



Penggunaan Proyeksi Iklim untuk Optimalisasi Tata Tanam dengan Kc Berbeda (Studi Kasus : Tanaman Jagung di Satu Titik Tertentu di Jawa Timur)

Implementing Climate Projections in Optimizing Cropping Plans with Different Kc (Case Study : Maize on a Particular Point in East Java)

Aqila Amalia¹, Ninuk Herlina¹, Andang Kurniawan^{2*}

¹Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Ketawanggede, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur, 65145

²BMKG Stasiun Klimatologi Jawa Timur, Jl. Zentana No.33, Krajan, Ngijo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur, 65152

*Email: andang.kurniawan@bmgk.go.id/ andangtedx@gmail.com

Naskah Masuk: 28 April 2025 | Naskah Diterima: 17 Desember 2025 | Naskah Terbit: 31 Desember 2025

Abstrak. Rencana tata tanam di Jawa Timur masih belum memperhatikan informasi iklim. Penanaman jagung dipengaruhi oleh perubahan iklim. Banyak penelitian terkait iklim dan pertanian yang masih menggunakan Koefisien Tanaman (Kc) sama. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran penggunaan proyeksi iklim dalam rencana tata tanam dengan dua pendekatan Kc (sama dan berbeda). Skenario emisi RCP8.5 yang kemudian dijadikan masukan dalam RegCM4 dan CSIROmk3.6 digunakan sebagai informasi perubahan iklim. Data historis curah hujan 1991 – 2020 hasil observasi terinterpolasi (data resmi operasional) digunakan sebagai koreksi curah hujan proyeksi. Data proyeksi suhu maksimum, rata – rata, dan minimum digunakan untuk menghitung evapotranspirasi yang kemudian dikoreksi menggunakan data openpan evaporimeter in-situ. Ketersediaan air tanah dihitung menggunakan parameter – parameter yang disediakan dokumen FAO56. Data kebutuhan irigasi dihasilkan dari selisih ketersediaan air dengan target berdasarkan faktor deplesi dengan dua pendekatan Kc yang berbeda. Hasil mendemonstrasikan bagaimana informasi proyeksi iklim terkoreksi data in-situ dapat digunakan perencanaan terkait masa depan (2021 – 2050 dan 2051 – 2080). Sesuai dengan teori umum, ketersediaan air akan berkurang, potensi panen menurun, dan kebutuhan irigasi meningkat. Penelitian ini dapat menghasilkan data dalam angka yang dapat diaplikasikan secara lebih lanjut. Penelitian sejenis ke depannya perlu memperhatikan bahwa penggunaan Kc sama dapat menghasilkan selisih perhitungan kebutuhan air yang cukup signifikan, padahal kenyataannya, setiap fase tanaman memiliki Kc yang berbeda.

Kata Kunci: Proyeksi Iklim, RCP8.5, Jagung, Koefisien Tanaman, Kebutuhan Irigasi

Abstract. Planting plans in East Java have not yet incorporated climate information. Maize cropping plan is affected by climate change. Many studies related to climate and agriculture still rely on a constant crop coefficient (Kc). This research aims to provide an overview of the use of climate projections in planting plans by employing two different Kc approaches (constant and variative). The 8.5 emission scenarios, subsequently used as inputs in RegCM4 and CSIROmk3.6, used as input of climate change information. Historical interpolated rainfall observation data from 1991 – 2020 (official operational data) is utilized to correct projected rainfall. Projected maximum, average, and minimum temperature data are used to calculate evapotranspiration, which is then refined using in – situ openpan evaporimeter data. Soil water

availability is calculated based on parameters outlined in the FAO56 document. Irrigation requirement data is derived from the difference between water availability and the target, determined by the depletion factor using two distinct Kc approaches. The results illustrate how climate projection information, corrected with in-situ data, can be applied to future planning (2021 – 2050 and 2051 – 2080). Consistent with the theory, water availability is expected to decrease, potential harvests to decline, and irrigation needs to rise. This study provides quantitative data that can be further utilized. Future research should consider that employing constant Kc may lead to significant discrepancies in water requirement calculations, contrast with the fact that each plant growth phase has different Kc.

Keywords: Climate Projection, RCP8.5, Maize, Crop Coefficient, Irrigation Requirement

Pendahuluan

Informasi iklim memainkan peran krusial dalam perencanaan tata tanam yang efektif, karena factor – faktor seperti curah hujan, suhu, dan evapotranspirasi secara langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan kebutuhan irigasi. Proyeksi iklim dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak perubahan iklim terhadap tanaman jagung di sentra – sentra produksi jagung ^[1]. Namun, hubungan antara curah hujan dan produksi jagung seringkali diabaikan ^[2], padahal curah hujan menjadi penentu utama ketersediaan air bagi tanaman. Selain itu, tanaman jagung juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti ketinggian tempat ^[3], yang dapat memengaruhi pola iklim lokal dan kebutuhan air. Ketidakpedulian terhadap informasi iklim ini dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara jadwal tanam dan kondisi cuaca aktual, sehingga berpotensi menurunkan hasil panen. Oleh karena itu, integrasi data iklim dalam perencanaan pertanian menjadi sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan di wilayah ini.

Meskipun Jawa Timur merupakan salah satu sentra pertanian penting di Indonesia, rencana tata tanam yang ada masih belum sepenuhnya memanfaatkan data iklim yang tersedia. Banyak penelitian terkait iklim dan pertanian di wilayah ini masih menggunakan koefisien tanaman (Kc) sama atau konstan, yang mengasumsikan kebutuhan air tanaman tetap sama sepanjang siklus pertumbuhannya. Pendekatan ini dapat mengakibatkan inefisiensi dalam penggunaan sumber daya air, yang pada gilirannya membebani sistem irigasi dan mengurangi keberlanjutan pertanian. Selain itu, Rencana Alokasi Air Tahunan di Indonesia masih terbatas pada tiga skenario – basah, normal, dan kering – tanpa memanfaatkan informasi iklim seperti curah hujan secara mendalam ^[4]. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara ketersediaan data iklim dan penerapannya dalam praktik pertanian. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran penggunaan proyeksi iklim dalam rencana tata tanam dengan dua pendekatan Kc yang berbeda, untuk mendukung perencanaan yang lebih adaptif dan menghindari inefisiensi penggunaan air.

Dalam penelitian iklim dan pertanian, koefisien tanaman (Kc) digunakan untuk menghitung kebutuhan air tanaman berdasarkan evapotranspirasi, yang juga dipengaruhi oleh perubahan iklim ^[5]. Namun, penggunaan Kc sama sering kali tidak mencerminkan variasi kebutuhan air tanaman pada setiap fase pertumbuhan, seperti fase awal, pertengahan, dan akhir. Metode standar dalam penelitian kebutuhan air tanaman jagung menggunakan Kc yang berbeda – beda ^[6], karena pendekatan Kc berbeda dapat memberikan estimasi yang lebih akurat ^[7]. Penggunaan Kc sama berisiko menyebabkan overestimasi atau underestimasi kebutuhan irigasi, yang dapat menurunkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, penelitian ini membandingkan pendekatan Kc sama dan Kc berbeda untuk menunjukkan pentingnya pendekatan yang lebih dinamis dalam perencanaan tata tanam. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan akurasi perhitungan kebutuhan air di tengah perubahan iklim.

Perubahan iklim tidak hanya memengaruhi curah hujan, tetapi juga meningkatkan evapotranspirasi, yang berimplikasi pada peningkatan kebutuhan irigasi ^[5]. Perhitungan lanjut menunjukkan kemungkinan peningkatan kebutuhan air yang signifikan pada semua skenario perubahan iklim ^[8], sehingga pencarian



nilai kebutuhan irigasi menjadi hal yang perlu dilakukan ^[9]. Selain itu, proyeksi iklim global memperkirakan kekeringan akan meningkat dari 15.4% menjadi 44% pada tahun 2100, yang dapat menurunkan hasil panen hingga 50% pada tahun 2050 dan 90% pada tahun 2100 ^[10]. Dampak ini sangat relevan bagi Kabupaten Malang, mengingat jagung sensitif terhadap kekurangan air dan perubahan suhu. Meskipun dokumen FAO56 menyediakan panduan untuk menghitung kebutuhan air tanaman, penerapannya di Indonesia masih sangat terbatas ^[11]. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya penggunaan data iklim untuk mengantisipasi tantangan tersebut dan mendukung ketahanan pangan.

Pendekatan perencanaan tata tanam di Jawa Timur secara status quo masih kurang adaptif terhadap variabilitas iklim yang semakin kompleks akibat perubahan iklim global. Ketidakefektifan ini terlihat dari minimnya pemanfaatan proyeksi iklim dalam pengelolaan sumber daya air dan penentuan jadwal tanam. Penelitian ini bertujuan menunjukkan bagaimana proyeksi iklim, dengan mempertimbangkan hubungan curah hujan dan produksi jagung ^[2], dapat meningkatkan pengambilan keputusan di bidang pertanian. Dengan membandingkan dua pendekatan Kc, penelitian ini juga berupaya memberikan solusi praktis untuk mengatasi risiko kekeringan dan banjir yang dapat mengganggu produktivitas. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan bagi petani dan pembuat kebijakan di Jawa Timur dalam merancang strategi adaptasi yang lebih baik dan mampu mengurangi risiko gagal panen. Dengan demikian, pertanian di wilayah ini dapat tetap berkelanjutan dan mendukung ketahanan pangan di masa depan.

Metode Penelitian

Titik tertentu yang dijadikan sebagai contoh dalam penelitian ini terletak di Kabupaten Malang dengan koordinat 8.316° Lintang Selatan dan 112.399° Bujur Timur. Titik (biru pada Gambar 1) tersebut benar-benar merupakan lahan yang ditanami jagung. Data proyeksi curah hujan bulanan, rata-rata suhu bulanan, rata-rata suhu maksimum bulanan, dan rata-rata suhu minimum bulanan diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Data proyeksi tersebut dihasilkan dari skenario emisi RCP8.5, sebuah skenario emisi gas rumah kaca yang menunjukkan mitigasi perubahan iklim sangat buruk. Skenario emisi kemudian dijadikan masukan model iklim global CSIRO Mk3.6 dan model iklim regional RegCM4. Data proyeksi ini digunakan karena data ini sudah dikaji secara rinci untuk wilayah Jawa Timur sampai dengan koreksi pergeserannya (*shifting correction*) pada studi sebelumnya ^[12]. Data proyeksi bulanan meliputi data historikal 1991 – 2005 dan data proyeksi 2006 – 2009. Periode 2006 – 2020 digunakan untuk validasi, 2021 – 2050 sebagai masa depan dekat, dan 2051 – 2080 sebagai masa depan jauh, 2081 – 2099 tidak digunakan. Satuan untuk curah hujan adalah milimeter per bulan (mm/bulan) sedangkan satuan untuk suhu adalah derajat celsius (°C).



Gambar 1. Lokasi Titik Contoh

Data curah hujan dan suhu bulanan pada titik di atas kemudian diekstrak menggunakan piranti lunak R Statistics ^[13] dengan memanfaatkan paket raster ^[14]. Data curah hujan kemudian dikoreksi menggunakan

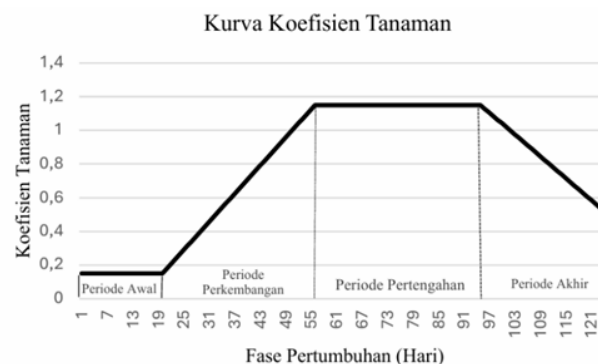
data curah hujan observasi terinterpolasi ^[15] sesuai dengan data yang digunakan secara operasional. Untuk mengetahui faktor koreksi, digunakan dua pendekatan yaitu koreksi menggunakan faktor koreksi tunggal (seluruh bulan dikoreksi dengan nilai yang sama) dan faktor koreksi bulanan (masing – masing bulan dikoreksi dengan nilai berbeda). Untuk mengetahui koreksi mana yang lebih baik, digunakan validasi dengan periode training 1991 – 2005 (data historikal model) dan periode testing 2006 – 2020 (data proyeksi model). Mean Absolute Error (MAE) dipilih sebagai parameter validasi untuk menentukan metode koreksi mana yang lebih baik ^[16].

Evapotranspirasi tanaman dihitung menggunakan persamaan suhu maksimum ($T_{\max}$), suhu minimum ($T_{\min}$), dan suhu rata-rata (T_{mean}). R_a merupakan konstanta radiasi matahari di pucuk atmosfer (*extraterrestrial radiation*) yang dipengaruhi oleh konstanta matahari ($G_s=0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$), inversi jarak relatif bum-matahari (d_r), sudut matahari terbenam (ω_s), lintang (ϕ), dan deklinasi matahari (δ). Penjelasan lebih lanjut dan peluang perhitungan lain untuk mendapatkan evapotranspirasi dapat ditemukan dalam dokumen FAO56 ^[11]. Dokumen FAO56 juga merekomendasikan untuk perhitungan evapotranspirasi dikoreksi menggunakan pengamatan evapotranspirasi in-situ terdekat. Dalam penelitian ini, data rata-rata bulanan penguapan 2007 – 2020 dari openpan evaporimeter tipe A digunakan sebagai koreksi evapotranspirasi.

$$ET_o = 0.0023 (T_{\text{mean}} + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})^{0.5} R_a \quad (1)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_s d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (2)$$

Evapotranspirasi standar (ET_o , mm/hari) kemudian dikalikan dengan K_c untuk mendapatkan evapotranspirasi potensial (ETP) tanaman. Dalam penelitian ini digunakan K_c tunggal dan K_c yang berbeda di setiap fase berdasarkan grafik evapotranspirasi di bawah ini.



Gambar 2. Grafik K_c Jagung pada Setiap Fase Pertumbuhan

Gambar 2 didapatkan dari pengolahan tabel tanaman jagung (*field corn*) di dokumen FAO56. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan air jagung pada periode awal yang sebenarnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan periode lainnya. Puncak penggunaan air oleh tanaman terjadi pada periode pertengahan, yaitu sekitar hari ke – 55 sampai dengan hari ke – 96. Pasca periode pertengahan kebutuhan air jelang masa panen sebenarnya menurun seiring waktu. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan K_c sama secara teori tidak tepat. Gambar 2 di atas adalah hasil olahan dari tabel rincian (Tabel 1) yang diambil dari FAO56 adalah sebagai berikut.

Tabel 1. K_c Jagung per Fase dari FAO56

Fase Pertumbuhan	Koefisien Tanaman (K_c)
Awal (20 hari)	0,15
Perkembangan (35 hari)	0,65
Pertengahan (40 hari)	1,15
Akhir (30 hari)	0,50

Gambar 2 kemudian dikonversi menggunakan pendekatan skala kerja bulanan agar sama dengan data proyeksi iklim dan pembulatan menjadi satu angka di belakang koma. Tabel 2 kemudian digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaimana ditunjukkan tabel di bawah. Koefisien tunggal yang digunakan adalah 1.2 atau mewakili koefisien maksimum.

Tabel 2. Kc Jagung per Bulan

Bulan	Koefisien Tanaman (Kc)
Bulan I (Awal – Perkembangan/31 hari)	0.3
Bulan II (Perkembangan – Pertengahan/31 hari)	0.9
Bulan III (Pertengahan – Akhir/31 hari)	1.2
Bulan IV (Akhir/32 hari)	0.9

Perhitungan ketersediaan air tanah (KAT) menggunakan persamaan di bawah ini ^[17] dengan ΔP = Presipitasi Netto ($CHb - ETPb$), CHb = curah hujan bulanan, $ETPb$ =evapotranspirasi potensial bulanan ($ETPb$ = jumlah hari dalam satu bulan x ETP), dan KL = Kapasitas Lapang.

Tabel 3. Perhitungan Ketersediaan Air Tanah

No	Kondisi Tanah	KAT
1	<u>Tanah kering</u> (defisit air) $\Delta P < 0$	$= KAT_{t-1} \exp\left(\frac{\Delta P}{KL}\right)$
2	<u>Tanah basah</u> (surplus air) $\Delta P > 0$, tetapi $KL_{k-1} + AP \leq KL$	$= KAT_{t-1} + \Delta P$
3	<u>Tanah basah diatas kapasitas lapang</u> (surplus air menjadi limpasan) $\Delta P > 0$, tetapi $KL_{k-1} + AP > KL$	$= KL$

Langkah selanjutnya adalah menghitung air tanah tersedia (ATS) menggunakan data ketersediaan air tanah, kapasitas lapang, dan titik layu permanen. Karena simplifikasi perhitungan yang bersifat bulanan, Depletion Fraction (DF) yang bernilai 0.55 berdasarkan FAO56 untuk tanaman jagung dengan akar 135 cm (di dalam dokumen tertulis 100 – 170 cm, 135 adalah rata-ratanya) digunakan sebagai batas air masih dapat dicukupi oleh hujan. Sehingga jika $\%ATS > 55\%$ selama 4 bulan berturut, maka dapat dikatakan terdapat potensi panen jagung tadah hujan (tanpa irigasi).

$$\%ATS = \frac{KAT - TLP}{KL - TLP} \times 100 \quad (3)$$

$$KAT_{target} = TLP + DF \times (KL - TLP) \quad (4)$$

$$\text{Kebutuhan Irigasi} = (KAT_{target} - KAT) \times 10 \quad (5)$$

Kebutuhan data kapasitas lapang (KL) dan titik layu permanen (TLP) yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data *Harmonized World Soil Database* (HWSD) ^[18] dan kemudian diperlakukan sama seperti penelitian sebelumnya ^[17] memanfaatkan persamaan berikut. Untuk mendapatkan KL dan TLP kedalaman sesuai akar jagung (135 cm) maka hasil di bawah dikalikan dengan 135/100.

$$KL_{100cm} = 34.00624 + 0.00386 \times Silt \times Clay - 0.00315 \times Sand^2 \quad (6)$$

$$TLP_{100cm} = 18.74 + 0.00315 \times Silt \times Clay - 0.146 \times Sand \quad (7)$$

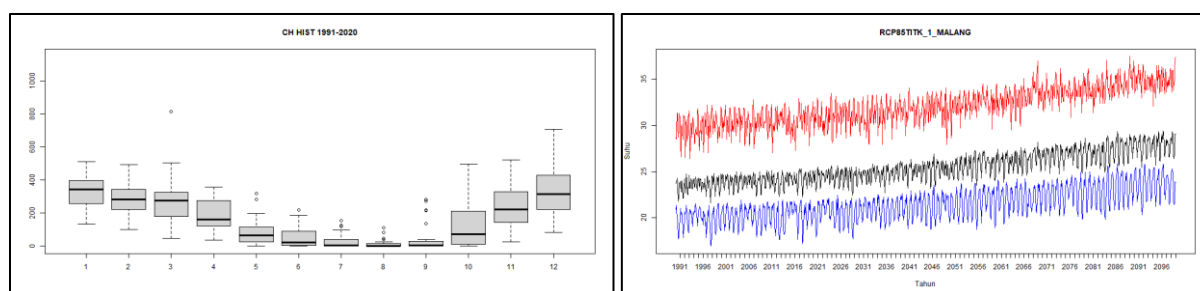
Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan waktu awal tanam, dengan asumsi lama penanaman empat bulan, nilai dari kebutuhan irigasi dan potensi panen tadah hujan dihitung jika



penanaman dilakukan pada awal bulan yang disebutkan. Kebutuhan irigasi dihitung dalam kubik per hektar per masa tanam (1 masa tanam = 4 bulan). Potensi panen tadah hujan dikatakan ada ketika nilai KAT selalu berada di atas KAT_{target} . Untuk Kc berbeda, diasumsikan penanaman terjadi secara teratur catur wulan (Januari – Mei – September hingga April – Agustus – Desember). Seluruh pengolahan di atas dilakukan dengan menggunakan skrip R-Statistics yang dapat diakses melalui laman ResearchGate yang disediakan ^[19].

Hasil dan Pembahasan

Hasil Ekstraksi dan Validasi Curah Hujan RCP 8.5



Gambar 2. Hasil Proyeksi RCP 8.5 (kiri: curah hujan historis, kanan: suhu historis dan proyeksi)

Gambar 2 terdiri dari dua grafik yang menggambarkan data hasil ekstraksi historikal dan proyeksi dari curah hujan dan suhu di titik penelitian. Grafik seperti ini dapat dengan mudah dihasilkan hanya dengan mengganti titik ekstraksi sehingga informasi semacam di atas dapat direplikasi secara mudah. Grafik kiri menampilkan distribusi rata – rata curah hujan historis bulanan (dalam mm) dari Januari hingga Desember 1991 – 2020 menggunakan boxplot. Grafik menunjukkan pola curah hujan muson di titik penelitian. Grafik kanan menunjukkan tren suhu historis dan proyeksi (dalam °C) dari tahun 1991 hingga 2099, dengan garis merah mewakili suhu maksimum bulanan, garis biru mewakili suhu minimum bulanan, sedangkan garis hitam mewakili suhu rata – rata bulanan. Grafik suhu menunjukkan tren kenaikan suhu (maksimum, rata – rata, maupun minimum) dari tahun 1991 hingga 2099 berdasarkan skenario RCP 8.5. Data menunjukkan suhu meningkat secara konsisten dan melebarnya selisih suhu maksimum dengan suhu minimum. Persamaan 1 menunjukkan bahwa kondisi ini meningkatkan laju evapotranspirasi yang selanjutnya akan memperbesar kebutuhan irigasi.

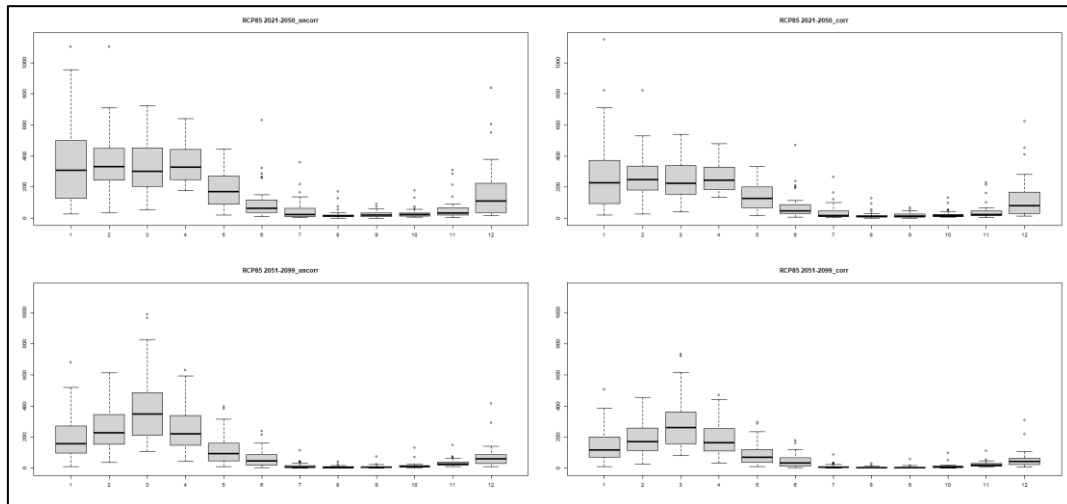
Tabel 4. Hasil Validasi Proyeksi Curah Hujan

No	Metode Koreksi Curah Hujan Bulanan	MAE (2006 – 2020)
1	Non – koreksi	169.5
2	Koreksi Tunggal	132.1
3	Koreksi Bulanan	139.8

Tabel 4 menyajikan tiga metode koreksi curah hujan bulanan yang digunakan untuk memperbaiki data proyeksi curah hujan dengan data observasi pada periode 2006 – 2020. *Mean Absolute Error* (MAE) dihitung sebagai rata – rata absolut dari selisih antara nilai curah hujan proyeksi dan observasi yang memberikan gambaran akurasi yang mudah dimengerti. MAE yang lebih rendah pada metode Koreksi Tunggal menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih cocok untuk memperbaiki data proyeksi curah hujan dalam konteks penelitian ini. Koreksi tunggal yang digunakan selanjutnya adalah 0.712 sehingga setiap data curah hujan pada periode proyeksi dikalikan dengan 0.712.

Gambar 3 memberikan bukti visual tentang bagaimana koreksi curah hujan memperbaiki informasi perubahan iklim. Pola curah hujan muson terlihat jelas dan proyeksi hasil koreksi curah hujan juga menunjukkan pola serupa. Gambar 3 juga mendukung studi sebelumnya yang menyatakan curah hujan akan berkurang di masa depan ^[8]. Temuan ini mengimplikasikan bahwa ketersediaan air akan menurun, panen tadah hujan berpotensi berkurang, dan kebutuhan irigasi meningkat. Perbandingan antara proyeksi

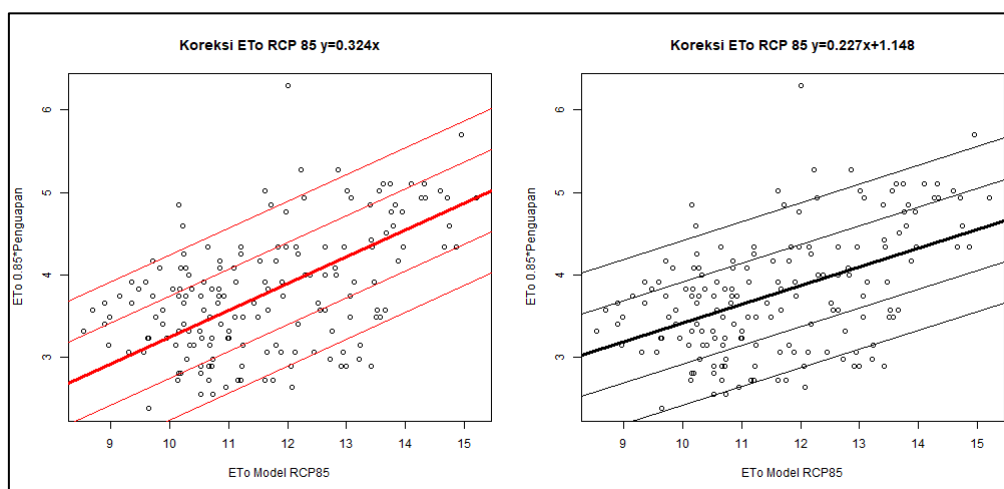
2021 – 2050 dengan 2051 – 2099 juga menunjukkan bahwa penurunan curah hujan akan semakin parah dari tahun ke tahun. Hal ini menunjukkan urgensi adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim, seperti pergeseran jadwal tanam atau peningkatan infrastruktur irigasi maupun pengelolaan air waduk yang lebih memperhatikan informasi iklim. Secara keseluruhan, gambar ini dapat menjadi dasar yang kuat dalam bentuk analisis ilmiah untuk mengembangkan sistem waduk dan irigasi yang lebih memperhatikan informasi perubahan iklim.



Gambar 3. Koreksi Proyeksi Curah Hujan

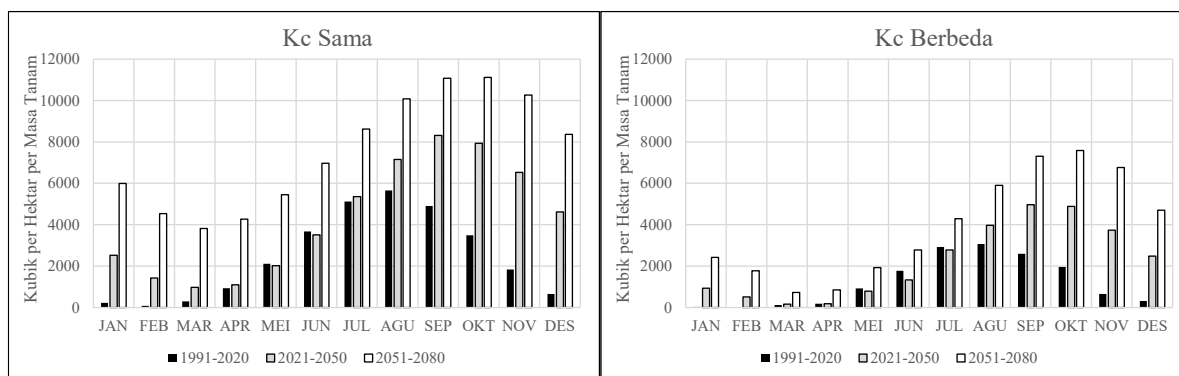
(kiri: tanpa koreksi, kanan: hasil koreksi, atas: 2021 – 2050, bawah: 2051 – 2099, 1 – 12 = Jan – Des)

Gambar 4 menunjukkan dua plot pencar yang membandingkan evapotranspirasi referensi (ET_o) hasil model proyeksi iklim (RCP 8.5) dengan ET_o yang diukur menggunakan panci penguapan (evaporimeter) pada titik Stasiun Klimatologi Jawa Timur (bujur = 112,598; lintang = -7.901), titik koreksi yang melakukan pengamatan evapotranspirasi terdekat dengan titik yang dikaji. Hal ini penting dilakukan karena evapotranspirasi merupakan jalan ke dua, setelah curah hujan, perubahan iklim memengaruhi kebutuhan air^[5]. Plot ini digunakan untuk mengevaluasi kebutuhan koreksi pada data ET_o model, yang relevan dengan penelitian tentang proyeksi iklim untuk mendukung rencana tata tanam. Dua pendekatan koreksi menunjukkan bahwa penggunaan koreksi tanpa konstanta menunjukkan pola yang lebih sesuai jika mengabaikan adanya satu pencilan. Oleh karena itu, koreksi evapotranspirasi yang digunakan untuk evapotranspirasi hasil persamaan proyeksi suhu adalah koreksi tanpa konstanta.



Gambar 4. Plot Koreksi Evapotranspirasi Model dengan Evapotranspirasi Panci Penguapan
(kiri: model tanpa konstanta, kanan: model tanpa konstanta)

Proyeksi Kebutuhan Irigasi Berdasarkan Skenario 8.5



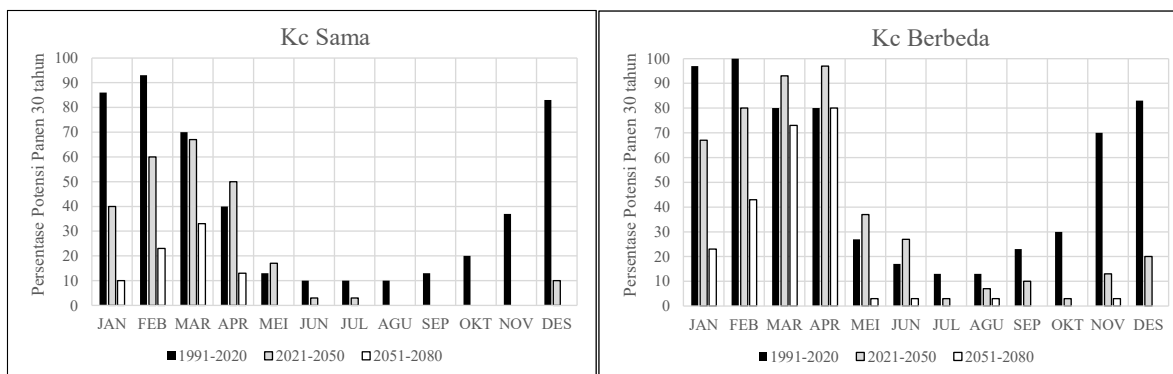
Gambar 5. Proyeksi Kebutuhan Irigasi per Hektar per Masa Tanam

Gambar 5 membandingkan kebutuhan irigasi bulanan menggunakan dua pendekatan Kc (Kc berbeda dan Kc sama) pada tiga periode waktu: historis (1991 – 2020), proyeksi jangka menengah (2021 – 2050), dan proyeksi jangka panjang (2051 – 2080). Cara membaca gambar di atas adalah dengan melihat bulan dan periode. Misalnya, pada Januari periode 2051 – 2080 nilainya adalah 6.000, maka perlu disediakan 6.000 kubik (m^3) air atau enam juta liter untuk menanam 1 hektar jagung dalam satu masa tanam (4 bulan) dengan asumsi irigasi tidak diperlukan ketika curah hujan sudah memenuhi kebutuhan air tanaman.

Data ini mencerminkan perubahan kebutuhan irigasi akibat perubahan iklim berdasarkan skenario proyeksi. Kebutuhan irigasi menggambarkan selisih antara ketersediaan air dan target kebutuhan air tanaman, yang dipengaruhi oleh faktor deplesi. Pada periode 1991 – 2020, kebutuhan irigasi relatif lebih rendah dibandingkan proyeksi masa depan. Pola musiman terlihat jelas dengan kebutuhan irigasi yang lebih tinggi pada musim kemarau dengan puncak di September – Oktober dan lebih rendah pada musim hujan dengan lembah pada Maret – April. Proyeksi 2021 – 2050 dan 2051 – 2080 menunjukkan kebutuhan irigasi yang meningkat signifikan dibandingkan periode 1991 – 2020. Tren ini sejalan dengan proyeksi iklim yang menunjukkan penurunan curah hujan dan kenaikan suhu akan meningkatkan laju evapotranspirasi dan mengurangi ketersediaan air tanah, sehingga kebutuhan irigasi melonjak.

Pendekatan Kc sama secara konsisten menghasilkan estimasi kebutuhan irigasi yang lebih tinggi dibandingkan Kc berbeda di semua periode dan bulan. Misalnya, pada periode 1991 – 2020 bulan Agustus, Kc sama menghasilkan kebutuhan irigasi sebesar 5.658 kubik per hektar (m^3/ha), sedangkan Kc berbeda hanya 3.073 m^3/ha – selisih sebesar 2585 m^3/ha . Selisih ini semakin besar pada proyeksi masa depan, seperti pada bulan September 2051 – 2080, di mana Kc sama menghasilkan 11.081 m^3/ha dan Kc berbeda 7.307 m^3/ha , dengan selisih 3774 m^3/ha . Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Kc sama cenderung melebih-lebihkan kebutuhan air, karena tidak mempertimbangkan variasi kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan tanaman. Penggunaan Kc yang berbeda untuk setiap fase pertumbuhan tanaman (Kc berbeda) memberikan estimasi yang lebih realistis, karena tanaman jagung memiliki kebutuhan air yang bervariasi – lebih rendah pada fase awal dan akhir, serta lebih tinggi pada fase pertumbuhan vegetatif dan reproduktif. Sebaliknya, pendekatan Kc sama mengasumsikan kebutuhan air yang seragam, yang dapat menyebabkan overestimasi kebutuhan irigasi, terutama pada fase – fase dengan kebutuhan air yang sebenarnya lebih rendah. Hal ini sejalan dengan pernyataan dalam abstrak bahwa penggunaan Kc yang sama dapat menghasilkan selisih perhitungan kebutuhan air yang signifikan.

Persentase Potensi Panen Jagung Tadah Hujan



Gambar 6. Persentase Potensi Panen Jagung Tadah Hujan

Gambar 6 menunjukkan potensi panen tadah hujan bulanan untuk tanaman jagung menggunakan dua pendekatan Kc (Kc berbeda dan Kc sama) pada tiga periode: historis (1991 – 2020), proyeksi masa depan dekat (2021 – 2050), dan proyeksi masa depan jauh (2051 – 2080). Potensi panen tadah hujan mencerminkan kemampuan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi hanya dengan mengandalkan curah hujan, tanpa irigasi tambahan. Nilai persentase yang lebih tinggi menunjukkan potensi panen yang lebih baik, sementara nilai rendah atau nol mengindikasikan kegagalan panen akibat kekurangan air.

Pada periode 1991 – 2020, potensi panen tadah hujan relatif lebih tinggi dibandingkan proyeksi masa depan. Untuk pendekatan Kc berbeda, potensi panen tertinggi terjadi pada bulan Februari (100%), dengan nilai yang cukup baik pada bulan Januari (97%) dan Desember (83%). Namun, potensi panen menurun drastis pada musim kemarau (Juni – September), dengan nilai terendah pada bulan Juli dan Agustus (13%). Untuk pendekatan Kc sama, pola serupa terlihat, dengan potensi panen tertinggi pada bulan Februari (93%) dan terendah pada bulan Juni – Agustus (10%). Hal ini konsisten dengan distribusi curah hujan historis yang lebih tinggi pada musim hujan (Januari – Maret) dan rendah pada musim kemarau, sebagaimana ditunjukkan pada grafik sebelumnya.

Proyeksi 2021 – 2050 menunjukkan panen jagung tadah hujan menurun signifikan dibandingkan periode historis. Untuk Kc berbeda, potensi panen tertinggi masih terjadi pada bulan April (97%), tetapi nilai pada musim kemarau sangat rendah, misalnya bulan September (10%) dan Oktober (3%). Bahkan pada musim hujan, potensi panen menurun, seperti pada bulan Januari (67%). Untuk Kc sama, potensi panen tertinggi ada pada bulan Maret (67%), tetapi banyak bulan menunjukkan potensi panen nol, terutama pada bulan Agustus – Oktober (0%). Penurunan ini mencerminkan berkurangnya ketersediaan air akibat penurunan curah hujan yang diproyeksikan, sebagaimana diindikasikan dalam analisis sebelumnya. Proyeksi 2051 – 2080 menunjukkan potensi panen tadah hujan semakin memburuk pada periode ini. Untuk Kc berbeda, potensi panen tertinggi hanya mencapai 80% pada bulan April, tetapi banyak bulan menunjukkan potensi panen nol, terutama pada bulan Juni, September, Oktober, dan Desember (0%). Bahkan pada musim hujan, potensi panen menurun drastis, seperti pada bulan Januari (23%). Untuk Kc sama, situasinya lebih parah, dengan potensi panen tertinggi hanya 33% pada bulan Maret, dan sebagian besar bulan (Mei – Desember) memiliki potensi panen nol. Hal ini menunjukkan bahwa pada periode 2051 – 2080, ketergantungan pada curah hujan saja tidak lagi memadai untuk mendukung panen tanaman jagung.

Data ini menegaskan pentingnya penggunaan pendekatan Kc berbeda dalam memperkirakan potensi panen tadah hujan, karena memberikan estimasi yang lebih realistis dibandingkan Kc sama. Penelitian tentang ketersediaan air tanah sebenarnya cukup populer di kalangan pemangku kepentingan iklim ^[20], sangat disayangkan jika pendekatan Kc yang sama terus menerus digunakan. Penelitian mendatang dapat fokus pada pengembangan varietas tanaman yang lebih adaptif terhadap kondisi kekurangan air,

serta strategi manajemen air yang lebih efektif untuk mendukung pertanian tadah hujan di tengah perubahan iklim. Selain itu, studi lebih lanjut dapat mengeksplorasi dampak perubahan iklim terhadap pola musiman curah hujan secara lebih rinci untuk membantu petani menyesuaikan jadwal tanam. Temuan ini mendukung argumen penelitian bahwa perubahan iklim akan mengurangi potensi panen tadah hujan, sehingga diperlukan strategi adaptasi seperti penyesuaian jadwal tanam, peningkatan irigasi, dan penggunaan varietas tanaman yang lebih tahan kekeringan untuk menjaga produktivitas pertanian di masa depan.

Kesimpulan

Penelitian ini mendemonstrasikan bagaimana informasi proyeksi iklim dapat mendukung perencanaan tata tanam dengan memberikan gambaran kebutuhan irigasi dan potensi panen tadah hujan. Hal ini dapat digunakan sebagai langkah adaptasi perubahan iklim (skenario RCP 8.5) dalam skala suatu titik tertentu. Analisis data historis dan proyeksi mengindikasikan adanya penurunan curah hujan serta peningkatan suhu yang berimplikasi pada berkurangnya ketersediaan air tanah, menurunnya potensi panen tadah hujan, dan meningkatnya kebutuhan irigasi tanaman jagung. Pendekatan koefisien tanaman yang bervariasi (K_c berbeda) terbukti menghasilkan suatu informasi yang jauh berbeda dibandingkan K_c konstan (K_c sama). Hal ini menegaskan bahwa pemilihan metodologi yang tepat dalam perhitungan kebutuhan air sangat krusial untuk mencegah inefisiensi dan kesalahan estimasi dalam pengelolaan sumber daya air pertanian.

Koreksi data proyeksi iklim, baik curah hujan maupun evapotranspirasi (ETo), dengan data in-situ menjadi langkah esensial untuk meningkatkan kualitas informasi proyeksi. Metode Koreksi Tunggal untuk curah hujan dan koreksi ETo berbasis panci penguapan efektif dalam mengurangi bias sistematis, sehingga estimasi ketersediaan air dan kebutuhan irigasi dapat lebih mendekati kondisi aktual. Tanpa koreksi, data proyeksi cenderung memberikan gambaran yang tidak realistis, yang dapat menyesatkan dalam pengambilan keputusan perencanaan tata tanam. Oleh karena itu, proses koreksi ini menjadi fondasi penting untuk memastikan keandalan informasi dalam mendukung strategi adaptasi pertanian di tengah perubahan iklim.

Saran

Secara praktis, penelitian ini merekomendasikan penyesuaian jadwal tanam dan strategi irigasi dengan mendasarkan pada informasi kuantitatif perubahan iklim. Penelitian ini mudah diulangi untuk tempat lain dan skrip yang digunakan dalam penelitian ini juga dibagikan secara terbuka untuk diskusi maupun perbaikan lebih lanjut. Petani disarankan untuk memanfaatkan bulan-bulan dengan potensi panen tadah hujan yang lebih baik, seperti April. Penelitian ini juga mengidentifikasi kebutuhan akan studi lanjutan untuk menyempurnakan metode koreksi proyeksi iklim dan pengembangan model K_c yang lebih responsif terhadap variabel iklim. Eksplorasi lebih lanjut mengenai strategi adaptasi petani seperti teknologi irigasi modern (misal: penggunaan alat pengairan berbasis sensor) dan diversifikasi tanaman berdasar neraca air sangat diperlukan untuk memperkuat ketahanan pangan. Secara keseluruhan, integrasi data proyeksi iklim yang akurat dengan pendekatan K_c yang tepat menjadi langkah strategis dalam memastikan keberlanjutan pertanian. Penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan praktis bagi petani, tetapi juga kontribusi ilmiah yang berharga dalam pengelolaan sumber daya air dan pertanian di era perubahan iklim.

Ucapan Terimakasih

Kami berterima kasih kepada Stasiun Klimatologi Jawa Timur yang telah memberikan kesempatan kolaborasi untuk penelitian ini. Tanpa kesempatan yang diberikan tersebut, penelitian ini tidak dapat terlaksana.



Daftar Pustaka

- [1] Shiferaw Y.G., Ebistu E.T. & Lohani T.K., Representative Concentration Pathways (RCPs) Used as a Tool to Evaluate Climate Change Impact on Maize Crop Production in the Woybo catchment of Ethiopia. *J. Water and Climate Change*, 15(6):2714–2730 (2024).
- [2] Husaini M., Efisiensi Penggunaan Faktor-Faktor Produksi pada Usahatani Jagung di Desa Marga Catur Kecamatan Kalianda Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Manajemen* 2(5): 34–43 (2024).
- [3] Katuuk R.H.H, Wanget S.A. & Tumewu P, Pengaruh Perbedaan Ketinggian Tempat terhadap Kandungan Metabolit Sekunder pada Gulma Babadotan (*Ageratum conyzoides* L.). *Cocos* 10(6) (2019).
- [4] Bestari A, *Laporan Akhir: Penyusunan Alokasi Air WS Brantas*. Surabaya: Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (2023).
- [5] Xing-Guo M, Shi H., Zhong-Hui L., Su-Xia L. & Jun X., Impacts of Climate Change on Agricultural Water Resources and Adaptation on The North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2):93–98 (2017).
- [6] Muhardiono I., Hamdani A., Asmarhansyah, Setiawan K. & Napitupulu A., Standardisasi Kesesuaian Jadwal Tanam Sesuai Kebutuhan Air Tanaman Jagung di Lahan Kering Iklim Basah. *Warta Agrostandar*, 1(1):15–22 (2024).
- [7] Sirait S., Aprilia L. & Fachruddin, Analisis Neraca Air dan Kebutuhan Air Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) berdasarkan Fase Pertumbuhan di Kota Tarakan. *Rona Teknik Pertanian*, 13(1):1–12 (2020).
- [8] Gonçalves I.Z., Fattori I.M., Neale C.M.U., Santos C.A.C., Ruane A., Philips M.M. & Marin F.R., How Can Future Climate Change Affect the Corn Production System in Nebraska. *J. Plant Prod.*, 2(18):563–577 (2024).
- [9] Wu Y., Leng P. & Ren C. Assessing Net Irrigation Needs in Maize–Wheat Rotation Farmlands on the North China Plain: Implications for Future Climate Scenarios. *Agronomy*, 14(6) <https://doi.org/10.3390/agronomy14061144> (2024).
- [10] Malhi G.S., Kaur M. & Kaushik P., Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies. *Sustainability*, 13(3):1–21 (2021).
- [11] Allen R.G., Pereira L.S. & Raes D., *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. FAO:Rome (1998).
- [12] Mahmudiah R.R., Kurniawan A. & Makmur E.E.S, Determining Best East Java Monthly Rainfall Projection using Spatial-based Validation. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 303012023 (2019).
- [13] R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (2022).
- [14] Hijmans R., raster: *Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.6-26, <https://CRAN.R-project.org/package=raster> (2023).
- [15] Kurniawan A., Makmur E. & Supari, Menentukan Metode Interpolasi Spasial Curah Hujan Bulanan Terbaik di Jawa Timur. *Seminar Nasional Geomatika*, 10.24895/SNG.2020.0-0.1142 (2021).
- [16] Willmott, C. & Matsuura K., Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance, *Clim. Res.*, (30):79–82 (2005).
- [17] Prasajo B., Kurniawan A. & Ferdiansyah E., Potensi Jumlah Panen Tanaman Pangan Berdasarkan Ketersediaan Air Tanah di Blitar. *Seminar Nasional Geomatika* (2022).
- [18] FAO, *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria (2012).
- [19] Kurniawan A., *Kumpulan Skrip Penelitian Pengolahan Proyeksi Iklim menjadi Potensi Panen dan Kebutuhan Irigasi Jagung Versi 2024.12.16*. 10.13140/RG.2.2.18204.40322 (2024).
- [20] Tahmid M. & Kurniawan A., Manajemen Pengetahuan Melalui Penambangan Teks Skripsi Klimatologi STMGK 2014–2020. *Seminar Nasional Implementasi Corporate University* (2021).

