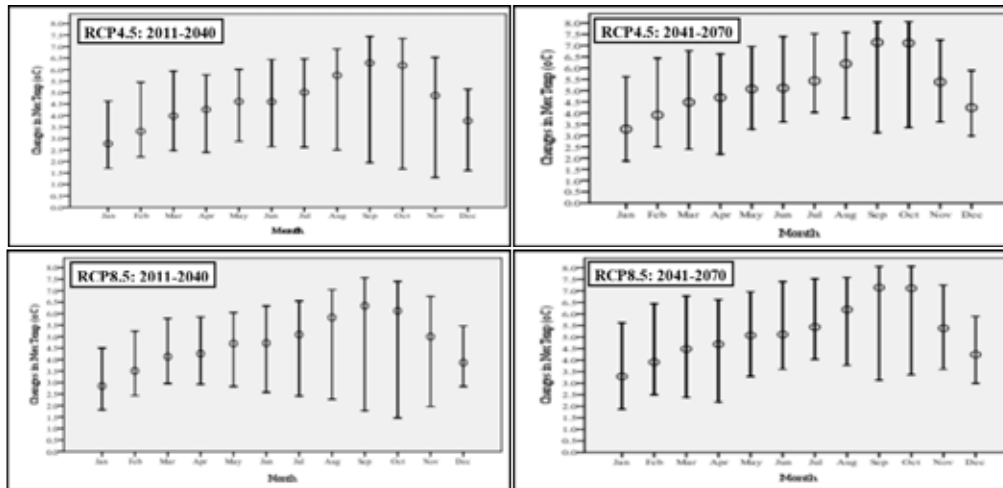
Gambar 3. Perubahan suhu minimal bulanan relatif terhadap *baseline* (1981-2010) hasil proyek 17 GCM pada RCP4.5 and RCP8.5 untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070

Oktober sebesar 2,51°C (GISS-E2-R1). Menurut Sage and Kubien (2007) T_{Min} yang rendah berpengaruh terhadap tanaman dengan menurunkan reaksi metabolisme-nya.

Pola umum proyeksi ΔT_{Min} hasil 17 GCM dengan RCP4.5 untuk periode 2011-2040 berlanjut pada 2041-2070, tetapi dengan level penurunan cenderung berkurang, menggeser pola umum kearah atas mendekati level nol. Bahkan selama periode transisi dari musim kemarau ke awal musim hujan (September, Oktober, dan November), ΔT_{Min} menembus level nol dan kecenderungannya menjadi positif (T_{Min} cenderung meningkat). Kecenderungan peningkatan T_{Min} bulanan semakin jelas terlihat pada 2041-2070 dengan skenario RCP8.5. Berdasarkan data rata-rata tahunan, nilai maksimal untuk proyeksi T_{Min} 2011-2040 dan 2041-2070 menunjukkan peningkatan sebesar 0,75°C dan 1,78°C untuk RCP8.5, serta 0,65°C dan 1,23°C untuk RCP4.5, relatif terhadap *baseline*. Kajian sebelumnya menegaskan peningkatan pada suhu malam hari (suhu minimal) berkontribusi besar terhadap penurunan produktivitas tanaman (Kukla dan Karl, 1993;

Ziska dan Manalo, 1996; Peng *et al.*, 2004; Shah *et al.*, 2011).

Seluruh GCM menunjukkan proyeksi peningkatan T_{Max} bulanan yang cukup besar (Gambar 4). Peningkatan tertinggi terjadi bulan September dan Oktober sebesar 6.29°C dan 6.18°C, bertepatan dengan transisi dari puncak musim kemarau ke awal musim hujan. Tingkat kenaikan kemudian menurun hingga mencapai titik terendah 2.77°C pada bulan Januari, dan setelah itu kembali menunjukkan peningkatan. Median proyeksi yang lebih tinggi bertepatan dengan kisaran proyeksi yang lebih lebar. Seluruh GCM menunjukkan peningkatan pada ΔT_{Max} dengan kisaran antara terendah 1.73°C (GFDLESM2G) dan tertinggi 3.80°C (GFDLCM3), serta median 2.37°C (GISSE2R3). Pola proyeksi ΔT_{Max} dengan RCP4.5 untuk periode 2011-2040 menunjukkan kemiripan dengan proyeksi RCP8.5 untuk 2041-2070, namun tingkat perubahannya sedikit lebih besar. Berdasarkan data rata-rata tahunan, proyeksi ΔT_{Max} 2011-2040 dan 2041-2070 menunjukkan peningkatan sebesar



Gambar 4. Perubahan suhu maksimal bulanan relatif terhadap *baseline* (1981-2010) hasil proyek 17 GCM pada RCP4.5 and RCP8.5 untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070

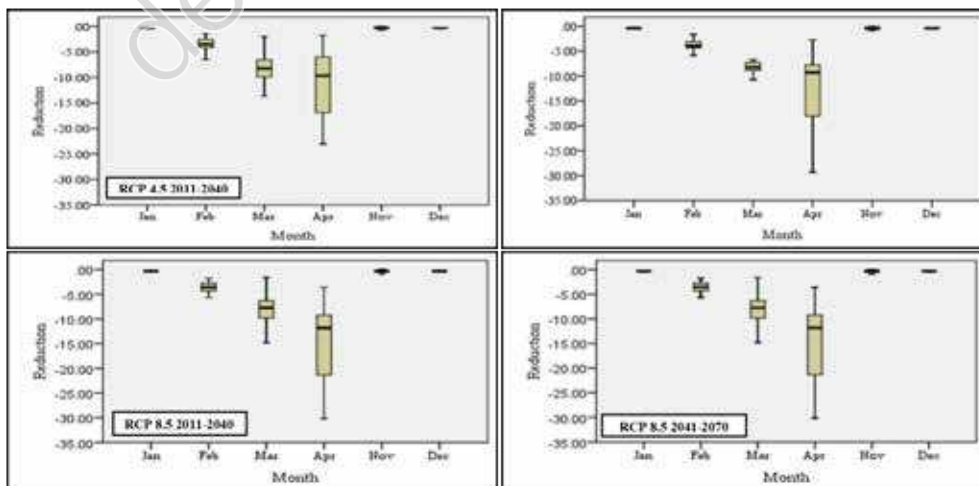
0,83°C dan 1,90°C untuk RCP8.5, serta 0,69°C dan 1,28°C untuk RCP4.5, relatif terhadap *baseline*. Menurut Shah *et al* (2011), peningkatan suhu pada periode kritis pertumbuhan dapat menjadi bersifat supra-optimal, dan akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas tanaman. Hal ini disebabkan sebagian besar pertanian padi berlangsung di wilayah dengan suhu saat ini yang sudah mendekati suhu optimal.

Penurunan Produktivitas Padi

Hasil simulasi GCM menunjukkan penurunan produktivitas padi tadah hujan dengan level penurunan bervariasi untuk waktu tanam yang berbeda (Gambar 5). Penurunan terendah terjadi untuk waktu tanam November, Desember, dan Januari, dimana seluruh GCM menunjukkan penurunan produktivitas yang rendah, yaitu kurang dari 1,0%. Penurunan produktivitas kemudian bervariasi antar model untuk waktu tanam Februari, Maret, dan April. Keragaman

tertinggi terjadi bulan April, dimana proyeksi penurunan hasil periode 2011-2040 pada RCP4.5 berkisar antara 1,75% (MIROC-ESM) hingga 23,03% (GISS-E2-R3). Penurunan hasil untuk 2011-2040 pada RCP8.5 sedikit lebih tinggi, berkisar antara 3,45% (MIROC-ESM) sampai 28,17% (GISS-E2-R3). Tingkat penurunan hasil yang lebih tinggi terlihat untuk 2041-2070 baik pada RCP4.5 maupun RCP8.5. Level penurunan pada RCP4.5 berkisar antara 2,79% (IPSL-CM5A-LR) sampai 29,30% (GISS-E2-R3). Pada RCP8.5, tingkat penurunan hasil berkisar antara 3,62% (MIROC-ESM) sampai 30,16% (GISS-E2-R3). Proyeksi 17 GCM menunjukkan semakin tinggi proyeksi penurunan hasil, semakin lebar kisaran proyeksi GCM.

Gambar 5 juga menunjukkan pergeseran waktu tanam dari April ke Maret, menyebabkan berkurangnya penurunan hasil pada periode 2011-2040 sebesar 9,36% (23,03% Vs. 13,67%) dengan RCP4.5 dan sebesar 9,10% (25,96% Vs. 16,86%) dengan dan RCP8.5. Pengurangan tingkat penurunan hasil juga terjadi pada



Gambar 5. Perubahan produktivitas sawah tadah hujan bulanan relatif terhadap *baseline* (1981-2010) hasil proyek 17 GCM pada RCP4.5 and RCP8.5 untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070

2041-2070, dengan tingkat penurunan yang sedikit lebih tinggi, yaitu 10.67% pada RCP4.5 dan 12.95% pada RCP8.5. Besarnya pengurangan tingkat penurunan produktivitas akibat pergeseran waktu tanam April ke Maret menunjukkan kinerja adaptasi spontan petani pada sawah tadah hujan. Potensi pergeseran waktu tanam dari April ke Maret masih cukup besar mengingat luas tanam April jauh lebih tinggi dari luas tanam Maret (lihat Tabel 1). Pergeseran waktu tanam saat ini hanya dilakukan oleh petani yang memiliki cukup sumberdaya untuk mendukung penyesuaian yang diperlukan pada sistem pertanian mereka, khususnya perbaikan akses terhadap pasokan air irigasi serta akses inovasi dan teknologi untuk mendukung pergeseran waktu tanam agar lebih sesuai dengan pola hujan.

Serupa dengan pertanian tadah hujan, waktu tanam yang paling aman untuk sawah irigasi adalah November, Desember, Januari, dan Februari dimana penurunan produktivitas relatif rendah, berfluktuasi di bawah 1,0% (Gambar 6). Sementara itu, waktu tanam yang paling kritis adalah Juli, dimana terjadi penurunan produktivitas tertinggi yaitu sebesar 32.00% untuk periode 2011-2040 dan 33.58% untuk 2041-2070, pada RCP4.5. Pada RCP8.5, penurunan produktivitas sedikit lebih tinggi yaitu 34.81% pada 2011-2040 dan 35.47% pada 2041-2070. Pergeseran waktu tanam dari Juli ke Juni dapat menurunkan tingkat pengurangan hasil paling tinggi sebesar 14.01% untuk periode 2041-2070 pada RCP8.5. Angka tersebut mengindikasikan potensi kinerja adaptasi petani melalui pergeseran waktu tanam pada sawah irigasi.

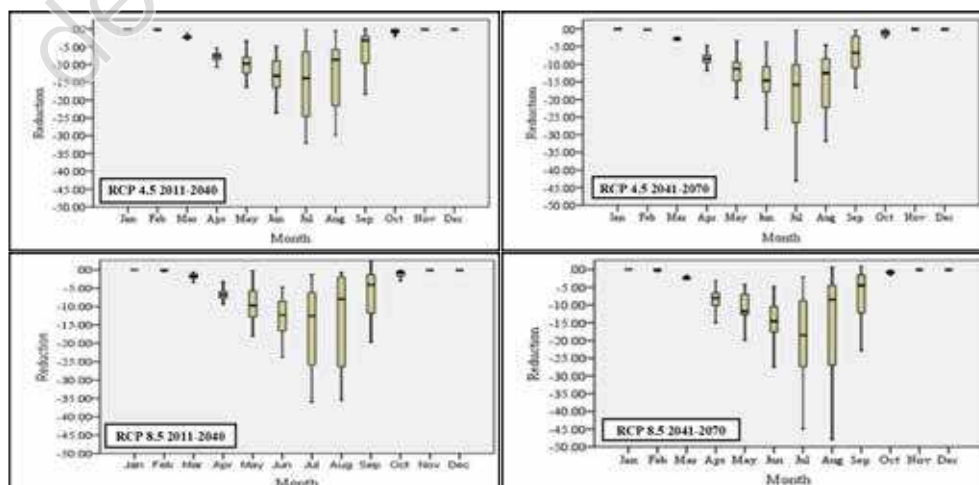
Gambar 5 dan 6 menunjukkan penurunan produktivitas yang lebih rendah pada pertanian beririgasi, dibandingkan pertanian tadah hujan untuk periode tanam yang sama. Mengambil contoh waktu tanam bulan April, dapat dihitung selisih penurunan hasil sebesar 15,18% (30,16% vs. 14,98%) dan 16,16% (28,17% vs. 12,02%) untuk

periode 2011-2040 dan 2041-2070 dengan RCP8.5. Selisih tersebut menunjukkan indikasi tingkat kinerja adaptasi spontan petani dalam meredam dampak penurunan produktivitas melalui perbaikan sistem pengairan.

Secara umum, penurunan tingkat pengurangan produktivitas padi, baik pada sawah tadah hujan maupun irigasi, dapat dicapai melalui pergeseran waktu tanam dan perbaikan pola pengairan (irigasi) tanaman. Petani di lokasi kajian telah mempraktekan kedua cara tersebut secara beragam, sebagaimana tercermin dari keragaman pada waktu tanam dan pola pengairan irigasi. Peningkatan akses petani terhadap sumber air dan varietas padi unggul dengan umur yang lebih pendek, atau teknik olah lahan yang lebih hemat air, memungkinkan lebih banyak petani melakukan tanam pertama lebih awal pada bulan November atau bahkan Oktober, bergeser dari mayoritas saat ini pada bulan Desember. Waktu tanam pertama yang lebih awal memungkinkan petani untuk melakukan tanam kedua lebih awal pada Februari atau Maret, bergeser dari mayoritas saat ini pada bulan April. Demikian juga halnya dengan tanam ketiga dapat dilakukan lebih awal pada bulan Juni, bergeser dari Juli atau Agustus.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan perubahan iklim telah terjadi di lokasi kajian. Mayoritas GCM menunjukkan penurunan curah hujan serta peningkatan suhu minimal dan suhu maksimal tahunan untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070 dibandingkan *baseline*. Namun demikian, proyeksi perubahan curah hujan dan suhu bulanan bervariasi antar GCM. Curah hujan cenderung menurun pada bulan basah dan meningkat pada bulan kering. Sementara suhu minimal dan maksimal cenderung tinggi pada puncak musim hujan dan rendah pada puncak



Gambar 6. Perubahan produktivitas sawah irigasi bulanan relatif terhadap *baseline* (1981-2010) hasil proyek 17 GCM pada RCP4.5 and RCP8.5 untuk periode 2011-2040 dan 2041-2070

musim kemarau. Simulasi GCM dengan skenario RCP4.5 menghasilkan tingkat perubahan iklim yang lebih rendah dibandingkan RCP8.5. *Output* model CROPWAT menunjukkan penurunan produktivitas padi terjadi pada 2011-2040 dan 2041-2070 dibandingkan *baseline*, dimana tingkat penurunan pada RCP8.5 lebih tinggi dibanding RCP4.5. Tingkat penurunan produktivitas padi sensitif terhadap waktu tanam dan pola pengairan irigasi. Pergeseran waktu tanam agar lebih sesuai dengan pola hujan dapat menurunkan pengurangan hasil sebesar 12.95% pada sawah tadah hujan dan 14,01% pada sawah irigasi. Sementara perbaikan pola pengairan mampu menurunkan pengurangan hasil sebesar 16.16%. Hasil kajian dapat menjadi bahan masukan bagi perumusan strategi intervensi untuk penguatan adaptasi perubahan iklim petani yang bersifat spesifik lokasi. Dalam kasus ini, penguatan adaptasi petani harus fokus pada upaya peningkatan kapasitas petani dalam perbaikan pasokan air irigasi dan pergeseran waktu tanam agar lebih sesuai dengan pola musim hujan. Pasokan air irigasi ke sawah petani dapat ditingkatkan melalui diantaranya konservasi di daerah hulu dan perawatan saluran irigasi, pemanenan aliran permukaan dan air hujan di musim penghujan (*water harvesting*) melalui pembangunan embung (*on-farm reservoir*), dan penguatan kelembagaan pengelolaan air seperti Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A). Selain itu, sistem pertanian hemat air, seperti SRI juga perlu terus digalakan untuk mendukung efisiensi pemanfaatan air yang ketersediaannya ditenggarai semakin menurun. Sementara itu, pergeseran waktu tanam memerlukan, dukungan berupa pemanfaatan varietas tanaman berumur pendek yang lebih tahan perubahan iklim dan memiliki produktivitas tinggi, serta, pengembangan jaringan informasi iklim pertanian, seperti penyebarluasan informasi tentang Kalender Tanam (KATAM) terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- [Bappenas] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. 2011. Indonesia Adaptation Strategy: Improving Capacity to Adapt. Bappenas. Jakarta. hlm 7.
- Boer, R. and A. Faqih. 2004. Current and Future Rainfall Variability in Indonesia. In An Integrated Assessment of Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability in Watershed Areas and Communities in Southeast Asia. Report from AIACC Project No AS21. Int. START Secretariat. Washington, DC. p 47.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2010. Sensus Penduduk 2010. BPS, Jakarta. hlm17.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumedang. 2013. Kabupaten Sumedang dalam Angka Tahun 2013. BPS Sumedang. Hlm. 22-23.
- Clarke, D. 1998. CropWat for Windows: User Guide. University of Southampton. pp 3-43.
- Dasgupta, S. 2013. Impact of Climate Change on Crop Yields with Implications on Food Security and Poverty Alleviation. http://www.climate-impacts.org/file/cwi_dasgupta.pdf. [Diunduh tanggal 5 Juni 2014].
- [DISTAN] Dinas Pertanian Kabupaten Sumedang. 2013. Laporan Tahunan UPTD Ujungjaya, Sumedang. Hlm. 37-38.
- Donner, L.J., B.L.Wyman, R.S. Hemler, L.W. Horowitz, Y. Ming, M. Zhao, and J.C. Golaz. 2011. The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL global coupled model CM3, *J.Clim.* 24(13): 3484-3519.
- Dufresne, J.L. 2013. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: From CMIP3 to CMIP5. *Climate Dyn.*, 40, 2123-2165.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2006. 'CROPWAT Model'. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. pp. 1-13.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2009. CROPWAT Software. FAO, Roma. pp. 19-21.
- Gent, P.R., G. Danabasoglu, L.J. Donner, M.M. Holland, E.C. Hunke, S.R. Jayne, D.M. Lawrence, R.B. Neale, P.J. Rasch, M. Vertenstein, P.H. Worley, Z.L. Yang, and M. Zhang. 2011. The Community Climate System Model Version 4, *J. Climate*, 24: 4973-4991.
- Hoogenboom, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agric. and Forest Meteorol* 103, pp. 137-157.
- Hulme, M and N. Sheard. 1999. Climate Change Scenarios for Indonesia. Climatic Research Unit, Norwich, UK, 6pp.
- Jones, C.D. 2011. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geosci. Model Dev.*, 4: 543-570.
- Jubb, I., P. Canadell and M. Dix. 2010. Information Paper. Australian Climate Change Science Program. www.cawrc.gov.au/publications/otherreports/ACCSP_RCP.pdf. [Diunduh tanggal 07 Mei 2014].
- Kim, D., A.H. Sobel, A.D. Del Genio, Y. Chen, S. Camargo, M.S. Yao, M. Kelley, and L. Nazarenko. 2012. The tropical subseasonal variability simulated in the NASA GISS general circulation model. *J. Climate*, 25: 4641-4659.

- Kukla, G. and T.R. Karl. 1993. Night time warming and the green house effect. *Environmental Science and Technology* 27: 1468–1474.
- Lasco, R.D., C.M.D. Habito, R.J.P. Delfino, F.B. Pulhin, R.N. Concepcion. 2011. Climate change adaptation for smallholder farmers in Southeast Asia. *World Agro-forestry Center, Philippines*. pp. 34-35.
- Monteith, J.L. 1981. Evapotranspiration and surface temperature. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 107:1-27.
- Peng, S., J. Huang, J.E. Sheehy, R.C. Laza, R.M. Visperas, X. Zhong, G.S. Centeno, G.S. Khush and K.G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 101: 9971–9975.
- Riahi, K., S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, and P. Rafaj. 2010. RCP 8.5 – A scenario of comparatively high greenhouse gas emission. *Climatic Change* 109:33-57.
- Rotstayn, L.D., M.A. Collier, M.R. Dix, Y. Feng, H.B. Gordon, S.P. O’Farrell, and I.N. Smith. 2010. Improved simulation of Australian climate and ENSO-related rainfall variability in a global climate model with an interactive aerosol treatment, *Int. J. Climatol.* 30(7):1067-1088.
- Shah, F., J. Huang, K. Cui, L. Nie, T. Shah, C. Chen, and K. Wang. 2011. Climate change and paper: Impact of high temperature stress on rice plant and its trait related to tolerance. *J.Agr.Sc.* pp.1-12.
- Sage, R.F. and D.S. Kubien. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ* 30: 1086-1106.
- Song, Y., F. Qiao, and Z. Song. 2012. Improved simulation of the South Asian summer monsoon in a coupled GCM with a more realistic ocean mixed layer, *J. Atmos. Sci.* 69:1681–1690.
- Sukartini, N.M. dan A. Solihin. 2013. Respon petani terhadap perkembangan teknologi dan perubahan iklim: Studi kasus Subak di Desa Gadungan, Tabanan, Bali. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan* 6(2):128-139.
- Sumaryanto. 2012. Strategi peningkatan adaptasi petani tanaman pangan menghadapi perubahan iklim. *Forum Penelitian Agro Ekonomi* 30(2): 73-80.
- Susandi, A. 2007. Impact of climate change on Indonesian sea level rise with reference to it’s socioeconomic impact. *Department of Meteorology*. pp. 18-19.
- Watanabe, M., T. Suzuki, R. O’ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, and T. Takemura. 2010. Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. *J. Climate* 23:6312-6335.
- World Bank. 2007. *Indonesia and Climate Change: Current Status and Policies*. Jakarta. pp. 11-12.
- Xin, X.G., T.W. Wu, and J. Zhang. 2013. Introduction of CMIP5 experiments carried out with the climate system models of Beijing Climate Center. *Adv.Clim. Change Res.*,4:41-49.
- Yukiimoto, S., Y. Adachi, M. Hosaka, T. Sakami, H. Yoshimura, M. Hirabara, T.Y. Tanaka, E. Shindo, H. Tsujino, M. Deushi, R. Mizuta, S. Yabu, A. Obata, H. Hakano, T. Koshiro, T. Ose and A. Kitoh. 2012. A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3—Model description and basic performance. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A: 23-64.
- Ziska, L.H. and P.A. Manalo. 1996. Increasing night temperature can reduce seed set and potential yield of tropical rice. *Australian Journal of Plant Physiology* 23:791-794.