

Simulasi Proyeksi Produksi Padi Tahun 2030-2062 Dibandingkan Produksi Padi Tahun 1980-2012 Menggunakan Model AquaCrop di Banyuwangi Jawa Timur

Leni Nazarudin

Pusat Informasi Perubahan Iklim, BMKG Pusat Jakarta

Abstrak. Menggunakan data harian iklim periode 1980-2012 (33 tahun) dari Stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur, telah dibuat proyeksi suhu maksimum, suhu minimum dan evapotranspirasi potensial (ET_o) serta curah hujan 50 tahun ke depan (2030-2062) berdasarkan tren linier perubahannya pada periode historis. Menggunakan data iklim historis (1980-2012) dan data iklim proyeksi (2030-2062), dilakukan simulasi produksi padi menggunakan model AquaCrop. Suhu malam hari (suhu minimum) meningkat dengan laju yang lebih besar daripada suhu siang (suhu maksimum). Proyeksi suhu maksimum di Banyuwangi pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6°C – 32.2 °C dan suhu minimum pada kisaran 24.8°C – 26.0°C. Evapotranspirasi mengalami penurunan 0.3 mm/hari dari 1497 mm/tahun di tahun 1980 menjadi 1390 mm/tahun di tahun 2030 dan 1320 mm/tahun di tahun 2062. Dengan asumsi terjadi peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, curah hujan pada puncak musim hujan bertambah dan curah hujan pada puncak musim kemarau berkurang. Produksi padi pada tahun 2030-2062 diproyeksikan meningkat setiap bulan sepanjang tahun sekitar 1 ton kecuali bila tanam pada bulan April. Peningkatan curah hujan di masa mendatang, memperpanjang musim tanam padi yang semula 9 bulan dalam setahun menjadi 11 bulan.

Kata kunci: padi, produksi padi, evapotranspirasi, simulasi, AquaCrop

Abstract. Using daily climatic data period 1980-2012 (33 years) of the Meteorological Station Banyuwangi, East Java, has developed the projected maximum temperature, minimum temperature and potential evapotranspiration (ET_o) and rainfall over the next 50 years (2030-2062) is based on a linear trend updates on historical period. Using historical climate data (1980-2012) and projected climate data (2030-2062), carried out rice production simulations using AquaCrop model. Night time temperatures (minimum temperature) increased at a rate greater than the daytime temperature (maximum temperature). Projected maximum temperature in Banyuwangi in 2030-2062 in the range of 31.6 °C - 32.2 °C and the minimum temperature in the range of 24.8 °C - 26.0 °C. Evapotranspiration decreased 0.3 mm / day from 1497 mm / year in 1980 to 1390 mm / year in 2030 and 1320 mm / year in 2062. Assuming an increase in extreme rainfall by 30%, rainfall at the peak of the rainy season increases and precipitation at the peak of the dry season is reduced. Rice production in 2030-2062 is projected to increase every month throughout the year about 1 ton except when planting in April. Increased rainfall in the future, to extend the rice-planting season which was originally 9 months a year to 11 months.

Key words: rice, rice production, simulation, evapotranspiration, AquaCrop

Pendahuluan

Cuaca adalah penyebab utama terjadinya fluktuasi (keragaman) produksi pertanian dari tahun ke tahun. Telah disadari pada dasawarsa terakhir ini tentang kemungkinan perubahan iklim disebabkan oleh aktivitas manusia karena setiap perubahan terhadap iklim dan cuaca akan meningkatkan ketidakpastian produksi pangan.

Perubahan utama pada atmosphere bumi adalah konsentrasi CO₂ yang telah meningkat sekitar 25% sejak permulaan revolusi industri. Karbondioksida meningkatkan fotosintesis dan menekan respirasi tanaman. Kenaikan konsentrasi CO₂ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer memperkuat efek rumah kaca yang berimplikasi pada kenaikan suhu global. Laporan Working Group I IPCC (2013) tentang status terbaru perubahan iklim menyebutkan bahwa tren linier suhu rata-rata kombinasi lautan dan daratan dari periode tahun 1880 sampai 2012 mengalami peningkatan 0.85°C dengan kisaran antara 0.65-1.06°C. Selain itu kenaikan suhu global berimplikasi pada peningkatan kejadian hujan ekstrim Menurut Clausius-Clapeyron, water holding capacity atmosfer meningkat 7% setiap kenaikan suhu 1° (Chen Liu, Bin Fu, Jung Shiu, Ping Chen dan Wu, 2009). Intensitas presipitasi global meningkat 23%/°C, lebih besar dari peningkatan water holding capacity atmosfer karena tambahan panas laten yang dilepaskan akibat peningkatan kelembaban. Kapasitas atmosfer menahan air (water holding capacity) meningkat dengan meningkatnya suhu.

Kondisi komposisi atmosfer yang berubah sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman pangan yang secara langsung ataupun tidak mempengaruhi produksi pangan. 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 produksi biomass, tetapi pengaruhnya terhadap penurunan produksi padi berhubungan dengan peningkatan suhu udara. Hasil penelitian Matthews, Kropff, Horie and Bachelet (1997), menunjukkan bahwa berdasarkan simulasi tanaman, kenaikan suhu rata-rata 1°C akan menurunkan produksi 5-7% padi. Penurunan hasil tersebut disebabkan oleh berkurangnya pembentukan gabah, pendeknya periode pertumbuhan, dan meningkatnya respirasi (Matthews and Wassmann, 2003). Peningkatan suhu malam hari lebih besar daripada suhu siang (Kukla dan Kerr, 1993). Hasil padi berkolerasi negatif dengan suhu malam (Peng et al. 2004). Alasan dari korelasi negatif ini adalah variasi radiasi matahari, kehilangan akibat respirasi atau pengaruh pengaruh diferensial dari suhu malam vs. Suhu siang terhadap pertumbuhan anakan, pengembangan luas daun, pemanjangan batang dan pengisian gabah (Peng et al. 2004) Untuk dapat mengetahui bagaimana pengaruh perubahan kondisi lingkungan terhadap produksi tanaman diperlukan model simulasi tanaman. Proses-proses yang terjadi dalam tanaman diwakili oleh persamaan matematis.

Pemodelan didefinisikan sebagai penyederhanaan sistem dengan pendekatan mekanistik, dapat menjadi pendekatan alternatif

untuk pemahaman dan prediksi ekofisiologi proses pertumbuhan, pengembangan dan produksi tanaman. Model AquaCrop mensimulasikan produksi tanaman sebagai respon terhadap air (Steduto, Hsiao dan Fereres, 2009a dan 2009b). AquaCrop sudah digunakan secara luas dalam berbagai kajian untuk melihat pengaruh berbagai faktor seperti ketersediaan air dan irigasi pada berbagai tanaman. Vanuytrecht, Raes dan Willers (2011) menggunakan AquaCrop untuk mensimulasikan pengaruh peningkatan CO₂ terhadap tanaman. Heng, Hsiao, Evett, Howel dan Steduto (2009) menggunakan AquaCrop untuk tanaman Jagung. Garcia-Vila, Fereres, Mateos, Orgaz dan Steduto (2009) mensimulasikan AquaCrop untuk tanaman kapas.

Padi merupakan tanaman pokok penting di Indonesia. Sebagian besar penduduk Indonesia menjadikan padi sebagai makanan pokok. Produksi padi tersebar di beberapa provinsi di Indonesia terutama di Pulau Jawa. Produktivitas padi rata-rata nasional adalah 5.1 Ton/Ha. Berdasarkan data produksi padi tahun 2013, Jawa Timur penyumbang produksi padi tertinggi di Indonesia. Kabupaten Banyuwangi adalah salah satu kabupaten penyumbang produksi padi terbesar di Provinsi Jawa Timur dengan produktivitas mencapai 62.18 kwintal/ha (BPS, 2013). Perubahan iklim secara langsung akan mempengaruhi produksi padi. Hasil penelitian Hosang, Tatum dan Rogi (2012) menggunakan model numerik (simulasi) dan spasial dalam menganalisis dampak perubahan iklim terhadap produksi beras di Sulawesi Utara. Hasilnya menunjukkan bahwa ketersediaan beras pada tahun 2030 mengalami defisit sebesar 141.677 ton.

Penelitian ini ingin mengetahui potensi produksi padi rata-rata setiap musim tanam di Banyuwangi pada periode 1980-2012 dan potensi produksi pada rata-rata bulanan periode 50 tahun mendatang pada periode 2030-2062. Potensi produksi padi merupakan keluaran simulasi AquaCrop yang salah satu input pentingnya adalah data iklim harian. Untuk mensimulasikan produksi pada periode mendatang menggunakan proyeksi data iklim berdasarkan tren parameter iklim di stasiun Banyuwangi pada periode historis (1980-2012). Dari kajian ini ingin diketahui apakah ada perubahan produksi padi pada periode historis dengan periode proyeksi.

Metodologi

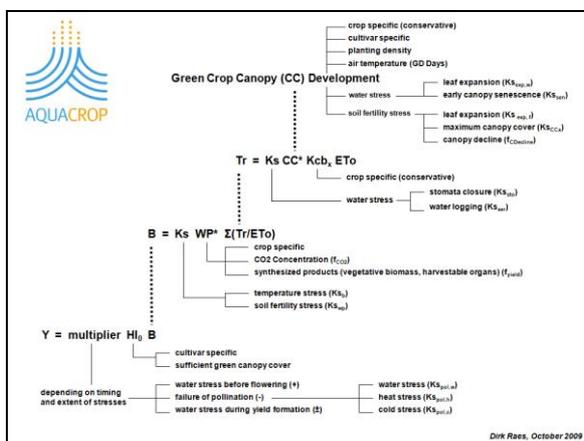
Dalam penelitian ini digunakan data series Fklim harian dari tahun 1980-2012 (33 tahun) dari stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur yang terletak pada 8.22 LS dan 114 BT pada ketinggian 13 m di atas permukaan laut (Gambar 1) yang terdiri dari series data: suhu rata-rata, suhu

maksimum, suhu minimum (°C), Lama penyinaran (jam), RH rata-rata (%), Kecepatan angin rata-rata (knot) dan curah hujan. Untuk pengolahan data digunakan software AquaCrop dan microsoft Excel.



Gambar 1. Posisi Stasiun Meteorologi Banyuwangi Jawa Timur

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan. Tahap pertama dilakukan inventarisasi data iklim harian serta quality control (QC). Data suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum, lama penyinaran, RH rata-rata, Kecepatan angin rata-rata dan curah hujan harian disusun series ke bawah tanpa judul kolom dan disimpan dalam format (text). Selanjutnya dilakukan proses import data iklim ke AquaCrop. Adapun skema perhitungan produksi tanaman (yield) diberikan oleh Gambar 2. Didalam AquaCrop dihitung nilai ETo (Evapotranspirasi reference) menggunakan persamaan Penman – Monteith. ETo adalah merupakan evapotranspirasi referensi yaitu dari suatu permukaan rumput yang tumbuh secara optimal dan cukup air. Metode perhitungan dalam ETo diberikan oleh Raes (2012). Setelah itu dilakukan running AquaCrop. Running Aqua crop dilakukan dalam dua tahapan:



Gambar 2. Skema perhitungan AquaCrop

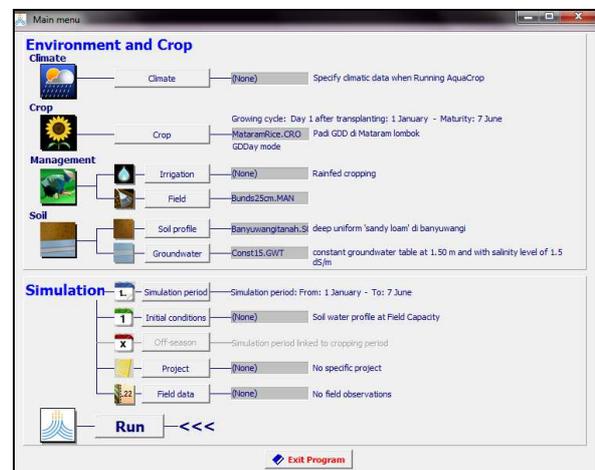
1. Running simulasi AquaCrop menggunakan data iklim historis yaitu ETo, curah hujan dan

suhu (maksimum dan minimum) harian yang telah di-create di dalam aqua crop dengan periode data 1 Januari 1980 s.d 31 Desember 2012. Selain data iklim, untuk running Aqua crop diminta informasi terkait karakteristik tanaman, irigasi, manajemen di lahan, profil tanah dan air tanah.

Berikut karakteristik tanaman dan lingkungan yang jadi input AquaCrop (Gambar 3).

A. Karakteristik tanaman:

- Crop type: Grain crop
- Crop development : Growing Degree Days dengan base temperature 8°C dan upper temperature 30°C
- Tipe planting method: transplanting
- Density : 6.7 tanaman/m2
- WP = 19 g/m2, merupakan tanaman C3 (15-20 g/m2)



Gambar 3. Input untuk running aqua crop

B. Karakteristik irigasi: No Irrigation

Merupakan padi tadah hujan (sumber air hanya dari air hujan)

C. Karakteristik tanah

Tanah tekstur: *deep uniform sandy loam* (tanah lempung berpasir yang seragam dan dalam). Sebagian besar tekstur tanah di wilayah Banyuwangi merupakan tanah sedang (lempung) dengan jenis tanah litosol, alluvial dan regosol (Gambaran Umum BWP Banyuwangi, 2013).

D. Groundwater:

Constant Ground Water Table pada kedalaman 1.5 m dengan tingkat salinitas 1.5 dS/m

E. Initial Condition:

Dry top soil (10%volume) dan *Wet sub soil* (30%volume)

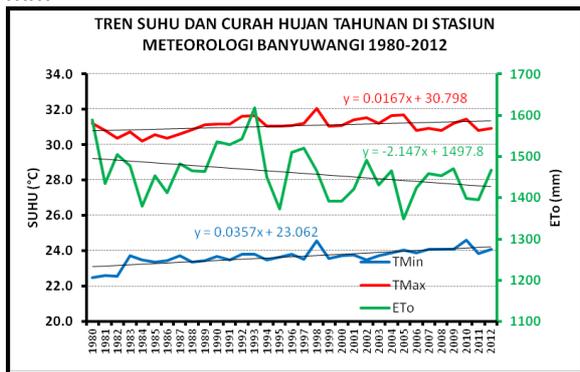
Running Aqua crop dilakukan setiap bulan dari tahun bulan Januari 1980 sampai Desember 2012.

2. Running Aqua Crop menggunakan data proyeksi 50 tahun ke depan (1 Januari 2030 sampai 31 Desember 2062). Data proyeksi menggunakan metode Statistical downscaling berdasarkan nilai tren linier data historis 1 Januari 1980 sampai 31 Desember 2012. Statistical downscaling menggunakan asumsi tren iklim historis adalah linier (statis) dan diproyeksikan tetap pada periode mendatang. Caranya dengan melakukan analisis tren data historis sehingga diperoleh nilai besarnya perubahan data iklim (ETo, suhu maksimum dan minimum) dalam 50 tahun. Nilai ini ditambahkan ke nilai data periode historis. Data curah hujan diproyeksikan lebih ekstrim 30% dengan rata-rata dan standar deviasi yang tetap. Data proyeksi diimport ke dalam AquaCrop dan dirunning menggunakan input karakteristik tanaman dan lingkungan yang sama dengan running AquaCrop menggunakan data historis. Running simulasi AquaCrop dilakukan setiap bulan dari bulan Januari 1980 sampai bulan Desember 2012. Produksi padi untuk masing-masing periode (historis dan proyeksi) ditampilkan dalam grafik median, quartil 1 dan quartil 3.

Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Tren Data Iklim historis

Hasil plot data tahunan suhu maksimum, suhu minimum dan ETo dari tahun 1980 sampai 2012 diberikan pada Gambar 4. Pada periode 1980-2012, suhu maksimum dan minimum rata-rata tahunan di Stasiun Banyuwangi adalah 31.1°C dan 23.7°C. Curah hujan tahunan rata-rata 1402 mm dan ETo tahunan rata-rata 1461 mm

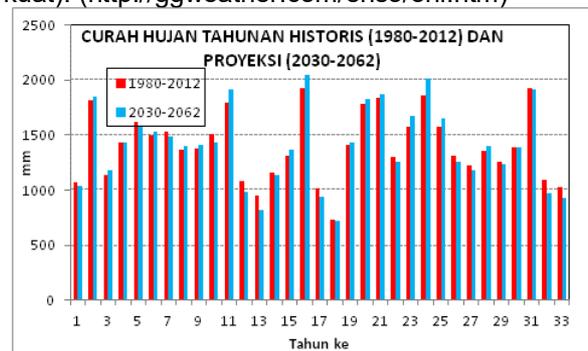


Gambar 4: Tren data historis suhu dan ETo tahunan di Stamet Banyuwangi

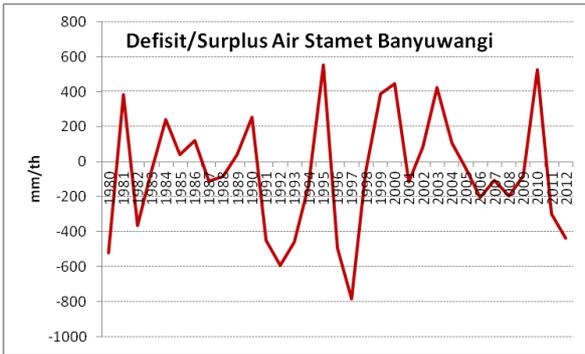
Analisis tren linier menunjukkan peningkatan suhu maksimum dan minimum. Suhu maksimum meningkat sebesar 1.67°C/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan tetap berlanjut konstan, maka suhu maksimum 50 tahun mendatang (2030-2062) meningkat sebesar

0.84°C. Suhu minimum meningkat sebesar 3.57°C/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan tetap berlanjut konstan, maka suhu minimum 50 tahun mendatang (2030-2062) meningkat sebesar 1.79°C. Artinya suhu pada malam hari meningkat lebih besar daripada suhu siang hari. Hal ini menunjukkan bahwa *global warming* telah terjadi menyebabkan kandungan uap air meningkat sehingga pada malam hari uap air ini menahan panas bumi yang dilepaskan sehingga suhu malam hari menjadi lebih besar. Kenaikan suhu malam adalah penyebab utama dari naiknya suhu global sejak pertengahan bada ke-20 (Kukla dan Karl, 1993). Hasil padi berkolerasi negatif dengan suhu malam (Peng *et al.* 2004). Alasan dari korelasi negatif ini adalah variasi radiasi matahari, kehilangan akibat respirasi atau pengaruh pengaruh diferensial dari suhu malam vs. Suhu siang terhadap pertumbuhan anakan, pengembangan luas daun, pemanjangan batang dan pengisian gabah.

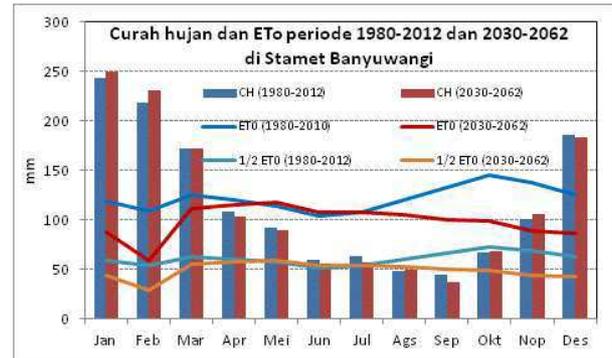
ETo (Evapotranspirasi potensial) periode 1980 sampai 2012 hasil keluaran AquaCrop menunjukkan tren penurunan sebesar 214.7 mm/100 tahun. Bila tren ini diasumsikan terus berlanjut secara konstan, ETo 50 tahun ke depan (2030-2062) mengalami penurunan sebesar 107.35 mm. Atau perharinya ETo menurun 0.3 mm. Berdasarkan nilai tren tersebut diperoleh proyeksi suhu maksimum dan minimum serta nilai ETo tahun 2030-2062. Sedangkan untuk curah hujan diasumsikan lebih ekstrim 30% dengan nilai rata-rata dan standar deviasi konstan (Gambar 5). Pada Gambar 6 ditampilkan neraca air (defisit dan surplus air) yang merupakan hasil pengurangan curah hujan dengan ETo (Evapotranspirasi). Kejadian defisit air terjadi pada tahun-tahun el nino (lemah, moderat dan kuat) yaitu tahun 1979-1980 (el nino lemah), 1982-1983 (el nino kuat), 1991-1992 (el nino moderat), 1997-1998 (el nino kuat). (<http://ggweather.com/enso/oni.htm>)



Gambar 5: Curah hujan historis dan proyeksi (lebih ekstrim 30%)



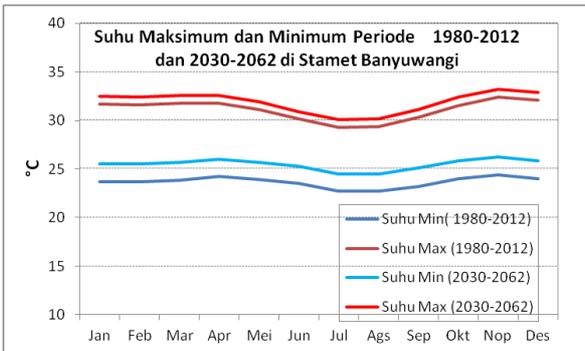
Gambar 6. Neraca air periode 1980-2012



Gambar 8: Curah hujan dan ETo Periode 1980-2012 dan 2030-2062

B. Analisis data iklim bulanan

Pada periode 2030-2062, suhu minimum meningkat lebih tinggi dari suhu maksimum yang menunjukkan peningkatan suhu malam hari. Fluktuasi suhu maksimum dan minimum dari bulan tidak terlalu besar (Gambar 7).



Gambar 7: Suhu Maksimum dan Minimum periode data 1980-2012 dan 2030-2062

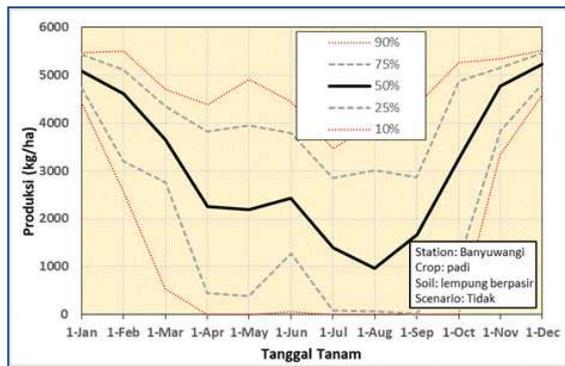
Daerah Banyuwangi mempunyai pola hujan monsunal dengan satu puncak hujan yang terjadi di bulan Januari (Gambar 8) diproyeksikan curah hujan di puncak musim hujan (Januari dan Februari) bertambah dan di musim kemarau (April sampai Oktober) berkurang. Di masa mendatang (2030-2062) terjadi pengurangan evapotranspirasi hampir sepanjang tahun kecuali bulan Mei sampai Juli. Defisit hujan (Curah hujan lebih kecil dari Evapotranspirasi) pada bulan April sampai Nopember, namun di masa mendatang, defisit hujan hanya terjadi dari April sampai Oktober. Untuk pertumbuhan tanaman, dibutuhkan curah hujan minimum sebesar 1/2 ETo*). Tanpa irigasi, petani tidak bisa lagi bercocok tanam padi gogo di 3 bulan dalam setahun yaitu bulan Agustus sampai Oktober, namun masa mendatang (2030-2062) padi tadah hujan tidak bisa ditanam hanya 1 bulan saja di bulan September. Oleh karena itu musim tanam padi lebih panjang 2 bulan dibanding periode sekarang.

C. Produksi Padi Hasil Simulasi Aqua Crop

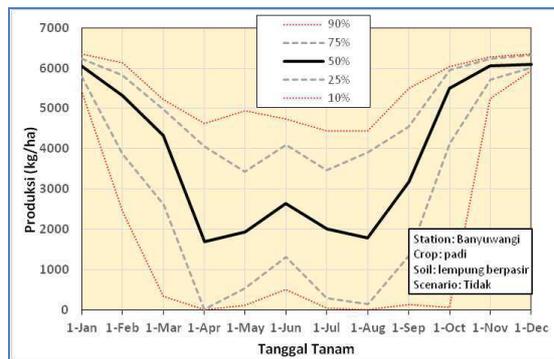
Hasil produksi padi keluaran running AquaCrop diberikan pada Gambar 9 (untuk periode historis 1980-2012) dan Gambar 10 (untuk periode proyeksi 2030-2062).

Pada periode 1980-2012, rata-rata produksi padi berkisar antara 968 kg/ha sampai 5234 kg/ha. Produksi terendah bila tanam pada tanggal 1 Agustus dan produksi tertinggi bila tanam pada tanggal 1 Desember.

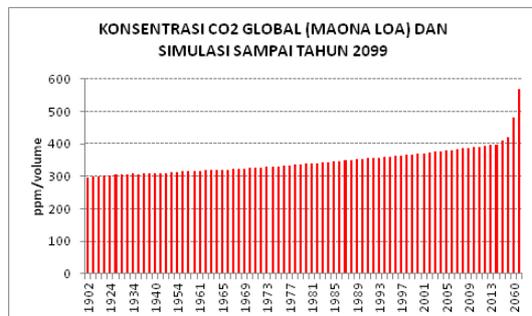
Pada periode 2030-2062, produksi berkisar antara 1691 kg/ha bila tanam pada 1 April sampai 6103 kg/ha bila tanam pada 1 Desember artinya terjadi peningkatan produksi sekitar 1 ha sepanjang tahun kecuali pada bila tanam bulan April terjadi penurunan produksi di masa mendatang. Peningkatan produksi ini mungkin disebabkan peningkatan curah hujan serta ketersediaan CO₂. Di tahun 2030-2062, konsentrasi CO₂ berkisar antara 420-480 ppm, meningkat dibandingkan tahun 2014 yang berada pada kisaran 398 ppm (Gambar 11). Menurut Horie, Baker, Nakagawa, Matsui and Kim (2000), padi seperti tanaman C₃ lainnya menunjukkan penggunaan air yang lebih efisien pada kondisi pengayaan CO₂, yang menyebabkan peningkatan produksi biomass dan penurunan transpirasi. Peningkatan suhu siang dan malam di Banyuwangi seperti yang belum berpengaruh negatif terhadap produksi tanaman. Proyeksi suhu siang pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6 – 32.2 °C, dan suhu malam pada kisaran 24.8 – 26.0°C. Tanaman padi kritis terhadap suhu tinggi dan suhu rendah pada fase generatif yaitu pembungaan dan pengisian biji. Suhu di bawah 20°C dan diatas 35°C pada fase bunga akan meningkatkan sterilitas gabah (Matsui et al, 1997 dalam Horie et al, 2000).



Gambar 9: Hasil simulasi Produksi padi periode 1980-2012



Gambar 10: Hasil simulasi Produksi padi periode 2030-2062



Gambar 11: Konsentrasi CO2 global 1902 sampai 2099

Kesimpulan

Berdasarkan nilai tren periode historis, Suhu maksimum di Banyuwangi diproyeksikan pada tahun 2030-2062 berada pada kisaran 31.6°C – 32.2 °C dan suhu minimum pada kisaran 24.8°C – 26.0°C. Suhu malam hari (suhu minimum) meningkat dengan laju yang lebih besar daripada suhu siang. Evapotranspirasi mengalami penurunan 0.3 mm/hari dari 1497 mm/tahun di tahun 1980 menjadi 1390 mm/tahun di tahun 2030 dan 1320 mm/tahun di tahun 2062. Dengan asumsi terjadi peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, curah hujan pada musim kemarau bertambah dan curah hujan di musim kemarau berkurang.

Peningkatan suhu dan peningkatan curah hujan ekstrim sebesar 30%, belum berpengaruh buruk pada produksi padi. Produksi padi pada tahun 2030-2062 diproyeksikan meningkat setiap bulan sepanjang tahun sekitar 1 ton kecuali bila tanam pada Bulan April. Peningkatan curah hujan di masa mendatang, memperpanjang musim tanam padi yang semula 9 bulan dalam setahun menjadi 11 bulan.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2013. Laporan Fakta dan Analisa revisi Rencana Detail Tata Ruang, Gambaran Umum BWP Banyuwangi. (<https://www.scribd.com/doc/209574465/BAB-VI-Gambaran-Umum-BWP-Banyuwangi-Landuse>. Akses 23 Agustus 2016)
- BPS Provinsi Jawa Timur, 2013. Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi Sawah dan Ladang 2013. (<http://jatim.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/123>. diakses 6 September 2016)
- Chen Liu, S, C. Bin Fu, C. Jung Shiu, Ping Chen, J., dan F. Wu. 2009. Temperature dependence of global precipitation extremes. *Geophysical Research Letters*, 36 L, 17702
- Garcia-Vila, M., E. Fereres, L. Maters, F. Orgaz., dan P. Steduto. 2009. Deficit Irrigation Optimatization of cotton with AquaCrop. *Agron J.* 101:477-487
- Heng, L.K., T.C Hsiao, S.Evett, T. Howell dan P. Studeto. 2009. Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficit Field Maize. *Agron. J.* 101:490.
- Kukla, G. and Kar, T. R. 1993. Nighttime warming and the green house effect. *Environ. Sci. and Tech*, 27(7):1468 – 1474
- Matthews, R.B, M.J Kropff, T. Horie and D. Bachelet. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. *Agricultural Systems*, 54 (3):399-425.
- Matthews, R.B., and Wassmann, R. 2003. Modelling the impacts of climate change and methane eission reduction on rice production: a review. *European Journal of Agronomy*, 19 (4):573-598
- P.R. Hosang, J.Tatuh., dan J.E.X. Rogi. 2012. Analisis Dampak Perubahan Iklim terhadap produksi Beras Provinsi Sukawesi Utara tahun 2013-2030. *Eugenia*, 18 (3).
- Peng, S., et al.2004.Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101:9971–9975.

- P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes dan E. Fereres. 2009. Aquacrop-The FAO Crop model to simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agron J*, 101:426-437
- P. Steduto, T.C. Hsiao, D. Raes., dan E. Fereres. 2009. Aquacrop-The FAO Crop model to simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agron J*, 101:438-447
- Raes, D. 2012. *ETo Evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual Version 3.2*. Land and Water Division. FAO. Via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome. Italy.
- Vanuytrecht, E., D. Raes., dan P. Willers. 2011. Considering Sink Strength to Model Crop Production under Elevated Atmospheric CO₂. *Agric For Meteorol*, 151:1753-1762