

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PRODUKTIVITAS PADI DI PULAU JAWA DI MASA MENDATANG

Leni Nazarudin

Direktorat Perubahan Iklim - BMKG

Informasi Artikel

Sejarah Artikel:

Accepted November 27, 2024

Kata Kunci :

AquaCrop, CORDEX-SEA, simulasi tanaman, proyeksi, produksi padi

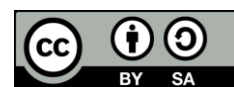
Keywords:

AquaCrop, CORDEX-SEA, crop simulation, projection, rice production

ABSTRAK

Menggunakan data proyeksi iklim keluaran ensembel model dari Project CORDEX-SEA (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-South East Asia) berbasis grid (25 km x 25 km) di Pulau Jawa (205 grid), dilakukan simulasi pertumbuhan dan produksi tanaman padi menggunakan model AquaCrop FAO (AquaCrop64bit versi 5.0). Data proyeksi iklim merupakan ensemble dari 6 model yaitu : CNRM-CM5, CSIRO-MK3.6, EC-EARTH, GFDL-ESM2M, IPSL dan MPI-ESM-MR yang terdiri dari periode 30 tahun data yaitu data historis periode 1976-2005, data skenario RCP4.5 periode 2020-2049 dan data skenario RCP8.5 periode 2020-2049 berupa data harian curah hujan, suhu maksimum, suhu rata-rata dan suhu minimum. Simulasi AquaCrop menggunakan variabel data iklim dan tekstur tanah dengan sumber irigasi dari air hujan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi (meningkat atau menurun) di Pulau Jawa di masa mendatang. Dampaknya diketahui dari persentase perubahan produktivitas padi pada periode near future (2020-2049) terhadap periode historis (1976-2005) menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 di bulan-bulan musim hujan, musim kemarau dan peralihan musim. Perubahan iklim berdampak meningkatkan produktivitas padi 0-30% pada bulan-bulan musim hujan di seluruh Pulau Jawa dan pada bulan-bulan musim kemarau berdampak menurunkan produktivitas padi 60-90% dengan skenario emisi tinggi (RCP8.5) di wilayah sentra produksi padi di wilayah pantai utara Jawa Barat, Jawa Tengah dan sentra produksi padi di Jawa Timur. Kondisi ini dapat mengancam ketahanan pangan nasional di masa mendatang.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis Koresponden

Leni Nazarudin

Direktorat Perubahan Iklim - BMKG

Email: leni.trisna72@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim berdampak ke semua sektor kehidupan. Sektor pertanian merupakan sektor yang sangat strategis dalam penyediaan pangan nasional. Kondisi iklim dan komposisi atmosfer sangat berpengaruh terhadap proses fisiologi di dalam tanaman pertanian yang pada akhirnya menentukan produktivitas tanaman pangan. Dampak perubahan iklim semakin jelas melalui perubahan variabel iklim seperti suhu dan curah hujan [1]. Ditemukan bukti bahwa peningkatan suhu dan curah hujan melebihi nilai *threshold* tertentu dapat merusak produktivitas padi dan jagung.

Perubahan utama pada atmosfer bumi adalah konsentrasi CO₂ yang telah meningkat sejak permulaan revolusi industri. Kenaikan konsentrasi CO₂ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer memperkuat efek rumah kaca yang berimplikasi pada kenaikan suhu global. Laporan *Working Group I* [2], sejak 2011 (pengukuran dilaporkan dalam AR5), konsentrasi CO₂ telah terus meningkat di atmosfer, mencapai rata-rata tahunan 410 ppm untuk karbon dioksida (CO₂) pada 2019. Dilaporkan juga bahwa pada tahun 2011–2020, suhu permukaan global meningkat sebesar 1,09°C (dengan kisaran antara 0,95 hingga 1,20°C) dari tahun 1850–1900, dengan peningkatan di daratan 1,59°C lebih besar dibanding di lautan yaitu 0,88°C.

Konsentrasi CO₂ di udara makin tinggi, suhu makin panas, dan iklim ekstrim (El-Nino/ La-Nina) akan lebih sering terjadi. Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer mempunyai pengaruh positif terhadap produktivitas biomass, tetapi pengaruhnya terhadap penurunan produktivitas padi berhubungan dengan peningkatan suhu udara. Berdasarkan simulasi tanaman, kenaikan suhu rata-rata 1 °C akan menurunkan produktivitas padi 5-7% [3]. Penurunan hasil tersebut disebabkan oleh berkurangnya pembentukan gabah, pendeknya periode pertumbuhan, dan meningkatnya respirasi [4]. Peningkatan suhu malam hari lebih besar daripada suhu siang [5]. Hasil padi berkolerasi negatif dengan suhu minimum malam hari [6]. Hasil gabah berkurang 10% untuk kenaikan suhu minimum 1°C pada musim kemarau. Produktivitas padi di Indonesia lebih sensitif terhadap perubahan curah hujan dan suhu maksimum dibandingkan dengan suhu rata-rata dan suhu minimum. Hasil simulasi sederhana menunjukkan kenaikan curah hujan di atas titik balik sebesar 1% akan mengurangi produktivitas padi sebesar 0,00796. Sementara kenaikan suhu maksimum di atas titik balik sebesar 1% akan mengurangi produktivitas padi sebanyak 0,09039% [7].

Dengan kondisi yang iklim yang berubah, ada kebutuhan untuk mengetahui kondisi iklim di masa depan guna mengantisipasi dampak yang ditimbulkan. Proyeksi iklim adalah representasi dari kondisi iklim di masa depan (puluhan sampai 100 tahun ke depan) berdasarkan skenario iklim yang digunakan. Skenario iklim adalah berbagai kemungkinan iklim di masa mendatang berdasarkan input yang berbeda-beda. Proyeksi iklim dilakukan melalui simulasi iklim dengan meniru proses alami dengan super komputer. Terdapat beberapa model *Global Climate Model* (GCM) yang dihasilkan dari berbagai institusi yang melakukan running simulasi iklim. GCM mempunyai resolusi yang masih kasar, sehingga untuk memperoleh resolusi yang lebih tinggi perlu dilakukan proses downscaling yaitu statistical dan dynamical downscaling. Kebutuhan data proyeksi tinggi untuk wilayah Asia Tenggara telah ditindak lanjuti dengan terbentuknya SEACLID (*South East Asia Regional Climate Downscaling*) atau CORDEX-SEA (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-South East Asia*) project sejak 2012. SEACLID/CORDEX-SEA telah menghasilkan data proyeksi model CMIP5 dari 15 GCM resolusi 25 km dengan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 untuk wilayah Asia Tenggara.

IPCC merilis empat skenario *Representative Concentration Pathways* (RCPs) ditentukan oleh perkiraan total *radiative forcing*-nya di 2100 relatif terhadap 1750. Keempat RCP ini termasuk satu skenario mitigasi yang menghasilkan forcing sangat rendah level RCP2.6, dua skenario stabil RCP4.5 dan RCP6,0, dan satu skenario emisi gas rumah kaca yang sangat tinggi RCP8.5 [8].

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan kondisi lingkungan dalam hal ini parameter iklim dan konsentrasi CO₂ atmosfer terhadap produktivitas tanaman dilakukan simulasi model tanaman. AquaCrop merupakan model simulasi tanaman dari FAO yang mensimulasikan produktivitas tanaman sebagai respon terhadap air [9,10]. AquaCrop sudah digunakan secara luas dalam berbagai kajian untuk melihat pengaruh berbagai faktor seperti ketersediaan air dan irigasi pada berbagai tanaman. [11] menggunakan AquaCrop untuk mensimulasikan pengaruh peningkatan CO₂ terhadap tanaman. [12] menggunakan AquaCrop untuk tanaman Jagung. [13] mensimulasikan AquaCrop untuk tanaman kapas. Serangkaian penelitian dirancang menggunakan model AquaCrop (FAO) untuk mensimulasikan produksi padi di masa mendatang sebagai dampak dari perubahan iklim. [14] menggunakan AquaCrop untuk memproyeksikan produksi padi, jagung dan gandum di wilayah Himalaya. [15] mensimulasikan produksi padi dengan AquaCrop di wilayah sawah irigasi di Malaysia. [16] melakukan simulasi produksi padi, jagung dan gandum menggunakan GCM di China.

Selain AquaCrop, para peneliti juga menggunakan Crop model lain seperti CERES dan APSIM. Amnuaylojaroen, Chanvichit, Janta dan Surapipith (2021) menggunakan model simulasi *CERES-*

Rice untuk padi dan jagung melaporkan bahwa proyeksi tahun 2020-2029 perubahan iklim mempunyai efek negatif pada produksi padi dan jagung di Thailand utara. [17] menggunakan model CERES-Rice untuk mensimulasikan produksi padi di China Daratan Timur Laut (NECP). [18] menggunakan model APSIM untuk mensimulasikan produksi padi di Pulau Jawa.

Padi merupakan tanaman pokok penting di Indonesia. Sentra produksi padi tersebar di beberapa provinsi di Indonesia terutama di Pulau Jawa. Tiga provinsi di Pulau Jawa yaitu : Provinsi Jawa Barat, Jawa Tengah dan Jawa Timur menjadi sentra produksi terbesar di Indonesia. Produksi padi Pulau Jawa menyumbang 56.39% produksi padi nasional [19] .

Perubahan iklim akan berdampak langsung terhadap produksi padi di wilayah sentra produksi padi nasional di Pulau Jawa. Penelitian tentang dampak perubahan iklim terhadap produksi padi di Pulau Jawa masih sangat terbatas. [20] menggunakan proyeksi iklim masa depan skenario RCP8.5 di Subang Jawa Barat. Hasilnya menunjukkan kenaikan produktivitas padi 19% pada periode 2021-2050. Model CROPWAT digunakan untuk mensimulasikan produksi padi di Sumedang Jawa Barat [21]. Hasil simulasi menunjukkan penurunan produktivitas sebesar 32.00% dan 31.80% pada jangka menengah (2011-20140), untuk skenario RCP8.5 dan RCP4.5 dibandingkan dengan baseline. Simulasi produksi padi menggunakan model APSIM di Pulau Jawa menggunakan data CORDEX-SEA dari 2 model CMIP5 yaitu CSIRO-MK3.6 dan HadGem2 menunjukkan kenaikan produksi padi mencapai lebih dari 20% pada musim hujan (CSIROMK3.6) dan penurunan produksi padi musim hujan dan musim kemarau (HadGem2) pada periode 2021-2035 dan 2036-2050 [18].

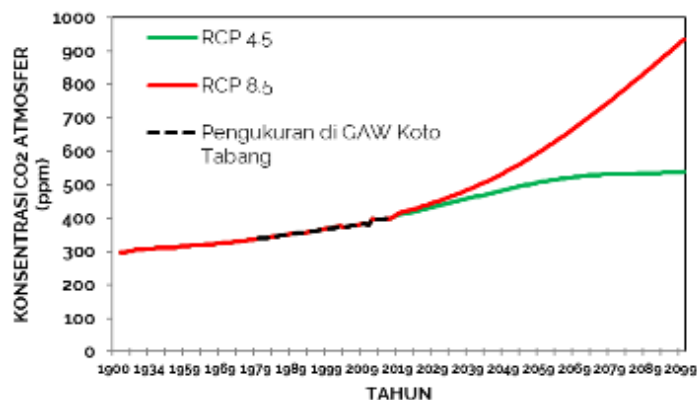
Penelitian ini dirancang menggunakan data ensemble 6 model CORDEX_SEA dan model AquaCrop untuk mensimulasikan produksi padi. Tujuannya untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi di Pulau Jawa di masa mendatang (2020-2049). Ingin diketahui perubahan produktivitas padi di Pulau Jawa periode *near future* (2020-2049) terhadap periode historis (1976-2005) menggunakan skenario RCP4.5 dan RCP8.5 di bulan-bulan musim hujan, musim kemarau dan musim peralihan.

Hasil penelitian ini bermanfaat sebagai salah satu masukan dan acuan untuk para pengambil keputusan (*stakeholders*) mengenai dampak perubahan iklim terhadap produktivitas padi di Pulau Jawa.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yang akan diinput ke dalam model tanaman yaitu data iklim dan data non iklim. Data iklim yang digunakan adalah data proyeksi iklim keluaran ensemble 6 model CMIP5 dari Project CORDEX-SEA (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-South East Asia*) berbasis grid (25 km x 25 km) di Pulau Jawa (205 grid). Terdiri 6 model yaitu: CNRM-CM5, CSIRO-MK3.6, EC-EARTH, GFDL-ESM2M, IPSL dan MPI-ESM-MR. Data CORDEX digunakan masing-masing periode 30 tahun yang terdiri dari: data historis periode 1976-2005, data skenario RCP4.5 periode *near future* (2020-2049) dan data skenario RCP8.5 periode *near future* 2020-2049 berupa data harian curah hujan, suhu maksimum, suhu rata-rata dan suhu minimum. Skenario RCP4.5 dan RCP8.5 mencerminkan kondisi sebagai batas bawah yang realistis dan skenario terburuk sebagai kondisi batas atas.

Dalam melakukan simulasi produktivitas padi, dibutuhkan input posisi lintang dan ketinggian masing-masing grid. Untuk informasi ketinggian tempat, diduga dari data peta digital SRTM yang diunduh dari web Badan Informasi Geospasial (BIG). Selain itu konsentrasi CO₂ juga menjadi salah satu input. Untuk data historis (1976-2005) digunakan file hasil pengukuran CO₂ di stasiun GAW Koto Tabang Bukittinggi tahun 2004-2018. Untuk data global sebelum 2004 menggunakan data GGGRN dari NOAA-ESRL. Data 2009 dan berikutnya menggunakan data masing-masing RCP tanpa pembulatan menggunakan data dari RCP *database* (Gambar 1).



Gambar 1. Data Konsentrasi CO2

Proses simulasi produktivitas padi menggunakan software AquaCrop FAO (AquaCrop64bit versi 5.0) dengan beberapa input yaitu iklim dan non iklim. Input non iklim berupa input tanaman (crop), irigasi, manajemen di lapangan, air tanah dan profil tanah (tekstur tanah). Data tekstur tanah per grid diperoleh dari portal website FAO. Data iklim diolah dengan software Microsoft Excel. Pembuatan peta digunakan peta dasar, peta administrasi dan peta sebaran sawah di Pulau Jawa (Gambar 2). Peta dibuat menggunakan program ArcGIS 10 dan interpolasi menggunakan metode IDW.

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan. Pada tahapan awal adalah penyiapan data iklim. Data proyeksi iklim dari ensemble model CMIP5 dari Project CORDEX-SEA dalam format csv berisi data harian curah hujan, suhu rata-rata, suhu maksimum dan suhu minimum berbasis grid. Pada tahap awal dilakukan perubahan format data dari csv menjadi txt (text delimited) masing-masing 3 kelompok data yaitu historis, RCP4.5 dan RCP8.5). Proses ini diperlukan karena AquaCrop menggunakan input data iklim dalam format txt. Selanjutnya dilakukan import data iklim (file txt) ke AquaCrop. Nilai ETo (Evapotranspirasi potensial) dihitung menggunakan metode PenMan-Monteith [22]. Pada tahap ini juga dilakukan import file CO2 ke AquaCrop.



Gambar 2. Peta sebaran sawah di Pulau Jawa (sumber: Peta Land Cover dari KLHK, 2018)

Tahapan selanjutnya adalah simulasi tanaman dengan AquaCrop. Simulasi AquaCrop, membutuhkan input data kondisi lingkungan dan tanaman (Gambar 3) yaitu: Iklim /climate (CLI), tanaman/crop (CRO), irigasi/irrigation (IRR), manajemen Lapangan/field (MAN), profil tanah/soil profile (SOL), dan air tanah/ground water (GWT).

Proses simulasi dimulai dengan meng-input data proyeksi iklim ke dalam AquaCrop. Data proyeksi iklim per grid untuk masing-masing periode dan skenario RCP dalam format txt (text delimited) dilakukan import ke AquaCrop. Di dalam Aqua Crop data iklim dalam format txt diubah menjadi 3 file baru yaitu: file.PLU (file data curah hujan), file.Tnx (file data suhu) dan file. ETo (file

evapotranspirasi potensial). Pada tahap ini juga dilakukan import file CO₂ ke AquaCrop. Berhasilnya import data iklim ke AquaCrop ditandai dengan terbentuknya file *.CLI



Gambar 3. Komponen yang diinput dalam proses simulasi model AquaCrop. Kotak merah adalah komponen non iklim

Selanjutnya untuk faktor tanaman (*crop*) membutuhkan informasi umur tanaman, kelompok tanaman C3 atau C4, tanam langsung atau transplanting serta densitas tanaman. Menurut [23], umumnya padi yang ditanam di Indonesia dengan umur panen 115 hari. Beberapa varietas padi unggulan yang paling banyak ditanam petani di Indonesia adalah varietas Ciherang dan IR 64, Cibogo, Cigeulis dan Ciliwung. Varietas Ciherang berumur 116-125 hari dan varietas IR 64 berumur 110-120 hari [24]. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan umur tanaman 115 hari. Padi termasuk tanaman C3 yang dapat memfiksasi karbon atmosfer (CO₂) menjadi intermediet berkarbon rangkap tiga pada proses fotosintesis. Umumnya petani di Indonesia melakukan persemaian terlebih dahulu, kemudian setelah 10-14 hari dipindahkan ke lahan sawah (transplanting). Terdapat variasi jarak tanam yang digunakan petani. Digunakan asumsi jarak tanam yang digunakan 20 cm x 20 cm dengan densitas 250.000 rumpun/Ha [25]. Diasumsikan tanaman tidak mengalami stress air, stress ketidaksuburan (fertility stress) dan stress salinitas. Informasi tentang tanaman disimpan dalam file.CRO. Untuk informasi irigasi digunakan pilihan *rainfed cropping* (irigasi hanya dari air hujan). *Soil profile* menggunakan tekstur tanah di masing-masing grid.

Setelah diperoleh formula inputan AquaCrop (Iklim, Tanaman, Irigasi, Tekstur tanah, dll), selanjutnya dilakukan running model AquaCrop untuk tiga jenis data ensemble model CORDEX yang berbasis grid yaitu: data historis (1976-2005), data proyeksi skenario menengah RCP4.5 (2020-2049), data proyeksi skenario tinggi RCP8.5 (2020-2049). Total ada 205 grid untuk seluruh Pulau Jawa. Proses running AquaCrop terdapat 2 input yang menjadi variabel yaitu data iklim (data proyeksi masing-masing grid) dan tekstur tanah masing-masing grid. Running dilakukan setiap bulan (asumsi tanam tanggal 1 setiap bulan) selama 30 tahun untuk masing-masing skenario RCP dan historis. Keluaran (output) running AquaCrop adalah produktivitas padi dalam ton/ha setiap bulan selama 30 tahun. Nilai ini dirata-rata selama 30 tahun. Selanjutnya dilakukan perhitungan proyeksi perubahan produktivitas padi periode 2020-2049 terhadap periode historis (1976-2005) untuk skenario RCP4.5 dan 8.5 dalam ton/ha dan dalam % untuk setiap grid dengan rumus sebagai berikut:

1. Proyeksi perubahan produktivitas padi dalam ton/ha (persamaan 1)

$$\Delta P = P \text{ near future} - P \text{ historis} \dots\dots\dots 1)$$

Dimana: ΔP adalah proyeksi perubahan produktivitas padi dalam ton/ha, P near future (ton/ha) adalah produktivitas padi periode 2020-2049 dan P historis (ton/ha) adalah produksi padi periode historis 1976-2005.

Proyeksi perubahan produktivitas padi dalam ton/ha digunakan untuk menghitung prosentase proyeksi perubahan padi

2. Proyeksi perubahan produktivitas padi dalam % (persamaan 2)

$$\Delta P (\%) = \frac{\Delta P (\text{ton/ha})}{P \text{ historis } (\text{ton/ha})} \times 100\% \dots 2)$$

Dimana: ΔP (%) adalah prosentase proyeksi perubahan produktivitas padi

Selanjutnya untuk memberikan deskripsi kondisi curah hujan dan suhu rata-rata pada masa tanam, data curah hujan harian dan data suhu rata-rata harian dirata-ratakan selama periode 30 tahun (periode 1976-2005 dan periode 2020-2049) setiap 4 bulanan (selama musim tanam) untuk setiap grid. Kemudian dilakukan perhitungan proyeksi perubahan curah hujan (%) dan proyeksi perubahan suhu rata-rata (°C) dengan rumus sebagai berikut:

3. Proyeksi perubahan curah hujan dalam % (persamaan 4)

$$\Delta R_i (\text{mm}) = R_i \text{ near future } (\text{mm}) - R_i \text{ baseline } (\text{mm}) \dots 3)$$

Dimana: ΔR_i adalah Proyeksi selisih curah hujan (mm) bulan ke I, R_i near future adalah curah hujan rata-rata bulan ke i periode 2020-2049, R_i baseline adalah curah hujan bulan ke i periode historis (1976-2005)

$$\Delta R_i (\%) = \frac{\Delta R_i (\text{mm})}{R_i \text{ baseline } (\text{mm})} \times 100\% \dots 4)$$

Dimana: ΔR_i (%) adalah proyeksi perubahan curah hujan (%) bulan ke i

4. Proyeksi perubahan suhu dalam °C (persamaan 5)

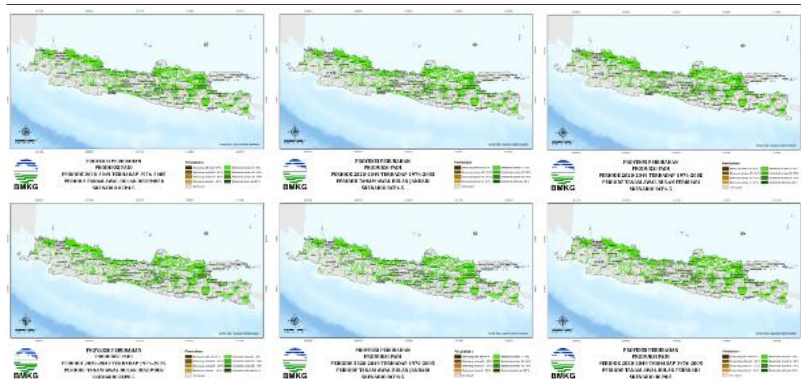
$$\Delta T_i = T_i \text{ near future} - T_i \text{ baseline} \dots \dots \dots 5)$$

Dimana: ΔT_i adalah Proyeksi perubahan suhu (°C) bulan ke I, T_i near future adalah suhu bulan ke i periode 2020-2049 dan T_i baseline adalah rata-rata suhu bulan ke i periode baseline (1976-2005).

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah pemetaan dan interpolasi. Proyeksi perubahan produktivitas padi dalam satuan % untuk masing-masing RCP4.5 dan 8.5 dipetakan menggunakan Software ArcGis 10 dan dilakukan interpolasi menggunakan Metode IDW dengan boundary polygon sawah di Pulau Jawa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

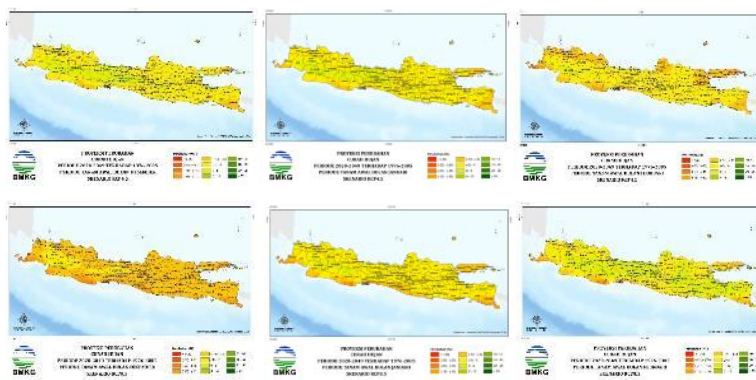
Proyeksi perubahan produktivitas padi (%) periode near future (2020-2049) terhadap periode historis (1976-2005) menggunakan skenario RCP4.5 dan 8.5 dengan tanam padi awal Desember, Januari dan Februari (Gambar 4), tanam awal Maret, April dan Mei (Gambar 7), tanam awal Juni, Juli dan Agustus (Gambar 8) dan tanam awal September, Oktober dan November (Gambar 11). Hasil simulasi AquaCrop menggunakan skenario RCP4.5 dan 8.5 pada bulan-bulan musim hujan, produktivitas padi di masa mendatang (periode 2020-2049) di Pulau Jawa mengalami peningkatan dibanding periode historis (1976-2005) bila ditanam pada awal Desember, Januari dan Februari (Gambar 4).



Gambar 4. Proyeksi perubahan produktivitas padi periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Desember, Januari dan Februari skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

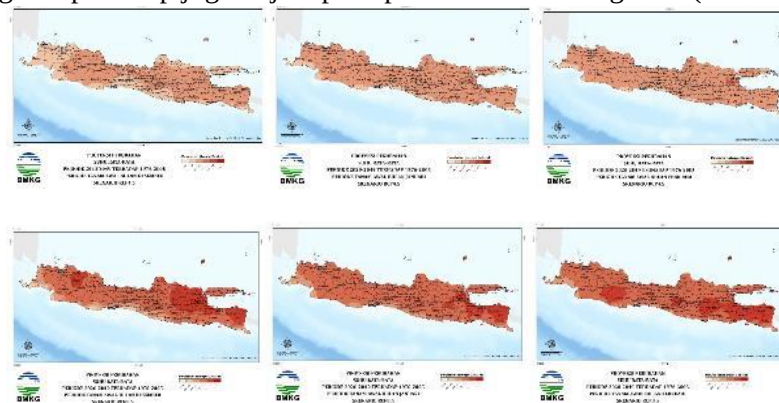
Penelitian menggunakan simulasi model APSIM, proyeksi produktivitas padi pada musim hujan (MH) kedua periode 2021-2035 dan 2036-2050 dengan model CSIRO MK3.6 menunjukkan peningkatan di seluruh Pulau Jawa untuk skenario RCP4.5 dan RCP8.5 [18]. Peningkatan produksi padi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di masa mendatang dalam hal ini konsentrasi CO₂ yang meningkat (Gambar 1) curah hujan dan suhu rata-rata masih mendukung terhadap pertumbuhan, perkembangan dan hasil tanaman.

Kondisi curah hujan dan suhu rata-rata pada masa tanam (sekitar 4 bulan) pada penanaman padi di awal Desember, Januari dan Februari ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Pada skenario RCP4.5, curah hujan rata-rata secara spasial didominasi oleh peningkatan curah hujan dengan kisaran mulai dari berkurang 10% sampai bertambah 15% (Gambar 5). Suhu rata-rata selama masa tanam meningkat dengan kisaran antara 0.9 °C sampai 1,1 °C. Pada skenario RCP8.5 didominasi oleh penurunan curah hujan mencapai 20% serta kenaikan suhu berkisar antara 0.9 °C sampai melebihi 1,2 °C. Kenaikan suhu pada skenario RCP8.5 lebih tinggi daripada skenario RCP4.5 (Gambar 6).

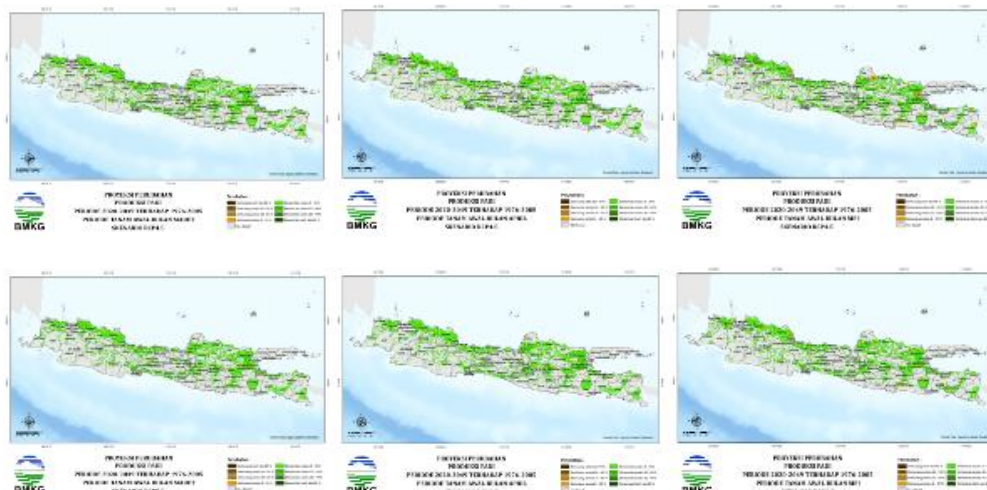


Gambar 5. Proyeksi perubahan curah hujan periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Desember, Januari dan Februari skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

Hasil simulasi AquaCrop penanaman di bulan-bulan musim kemarau yaitu bulan Juni, Juli dan Agustus dengan skenario RCP4.5, secara umum diproyeksikan terjadi kenaikan produktivitas padi berkisar antara 0-30%. Di beberapa lokasi di sebagian Kabupaten Jember, Lumajang dan Banyuwangi mengalami kenaikan produktivitas mencapai 60%. Pada penanaman bulan Juni dibanding bulan Mei, terjadi penambahan luasan sawah yang mengalami penurunan produktivitas berupa spot-spot di Kabupaten Karawang, Subang, Indramayu, Cirebon, Banyumas, Pati, Grobogan, Kudus, Tuban, Lamongan, Tulung Agung, Trenggalek, Blitar, Malang dan Pasuruan. Penurunan produktivitas mencapai 30% terjadi menyeluruh di lahan sawah di Kabupaten Lamongan, Gresik dan Tulung Agung di Jawa Timur. Pada penanaman di bulan Juli, sebaran lahan sawah yang mengalami penurunan produktivitas mencapai 30% tersebar di Indramayu, Cirebon, Banyumas, Sidoarjo, Malang, Mojokerto dan seluruh lahan sawah di Kabupaten Pati, Tulung Agung, Trenggalek dan Blitar. Keadaan yang hampir mirip juga terjadi pada penanaman awal Agustus (Gambar 8).

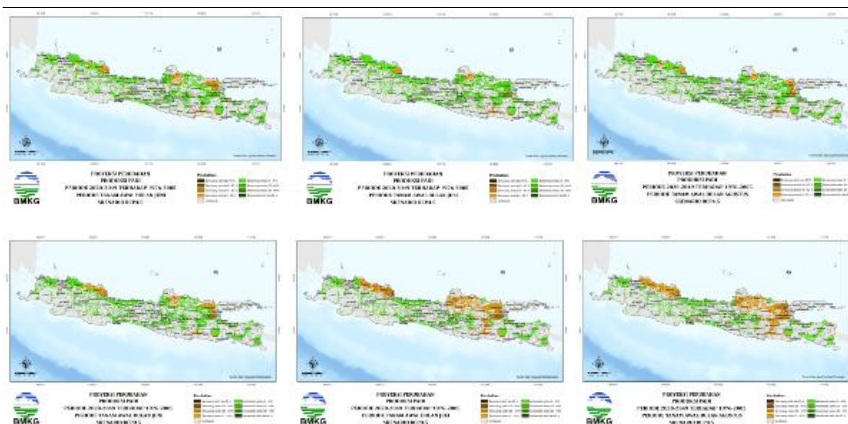


Gambar 6. Proyeksi perubahan suhu rata-rata periode tanam (4 bulan) periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Desember, Januari dan Februari RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)



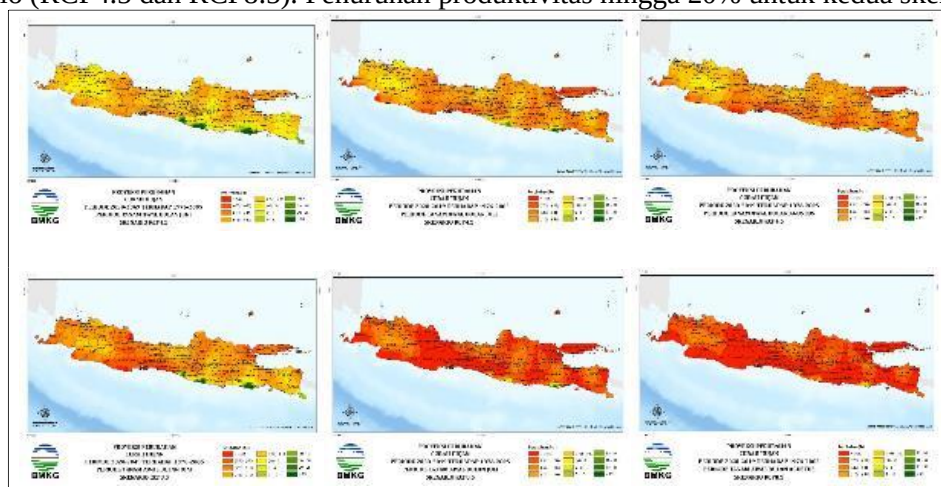
Gambar 7. Proyeksi perubahan produktivitas padi periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Maret, April dan Mei skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

Menggunakan skenario RCP8.5, hasil simulasi AquaCrop penanaman padi di bulan-Juni, Juli dan Agustus menunjukkan hasil yang hampir mirip dengan skenario RCP4.5 yang didominasi kenaikan produktivitas di bawah 30% di Pulau Jawa. Di beberapa lokasi di sebagian Kabupaten Jember, Lumajang dan Banyuwangi mengalami kenaikan produktivitas mencapai 60%. Penanaman padi di awal Juni wilayah yang mengalami penurunan mirip dengan RCP4.5. Pada penanaman awal bulan Juli dan Agustus terjadi peningkatan luas sawah yang mengalami penurunan produktivitas lebih ekstensif antara 30-60% yaitu di wilayah sentra padi di pantai utara Jawa Barat yaitu seluruh lahan sawah Karawang, Indramayu, Cirebon dan sebagian Subang dan Majalengka. Luasan areal yang mengalami penurunan produktivitas antara 30-60% juga meningkat lebih ekstensif di wilayah sentra produksi padi di Jawa Tengah yaitu seluruh areal sawah di Kabupaten Demak, Kudus, Rembang, Grobogan dan Blora. Sebagian areal sawah di Sragen, Banyumas dan Cilacap. Di wilayah sentra produksi padi di Jawa Timur penurunan produktivitas padi antara 60-90% yaitu seluruh areal sawah di Kabupaten Lamongan, Gresik, Bojonegoro, Nganjuk, Mojokerto, Sidoarjo, Trenggalek, Tulung Agung, Blitar, kota Surabaya dan Kediri. Sebagian areal sawah di Tuban, Kota Jombang, Malang dan Ponorogo, Banyuwangi dan Sampang Madura (Gambar 8). Data BPS Provinsi Jawa Barat tahun 2020, produksi padi 3 tahun terakhir (2018-2020) yang tertinggi di Jawa Barat berada di Kabupaten Indramayu, Karawang dan Subang secara berurutan [26]. Di Jawa Barat, produksi padi tertinggi 3 tahun terakhir (2018-2020) berada di Kabupaten Grobogan, Cilacap, Sragen, Demak dan Pati [27]. Di Jawa timur, produksi padi tertinggi 2 tahun terakhir (2019-2020) berada di Kabupaten Lamongan, Ngawi, Bojonegoro, Jember dan Tuban [28].



Gambar 8. Proyeksi perubahan produktivitas padi periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Juni, Juli dan Agustus skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

Penurunan produktivitas padi yang ditanam di bulan-bulan musim kemarau disebabkan oleh perubahan kondisi iklim dalam hal ini perubahan curah hujan dan suhu. Terjadi pengurangan curah hujan mencapai 20% pada RCP4.5 dan melebihi 25% pada RCP8.5 serta suhu yang dominan meningkat dengan kisaran 0.9 °C sampai 1.2 °C pada RCP4.5 dan peningkatan suhu melebihi 1.2 °C pada RCP8.5 (Gambar 9-10). Pada simulasi AquaCrop ketersediaan air untuk tanaman padi hanya berasal dari curah hujan (tadah hujan) sehingga pada musim kemarau tanaman mengalami cekaman air. Selain itu kenaikan suhu udara yang cukup tinggi pada skenario RCP8.5 berpengaruh menurunkan produktivitas tanaman padi. [29] melaporkan peningkatan suhu harian sebesar 1.7 °C pada rata-rata suhu maksimum 35.0 °C dan 37.6 °C berpengaruh nyata menurunkan bobot seribu butir sebesar 4.6% dan indeks panen sebanyak 20%. Interaksi antara perlakuan suhu dan varietas berpengaruh nyata terhadap persentase anakan produktif. Persentase anakan produktif varietas Ciherang menghasilkan nilai terendah sebesar 57.6%. Proyeksi dari model HadGEM2, penurunan produktivitas pada periode 2021- 2035 dan 2036-2050 akan terjadi di seluruh Jawa untuk kedua skenario (RCP4.5 dan RCP8.5). Penurunan produktivitas hingga 20% untuk kedua skenario.



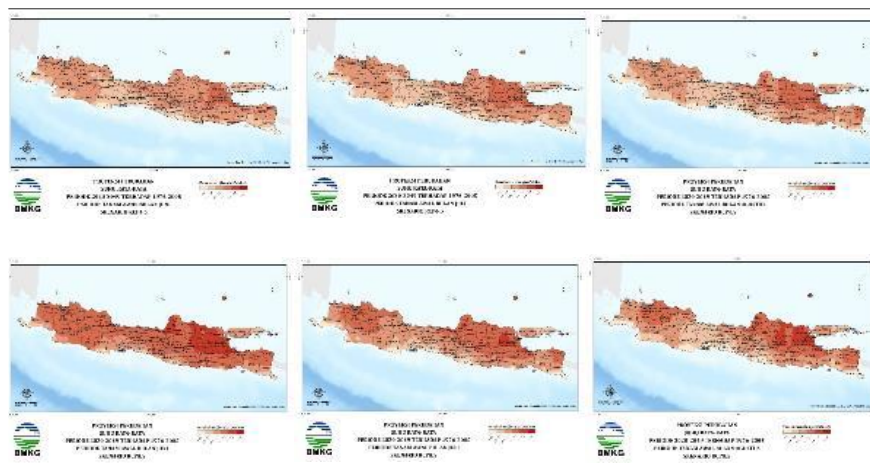
Gambar 9. Proyeksi perubahan curah hujan periode tanam (4 bulan) periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Juni, Juli dan Agustus skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

Proyeksi perubahan produktivitas padi di bulan-bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan yaitu bulan September, Oktober dan November diberikan pada Gambar 11. Penanaman di awal bulan September masih didominasi oleh peningkatan produktivitas padi, di beberapa lokasi terjadi penurunan produktivitas di bawah 30%. Luas lahan yang mengalami penurunan produktivitas padi pada skenario 4.5 sangat jauh berkurang dibandingkan penanaman di awal Agustus. Penurunan produktivitas terjadi di seluruh lahan sawah di Kabupaten Gresik, sebagian kecil lahan sawah di Kabupaten Indramayu, sebagian kabupaten Cirebon, dan sebagian Kabupaten Sidoarjo. Sedangkan pada skenario 8.5, penurunan produktivitas padi hampir mirip dengan penanaman di bulan Agustus dengan skenario yang sama, dengan sebaran yang sedikit berkurang.

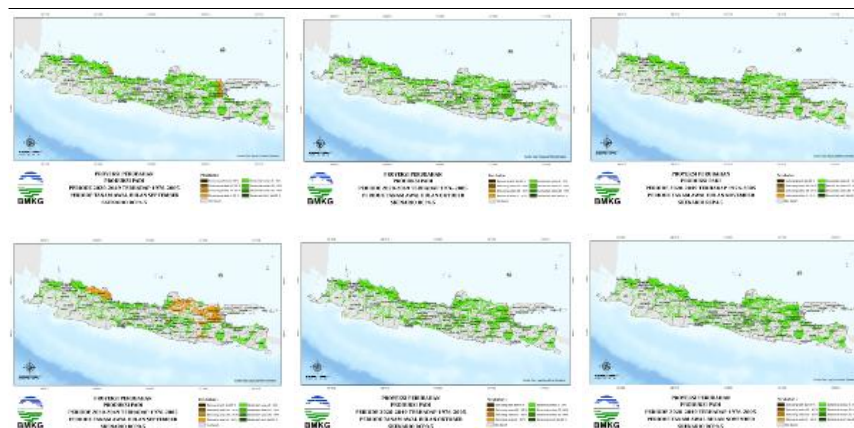
Penanaman di awal Oktober dan Nopember, diproyeksikan terjadi peningkatan produktivitas di masa mendatang (2020-2049) dibanding periode historis (1976-2005) hampir di seluruh Pulau Jawa di bawah 30% baik skenario RCP4.5 maupun RCP8.5. Kecuali pada skenario RCP8.5 pada bulan Oktober masih ada spot penurunan produktivitas padi di bawah 30% di beberapa lokasi yaitu: Kabupaten Cirebon dan Gresik.

Beberapa penelitian menggunakan simulasi model AquaCrop melaporkan bahwa produktivitas padi mengalami peningkatan di masa depan. Diprediksi terjadi kenaikan hasil padi di masa depan sebesar 13.6%, 14.1% dan 15.3% dibandingkan dengan periode historis pada skenario RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 (secara berurutan) pada akhir musim tanam di Malaysia [15]. Hasil simulasi di wilayah Himalaya Timur mengindikasikan peningkatan perubahan rata-rata persentase hasil produktivitas padi sebesar 0.5-20% pada periode 2021-2029 [14].

Hasil penelitian lainnya melaporkan proyeksi penurunan produksi padi di masa depan. Proyeksi dari model HadGEM2, terjadi penurunan produktivitas pada periode 2021- 2035 dan 2036-2050 di seluruh Jawa untuk skenario RCP4.5 dan RCP8.5 (Susanti et al., 2021). Penelitian lainnya melaporkan bahwa proyeksi tahun 2020-2029 perubahan iklim mempunyai efek negatif menurunkan produksi padi 5 % dan jagung 4 % di Thailand utara [30].



Gambar 10. Proyeksi perubahan suhu rata-rata selama periode tanam (4 bulan) periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal Juni, Juli dan Agustus skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah).



Gambar 11. Proyeksi perubahan produktivitas padi periode 2020-2049 terhadap 1976-2005 tanam awal September, Oktober dan November skenario RCP4.5 (atas) dan RCP8.5 (bawah)

4. KESIMPULAN

Pada periode masa mendatang (2020-2049) perubahan iklim berdampak meningkatkan produktivitas padi 0-30% dibanding periode historis (1976-2005) di bulan-bulan musim hujan dan musim peralihan yaitu bulan Oktober-April di seluruh Pulau Jawa. Peningkatan produktivitas padi pada skenario RCP8.5 lebih tinggi dari skenario RCP4.5

Pada periode mendatang (2020-2049) perubahan iklim berdampak meningkatkan produktivitas mencapai 30-60% dibanding periode historis (1976-2005) padi pada bulan-bulan musim kemarau yaitu bulan Mei-September di sebagian besar Pulau Jawa, namun di beberapa wilayah yang merupakan daerah sentra produksi padi di Pulau Jawa terjadi penurunan produktivitas padi sampai 30-60% pada kedua skenario. Luasan lahan sawah yang mengalami penurunan produksi pada skenario RCP8.5 lebih tinggi dibanding skenario RCP4.5.

Penurunan produktivitas padi mencapai 60-90% di musim kemarau pada skenario emisi tinggi (RCP8.5) terjadi di daerah sentra produksi padi di wilayah pantai utara Jawa Barat yaitu Kabupaten Karawang, Subang, Indramayu dan Cirebon, sentra produksi padi di Jawa Tengah yaitu Kabupaten Demak, Kudus, Rembang, Grobogan, Blora, Sragen, Banyumas dan Cilacap serta sentra produksi padi di Jawa Timur yaitu Kabupaten Lamongan, Gresik, Bojonegoro, Nganjuk, Mojokerto, Sidoarjo, Trenggalek, Tulung Agung, Blitar, kota Surabaya dan Kediri, sebagian areal sawah di Tuban, Kota

Jombang, Malang dan Ponorogo, Banyuwangi dan Sampang Madura akan mengancam pada ketahanan pangan nasional di masa mendatang. Oleh karena itu langkah-langkah kongkrit upaya mitigasi dalam rangka mengurangi emisi gas rumah kaca dan langkah-langkah adaptasi di lokasi-lokasi penurunan produktivitas padi adalah hal-hal mendesak yang harus dilakukan. Beberapa strategi adaptasi yang disarankan untuk mengurangi risiko tinggi ini, seperti irigasi tambahan, pemuliaan tanaman padi yang lebih tahan kondisi kekeringan dan suhu tinggi dan pemilihan tanggal tanam yang tepat.

REFERENSI

- [1] Dasgupta, S. (2013). Impact of Climate Change on Crop Yields with Implication for Food Security and Poverty Alleviation. Impacts World Conference proceedings. September 2013. Germany.
- [2] IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press. In Press.
- [3] Matthews, R.B, Kropff, M.J., Horie, T., and Bachelet, D. (1997). Simulating the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia and Evaluating Options for Adaptation. *Agricultural Systems* vol 54 (3): 399-425. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(95\)00060-I](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(95)00060-I)
- [4] Matthews, R.B and Wassmann, R. (2003). Modelling the Impacts of Climate Change and Methane Emission Reduction on Rice Production: A Review. *European Journal of Agronomy* 19 (4):573-598. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00005-4)
- [5] Kukla, G. and Kar, T. R. (1993). Nighttime warming and the green house effect. *Environ. Sci. and Tech.* 27(7):1468– 1474
- [6] Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperas, R. M., Zhong, X., Centeno, G. S., Khush, G. S., & Cassman, K. G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(27), 9971–9975. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>
- [7] Nurhayanti, Y., & Nugroho, M. (2016). Sensitivitas Produksi Padi Terhadap Perubahan Iklim Di Indonesia Tahun 1974-2015. *Agro Ekonomi*, 27(2), 183. <https://doi.org/10.22146/jae.23038>
- [8] IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, R. K. Pachauri, et al., Eds., IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- [9] Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., dan Fereres, E. (2009a). Aquacrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agron J* 2009 101:426-437
- [10] Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., dan Fereres, E. (2009b).. Aquacrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agron J* 2009 101:438-447
- [11] Vanuytrecht, E., Raes, D., and Willers, P. (2011). Considering Sink Strength to Model Crop Production under Elevated Atmospheric CO₂. *Agric For Meteorol* 151:1753-1762.
- [12] Heng, L.K., Hsiao, T.C., .Evelt, S., Howell, T., dan Studeto, P. (2009). Validating the FAO AquaCrop Model for Houmaa, AA, M.R. Kamala, M. A. Mojid, A. F.B. Abdullah dan A.Wayayoka. 2021. Climate change impacts on rice yield of a large-scale irrigation scheme in Malaysia. *Agricultural Water Management* Volume 252, 30 June 2021, 106908.Irrigated and Water Deficit Field Maize. *Agron. J.* 101-480-490.
- [13] Garcia-Vila, M., Fereres, E., Maters, L., Orgaz, F. dan Steduto, P. (2009). Deficit Irrigation Optimatization of cotton with AquaCrop. *Agron J.* 101:477-487
- [14] [14] Das, J, Poonia, V., Jha, S. dan Goyal, M. K. (2020). Understanding the Climate Change Impact on Crop Yield Over Eastern Himalayan Region: Ascertaining GCM and Scenario Uncertainty. *Theoretical and Applied Climatology* volume 142, pages 467–482. Published: 19 July 2020.

- [15] Houma, A.A., Kamal, M.R., Mojid, M.D., Abdullah, A.F.B., Wayayok, A. (2021). Climate change impacts on rice yield of a large-scale irrigation schema in Malaysia. *Agricultural Water Management* Volume 252, 30 June 2021, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106908>
- [16] Houma, A.A., Kamal, M.R., Mojid, M.D., Abdullah, A.F.B., Wayayok, A. (2021). Climate change impacts on rice yield of a large-scale irrigation schema in Malaysia. *Agricultural Water Management* Volume 252, 30 June 2021, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106908>
- [17] Zhang, H., Zhou, G., Liu, L., Wang, B. Xiao, D., He, L. (2019). Climate-associated rice yield change in the Northeast China Plain: A simulation analysis based on CMIP5 multi-model ensemble projection. *Sci Total Environ.* 2019 May 20;666:126-138. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.415. Epub 2019 Jan 31. PMID: 30798223.
- [18] Susanti, E., Dewi, E. R., Surmaini, E., Sopaheluwakan, A., Linarko, A., & Syahputra, M. R. (2021). The projection of rice production in Java Island to support Indonesia as the world food granary. *E3S Web of Conferences*, 306, 1–17. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130601011>
- [19] BPS. 2021. Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia. 2021 (hasil kegiatan pendataan statistik pertanian tanaman pangan terintegrasi dengan metode kerangka sampel area). Penerbit Badan Pusat Statistik. 329 hlm.
- [20] Santikayasa, I. P., Amdan, W., Perdinan, & Sugiarto, Y. (2018). Quantification the Impact of Climate Change on Paddy Field Yield Production in Subang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 187(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012059>
- [21] Candradijaya, A., Kusmana, C., Syaufina, L dan Faqih, A. (2016). 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. *Informatika Pertanian*, 23(2), 159–168. <https://doi.org/10.21082/ip.v23n2.2014.p159-168>
- [22] Raes, D. (2012). ETo Evapotranspiration from A Reference Surface. Reference Manual V 3.2. Land and Water Division. FAO. Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome. Italy.
- [23] Sumarno dan A. N. Susanto, A. N. (2017). Manajemen Teknologi Budidaya Padi Sawah, in: Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan. Effendi Pasandaran dkk (eds) pp 228-250. IAARD Press. 431 hlm <http://www.litbang.pertanian.go.id/buku/menuju-pertanian-modern/5.pdf> yang diakses pada 30 Maret 2020.
- [24] Suprihatno, B., Daradjat, A.A., Satoto, Baehaki, S.E., Widiarta, I. N., Setyono, A., Indrasari, S.D., Lesmana, O.S., dan Sembiring, H. (2009). Deskripsi Varietas Padi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Balitbangtan. Subang. 105 hlm
- [25] Purnomo, J. (2008). Pengaruh pupuk NPK Majemuk terhadap Hasil Padi Varietas Ciherang dan Sifat Kimia Tanah Inceptisol Bogor. Balittanah.litbang.pertanianj.go.id /ind/dokumentasi/prosiding 2008pdf/jok_pur_npk_pdf. Pp 341-352.
- [26] BPS Provinsi Jawa Barat. 2020. Produksi padi setara Beras menurut kabupaten kota. <https://jabar.bps.go.id/indicator/53/171/1/produksi-padi-setara-beras-menurut-kabupaten-kota.html>
- [27] BPS Provinsi Jawa Tengah. 2020. Produksi Padi dan Beras Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah (Ton), 2018-2020. <https://jateng.bps.go.id/indicator/53/465/1/produksi-padi1-dan-beras-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah.html>
- [28] BPS Provinsi Jawa Timur. 2020. Produksi Padi dan Beras Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Timur, 2019 dan 2020. <https://jatim.bps.go.id/statictable/2021/09/06/2238/produksi-padi-dan-beras-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-timur-2019-dan-2020.html>
- [29] Khamid, M.B.R., Junaedi, A., Lubis, I., dan Yamamoto, Y. (2019). Respon Pertumbuhan dan Hasil Padi (*Oryza sativa* L.) Terhadap Cekaman Suhu Tinggi. *J. Agron. Indonesia*. Agustus 2019. 47(2):119-125.
- [30] Amnuaylojaroen, A., Chanvichit, P., Janta, R., and Surapipith, V. 2021. Projection of Rice and Maize Productions in Northern Thailand under Climate Change Scenario RCP8.5. *Agriculture* 2021,11, 23. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010023>.