

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PRODUKSI PADI DI LAHAN TADAH HUJAN

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RICE PRODUCTION IN RAINFED AREA

Woro Estiningtyas^{1*} dan Muhammad Syakir²

¹⁾Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No 1A Cimanggu Bogor

²⁾Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jl. Ragunan 29 Pasar Minggu Jakarta Selatan

E-mail: woro_esti@yahoo.com

Naskah masuk: 5 April 2017; Naskah diperbaiki: 21 November 2017; Naskah diterima : 22 Desember 2017

ABSTRAK

Ketergantungan yang sangat tinggi terhadap curah hujan menjadikan lahan sawah tadah hujan memiliki periode tanam yang terbatas. Sementara curah hujan itu sendiri sangat dipengaruhi oleh perubahan iklim. Makalah ini menyajikan hasil analisis tentang dampak perubahan iklim terhadap produksi padi di lahan sawah tadah hujan dengan model simulasi tanaman DSSAT. Lokasi penelitian yaitu Jakenan dan Ngale. Skenario perubahan iklim yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil analisis menggunakan model *Coordinated Climate-Crop Modeling Program (C3MP) Sensitivity test* Versi 2.0. Uji sensitivitas C3MP dilakukan dengan menyesuaikan kondisi iklim historis untuk mencerminkan perubahan suhu, presipitasi, dan CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perubahan suhu 0,5 °C dan konsentrasi CO₂ 537 ppm masih meningkatkan produksi 2,2 hingga 502,5 kg/ha di Jakenan dan 15,9 hingga 507,7 kg/ha di Ngale yang terjadi hampir di setiap Bulan mulai Januari-Desember. Perubahan suhu 1 °C dan konsentrasi CO₂ 403 ppm secara umum masih meningkatkan hasil tetapi hanya terjadi pada bulan-bulan tertentu yaitu sebesar 57,4 hingga 366,2 kg/ha di Jakenan dan 21,9 - 320,4 kg/ha di Ngale.

Kata kunci : Padi, tadah hujan, DSSAT, suhu udara, curah hujan dan konsentrasi CO₂

ABSTRACT

Very high dependence on rainfall makes rain-fed land has limited the planting period for rice cultivation. While the rainfall itself strongly influenced by climate change. This paper presents the results of analysis of the relationship of climate change expressed by changes in temperature, precipitation and CO₂ concentrations on rice production in rain-fed land with crop simulation models DSSAT. Location of this research are Jakenan and Ngale. Parameters are indicators of climate change is the air temperature and CO₂ concentrations with two scenarios. Climate change scenarios used in this study is the result of analysis using a model - Crop Coordinated Climate Modeling Program (C3MP) Sensitivity test Version 2.0. C3MP sensitivity test is done by adjusting the historical climate conditions to reflect changes in temperature, precipitation, and CO₂. The results showed that the temperature change of 0.5 °C and 537 ppm CO₂ concentration still increased the production of 2.2 to 502.5 kg/ha in Jakenan and 15.9 to 507.7 kg/ha in Ngale which occurred almost every month starting January-December. Changes in temperature of 1 °C and concentration of CO₂ 403 ppm in general still increase yield but only occur in certain months that is equal to 57.4 to 366.2 kg/ha in Jakenan and 21.9 - 320.4 kg/ha in Ngale.

Keywords : Rice, rainfed, DSSAT, temperature, rainfall and CO₂ concentration

1. Pendahuluan

Dalam budidaya tanaman, ada 3 faktor yang memegang peran utama yaitu iklim, tanah dan tanaman. Ketiga faktor ini secara bersinergi menentukan tingkat produksi tanaman. Ketimpangan pada salah satu faktor akan mempengaruhi hasil akhirnya. Ketika kondisi tanah dan tanaman dalam kondisi optimal, maka iklim yang memegang peran yang lebih besar, namun kondisinya tidak bisa

dikendalikan oleh manusia. Iklim sangat dinamis dan kompleks sehingga hal yang bisa dilakukan adalah menyesuaikan dengan iklim setempat. Selain sifatnya yang sangat dinamis dan kompleks, iklim dalam jangka panjang juga telah mengalami perubahan. Indikator iklim seperti suhu udara, curah hujan telah mengalami perubahan akibat pemanasan global. Konsentrasi CO₂ juga mengalami peningkatan akibat perubahan iklim.

Lahan sebagai tempat tumbuh tanaman memiliki karakteristik yang berbeda-beda di setiap tempat dan menjadi tumpuan keberhasilan produksi. Menurut BPS luas lahan sawah di Indonesia adalah 8,1 juta hektar dimana 82% nya merupakan sawah irigasi dan 18% non irigasi, dan sebagian besar (40%) berada di Pulau Jawa [1]. Dibandingkan dengan sawah irigasi, lahan sawah tadah hujan di Indonesia relatif sedikit yaitu sekitar 2,08 juta ha [2]. Lahan tadah hujan bervariasi di setiap wilayah dan merupakan bagian penting dalam menghasilkan bahan pangan khususnya di negara sedang berkembang. Di Sahara Afrika lebih dari 95% lahan pertaniannya adalah tadah hujan, sementara di Amerika Latin sekitar 90%, Asia Selatan 60%, Asia Timur 65% dan wilayah Timur dan Utara Afrika sekitar 75% [3]. Sementara itu, dinyatakan bahwa 2,46% wilayah dunia tidak sesuai untuk pertanian tadah hujan karena perubahan iklim dan kondisi meteorologi lainnya [4]. Masalah utama di lahan tadah hujan adalah kondisi biofisik dan infrastruktur sosial ekonomi yang terbatas, jaminan ketersediaan air yang tidak menentu, kesuburan tanah rendah dan pada umumnya masih tradisional dengan varietas lokal. Kondisi lahan tadah hujan memperlihatkan kelangkaan air, lingkungan yang rapuh, kekeringan dan degradasi lahan karena erosi tanah oleh angin dan air, rendahnya efisiensi air (35-45%), tekanan penduduk yang tinggi, kemiskinan serta infrastruktur yang masih terbatas [5,6].

Di beberapa wilayah dunia, lahan tadah hujan bisa menghasilkan produksi yang tinggi yaitu di wilayah dengan curah hujan yang relatif tersedia dan tanah yang produktif. Bahkan di daerah tropis terutama di sub humid dan zona lembab, hasil pertanian tadah hujan di lahan yang komersial bisa mencapai 5-6 ton/ha [5,6]. Berdasarkan rata-rata hasil panen di lahan tadah hujan sejak tahun 1960 an menunjukkan bahwa penggunaan lahan pertanian telah diperluas 20-25% dan telah memberikan kontribusi sekitar 30% dari keseluruhan pertumbuhan produksi gabah [7,8]. Output hasil yang tersisa berasal dari intensifikasi melalui peningkatan hasil per satuan luas lahan. Namun demikian variasi regional cukup besar seperti perbedaan antara pertanian lahan irigasi dan tadah hujan. Di negara-negara berkembang, hasil gabah tadah hujan rata-rata 1,5 ton/ha, sedangkan di lahan irigasi 3,1 ton/ha [9], dan peningkatan produksi di lahan tadah hujan sebagian besar berasal dari perluasan lahan. Produktivitas padi pada lahan tadah hujan umumnya lebih rendah dari hasil padi di lahan sawah irigasi dan di tingkat petani produktivitas padi sawah tadah hujan berkisar 3,0 – 3,5 t/ha produktivitas lahan untuk padi gogo rancak 2,5-4 ton/ha dan 2-3 ton/ha walik jerami dan pada umumnya hanya satu kali tanam [10,11].

Terkait dengan produksi padi, maka penguasaan tentang lingkungan tumbuh padi ini sangat penting untuk menentukan cara budidaya yang paling tepat dan menguntungkan [11]. Salah satu unsur iklim yang sangat berperan terhadap ketersediaan air bagi tanaman adalah curah hujan. Tinggi rendahnya produksi padi tidak bisa dipisahkan dengan ketersediaan air bagi tanaman. Hal ini juga diungkapkan bahwa potensi hasil tanaman padi erat hubungannya dengan jaminan ketersediaan air selama musim tanam [12]. Di Indonesia, faktor penentu musim tanam adalah ketersediaan air yang dipengaruhi oleh curah hujan. Meskipun penerimaan hujan tahunan tinggi, bahkan di beberapa wilayah telah tersedia fasilitas jaringan irigasi, namun demikian periode tanam pada sebagian besar wilayah produksi tanaman pangan tetap tergantung pada kondisi penerimaan hujan musiman [13]. Artinya, curah hujan merupakan indikator yang cukup kuat untuk mengetahui fluktuasi produksi padi.

Tanaman padi membutuhkan 600 – 1200 mm air selama 90 – 120 hari dari tanam hingga panen [14]. Selama pertumbuhan tanaman padi, fase yang paling rentan terhadap kekurangan air adalah awal fase vegetatif, fase pembungaan dan fase pengisian bulir atau polong [15,16]. Kekurangan air pada fase reproduktif memberikan dampak penurunan produksi yang lebih besar dibandingkan kekurangan air pada masa vegetatif [15]. Dinyatakan bahwa peranan ketersediaan air sangat penting (kritis) pada awal pertumbuhan dan pada fase pembungaan [17]. Kekurangan air pada fase ini akan berdampak besar terhadap pertumbuhan tanaman, Peranan ketersediaan air juga penting pada saat pembentukan anakan dan pada awal fase pemasakan (pengisian biji).

Faktor iklim juga sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi padi. Kenaikan suhu udara akan berdampak pada penurunan produktivitas tanaman karena peningkatan respirasi pada malam hari dan peningkatan serangan hama dan penyakit tanaman. Kejadian iklim ekstrim yang seringkali muncul berupa banjir dan kekeringan serta serangan OPT membawa dampak menurunnya luas panen akibat kerusakan tanaman dan puso. Pengaruh perubahan iklim berupa peningkatan suhu dan CO₂ terhadap tanaman juga telah banyak dilakukan penelitian [18-26].

Hubungan antara faktor iklim, tanah dan tanaman dapat dipelajari dengan melakukan simulasi tanaman. Simulasi tanaman memungkinkan untuk membuat berbagai skenario terkait dengan budidaya tanaman seperti tanggal tanam, pupuk, jenis tanah, kebutuhan air dari curah hujan dan lain-lain. Dengan demikian bisa dipelajari hubungan antar parameter

serta aplikasinya untuk budidaya tanaman. Penelitian simulasi tanaman terkait dengan peningkatan suhu dan CO₂ juga telah banyak dilakukan [27,28,29], namun untuk lahan tadah hujan masih sangat terbatas. Dalam penelitian ini simulasi tanaman dilakukan untuk lahan sawah tadah hujan, sedangkan perubahan iklim diwakili oleh peningkatan suhu udara, presipitasi dan konsentrasi CO₂. Hal ini didasari pertimbangan bahwa perubahan iklim akan terus terjadi dengan peningkatan aktifitas kegiatan manusia yang menghasilkan emisi karbon, dan selanjutnya akan terjadi kenaikan temperatur global. Berdasarkan simulasi model MERGE - *Model for Evaluating the Regional and Global Effects of Greenhouse Gas Reduction Policies* [30] diperoleh bahwa konsentrasi karbon global akan naik mencapai titik tertinggi sebesar 500 ppm pada tahun 2060, dan selanjutnya akan turun dengan peningkatan konsumsi teknologi rendah emisi (*carbon-free technology*). Oleh karena itu skenario perubahan suhu dan konsentrasi CO₂ dijadikan indikator untuk menggambarkan pengaruh perubahan iklim terhadap hasil tanaman. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan iklim terhadap hasil padi pada tipe lahan sawah tadah hujan.

2. Metode Penelitian

Pengaruh perubahan iklim terhadap produksi padi dilakukan melalui simulasi tanaman di 2 lokasi yang mewakili sawah tadah hujan, yaitu : Jakenan-Kabupaten Pati-Jawa Tengah dan Ngale-Kabupaten Ngawi-Jawa Timur. Data yang digunakan adalah data iklim, tanah dan tanaman. Data iklim yang digunakan adalah data curah hujan harian selama 30 tahun, periode 1980-2009, data tanaman yaitu padi varietas IR-64. Dominasi varietas IR-64 ditingkat petani disebabkan produksinya yang cukup tinggi. Hal ini diungkapkan juga bahwa varietas IR64 merupakan varietas yang secara nyata mampu meningkatkan potensi hasil padi sawah yang diindikasikan dari dominasi varietas IR-64 di daerah-daerah sentra produksi padi [31]. Skenario tanggal tanam yaitu tanggal 15 setiap bulan. Umur tanaman padi rata-rata 85-95 hari. Metode tanam adalah per baris dengan populasi tanaman 50 tanaman per meter persegi. Jarak tanam 25 cm, kedalaman tanam 5 cm, berat kering material tanam adalah 19 kg/ha, umur bibit 20 hari dan *initial sprout length* 10 cm. Pupuk diberikan dalam 3 tahap, yaitu pada 7, 20 dan 30 hari setelah tanam (HST). Pada 7 HST diberikan pupuk antara lain Urea 30%, SP36 100% dan KCl 50%. Pada 20 HST diberikan urea saja 40%, dan pada 30 HST diberikan lagi Urea 30% dan KCl 50%. Jenis dan dosis pupuk yang digunakan dalam input model pada setiap lokasi disajikan dalam Tabel 1. Jenis tanah untuk Ngale dan Jakenan adalah vertisol. Vertisol ini secara umum memiliki sifat sebagian besar subur, namun apabila

kekeringan retaknya bisa mencapai 10 cm atau lebih sehingga padi mudah kekeringan, sementara kalau basah sangat lengket.

Skenario perubahan iklim dilakukan menggunakan model *Coordinated Climate-Crop Modeling Program* (C3MP) *Sensitivity test* Versi 2.0. Uji sensitivitas C3MP dilakukan dengan menyesuaikan kondisi iklim historis untuk mencerminkan perubahan suhu, presipitasi, dan CO₂. Skenario dan analisis ketiga indikator ini dilakukan oleh *The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (AgMIP) dalam *Coordinated Climate Crop-Modelling Project* (C3MP). Running dilakukan untuk 99 skenario dimana setiap skenario berisikan perubahan suhu (*change in temperature*, °C), perubahan curah hujan (*rainfall change*, %), *rainfall multiplier* (*fraction of baseline*) dan konsentrasi CO₂ (ppm). Dalam 99 hasil running model tersebut skenario perubahan suhu dilakukan mulai dari -1 °C hingga 7,9 °C, perubahan curah hujan mulai dari -50% hingga 49%, *rainfall multiplier* 0,5 hingga 1,5 dan konsentrasi CO₂ mulai dari 333,3 ppm hingga 898,2 ppm.

Dalam makalah ini dibahas secara khusus untuk skenario 6 dan 43 untuk mewakili perubahan iklim. Skenario 43 mewakili perubahan suhu 0,5°C, perubahan curah hujan -7%, *rainfall multiplier* 0,93 dan konsentrasi CO₂ 537 ppm. Untuk skenario 6 mewakili perubahan suhu 1°C, perubahan curah hujan 34%, *rainfall multiplier* 1,34 dan konsentrasi CO₂ 403 ppm.

Estimasi produksi padi dalam penelitian ini menggunakan model simulasi tanaman *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT ver.4.5). Skenario dan simulasi tanam dilakukan dengan asumsi tidak ada simbiosis, efisiensi radiasi dan panen pada saat tanaman sudah masak. Lahan untuk padi dibuat tergenang selama masa pertumbuhan sehingga pemberian pupuknya dipilih *broadcast on flooded*.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Curah Hujan dan Suhu Udara.

Berdasarkan data curah hujan rata-rata bulanan periode 1980-2010 (31 tahun) menunjukkan bahwa pola curah hujan di lokasi penelitian adalah monsunial. Hal ini dicirikan dengan satu puncak hujan terendah. Curah hujan terendah pada umumnya terjadi pada Bulan Agustus, sedangkan curah hujan tertinggi pada Bulan Januari (Gambar 1). Rata-rata curah hujan di Jakenan 131 mm/bulan dengan kisaran 40-291 mm/bulan. Untuk Ngale memiliki curah hujan rata-rata sedikit lebih tinggi yaitu 168 mm/bulan dengan kisaran 26-309 mm/bulan. Apabila dibandingkan dengan evaporasi, baik Jakenan maupun Ngale

memiliki pola evaporasi yang mirip dengan pola curah hujan namun besarnya jauh lebih tinggi dibandingkan curah hujannya. Hal ini merupakan salah satu ciri lahan tadah hujan. Evaporasi di Jakenan berkisar antara 605-1056 mm/bulan dengan rata-rata 895 mm/bulan, sedangkan di Ngale berkisar antara 547-1102 mm/bulan dengan rata-rata 924 mm/bulan (Gambar 1). Ditinjau dari tren curah hujan, baik di lokasi Jakenan maupun Ngale keduanya mengalami penurunan selama kurun waktu 30 tahun (1980-2010). Kisaran penurunan curah hujan sekitar 13-18 mm per tahun (Gambar 2).

Fluktuasi suhu udara minimum dan maksimum memperlihatkan pola yang hampir seragam karena memang untuk suhu perbedaan nilainya tidak terlalu besar sehingga cenderung rata dan hampir sama setiap bulan. Ada sedikit peningkatan di Bulan Oktober November seiring dengan peningkatan curah hujan. Hal ini menjelaskan bahwa pada bulan-bulan tersebut potensi penguapannya tinggi yang memicu turunnya hujan. Suhu minimum di Jakenan dan Ngale tidak berbeda jauh, berkisar antara 23,9-25,3 °C dan suhu maksimum 30,4-32,5 °C (Gambar 3). Ditinjau dari klimatologi pertanian, di Indonesia suhu udara dapat berperan sebagai kendali pada usaha pengembangan tanaman padi di dataran tinggi. Sebagian besar padi

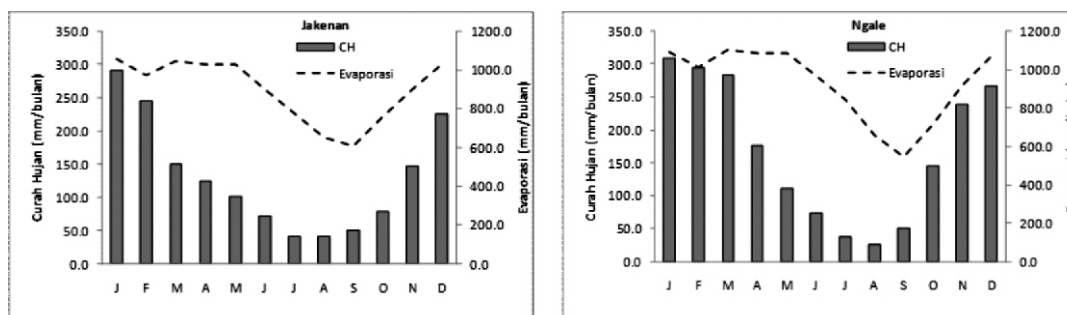
unggul dapat berproduksi dengan baik sampai pada ketinggian 700 mdpl, demikian juga kedelai, kacang tanah dan kacang hijau.

Untuk suhu udara, hampir semua menunjukkan tren meningkat. Rata-rata laju peningkatan suhu udara sekitar 0,01°C per tahun (Gambar 4). Terjadinya peningkatan suhu akan berpengaruh pada berbagai aktivitas biologi dan fisiologi berbagai macam makhluk hidup. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu sangat berpengaruh pada perubahan tingkat serangan berbagai jenis penyakit baik pada manusia, hewan maupun tanaman. Pada tanaman, peningkatan suhu berdampak pada pemasakan fisiologis tanaman lebih awal, outbreak OPT sehingga dapat menurunkan produksi tanaman.

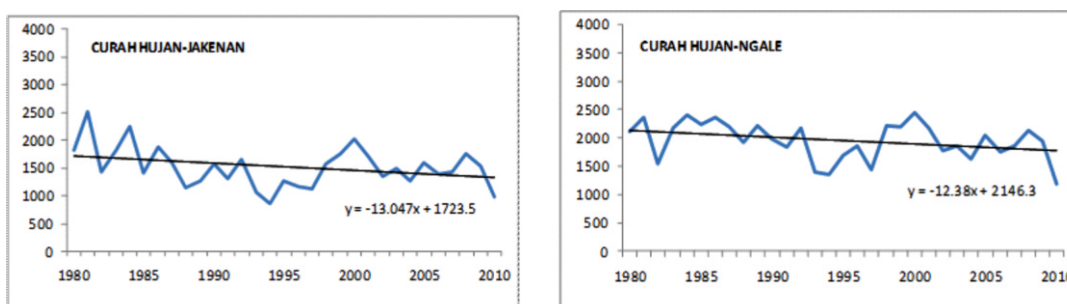
Proyeksi Perubahan Iklim. Proyeksi perubahan iklim yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil proyeksi oleh *The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (Ag MIP) dengan model C3MP yang menghasilkan 99 skenario. Dalam proyeksi ini digunakan 3 parameter iklim, yaitu perubahan suhu udara, presipitasi dan konsentrasi CO₂. Pembahasan proyeksi perubahan iklim didasarkan pada perbandingan pola suhu dan curah hujan pada kondisi riil dengan pola setelah ada proyeksi perubahan iklim.

Tabel 1. Jenis dan dosis pupuk pada setiap lokasi

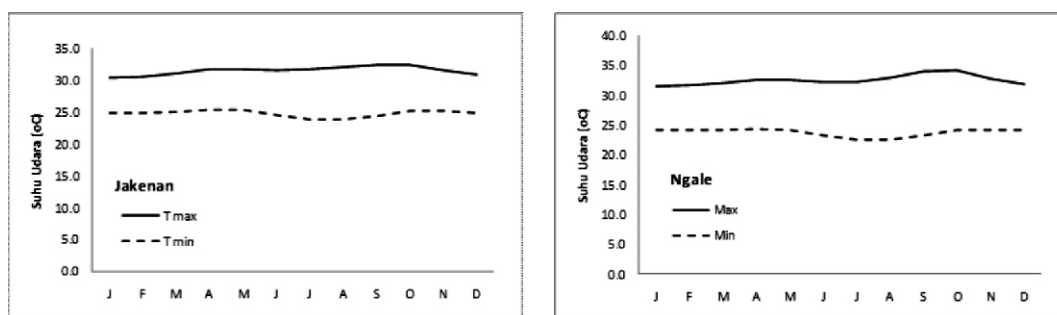
Kec	Kab	Prov	Lat	Long	Elevasi	Urea	Pupuk SP 36	KCl
Jakenan	Pati	Jawa Tengah	-6.633	111.167	7	350	75	50
Ngale	Ngawi	Jawa Timur	-7.433	111.383	55	300	75	50



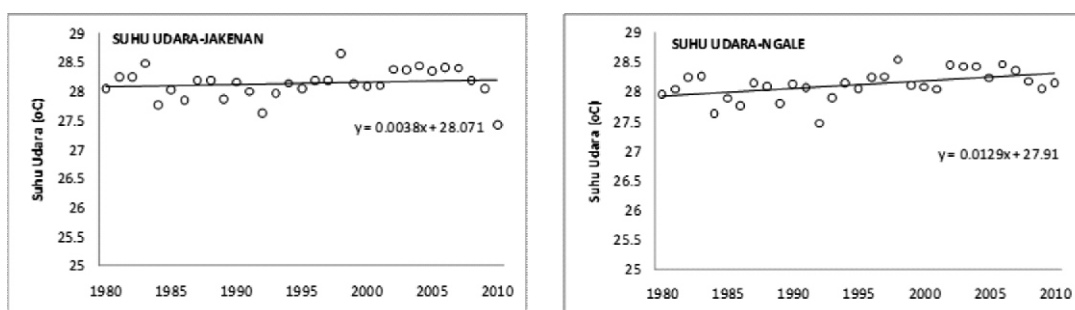
Gambar 1. Pola curah hujan dan evaporasi di Jakenan dan Ngale



Gambar 2. Tren curah hujan di Jakenan dan Ngale selama 30 tahun (1980-2010)



Gambar 3. Fluktuasi suhu udara maksimum dan minimum di Jakenan dan Ngale



Gambar 4. Tren suhu udara periode 1980-2010 (30 tahun) di Jakenan dan Ngale

Berdasarkan skenario perubahan suhu udara dengan 99 skenario, maka diperkirakan suhu akan menurun 1°C hingga meningkat 7,9°C. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2000) telah menyusun berbagai skenario proyeksi gas rumah kaca sampai tahun 2100. Berdasarkan pendekatan modeling diperoleh bahwa apabila konsentrasi CO₂ meningkat dua kali lipat dari konsentrasi saat ini maka diperkirakan suhu udara global akan meningkat antara 1,3°C sampai 2,7°C. Perubahan ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan sistem iklim global akibat terjadinya perubahan berbagai proses fisika yang terjadi antara laut dan atmosfer.

Untuk presipitasi diskenariokan mengalami penurunan hingga 50% atau peningkatan hingga 49%. Artinya pada skenario yang minimum, curah hujan menurun hingga setengahnya atau meningkat 1,49 kali dari normalnya. Untuk CO₂, kisarannya mulai dari 333 hingga 898 ppm. Sebagai perbandingan saat ini konsentrasi CO₂ di Atmosfer mencapai 400 ppm. Ketua *the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Profesor Rajendra Pachauri, menyatakan pada awal industrialisasi konsentrasi CO₂ hanya 280 ppm, namun saat ini kadar CO₂ di udara telah melewati ambang batas aman.

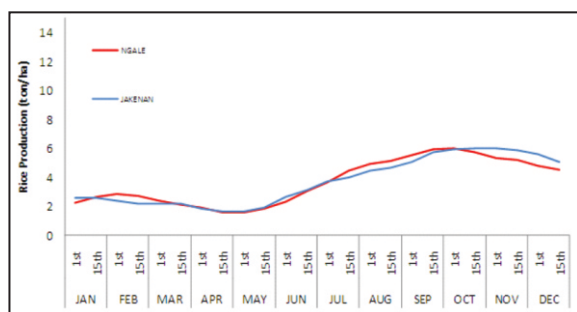
Studi yang dilakukan LAPAN [32] menunjukkan bahwa pada kondisi konsentrasi CO₂ dua kali lipat dari konsentrasi CO₂ saat ini, frekuensi kejadian ENSO yang saat ini terjadi sekali dalam 3-7 tahun akan meningkat menjadi sekali dalam 2-5 tahun. Apabila konsentrasinya 3 kali konsentrasi sekarang, frekuensi kejadian meningkat menjadi sekali dalam 2-3 tahun.

Selain itu, intensitas ENSO juga diperkirakan meningkat menjadi dua sampai tiga kali lipat. Dengan demikian dalam kondisi terjadinya pemanasan global, frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrim akan meningkat.

Potensi Hasil Padi Tanpa Skenario Perubahan Iklim. Hasil simulasi tanaman padi tanpa skenario perubahan iklim menunjukkan untuk padi tadah hujan rata-rata potensinya adalah 3700 kg/ha atau sekitar 3,7 ton/ha, dengan kisaran hasil padi pada sawah tadah hujan adalah 1,6 – 6 ton/ha. Puncak hasil tertinggi padi tadah hujan adalah sekitar Bulan Oktober-November (Gambar 5).

Hal ini sangat terkait dengan pola curah hujan masing-masing lokasi. Untuk lokasi sawah tadah hujan (Ngale dan Jekenan) hasil tertinggi seiring dengan curah hujan tinggi yang terjadi pada musun hujan (MH) sekitar Bulan Oktober-Maret untuk sebagian besar wilayah di Pulau Jawa. Sementara hasil rendah terjadi pada Bulan April-Mei.

Penelitian untuk mengetahui hubungan antara presipitasi dengan suhu udara dilakukan di United States dengan menggunakan data selama 80 tahun pada 1000 stasiun hujan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada musim panas, presipitasi dan suhu udara memiliki korelasi negatif yang diindikasikan dengan musim panas yang hangat cenderung kering terutama di bagian pusat dan bagian selatan Great Plains. Sebaliknya pada musim basah berkorelasi positif terutama di bagian selatan Great Lakes [33].



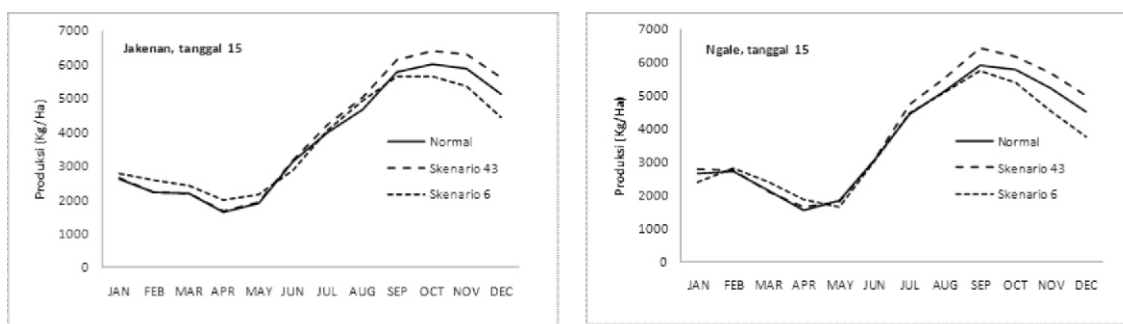
Gambar 5. Fluktuasi hasil padi tadah hujan tanpa skenario perubahan iklim

Potensi Hasil Padi Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim. Untuk mengetahui keragaan produksi padi akibat perubahan iklim, maka dilakukan running dengan 2 skenario, yaitu : (1) skenario 6 dengan batasan : perubahan suhu 1°C , perubahan curah hujan 34%, rainfall multiplier 1,34 dan konsentrasi CO_2 403 ppm, (2) skenario 43 dengan batasan : perubahan suhu $0,5^{\circ}\text{C}$, perubahan curah hujan -7% , rainfall multiplier 0,93 dan konsentrasi CO_2 537 ppm. Skenario perubahan suhu dilakukan sebagai pendekatan dalam running karena berdasarkan hasil proyeksi suhu diperkirakan terus meningkat. Informasi ini sejalan dengan hasil penelitian [34] yang menyebutkan bahwa diperkirakan akan terjadi kenaikan suhu udara sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$ pada tahun 2025 dan 1°C pada tahun 2050. Selain itu juga digunakan skenario kenaikan konsentrasi CO_2 dua kali lipat berdasarkan hasil kajian dari IPCC [35]. Dalam penelitian ini skenario perubahan suhu udara $0,5^{\circ}\text{C}$ dan 1°C , sedangkan konsentrasi CO_2 yang digunakan yaitu 403 ppm dan 537 ppm. Tanggal tanam adalah tanggal 15 setiap bulan. Perbandingan dilakukan untuk kondisi baseline (normal) dan kondisi berdasarkan skenario 6 dan 43. Lahan sawah tadah hujan diwakili oleh kondisi di Jakenan, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah dan Kecamatan Ngale, Kabupaten Ngawi, Provinsi Jawa Timur.

Hasil analisis di Jakenan menunjukkan bahwa pada kondisi normal produksi padi berkisar antara 1629,7 hingga 5990,3 kg/ha. Penerapan skenario perubahan suhu sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$ dan konsentrasi CO_2 537 ppm (skenario 43) menghasilkan potensi hasil berkisar antara 1663,5 hingga 6399,8 kg/ha. Apabila dibandingkan antara hasil normal dengan hasil skenario 43 diperoleh bahwa terjadi peningkatan hasil hampir di setiap bulannya kecuali Bulan Februari yang terjadi penurunan tetapi sangat kecil yaitu 0,1 kg/ha. Peningkatan hasil berkisar antara 2,2 hingga 502,5 kg/ha. Peningkatan hasil tertinggi terjadi pada Bulan Desember bertepatan dengan musim hujan sehingga kebutuhan air untuk tanaman tercukupi. Untuk skenario perubahan suhu 1°C dan konsentrasi CO_2 403 ppm menghasilkan potensi hasil 1995,9 sampai dengan 5623,0 kg/ha. Perubahan suhu dan konsentrasi

CO_2 meningkatkan hasil di bulan tertentu yaitu Januari-Mei dan Juli-Agustus, sedangkan pada Bulan Juni, September hingga Desember terjadi penurunan hasil. Peningkatan hasil berkisar antara 57,4 hingga 366,2 kg/ha, sedangkan penurunan hasil berkisar antara 142,9 hingga 677,3 kg/ha. Peningkatan hasil yang paling tinggi terjadi pada Bulan April (Gambar 6). Berdasarkan hasil rata-rata MH pada skenario 43 lebih tinggi dibandingkan kondisi normalnya, sedangkan pada skenario 6 lebih rendah. Artinya peningkatan suhu $0,5^{\circ}\text{C}$ masih memberikan dampak positif berupa peningkatan hasil pada MH di Jakenan sebesar 225,7 kg/ha. Sementara peningkatan suhu 1°C akan memberikan dampak berupa penurunan produksi sekitar 143,6 kg/ha. Pada MK, kedua skenario memberikan dampak berupa peningkatan produksi rata sebesar 92,1 kg/ha pada skenario 6 dan 171,6 kg/ha pada skenario 43 (Tabel 2).

Untuk kabupaten Ngale, pada kondisi normal potensi hasil berkisar antara 1557,7 hingga 5908,3 kg/ha. Perubahan suhu $0,5^{\circ}\text{C}$ dan konsentrasi CO_2 537 ppm (skenario 43) memberikan respon berupa peningkatan hasil kecuali pada Maret dan Mei. Peningkatan hasil berkisar antara 15,9 hingga 507,7 kg/ha. Sementara penurunan hasil terjadi pada Bulan Maret 32,7 kg/ha dan 59,7 kg/ha pada Bulan Mei. Untuk skenario perubahan suhu 1°C dan konsentrasi CO_2 403 ppm (skenario 6) memperlihatkan peningkatan hasil pada Bulan Februari-April dan Juli dengan kisaran 21,9 hingga 320,4 kg/ha. Sementara terjadi penurunan hasil di Bulan Januari, Mei-Juni, Agustus-Desember dengan kisaran 8,2 hingga 755,0 kg/ha (Gambar 6). Berdasarkan hasil rata-rata produksi pada MH, skenario 43 memberikan dampak berupa peningkatan produksi sebesar 243,0 kg/ha, sedangkan skenario 6 memberikan dampak berupa penurunan produksi 287,7 kg/ha. Dampak yang sama terjadi pada MK, dimana skenario 43 memberikan dampak positif peningkatan hasil sebesar 206,0 kg/ha dan skenario 6 penurunan hasil 13,4 kg/ha (Tabel 2). Berdasarkan hasil tersebut di atas, secara umum menunjukkan bahwa peningkatan suhu $0,5^{\circ}\text{C}$, CO_2 537 ppm dan penurunan curah hujan 7% masih memberikan dampak peningkatan produksi baik pada MH maupun MK. Sementara apabila suhu meningkat menjadi 1°C , CO_2 403 ppm dan perubahan curah hujan 34% dari normalnya akan memberikan dampak negatif berupa penurunan produksi baik pada MH maupun MK. Sebagai gambaran, hasil penelitian [36] menunjukkan bahwa hasil padi meningkat secara signifikan dengan peningkatan konsentrasi CO_2 , tetapi menurun pada suhu malam hari yg tinggi. Pengaruh suhu dan curah hujan terhadap produktifitas padi juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu $2,5^{\circ}\text{C}$ dan peningkatan curah hujan 25% akan menurunkan produktifitas padi dari 6,86 ton/ha menjadi 3,54 ton/ha [37].



Gambar 6. Fluktuasi produksi padi di Jakenan dan Ngale untuk skenario tanam tanggal 15

Tabel 2. Hasil simulasi produksi padi di Jakenan dan Ngale

Skenario/ lokasi	PRODUKSI PADA MUSIM HUJAN (Kg/ha)							PRODUKSI PADA MUSIM KEMARAU (Kg/ha)						
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Rata2	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Rata2
Jakenan														
Normal	5990.3	5876.5	5099.3	2603.4	2204.6	2180.0	3992.3	1629.7	1889.6	3108.6	3972.4	4648.8	5764.6	3502.3
Skenario 43	6399.8	6294.6	5601.8	2625.1	2204.5	2182.2	4218.0	1663.5	1912.2	3143.6	4208.3	5004.1	6111.6	3673.9
Skenario 6	5623.0	5326.7	4422.0	2749.2	2561.5	2409.8	3848.7	1995.9	2133.9	2867.9	4029.7	4917.2	5621.7	3594.4
Selish hasil														
Skenario 43	-409.5	-418.1	-502.5	-21.7	0.1	-2.2	-225.7	-33.9	-22.6	-35.0	-236.0	-355.3	-347.0	-171.6
Skenario 6	367.2	549.8	677.3	-145.8	-357.0	-229.8	143.6	-366.2	-244.3	240.7	-57.4	-268.4	142.9	-92.1
Ngale														
Normal	5759.3	5215.2	4508.1	2645.7	2727.5	2147.7	3833.9	1557.7	1857.9	3028.8	4438.2	5121.3	5908.3	3652.1
Skenario 43	6161.6	5661.2	4984.2	2787.9	2751.7	2115.0	4076.9	1639.0	1798.3	3044.7	4731.2	5519.2	6416.0	3858.1
Skenario 6	5367.2	4543.5	3753.1	2404.1	2815.1	2394.2	3546.2	1878.1	1632.9	3020.7	4460.1	5100.8	5739.4	3638.7
Selish hasil														
Skenario 43	-402.3	-446.0	-476.1	-142.2	-24.3	32.7	-243.0	-81.2	59.7	-15.9	-293.0	-397.9	-507.7	-206.0
Skenario 6	392.1	671.7	755.0	241.6	-87.7	-246.5	287.7	-320.4	225.0	8.2	-21.9	20.5	168.9	13.4

Berdasarkan hasil tersebut di atas terlihat bahwa perubahan suhu 0,5°C dan konsentrasi CO₂ 537 ppm masih mampu meningkatkan hasil hampir sepanjang tahun baik di Jakenan maupun di Ngale. Sementara pada perubahan suhu 1°C dan konsentrasi CO₂ 403 ppm masih mampu meningkatkan hasil tetapi pada periode yang lebih pendek. Artinya pengaruh perubahan suhu dan konsentrasi CO₂ pada batas tertentu mampu meningkatkan hasil, tetapi selebihnya akan menurunkan produksi.

Tanaman membutuhkan CO₂ untuk pertumbuhannya. Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer akan merangsang proses fotosintesis, meningkatkan pertumbuhan tanaman dan produktivitas pertanian tanpa diikuti oleh peningkatan kebutuhan air (transpirasi). Sebaliknya, kenaikan suhu di permukaan bumi mempunyai pengaruh yang "kurang menguntungkan" terhadap pertanian, dapat mengurangi bahkan menghilangkan pengaruh positif dari kenaikan CO₂. Gas CO₂ merupakan sumber karbon utama bagi pertumbuhan tanaman. Konsentrasi CO₂ di atmosfer saat ini belum optimal, sehingga penambahan CO₂ kepada tanaman di dalam industri pertanian di dalam rumah kaca merupakan

kegiatan normal untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti tomat, selada, timun dan bunga potong. Pengaruh fisiologis utama dari kenaikan CO₂ adalah meningkatnya laju asimilasi (laju pengikatan CO₂ untuk membentuk karbohidrat, fotosintesis) di dalam daun. Efisiensi penggunaan faktor-faktor pertumbuhan lainnya (seperti radiasi matahari, air dan nutrisi) juga akan ikut meningkat. Jika konsentrasi CO₂ di atmosfer ditingkatkan, hasil dari kompetisi antara CO₂ dan O₂ akan lebih menguntungkan CO₂, sehingga fotorespirasi terhambat dan asimilasi akan bertambah besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya suhu daun dari 15 °C ke 35 °C menyebabkan laju asimilasi (laju pengikatan CO₂ untuk membentuk karbohidrat, fotosintesis) di dalam daun bertambah besar. Meningkatnya asimilasi dengan kenaikan suhu merupakan fenomena umum, sampai suhu optimum tercapai, lalu akan terjadi penurunan. Adanya kenaikan CO₂ di atmosfer akan merubah suhu optimum tanaman. Dampak perubahan iklim juga dipelajari di India yang menunjukkan bahwa variasi iklim seperti kekeringan merupakan penyebab utama menurunnya produksi dan penurunan pendapatan bersih petani di lahan tadah hujan di Dharwad India

[38]. Sebagai perbandingan hasil penelitian di Cina menunjukkan bahwa dengan skenario perubahan iklim sampai dengan 2050 diperkirakan hasil padi meningkat 7,9-11,9% [39].

Dalam rangka pencapaian dan mempertahankan swasembada pangan 7 komoditas utama Padi, Jagung, Kedelai (PAJALE), Sapi, Tebu, Bawang Merah, dan Cabe, Kementerian Pertanian sedang giat melaksanakan program Upaya Khusus (UPSUS) di berbagai lokasi di seluruh Indonesia. UPSUS dilaksanakan dengan mengimplementasikan berbagai teknologi dalam rangka peningkatan luas tambah tanam dan produksi. Hal ini juga sekaligus sebagai upaya mewujudkan harapan Indonesia menjadi lumbung pangan dunia pada tahun 2045. Berdasarkan data proyeksi, diperkirakan pada tahun 2045 dibutuhkan lahan sawah seluas 10,12 juta ha sementara luas sawah yang tersedia tahun 2016 adalah 8,11 juta ha (69.000 ha/tahun). Berdasarkan hasil penelitian [40] laju konversi lahan diperkirakan 1,19 %/tahun, dan karena konversi dengan laju tersebut, maka lahan sawah seluas 8,11 juta ha pada tahun 2010 tersebut akan menciut menjadi 6,2 juta ha pada tahun 2045 bila konversi berlanjut dengan skenario *business as usual* (BAU). Peningkatan kebutuhan dan konversi lahan sawah mengharuskan adanya pencetakan sawah. Apabila laju konversi berlanjut seperti sekarang (BAU), maka untuk mengatasinya diperlukan pencetakan sawah seluas 130.000 ha/tahun. Pada tahun 2025 diperkirakan diperlukan sekitar 7,3 juta ha lahan bukaan baru untuk pengembangan padi, jagung, kedelai, tebu dan hortikultura, sedangkan pada tahun 2050 diperkirakan diperlukan tambahan lahan sekitar 14,9 juta ha sawah, lahan kering dan rawa. Oleh karena itu, saat ini Kementerian Pertanian giat melakukan upaya pemanfaatan lahan-lahan marginal dalam rangka menambah luas tanam seperti di lahan bekas tambang dan wilayah perbatasan. Untuk lahan sawah program peningkatan indeks pertanaman (IP) terus diupayakan melalui optimalisasi pemanfaatan sumber air. Sumber air diupayakan melalui embung, dam parit, *long storage*, pompanisasi dan saluran air dengan luas layanan saat ini sekitar 1.056.538 ha. Lahan sawah tadah hujan juga menjadi salah satu peluang peningkatan luas tambah tanam dan produksi. Salah satu strategi peningkatan produksi di lahan tadah hujan adalah optimalisasi lahan terutama terkait dengan pengelolaan sumberdaya iklim dan air. Perubahan iklim tidak dapat dihindari, oleh karena itu perlu dilakukan adaptasi atau penyesuaian tanpa mengabaikan mitigasi dengan tujuan peningkatan produksi. Penyesuaian dan pemilihan saat tanam yang tepat menjadi kunci keberhasilan tanam dan produksi. Penentuan teknologi seperti pemilihan varietas yang adaptif dan teknologi pengelolaan tanaman terpadu perlu dilakukan. Penggunaan

teknologi Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) membuktikan bahwa VUB yang ditanam secara gogorancah pada lahan sawah tadah hujan mampu menghasilkan gabah setara dengan hasil gabah VUB pada sawah irigasi. Kenaikan hasil 1-2 ton/ha akan menambah produksi padi nasional 2-4 juta ton [11]. Hal ini menunjukkan apabila dikelola dengan baik dan didukung dengan teknologi yang tepat, maka lahan tadah hujan berpotensi dan berperan dalam peningkatan produksi padi nasional. Hasil penelitian di Jakenan menunjukkan bahwa petani sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam budidaya tanaman yaitu : praktek pengelolaan, pengetahuan tentang prakiraan iklim, serta proses pengambilan keputusan terkait dengan informasi iklim [41]. Pemberdayaan sekolah lapang iklim, sekolah pengendalian hama terpadu dan lain-lain perlu dioptimalkan untuk meningkatkan pemahaman dan pemberdayaan petani untuk lebih peduli iklim. Pengelolaan sumberdaya lahan, iklim dan air menjadi kunci optimalisasi lahan tadah hujan didukung dengan teknologi lainnya seperti penggunaan varietas yang adaptif, pupuk, dan sebagainya. Peran teknologi pertanian sangat besar dalam rangka meminimalkan risiko akibat perubahan iklim. Oleh karena itu, teknologi yang tepat guna, tepat sasaran dan tepat waktu perlu disosialisasikan dan didesiminasikan.

4. Kesimpulan

Perubahan iklim yang diindikasikan melalui perubahan suhu udara, perubahan curah hujan dan konsentrasi CO₂ membawa pengaruh terhadap hasil padi di lahan tadah hujan di Jakenan dan Ngale.

Untuk lokasi Jakenan, berdasarkan hasil rata-rata MH perubahan suhu 0,5 °C, perubahan curah hujan -7% dan konsentrasi CO₂ 537 ppm (skenario 43) masih memberikan dampak positif berupa peningkatan hasil pada MH sebesar 225,7 kg/ha. Sementara peningkatan suhu 1°C, perubahan curah hujan 34% dan CO₂ 403 ppm (skenario 6) akan memberikan dampak penurunan produksi sekitar 143,6 kg/ha. Pada MK, kedua skenario memberikan dampak berupa peningkatan produksi rata sebesar 92,1 kg/ha pada skenario 6 dan 171,6 kg/ha pada skenario 43. Untuk lokasi Ngale, berdasarkan hasil rata-rata produksi pada MH, skenario 43 memberikan dampak berupa peningkatan produksi sebesar 243,0 kg/ha, sedangkan skenario 6 memberikan dampak berupa penurunan produksi 287,7 kg/ha. Dampak yang sama terjadi pada MK, dimana skenario 43 memberikan dampak positif peningkatan hasil sebesar 206,0 kg/ha dan skenario 6 penurunan hasil 13,4 kg/ha. Berdasarkan musim tanam, skenario 43 masih memberikan dampak peningkatan rata-rata produksi padi tadah hujan pada MH di Jakenan 225,7 kg/ha, di

Ngale 243,0 kg/ha, dan pada MK di Jakenan 171,6 kg/ha dan di Ngale 206,0 kg/ha. Sementara skenario 6 akan memberikan dampak berupa penurunan produksi pada MH di Jakenan 143,6 kg/ha dan di Ngale 287,7 kg/ha serta MK di Ngale 13,4 kg/ha, sedangkan MK di Jakenan masih memberikan dampak peningkatan hasil padi rata-rata sebesar 92,1 kg/ha.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project* (Ag MIP) melalui *Coordinated Climate-Crop Modeling Program* (C3MP) untuk penyediaan data proyeksi perubahan iklim (suhu udara, presipitasi dan CO₂). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Istiqlal Amien yang telah membantu memfasilitasi data-data proyeksi dengan C3MP serta Dr. Haris Syahbuddin yang telah memberikan saran dan masukan terhadap makalah ini. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Sisi Febrianti Muin, SSi, MS yang telah membantu dalam running DSSAT. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi seluruh pengguna.

Daftar Pustaka

- [1] BPS. *Laporan Hasil Sensus Pertanian 2013 (Pencacahan Lengkap)*. Badan Pusat Statistik. 2013
- [2] Fagi, A.M.. *Strategies for Improving Rainfed Lowland Rice Production System in Central Java*. In Ingram, K.T.(Ed), *Rainfed Lowland Rice : Agricultural Research for High-Risk Environments*, Manila : IRRI, p 189-199. 1995
- [3] Wani,S.P, T.K. Sreedevi, J. Rockström and Y.S. Ramakrishna. *Rainfed Agriculture-Past Trend and Future Prospects. Book Rainfed Agriculture : Unlocking the Potential*. Cabi in association with ICRISAT and IWMI. 2009
- [4] Valipour, M. *Necessity of Irrigated and Rainfed Agriculture in The World*. Irrigation and Drainage Systems Engineering. 2013.
- [5] Wani, S.P., Pathak, P., Jangawad, L.S., Eswaran, H. and Singh, P. "Improved management of vertisols in the semi-arid tropics for increased productivity and soil carbon sequestration." *Soil Use and Management*, vol. 19, pp. 217–222. 2003.
- [6] Rockström, J., Hatibu, N., Oweis, T. and Wani, S.P. Managing water in rainfed agriculture. In: Molden, D. (ed.) *Water for Food, Water for Life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London, UK and International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 315–348. 2007
- [7] FAO Agriculture: towards 2015/30. Technical Interim Report. <http://www.fao.org/esd/at2015/toce.htm>, diakses 2 Maret 2017.
- [8] Ramankutty, N., Foley, J.A. and Olejniczak, N.J. "People and land: changes in global population and croplands during the 20th century." *Ambio*, vol 31, no3, pp. 251–257. 2002.
- [9] Rosegrant, M., Ximing, C., Cline, S. and Nakagawa, N. *The role of rain-fed agriculture in the future of global food production*. EPTD Discussion Paper No. 90, Environment and Production Technology Division, IFPRI, Washington, DC, USA. 2002.
- [10] Setiobudi, D. and B. Suprihatno. *Res-ponse of flooding in gogoranch rice and moisture stress effect at repro-ductive stage in walik jerami rice. p.: 80-90* In Physiology of Stress Tolerance in Rice (V.P. Singh, R.K. Singh, B.B. Sing and R.S. Zeigler, ed.). NDUAT, India–IRRI, Philippines. 1996.
- [11] Fagi, A.M, dan I. Las. *Lingkungan Tumbuh Padi dalam Padi Buku 1*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 319 Hal. 1988
- [12] Taslim, H, dan A.M. Fagi. *Ragam Budidaya Padi dalam Padi Buku 1*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. 319 Hal. 1988.
- [13] Hidayati, R., Impron, and B. D. Dasanto. *Pengembangan kalender tanaman semi-dinamik untuk penyusunan alternative pola tanam dengan risiko iklim minimum berdasarkan karakteristik ENSO*. Laporan Hasil Penelitian-Hibah Penelitian I-MHERE B2C. Bogor. 2010
- [14] De Datta, S. K, *Principles and Practices of Rice Production*. John Wiley & Sons, New York. 1981.
- [15] Biswas, A.K and Chouduri, M.A. "Effect of water stress at different development stages of fiels grown rice". *Biol. Plant*. vol 26, pp. 263-266. 1984
- [16] Mapegau. "Pengaruh cekaman air terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr)." *J. Ilmiah Pertanian*, vol. 41, pp. 43-51. 2006.
- [17] Vergara, B.S, Jackson, B and Datta, S.K. de. "Deep water rice and its response to deep water stress". In *Climate and Rice*. vol 30, pp. 1-19. 1976
- [18] Weiguo Cheng, Hidemitsu Sakai, Kazuyuki Yagi, Toshihiro Hasegawa. 2009. Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest*

- Meteorology*, vol 149, pp 51–58. 2009.
- [19] Roy, K.S, P. Bhattacharyya, S. Neogi, K.S. Rao, T.K. Adhya. “Combined effect of elevated CO₂ and temperature on dry matter production, net assimilation rate, C and N allocations in tropical rice (*Oryza sativa* L.)”. *Field Crops Research*, vol 139, pp. 71–79. 2012.
- [20] Bhattacharyya, P, K.S. Roy, S. Neogi, P.K. Dash a, A.K. Nayak, S. Mohanty a, M.J. Baig, R.K. Sarkar, K.S. Rao. “Impact of elevated CO₂ and temperature on soil C and N dynamics in relation to CH₄ and N₂O emissions from tropical flooded rice (*Oryza sativa* L.)”. *Science of the Total Environment*, vol 461–462, 2013.
- [21] Chen Chao1, Zhou Guang-sheng and Zhou Li.. “Impacts of Climate Change on Rice Yield in China From 1961 to 2010 Based on Provincial Data”. *Journal of Integrative Agriculture*, vol 13, no 7, pp. 1555–1564. 2014
- [22] Bocchiola, D.. “Impact of potential climate change on crop yield and water footprint of rice in the Po valley of Italy.” *Agricultural Systems*, vol 139, pp. 223–237. 2015
- [23] Nanyan Deng, Xiaoxia Ling, Yang Sun, Congde Zhang, Shah Fahad, Shaobing Peng, Kehui Cui, Lixiao Nie, Jianliang Huang. 2015. “Influence of temperature and solar radiation on grain yield and quality in irrigated rice system.” *Europ. J. Agronomy*, vol 64, pp. 37–46.
- [24] Sushree Sagarika Satapathy, Dillip Kumar Swain, Surendranath Pasupalak, and Pratap Bhanu Singh Bhadoria. “Effect of elevated [CO₂] and nutrient management on wet and dry season rice production in subtropical India.” *The Crop Journal*, vol 3, pp. 468–480. 2015.
- [25] Zhang Jiahua, Fengmei Yao, Cui Hao, and Vijendra Boken. “Impacts of temperature on rice yields of different rice cultivation systems in southern China over the past 40 years”. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol 87, 153–159. 2015
- [26] Shuai Zhang, Fulu Tao, and Zhao Zhang. “Changes in extreme temperatures and their impacts on rice yields in southern China from 1981 to 2009.” *Field Crops Research*, vol 189, pp. 43–50. 2016.
- [27] Krishnan P, D.K. Swain, B. Chandra Bhaskar, S.K. Nayak, and R.N. Dash. “Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol 122, pp. 233–242. 2007.
- [28] Kazuki Saito, Ibnou Dieng, Ali A. Toure, Eklou A. Somado, and Marco C.S. Wopereis. “Rice yield growth analysis for 24 African countries over 1960–2012.” *Global Food Security*, vol 5, pp. 62–69. 2015.
- [29] Casper J. van der Kooi, Martin Reich, Markus Löw, Luit J. De Koka, Michael Tausza. “Growth and yield stimulation under elevated CO₂ and drought: A meta-analysis on crops.” *Environmental and Experimental Botany*, vol 122, pp. 150–157. 2016
- [30] Manne, A and R. Richels. “The greenhouse debate : economic efficiency burden sharing and hedging strategies.” *The Energy Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 1–37. 1995.
- [31] Hafsa, M.J. dan T. Sudaryanto. *Sejarah Intensifikasi Padi dan Prospek Pengembangannya. Ekonomi Padi dan Beras Indonesia*. (Ed. F. Kasryno, et.al., 2004). Badan Litbang Pertanian, Jakarta. 2004.
- [32] Ratag, M.A., Nested Climate Modelling. *First International Conference on Science and Its Impact on Indonesian Maritim Continent*, Jakarta. Desember 1997
- [33] Zhao, W and M.A.K. Khalil. “The Relationship between Precipitation and Temperature over the Contiguous United States.” *American Meteorology Society*, vol. 6, no. 6, 1993
- [34] Boer, R, I. Las dan J.S. Baharsjah, 2003. “Analisis Kerentanan dan Adaptasi Terhadap Keragaman dan Perubahan Iklim.” *Paper disajikan dalam Simposium VI Perhimpn, Biotrop* 9–10 September 2003.
- [35] IPCC. Emission scenarios. *A Special Report of Working Group III of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 2000
- [36] Cheng, W, H. Sakai, K. Yagi and T. Hasegawa. “Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology*”, vol 149, pp. 51–58. 2009
- [37] Hosang, P.R, J. Tatu dan J.E.X, Rogi. 2012. “Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Produksi Beras Provinsi Sulawesi Utara Tahun 2013 – 2030.” *Eugenia*, vol. 18, no. 3, 2012.
- [38] Asha latha K. V., Munisamy Gopinath, and A. R. S. Bhat. “Impact of Climate Change on Rainfed Agriculture in India : A Case Study of Dharwad.” *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 3, no. 4, 2012.
- [39] Zang J, L. Feng, H. Zou and D.L. Liu. 2015. “Using ORYZA2000 to model cold rice yield response to climate change in the Heilongjiang province, Cina.” *The Crop Journal*, vol 3, 317–327.
- [40] Ka Balai Besar Penelitian dan Pengembangan

- Sumberdaya Pertanian (BBSDLP). *Grand Design Penyediaan Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Tujuh Komoditas Strategis*. Bahan Tayang. 2016.
- [41] Dewi, E.R. and A.M. Whitbread. "Use of Climate Forecast Information to Manage Lowland Rice-Based Cropping Systems in Jakenan, Central Java, Indonesia." *Asian Journal of Agricultural Research*. vol 11, 66-77. 2017