Evaluasi Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Kebutuhan Air Irigasi D.I. Empelu Kabupaten Muara Enim

Muhammad Abshar Mahardika*[1], Achmad Syarifudin[2]
Universitas Bina Darma[1,2]
*e-mail: m.absharmahardika93@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan kebutuhan air irigasi yang akurat menjadi faktor penting dalam mendukung keberlanjutan produksi pertanian, terutama di tengah perubahan iklim yang memengaruhi pola curah hujan dan ketersediaan air. Penelitian ini bertujuan menghitung evapotranspirasi referensi (ETo), menganalisis kebutuhan air tanaman (ETc), menghitung hujan efektif, menentukan kebutuhan air irigasi, serta menyusun jadwal irigasi pada Daerah Irigasi Empelu Kabupaten Muara Enim menggunakan perangkat lunak CROPWAT 8.0. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan data iklim bulanan, curah hujan, karakteristik tanah, dan data tanaman yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera VIII, kemudian dianalisis menggunakan metode FAO Penman–Monteith dan simulasi CROPWAT. Analisis ketersediaan air juga dilakukan menggunakan metode F.J. Mock sebagai pembanding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai evapotranspirasi referensi berkisar antara 2,70–3,34 mm/hari dengan rata-rata 3,13 mm/hari. Kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh perubahan koefisien tanaman pada setiap fase pertumbuhan, sedangkan hujan efektif mencapai sekitar 77% dari curah hujan tahunan sehingga mampu mengurangi kebutuhan air irigasi pada musim hujan. Simulasi CROPWAT menghasilkan estimasi kebutuhan air irigasi dan jadwal pemberian air yang lebih rinci sesuai kondisi iklim, tanah, dan tanaman. Integrasi analisis hidrologi menggunakan metode F.J. Mock dengan simulasi CROPWAT memberikan informasi yang komprehensif mengenai keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air sehingga dapat mendukung pengelolaan irigasi yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan di Daerah Irigasi Empelu.

Kata kunci : *CROPWAT 8.0; Evapotranspirasi Referensi; Kebutuhan Air Irigasi; FAO Penman–Monteith; F.J. Mock..*

ABSTRACT

Accurate irrigation water requirement planning is essential to support sustainable agricultural production, particularly under climate change conditions that affect rainfall patterns and water availability. This study aimed to estimate reference evapotranspiration (ETo), analyze crop water requirements (ETc), determine effective rainfall, estimate irrigation water requirements, and develop an irrigation scheduling strategy for the Empelu Irrigation Area, Muara Enim Regency, using CROPWAT 8.0 software. The study employed monthly climatic data, rainfall records, soil characteristics, and crop parameters obtained from the Sumatera VIII River Basin Agency. Data were analyzed using the FAO Penman–Monteith method and simulated with CROPWAT, while water availability was evaluated using the F.J. Mock method for comparison. The results showed that reference evapotranspiration ranged from 2.70 to 3.34 mm day^{-1}, with an average of 3.13 mm day^{-1}. Crop water requirements varied according to crop coefficients during different growth stages, whereas effective rainfall accounted for approximately 77% of annual rainfall, thereby reducing irrigation demand during the rainy season. CROPWAT simulation generated detailed estimates of irrigation water requirements and irrigation schedules based on climatic, soil, and crop conditions. The integration of hydrological analysis using the F.J. Mock method with CROPWAT simulation provided a comprehensive assessment of water availability and demand, supporting more effective, efficient, and sustainable irrigation management in the Empelu Irrigation Area.

Keywords **:** *ROPWAT 8.0; Reference Evapotranspiration; Irrigation Water Requirement; FAO Penman–Monteith; F.J. Mock.*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang ditandai dengan meningkatnya variabilitas curah hujan, suhu udara, dan kelembaban berdampak signifikan terhadap ketersediaan air irigasi di berbagai daerah, termasuk Daerah Irigasi Empelu Kabupaten Muara Enim. Ketidakpastian pola hujan berimplikasi pada berkurangnya keandalan sumber daya air permukaan yang selama ini menjadi penopang utama jaringan irigasi. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG, 2022), pergeseran periode musim hujan dan musim kemarau di Sumatera Selatan menyebabkan ketidakstabilan pola iklim, yang berdampak pada terganggunya distribusi air pada lahan pertanian irigasi.

Dampak perubahan iklim ini semakin menekan sistem irigasi yang sudah ada, sehingga kebutuhan air tanaman (ETc) sering kali tidak terpenuhi secara optimal. Penelitian oleh Prasetyo (2024) menunjukkan bahwa fluktuasi evapotranspirasi referensi (ETo) akibat peningkatan suhu dapat meningkatkan kebutuhan air irigasi sawah hingga 10–15% dibandingkan kondisi normal. Hal ini sejalan dengan temuan Astuti & Handoko (2023) yang menegaskan bahwa perubahan curah hujan musiman berpengaruh langsung pada perhitungan neraca air irigasi, sehingga evaluasi berbasis data iklim terbaru sangat diperlukan untuk daerah irigasi.

Di Kabupaten Muara Enim sendiri, upaya pengembangan dan rehabilitasi jaringan irigasi Empelu terus dilakukan agar mampu beradaptasi dengan kondisi iklim yang dinamis. Berdasarkan DED Pengembangan Jaringan Irigasi DI Ataran Air Empelu (Pemerintah Kabupaten Muara Enim, 2022), perencanaan distribusi air perlu mempertimbangkan variabilitas iklim untuk mengurangi risiko gagal panen. Dengan demikian, evaluasi kebutuhan air irigasi berbasis data iklim periode 2020–2025 menjadi urgensi utama dalam menjamin ketersediaan air secara berkelanjutan sesuai kebutuhan tanaman, menjaga produktivitas pertanian, dan mendukung ketahanan pangan daerah.

Menurut Modul Pengenalan Sistem Irigasi yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2019, irigasi didefinisikan sebagai upaya penyediaan, pengaturan, dan penyaluran air irigasi guna mendukung kegiatan pertanian. Sementara itu, Andi (2019) menyatakan bahwa irigasi merupakan suatu sistem penyaluran air melalui jaringan saluran yang mengalirkan air dari bangunan bendung menuju petak-petak sawah secara berkala untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Secara umum, irigasi dipahami sebagai kegiatan menyediakan dan mengatur air bagi keperluan pertanian. Jenis irigasi mencakup irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air tanah, irigasi pompa, serta irigasi tambak (Endang et al., 2015).

Kebutuhan air tanaman (*crop water requirement*, CWR) adalah jumlah air yang diperlukan tanaman selama periode pertumbuhannya untuk menggantikan semua kehilangan air melalui evapotranspirasi aktual (ETc) sehingga tanaman tumbuh optimal dan menghasilkan produktivitas yang diharapkan. Nilai ETc dihitung dari resultan antara evapotranspirasi referensi (ETo) dan koefisien tanaman (Kc). ETo mewakili kehilangan air dari permukaan standar (biasanya rumput pendek) di bawah kondisi cuaca tertentu, sedangkan Kc menyesuaikan ETo berdasarkan jenis tanaman, fase pertumbuhan tanaman (inisiasi, vegetatif, berbunga, pasca panen), kedalaman akar, dan tutupan kanopi tanaman. Dengan mengetahui CWR, petani dan pengelola irigasi dapat menentukan kapan dan berapa banyak air yang perlu diberikan agar tanaman tidak mengalami stres air.

Evapotranspirasi referensi (ETo) merupakan parameter penting dalam perhitungan kebutuhan air tanaman karena menggambarkan laju kehilangan air akibat gabungan proses evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi tanaman acuan. Menurut Kumar et al. (2024), perhitungan ETo dengan metode Penman-Monteith menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan air padi di Chhattisgarh, India, dengan hasil kebutuhan air mencapai lebih dari 700 mm per musim. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Kumar et al. (2020) yang menekankan bahwa variasi ETo memengaruhi perbedaan kebutuhan air antar komoditas seperti tebu, jagung, dan gandum. Di sisi lain, penelitian Shalsabillah et al. (2018) menunjukkan bahwa nilai ETo di Bengkulu Selatan sangat bervariasi sepanjang tahun, sehingga berpengaruh besar terhadap fluktuasi kebutuhan air irigasi pada Daerah Irigasi Air Nipis.

Menurut Allen et al. (1998) dalam buku *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)*, koefisien tanaman (Kc) adalah faktor pengali dari evapotranspirasi referensi (ETo) untuk mendapatkan evapotranspirasi aktual tanaman (ETc).

Nilai Kc berbeda sesuai fase pertumbuhan tanaman, yang dibagi menjadi empat tahap yaitu fase awal (initial), fase perkembangan (development), fase pertengahan (mid-season), dan fase akhir (late season). Misalnya, pada tanaman padi nilai Kc berkisar antara 1,05 pada fase awal, meningkat menjadi 1,20–1,25 pada fase pertengahan, lalu menurun menjadi 0,90–1,00 pada fase akhir. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman berubah seiring dengan perkembangan fisiologisnya.

Literatur lain dari Sosrodarsono dan Takeda (1993) dalam buku *Irigasi* juga menegaskan bahwa koefisien tanaman sangat berperan dalam menentukan kebutuhan air irigasi yang tepat. Kc tidak hanya dipengaruhi oleh fase pertumbuhan tanaman, tetapi juga oleh faktor iklim, jenis tanah, varietas, serta teknik budidaya. Pada umumnya, tanaman yang membutuhkan air banyak seperti padi sawah memiliki Kc yang lebih tinggi dibandingkan tanaman palawija. Dengan demikian, penggunaan nilai Kc yang akurat sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan irigasi agar distribusi air dapat lebih efisien dan sesuai kebutuhan.

CROPWAT adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh FAO (*Food and Agriculture Organization*) untuk membantu perhitungan kebutuhan air tanaman, jadwal irigasi, serta perencanaan pengelolaan sumber daya air berbasis data agroklimat. Menurut Smith (1992) dalam *CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management*, perangkat ini dirancang untuk memanfaatkan data iklim (suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi matahari), data hujan, serta data agronomi (jenis tanaman, koefisien tanaman, fase pertumbuhan, dan luas lahan) guna menghitung evapotranspirasi referensi (ETo), evapotranspirasi tanaman aktual (ETc), hujan efektif, hingga kebutuhan air irigasi.

Versi terbaru, CROPWAT 8.0 (FAO, 2017), memberikan fasilitas analisis yang lebih lengkap, termasuk integrasi dengan perangkat CLIMWAT untuk mengambil data iklim historis dari berbagai stasiun meteorologi di dunia. Dalam aplikasinya, CROPWAT digunakan untuk menyusun jadwal irigasi mingguan atau harian berdasarkan ketersediaan air di tanah dan kebutuhan air tanaman di setiap fase pertumbuhan. Selain itu, perangkat lunak ini juga mendukung analisis efisiensi penggunaan air pada pola tanam tertentu, sehingga sangat relevan digunakan dalam penelitian maupun perencanaan irigasi di daerah pertanian.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai evapotranspirasi referensi (ETo) menggunakan metode Penman–Monteith melalui perangkat lunak CROPWAT sebagai dasar dalam analisis kebutuhan air tanaman. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan menganalisis kebutuhan air tanaman (ETc) berdasarkan nilai koefisien tanaman (Kc) pada setiap fase pertumbuhan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menghitung hujan efektif yang berkontribusi terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman sehingga dapat diketahui besarnya suplai air yang berasal dari curah hujan. Berdasarkan hasil analisis tersebut, penelitian ini bertujuan menentukan kebutuhan air irigasi melalui simulasi menggunakan perangkat lunak CROPWAT. Pada tahap akhir, penelitian ini bertujuan menyusun jadwal pemberian irigasi yang sesuai dengan kondisi iklim, karakteristik tanah, serta kebutuhan tanaman di lokasi penelitian, sehingga penggunaan air irigasi dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada wilayah Daerah Irigasi Empelu, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan, yang secara geografis berada pada kisaran koordinat 3°39'–3°45' LS dan 103°45'–103°52' BT**.** Kegiatan penelitian dilaksanakan selama periode Oktober hingga November**,** yang meliputi pengumpulan data lapangan, dokumentasi, serta analisis data sekunder. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu daerah irigasi aktif dengan karakteristik hidrologi dan jaringan irigasi yang sesuai dengan kebutuhan analisis dalam penelitian ini. Kondisi wilayah yang mewakili tipikal daerah pertanian lahan basah menjadikannya relevan untuk kajian kebutuhan dan pengelolaan air irigasi.

Metode Pengambilan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu studi dokumentasi, observasi lapangan, dan wawancara terbatas. Studi dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder yang meliputi data iklim dan data curah hujan yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sumatera VIII. Data iklim yang digunakan mencakup suhu udara rata-rata, kelembapan relatif,

kecepatan angin, serta lama penyinaran matahari atau radiasi matahari yang selanjutnya digunakan sebagai data masukan dalam analisis menggunakan perangkat lunak CROPWAT.

Selain studi dokumentasi, observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual daerah penelitian. Kegiatan observasi meliputi pengkajian kondisi jaringan irigasi, pengamatan terhadap pola tanam yang diterapkan, identifikasi karakteristik lahan dan jenis tanah, serta verifikasi luas areal irigasi beserta sistem distribusi air yang digunakan. Hasil observasi ini digunakan untuk memastikan kesesuaian antara data sekunder dengan kondisi nyata di lapangan sehingga analisis kebutuhan air irigasi dapat dilakukan secara lebih akurat.

Sebagai pelengkap, wawancara terbatas dilakukan kepada petugas pengairan, petani, maupun pengamat lapangan untuk memperoleh informasi mengenai jadwal tanam yang diterapkan, mekanisme pemberian air irigasi di lapangan, serta berbagai kendala yang dihadapi dalam pengelolaan air irigasi. Informasi yang diperoleh melalui wawancara digunakan sebagai data pendukung dalam penyusunan jadwal irigasi yang sesuai dengan kondisi di lokasi penelitian.

Metode Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan perangkat lunak CROPWAT dengan mengacu pada metode FAO Penman–Monteith. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data iklim bulanan, yaitu suhu udara rata-rata, kelembapan relatif, kecepatan angin, lama penyinaran atau radiasi matahari, serta data curah hujan bulanan yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sumatera VIII.

Tahap pertama pengolahan data dilakukan dengan memasukkan data iklim ke dalam modul Climate pada CROPWAT untuk menghitung nilai evapotranspirasi referensi (ETo) menggunakan persamaan FAO Penman–Monteith. Selanjutnya, data curah hujan dimasukkan ke dalam modul Rain untuk menghitung hujan efektif (*effective rainfall*) menggunakan metode yang tersedia pada CROPWAT, seperti metode USDA-SCS atau metode bawaan perangkat lunak. Setelah itu, parameter tanaman dimasukkan melalui modul Crop, yang meliputi jadwal tanam, lama setiap fase pertumbuhan, serta nilai koefisien tanaman (Kc), sehingga diperoleh nilai evapotranspirasi tanaman (ETc) atau kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement*). Tahap berikutnya dilakukan dengan memasukkan karakteristik tanah pada modul Soil, yang meliputi kapasitas simpan air dan batas deplesi air tanah yang diizinkan. Selanjutnya, pada modul Irrigation Schedule, ditentukan jadwal irigasi, efisiensi aplikasi irigasi, serta metode pemberian air sesuai dengan kondisi daerah penelitian. Seluruh data tersebut kemudian disimulasikan menggunakan CROPWAT untuk memperoleh kebutuhan air irigasi dan jadwal pemberian air yang optimal.

Hasil pengolahan data menggunakan perangkat lunak CROPWAT berupa nilai evapotranspirasi referensi (ETo), evapotranspirasi tanaman (ETc), kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement* atau CWR), hujan efektif (*Effective Rainfall* atau Pe), kebutuhan air irigasi bersih (*Net Irrigation Requirement* atau NIR), kebutuhan air irigasi kotor (*Gross Irrigation Requirement* atau GIR), serta jadwal pemberian air harian maupun bulanan selama satu musim tanam. Hasil tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi kebutuhan air irigasi dan menyusun rekomendasi jadwal irigasi yang sesuai dengan kondisi iklim, tanah, dan tanaman pada lokasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evapotranspirasi Referensi (ETo)

Evapotranspirasi referensi (ETo) merupakan salah satu parameter utama dalam perencanaan kebutuhan air irigasi karena menggambarkan besarnya kehilangan air melalui proses evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi tanaman referensi akibat pengaruh kondisi iklim. Pada penelitian ini, nilai ETo dihitung menggunakan metode FAO Penman–Monteith berdasarkan data klimatologi rata-rata selama periode 2016–2024 yang meliputi suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, radiasi matahari, jenis tanah, pola tanam, serta luas daerah irigasi seluas 140 ha. Data iklim tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung komponen-komponen penyusun persamaan Penman–Monteith, yaitu radiasi gelombang pendek, tekanan uap jenuh, tekanan uap aktual, radiasi bersih, fungsi kecepatan angin, hingga diperoleh nilai evapotranspirasi referensi harian.

Perhitungan menunjukkan bahwa nilai ETo harian selama satu tahun berada pada kisaran 2,98–3,67 mm/hari, sedangkan nilai ETo bulanan berkisar antara 89,45–113,64 mm/bulan. Nilai evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan Oktober, yaitu sebesar 3,67 mm/hari atau 113,64 mm/bulan, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Juni, yaitu sebesar 2,98 mm/hari atau 89,45 mm/bulan. Variasi tersebut dipengaruhi oleh perubahan kondisi iklim bulanan, terutama suhu udara, kelembapan relatif, intensitas radiasi matahari, serta kecepatan angin. Semakin tinggi suhu dan radiasi matahari yang diterima permukaan lahan, maka semakin besar energi yang tersedia untuk proses evaporasi dan transpirasi sehingga meningkatkan nilai evapotranspirasi. Sebaliknya, kelembapan udara yang tinggi akan menurunkan gradien tekanan uap antara permukaan tanaman dan atmosfer sehingga laju evapotranspirasi menjadi lebih kecil.

Secara umum, nilai evapotranspirasi yang diperoleh menunjukkan karakteristik wilayah tropis basah yang memiliki fluktuasi iklim relatif kecil sepanjang tahun. Hal tersebut menyebabkan perubahan kebutuhan air tanaman tidak berlangsung secara ekstrem dari satu bulan ke bulan berikutnya. Kondisi ini menguntungkan dalam perencanaan irigasi karena kebutuhan air dasar tanaman relatif stabil sehingga pengaturan distribusi air dapat dilakukan secara lebih terencana dibandingkan wilayah yang memiliki variasi iklim musiman sangat besar.



Gambar 1. Grafik Evapotranspirasi Harian dan Bulanan Rata-rata Tahun 2016–2024

Analisis Ketersediaan Air

Analisis ketersediaan air dilakukan untuk mengetahui kemampuan sumber air dalam memenuhi kebutuhan irigasi pada Daerah Irigasi (D.I.) Empelu. Perhitungan dilakukan menggunakan metode F.J. Mock dengan memanfaatkan data curah hujan bulanan, evapotranspirasi, jumlah hari hujan, kapasitas kelembapan tanah, penggunaan lahan, dan karakteristik hidrologi Sub DAS Enim sebagai daerah tangkapan air yang memasok kebutuhan irigasi. Metode ini digunakan karena mampu menggambarkan proses neraca air secara sederhana melalui komponen evapotranspirasi aktual, infiltrasi, simpanan air tanah, limpasan langsung, aliran dasar, hingga menghasilkan estimasi debit sungai yang tersedia sepanjang tahun.

Berdasarkan hasil analisis tahun 2024, debit air yang tersedia menunjukkan pola yang mengikuti distribusi curah hujan tahunan. Pada bulan Januari, curah hujan mencapai 444 mm/bulan dengan evapotranspirasi potensial sebesar 105,71 mm/bulan, sehingga menghasilkan surplus air yang cukup besar. Kondisi tersebut meningkatkan infiltrasi dan pengisian kembali cadangan air tanah yang selanjutnya meningkatkan baseflow sungai. Sebaliknya, selama musim kemarau jumlah surplus air semakin berkurang sehingga debit sungai juga mengalami penurunan. Hasil ini menunjukkan bahwa besarnya debit sungai tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan sesaat, tetapi juga dipengaruhi oleh kemampuan tanah menyimpan air dan melepaskannya kembali secara bertahap melalui aliran dasar.

Perhitungan hidrologi menghasilkan debit sungai tahun 2024 berkisar antara 0,288–1,994 m^3/detik. Debit terbesar terjadi pada bulan Januari, sedangkan debit terkecil terjadi pada bulan Oktober. Variasi tersebut sejalan dengan pola hujan tahunan yang menunjukkan bahwa musim penghujan memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan ketersediaan air irigasi. Tingginya curah hujan pada awal tahun menyebabkan infiltrasi meningkat sehingga cadangan air tanah tetap mampu menopang aliran sungai

beberapa bulan setelah puncak musim hujan berlalu. Sebaliknya, ketika curah hujan mulai menurun, infiltrasi juga berkurang sehingga debit sungai secara bertahap mengalami penurunan.

Rekapitulasi hasil perhitungan selama periode 2016–2024 menunjukkan bahwa rata-rata debit ketersediaan air terbesar terjadi pada bulan Maret, yaitu sekitar 0,67 m^3/detik, sedangkan debit rata-rata terkecil terjadi pada bulan September, yaitu sekitar 0,19 m^3/detik. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa sumber daya air di D.I. Empelu memiliki karakteristik musiman yang cukup jelas, yaitu debit tinggi pada musim penghujan dan debit rendah pada musim kemarau. Namun demikian, fluktuasi tersebut masih mampu mendukung sistem tanam dua kali dalam setahun karena debit rata-rata tetap tersedia sepanjang tahun meskipun dengan besaran yang berbeda.

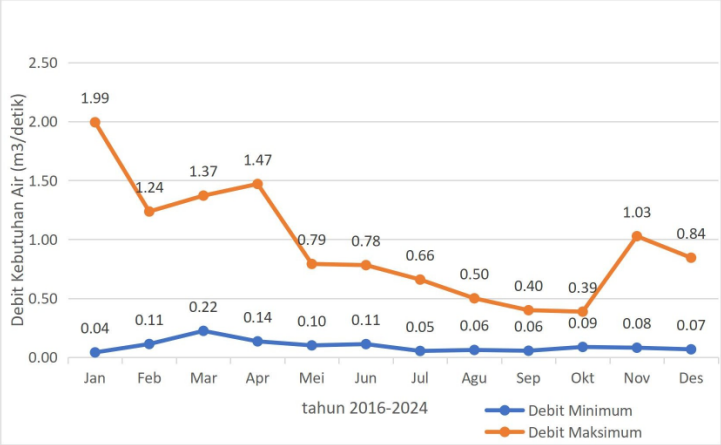
Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa selama periode pengamatan diperoleh debit maksimum sebesar 1,99 m^3/detik pada Januari 2024, sedangkan debit minimum sebesar 0,04–0,05 m^3/detik terjadi pada Juli 2018. Perbedaan yang cukup besar tersebut menunjukkan adanya pengaruh variasi curah hujan antar tahun terhadap besarnya ketersediaan air. Tahun-tahun dengan curah hujan tinggi menghasilkan surplus air yang besar sehingga debit sungai meningkat secara signifikan, sedangkan pada tahun-tahun yang lebih kering debit sungai mengalami penurunan yang cukup tajam. Kondisi tersebut perlu menjadi pertimbangan dalam penyusunan pola operasi irigasi agar distribusi air tetap dapat dilakukan secara efisien ketika memasuki musim kemarau.

Daerah Irigasi Empelu memiliki luas layanan sekitar 140 ha dengan pola tanam padi–padi yang dilaksanakan dalam dua musim tanam, yaitu Februari periode I hingga Juli periode I sebagai musim tanam pertama dan Agustus periode II hingga Januari periode II sebagai musim tanam kedua. Berdasarkan pola tanam tersebut, kebutuhan air irigasi sangat dipengaruhi oleh dinamika debit sungai pada masing-masing musim. Debit yang relatif tinggi pada awal tahun memberikan peluang untuk memenuhi kebutuhan pengolahan lahan dan fase vegetatif tanaman, sedangkan debit yang mulai menurun pada pertengahan hingga akhir tahun memerlukan pengaturan distribusi air yang lebih efisien agar seluruh areal irigasi tetap memperoleh suplai air yang memadai.

Secara keseluruhan, hasil analisis ketersediaan air menunjukkan bahwa sumber air di D.I. Empelu masih mampu mendukung penerapan pola tanam padi dua kali setahun. Namun demikian, keberhasilan pengelolaan irigasi tidak hanya ditentukan oleh besarnya debit sungai, tetapi juga oleh ketepatan penjadwalan distribusi air sesuai kebutuhan tanaman pada setiap fase pertumbuhan. Oleh karena itu, hasil analisis ketersediaan air selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan air tanaman, hujan efektif, serta kebutuhan air irigasi menggunakan simulasi CROPWAT sehingga diperoleh jadwal pemberian air yang lebih optimal.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Ketersediaan Air Metode F.J. Mock Tahun 2016–2024

Rekapitulasi Hasil Perhitungan Metode F.J Mock													
No	**Tahun**	**Jan**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mei**	**Jun**	**Jul**	**Agu**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Des**
1	2016	0.09	0.58	0.57	0.23	0.18	0.13	0.11	0.08	0.08	0.20	0.09	0.08
2	2017	0.23	0.67	0.67	0.30	0.21	0.17	0.15	0.13	0.10	0.15	0.10	0.15
3	2018	0.04	0.11	0.44	0.14	0.10	0.11	0.05	0.06	0.06	0.11	0.08	0.07
4	2019	0.50	0.75	0.40	0.27	0.21	0.19	0.15	0.10	0.10	0.09	0.55	0.79
5	2020	0.51	0.77	0.74	0.52	0.79	0.78	0.39	0.29	0.25	0.21	0.48	0.51
6	2021	0.70	0.60	0.76	0.48	0.41	0.26	0.66	0.29	0.24	0.19	0.18	0.78
7	2022	0.29	0.24	0.22	0.16	0.12	0.49	0.51	0.50	0.25	0.39	0.22	0.78
8	2023	1.28	1.02	0.88	1.24	0.55	0.69	0.43	0.31	0.27	0.22	1.03	0.84
9	2024	1.99	1.24	1.37	1.47	0.70	0.62	0.56	0.37	0.40	0.29	0.66	0.69
	Rata-Rata	0.63	0.66	0.67	0.53	0.36	0.38	0.33	0.24	0.19	0.21	0.38	0.52
	Minimal	0.04	0.11	0.22	0.14	0.10	0.11	0.05	0.06	0.06	0.09	0.08	0.07
	Maksimal	1.99	1.24	1.37	1.47	0.79	0.78	0.66	0.50	0.40	0.39	1.03	0.84



Gambar 2. Ketersediaan Air Rata-rata Tahun 2016–2024

Kebutuhan Air Tanaman (ETc)

Kebutuhan air tanaman (*Crop Water Requirement* atau ETc) merupakan jumlah air yang dibutuhkan tanaman untuk memenuhi proses fisiologis selama masa pertumbuhan. Nilai ETc dihitung berdasarkan hasil perkalian antara evapotranspirasi referensi (ETo) dengan koefisien tanaman (Kc) yang berubah mengikuti setiap fase pertumbuhan padi. Pada penelitian ini digunakan pola tanam padi–padi dengan dua musim tanam pada areal irigasi seluas 140 ha. Nilai Kc mengacu pada karakteristik pertumbuhan tanaman padi, sedangkan nilai ETo diperoleh dari hasil perhitungan metode FAO Penman–Monteith. Pendekatan ini memungkinkan estimasi kebutuhan air tanaman yang lebih realistis karena mempertimbangkan perubahan kebutuhan air pada fase awal pertumbuhan, fase vegetatif, fase pembungaan, hingga fase pemasakan.

Analisis menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman mengalami perubahan yang mengikuti perkembangan fase pertumbuhan padi. Pada awal musim tanam, kebutuhan air relatif tinggi karena selain memenuhi evapotranspirasi tanaman juga diperlukan air untuk proses pengolahan lahan dan pembentukan lapisan genangan pada lahan sawah. Selanjutnya, kebutuhan air meningkat pada fase perkembangan vegetatif hingga mencapai nilai maksimum ketika tanaman memasuki fase pertumbuhan penuh (*mid-season*). Pada fase ini luas tajuk tanaman telah berkembang secara optimal sehingga proses transpirasi meningkat dan menyebabkan kebutuhan air tanaman menjadi lebih besar. Setelah memasuki fase pemasakan, nilai ETc secara bertahap menurun seiring berkurangnya aktivitas fisiologis tanaman menjelang panen.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada musim tanam pertama, nilai ETc berada pada kisaran 1,00–3,88 mm/hari, sedangkan pada musim tanam kedua berkisar antara 1,33–3,56 mm/hari. Nilai tertinggi terjadi pada fase pertumbuhan aktif ketika koefisien tanaman mencapai nilai maksimum, sedangkan nilai terendah terjadi menjelang akhir musim tanam ketika tanaman memasuki fase pemasakan. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan kebutuhan air tanaman lebih dipengaruhi oleh perkembangan fase pertumbuhan dibandingkan oleh perubahan nilai evapotranspirasi referensi yang relatif kecil sepanjang tahun. Dengan demikian, penggunaan koefisien tanaman menjadi komponen penting dalam menentukan besarnya kebutuhan air aktual di lapangan.

Selain dipengaruhi oleh nilai ETc, kebutuhan air tanaman juga dipengaruhi oleh kehilangan air akibat perkolasi dan kebutuhan penggantian lapisan air (*Water Layer Replacement/WLR*) yang merupakan karakteristik utama budidaya padi sawah. Oleh karena itu, kebutuhan air total dihitung sebagai penjumlahan evapotranspirasi tanaman, kehilangan air akibat perkolasi, serta kebutuhan penggantian lapisan air, kemudian dikurangi oleh kontribusi curah hujan efektif. Pendekatan tersebut memberikan gambaran kebutuhan air yang lebih representatif dibandingkan hanya menggunakan evapotranspirasi tanaman semata.

Analisis Kebutuhan Air pada Tahap Pengolahan Lahan

Tahap pengolahan lahan merupakan periode yang memerlukan pasokan air paling besar sebelum tanaman memasuki fase pertumbuhan. Pada penelitian ini, pengolahan lahan diasumsikan berlangsung selama 45 hari dengan kebutuhan penjenuhan tanah sebesar 250 mm, laju perkolasi 2 mm/hari, serta

efisiensi jaringan irigasi sebesar 65%. Seluruh parameter tersebut digunakan untuk menghitung kebutuhan air selama proses persiapan lahan pada masing-masing musim tanam.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada musim tanam pertama kebutuhan air selama pengolahan lahan mencapai 0,197 m^3/detik. Besarnya kebutuhan tersebut dipengaruhi oleh kombinasi antara kebutuhan penjenuhan tanah, kehilangan air akibat perkolasi, dan evapotranspirasi awal yang masih relatif tinggi. Selain itu, meskipun curah hujan efektif pada awal musim tanam cukup besar, kontribusinya belum mampu sepenuhnya mengurangi kebutuhan air irigasi karena sebagian air masih digunakan untuk menjenuhkan tanah sebelum proses tanam dilakukan.

Pada musim tanam kedua, kebutuhan air pengolahan lahan meningkat menjadi sekitar 0,242 m^3/detik. Peningkatan tersebut terutama disebabkan oleh rendahnya curah hujan efektif selama periode Agustus–September sehingga sebagian besar kebutuhan air harus dipenuhi melalui sistem irigasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengolahan lahan pada musim kemarau memerlukan suplai air yang lebih besar dibandingkan musim penghujan. Oleh karena itu, pengaturan jadwal tanam menjadi faktor penting agar proses pengolahan lahan dapat dilakukan ketika debit sungai masih mencukupi.

Perbedaan kebutuhan air antara kedua musim tanam memperlihatkan bahwa pengaruh curah hujan efektif sangat signifikan terhadap besarnya air irigasi yang harus disediakan. Semakin kecil kontribusi hujan efektif, maka semakin besar kebutuhan air yang harus dipasok melalui jaringan irigasi. Sebaliknya, pada musim dengan curah hujan tinggi sebagian kebutuhan air tanaman dapat dipenuhi secara alami sehingga volume air irigasi dapat dikurangi.

Analisis Kebutuhan Air Irigasi Selama Masa Tanam

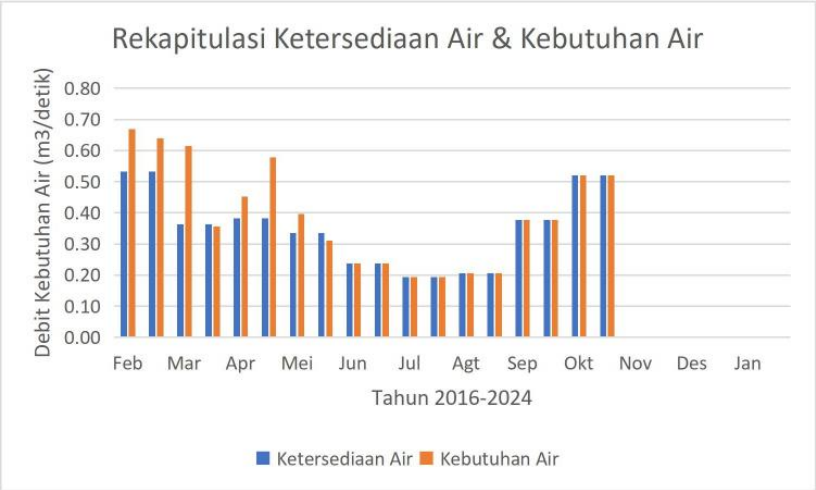
Setelah proses pengolahan lahan selesai, kebutuhan air dihitung untuk setiap fase pertumbuhan tanaman berdasarkan nilai ETc, curah hujan efektif, kehilangan air akibat perkolasi, dan kebutuhan penggantian lapisan air. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan air bersih di sawah (*Net Field Requirement/NFR*) berubah mengikuti perkembangan tanaman dan kondisi hidrologi setiap periode tanam.

Pada musim tanam pertama, kebutuhan air irigasi relatif tinggi pada fase awal pertumbuhan karena masih dipengaruhi oleh kebutuhan penggenangan lahan dan pembentukan sistem perakaran tanaman. Selanjutnya kebutuhan air meningkat selama fase vegetatif dan mulai menurun ketika tanaman memasuki fase pemasakan. Sebaliknya, pada musim tanam kedua kebutuhan air cenderung lebih tinggi dibandingkan musim tanam pertama karena berlangsung pada periode dengan curah hujan efektif yang lebih rendah. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian besar kebutuhan air tanaman harus dipenuhi melalui sistem irigasi.

Rekapitulasi hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit kebutuhan air irigasi berkisar antara 0,11–0,72 m^3/detik. Nilai tertinggi terjadi pada musim tanam I bulan Juni–Juli Periode II, yaitu sekitar 0,72 m^3/detik, sedangkan kebutuhan air terendah terjadi pada Januari Periode II, yaitu sekitar 0,15 m^3/detik. Fluktuasi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh evapotranspirasi, tetapi juga oleh perubahan koefisien tanaman, curah hujan efektif, serta kebutuhan penggantian lapisan air pada sawah.

Jika dibandingkan dengan hasil analisis ketersediaan air menggunakan metode F.J. Mock, terlihat bahwa pada beberapa periode kebutuhan air irigasi lebih besar daripada debit rata-rata yang tersedia di sungai. Kondisi ini terutama terjadi pada pertengahan musim tanam ketika tanaman memasuki fase pertumbuhan maksimum, sedangkan curah hujan mulai menurun. Sebaliknya, pada awal musim penghujan ketersediaan air relatif lebih besar daripada kebutuhan tanaman sehingga distribusi air dapat dilakukan tanpa mengalami kekurangan pasokan.

Perbandingan antara kebutuhan air dan ketersediaan air memberikan informasi penting dalam penyusunan jadwal operasi jaringan irigasi. Ketika debit sungai lebih kecil dibandingkan kebutuhan air tanaman, diperlukan pengaturan distribusi air melalui sistem giliran (*rotational irrigation*) atau peningkatan efisiensi jaringan agar seluruh petak sawah tetap memperoleh suplai air secara proporsional. Sebaliknya, pada saat debit sungai lebih besar daripada kebutuhan tanaman, kelebihan air dapat dimanfaatkan sebagai cadangan untuk periode berikutnya atau dialirkan ke lahan lain yang memerlukan.



Gambar 3. Rekapitulasi Ketersediaan dan Kebutuhan Air Rata-rata 2016–2024

Bagian ini menunjukkan bahwa kebutuhan air irigasi di D.I. Empelu dipengaruhi oleh interaksi antara evapotranspirasi, koefisien tanaman, hujan efektif, dan karakteristik budidaya padi sawah. Hasil tersebut menegaskan bahwa penyediaan air irigasi tidak dapat hanya didasarkan pada besarnya debit sungai, tetapi juga harus mempertimbangkan dinamika kebutuhan air tanaman pada setiap fase pertumbuhan. Oleh karena itu, integrasi antara analisis hidrologi dan analisis kebutuhan air tanaman menjadi dasar dalam penyusunan jadwal irigasi yang efisien dan berkelanjutan.

Estimasi Hujan Efektif (*Effective Rainfall*)

Hujan efektif (*effective rainfall*) merupakan bagian dari curah hujan yang benar-benar dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan air selama masa pertumbuhan. Tidak seluruh curah hujan yang jatuh di suatu wilayah dapat digunakan secara langsung oleh tanaman karena sebagian air akan hilang melalui limpasan permukaan (*runoff*), infiltrasi yang melebihi kapasitas perakaran, serta evaporasi sebelum sempat dimanfaatkan tanaman. Oleh karena itu, analisis hujan efektif menjadi salah satu tahapan penting dalam perencanaan kebutuhan air irigasi karena besarnya hujan efektif akan mengurangi volume air yang harus disuplai melalui jaringan irigasi. Pada penelitian ini, hujan efektif dihitung berdasarkan data curah hujan Stasiun Tanjung Rambang periode 2016–2024 menggunakan metode peluang 80% (R80), sehingga nilai yang diperoleh merepresentasikan kondisi curah hujan yang dapat diandalkan untuk perencanaan irigasi.

Tahap awal analisis dilakukan dengan menghitung curah hujan rata-rata wilayah menggunakan metode aritmatika. Karena daerah penelitian hanya dipengaruhi oleh satu stasiun hujan, maka nilai curah hujan wilayah sama dengan data curah hujan yang tercatat pada Stasiun Tanjung Rambang. Selanjutnya seluruh data curah hujan bulanan selama sembilan tahun diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar untuk memperoleh curah hujan dengan peluang terpenuhi sebesar 80% (R80). Pendekatan ini dipilih karena lebih konservatif dalam perencanaan irigasi sehingga risiko kekurangan air pada musim tanam dapat diminimalkan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan efektif mengalami fluktuasi yang mengikuti pola musim di wilayah penelitian. Curah hujan efektif tertinggi terjadi pada Maret periode I, yaitu sebesar 2,97 mm/hari, sedangkan nilai terendah terjadi pada Agustus periode II, yaitu sebesar 0,17 mm/hari. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kontribusi hujan terhadap pemenuhan kebutuhan air tanaman sangat besar pada akhir musim penghujan, tetapi menurun secara signifikan selama musim kemarau. Akibatnya, pada periode Agustus hingga Oktober kebutuhan air irigasi menjadi lebih tinggi karena sebagian besar kebutuhan air tanaman harus dipenuhi melalui jaringan irigasi. Sebaliknya, pada bulan Februari hingga Maret, tingginya hujan efektif mampu mengurangi kebutuhan suplai air irigasi sehingga distribusi air menjadi lebih efisien.

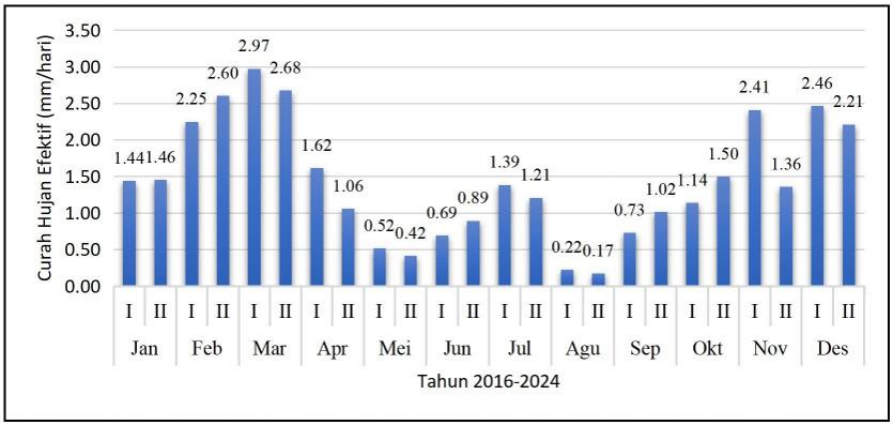
Perubahan nilai hujan efektif juga berkaitan erat dengan pola pertumbuhan tanaman padi. Pada fase vegetatif awal, curah hujan efektif yang tinggi dapat membantu memenuhi kebutuhan air tanaman sekaligus

mengurangi kehilangan air akibat evaporasi dari permukaan sawah. Namun ketika memasuki musim kemarau, rendahnya hujan efektif menyebabkan seluruh kebutuhan evapotranspirasi dan kehilangan air akibat perkolasi harus dipenuhi melalui sistem irigasi. Dengan demikian, hujan efektif memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan besarnya kebutuhan air bersih di sawah (*Net Field Requirement*), terutama pada lahan sawah dengan sistem genangan.

Selain itu, hasil penelitian memperlihatkan bahwa distribusi hujan efektif tidak selalu sebanding dengan besarnya curah hujan bulanan. Beberapa bulan dengan curah hujan yang cukup tinggi tetap menghasilkan hujan efektif yang relatif rendah akibat tingginya kehilangan air melalui limpasan dan infiltrasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan curah hujan total tanpa memperhitungkan hujan efektif dapat menyebabkan estimasi kebutuhan air irigasi menjadi kurang akurat. Oleh sebab itu, penggunaan metode R80 memberikan estimasi yang lebih representatif untuk mendukung perencanaan operasi irigasi di lapangan.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif

Rekap Data Curah Hujan Efektif						
Periode		**R80**	**AP**	**R80 (1/2 bulan)**	**Re Padi**	**Re Palawija**
		mm/hari	**mm/hari**	**mm/hari**	**mm/hari**	**mm/hari**
Jan	**I**	62	71.55	30.80	1.44	1.03
	II		72.50	31.20	1.46	1.04
Feb	**I**	104	93.50	48.19	2.25	1.61
	II		108.28	55.81	2.60	1.86
Mar	**I**	121	116.83	63.73	2.97	2.12
	II		105.18	57.37	2.68	1.91
Apr	**I**	57	73.33	34.68	1.62	1.16
	II		48.05	22.72	1.06	0.76
Mei	**I**	20	29.35	11.11	0.52	0.37
	II		23.50	8.89	0.42	0.30
Jun	**I**	34	30.50	14.84	0.69	0.49
	II		39.40	19.16	0.89	0.64
Jul	**I**	56	50.20	29.68	1.39	0.99
	II		43.83	25.92	1.21	0.86
Agu	**I**	9	20.28	4.79	0.22	0.16
	II		15.73	3.71	0.17	0.12
Sep	**I**	37	30.18	15.60	0.73	0.52
	II		42.18	21.80	1.02	0.73
Okt	**I**	57	51.73	24.37	1.14	0.81
	II		68.20	32.13	1.50	1.07
Nov	**I**	103	91.60	51.65	2.41	1.72
	II		91.60	29.12	1.36	0.97
Des	**I**	100	100.98	52.80	2.46	1.76
	II		90.65	47.40	2.21	1.58



Gambar 4. Curah Hujan Efektif Padi Rata-rata Tahun 2016–2024

Kebutuhan Air Irigasi Berdasarkan Simulasi CROPWAT

Untuk meningkatkan akurasi analisis kebutuhan air irigasi, penelitian ini juga memanfaatkan perangkat lunak CROPWAT yang dikembangkan oleh FAO. Perangkat lunak ini mengintegrasikan data iklim, karakteristik tanaman, sifat tanah, curah hujan efektif, dan efisiensi irigasi sehingga mampu menghasilkan estimasi kebutuhan air tanaman serta jadwal pemberian air secara lebih komprehensif. Penggunaan CROPWAT memberikan keuntungan karena seluruh parameter hidrologi dan agronomi dihitung secara terpadu menggunakan pendekatan FAO Penman–Monteith yang telah menjadi standar internasional dalam perencanaan irigasi.

Tahap pertama simulasi dilakukan dengan memasukkan data iklim bulanan yang terdiri atas suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, serta radiasi matahari ke dalam modul Climate/ETo. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai evapotranspirasi referensi berkisar antara 2,70–3,34 mm/hari dengan rata-rata sekitar 3,13 mm/hari. Nilai tersebut menunjukkan bahwa wilayah penelitian memiliki karakteristik iklim tropis lembap dengan tingkat evapotranspirasi sedang. Nilai evapotranspirasi tertinggi terjadi pada bulan April ketika suhu udara dan intensitas radiasi matahari relatif tinggi, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Juni yang ditandai oleh berkurangnya radiasi matahari dan kecepatan angin. Hasil simulasi ini memperlihatkan pola yang konsisten dengan hasil perhitungan manual menggunakan metode Penman–Monteith sehingga menunjukkan bahwa data iklim yang digunakan telah mampu merepresentasikan kondisi aktual wilayah penelitian.

Selanjutnya, data curah hujan dimasukkan ke dalam modul Rain dengan menggunakan metode USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS) untuk menghitung hujan efektif secara otomatis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total curah hujan tahunan mencapai 1.449,2 mm, sedangkan hujan efektif sebesar 1.120,8 mm atau sekitar 77% dari total curah hujan tahunan. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar curah hujan masih dapat dimanfaatkan oleh tanaman, sedangkan sisanya hilang akibat limpasan, infiltrasi yang berlebihan, dan evaporasi. Curah hujan efektif tertinggi terjadi pada bulan Maret dan Desember, sedangkan nilai terendah terjadi pada bulan Agustus yang merupakan periode dengan kebutuhan irigasi paling tinggi. Kondisi tersebut memperkuat hasil analisis hujan efektif yang telah dilakukan secara manual, sehingga menunjukkan konsistensi antara kedua pendekatan analisis.

Pada tahap berikutnya, parameter tanaman dimasukkan ke dalam modul Crop dengan memilih komoditas padi (*Rice*). Simulasi menggunakan umur tanaman selama 150 hari, yang terdiri atas fase persemaian, pengolahan lahan, fase awal, fase perkembangan, fase pertumbuhan maksimum, dan fase pemasakan. Selama fase tersebut nilai koefisien tanaman (*Kc*) berubah mengikuti perkembangan fisiologis tanaman. Nilai Kc tertinggi terjadi pada fase pertumbuhan maksimum (*mid-season*), yang menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman mencapai kondisi paling besar ketika tajuk tanaman berkembang secara optimal. Selain itu, kedalaman akar efektif meningkat secara bertahap dari sekitar 0,10 m pada fase awal hingga mencapai sekitar 0,60 m menjelang akhir musim tanam. Peningkatan kedalaman akar tersebut menyebabkan kemampuan tanaman menyerap air dari lapisan tanah semakin besar sehingga memengaruhi pola kebutuhan air selama masa pertumbuhan.

Hasil simulasi CROPWAT menunjukkan bahwa kebutuhan air tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi iklim, tetapi juga oleh perubahan fase pertumbuhan tanaman, karakteristik tanah, dan distribusi curah hujan sepanjang musim tanam. Integrasi seluruh parameter tersebut menghasilkan estimasi kebutuhan air yang lebih rinci dibandingkan perhitungan manual karena setiap perubahan kondisi iklim maupun fase pertumbuhan tanaman secara otomatis memengaruhi hasil simulasi. Dengan demikian, CROPWAT mampu memberikan dasar yang lebih kuat dalam penyusunan jadwal irigasi yang efisien sesuai kondisi aktual daerah penelitian.

Sintesis Hasil Pembahasan

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Empelu merupakan hasil interaksi antara kondisi iklim, karakteristik tanaman, hujan efektif, sifat tanah, dan ketersediaan sumber air. Nilai evapotranspirasi referensi yang relatif stabil sepanjang tahun menunjukkan bahwa kondisi iklim di wilayah penelitian tidak mengalami fluktuasi ekstrem. Akan tetapi,

perubahan koefisien tanaman selama masa pertumbuhan menyebabkan kebutuhan air tanaman berubah secara dinamis sehingga kebutuhan air irigasi tidak selalu mengikuti pola evapotranspirasi semata.

Di sisi lain, analisis hidrologi menggunakan metode F.J. Mock memperlihatkan bahwa debit sungai mengalami fluktuasi musiman yang mengikuti pola curah hujan tahunan. Debit yang tinggi pada musim penghujan mampu memenuhi sebagian besar kebutuhan air irigasi, sedangkan pada musim kemarau diperlukan pengelolaan distribusi air yang lebih efisien agar seluruh areal irigasi tetap memperoleh pasokan air yang memadai. Kondisi tersebut semakin dipengaruhi oleh besarnya hujan efektif yang pada musim kemarau menurun secara signifikan sehingga ketergantungan terhadap jaringan irigasi menjadi lebih besar.

Hasil simulasi menggunakan CROPWAT memperlihatkan bahwa pendekatan berbasis FAO mampu mengintegrasikan seluruh parameter hidrologi dan agronomi dalam satu sistem analisis sehingga menghasilkan estimasi kebutuhan air irigasi yang lebih komprehensif. Informasi mengenai evapotranspirasi, hujan efektif, kebutuhan air tanaman, serta jadwal pemberian air dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan irigasi. Dengan demikian, penerapan CROPWAT tidak hanya membantu meningkatkan ketepatan perhitungan kebutuhan air, tetapi juga mendukung efisiensi penggunaan sumber daya air melalui penyusunan jadwal irigasi yang sesuai dengan kondisi iklim, tanah, dan fase pertumbuhan tanaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi analisis hidrologi menggunakan metode F.J. Mock dengan simulasi CROPWAT memberikan pendekatan yang saling melengkapi dalam evaluasi sistem irigasi. Metode F.J. Mock memberikan informasi mengenai besarnya ketersediaan air pada sumber air, sedangkan CROPWAT memberikan informasi mengenai kebutuhan air tanaman dan waktu pemberian air yang optimum. Integrasi kedua metode tersebut menjadi dasar yang kuat dalam perencanaan dan pengelolaan irigasi yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan, khususnya pada daerah irigasi dengan pola tanam padi dua kali setahun seperti D.I. Empelu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis kebutuhan air tanaman dan kebutuhan air irigasi di Daerah Irigasi Empelu Kabupaten Muara Enim menggunakan perangkat lunak CROPWAT 8.0, dapat disimpulkan bahwa nilai evapotranspirasi referensi (ETo) yang dihitung menggunakan metode FAO Penman–Monteith melalui CROPWAT memiliki rata-rata sebesar 3,13 mm/hari, sedangkan perhitungan menggunakan metode Penman menghasilkan rata-rata 3,39 mm/hari. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kedua metode memberikan hasil yang relatif konsisten dalam menggambarkan kondisi iklim di daerah penelitian.

Berdasarkan nilai ETo dan koefisien tanaman (Kc), kebutuhan air tanaman padi (ETc) yang dihitung menggunakan CROPWAT memiliki rata-rata 3,81 mm/hari, sedangkan metode F.J. Mock menghasilkan rata-rata 2,52 mm/hari. Hasil analisis hujan efektif menunjukkan bahwa sekitar 77% dari total curah hujan dapat dimanfaatkan oleh tanaman, sehingga berkontribusi dalam mengurangi kebutuhan air irigasi.

Analisis kebutuhan air irigasi menunjukkan bahwa nilai Net Irrigation Requirement (NIR) hasil simulasi CROPWAT memiliki rata-rata 14,9 mm per dekade, sedangkan berdasarkan metode F.J. Mock kebutuhan air irigasi rata-rata mencapai 0,49 m^3/detik. Simulasi jadwal irigasi juga menunjukkan bahwa kebutuhan air berubah sesuai fase pertumbuhan tanaman, dengan kebutuhan tertinggi terjadi pada fase vegetatif hingga pembungaan. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa CROPWAT mampu memberikan estimasi kebutuhan air tanaman, kebutuhan air irigasi, serta jadwal pemberian air yang lebih terstruktur sehingga dapat mendukung pengelolaan irigasi yang lebih efisien di Daerah Irigasi Empelu.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis kebutuhan air berbasis CROPWAT dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengelolaan distribusi air irigasi di Daerah Irigasi Empelu agar penggunaan air menjadi lebih efisien. Selain itu, jadwal tanam dan jadwal irigasi perlu disesuaikan dengan kondisi iklim aktual untuk mengoptimalkan pemanfaatan curah hujan dan mengurangi pemborosan air. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data iklim harian serta melakukan validasi lapangan terhadap debit irigasi dan kondisi genangan sawah guna meningkatkan akurasi hasil analisis. Pengembangan penelitian juga dapat dilakukan dengan mengevaluasi pengaruh perubahan iklim maupun penerapan variasi pola tanam terhadap kebutuhan air irigasi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

Andi. (2019). Irigasi: Sistem Air untuk Pertanian.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56).* FAO, Rome.

Astuti, R., & Handoko, T. (2023). Pengaruh Curah Hujan Musiman terhadap Neraca Air Irigasi.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2022). *Data Iklim Indonesia.* Jakarta: BMKG.

Endang, S. (2015). Irigasi dan Pemanfaatan Air untuk Pertanian.

FAO. (2017). *Irrigation Water Needs Manual.* Rome: Food and Agriculture Organization.

Kumar, M., et al. (2020). Crop Water Requirement of Sugarcane, Maize, and Wheat in Muzaffarnagar, India.

Kumar, N., Agrawal, N., Patel, P., & Sharma, R. (2024). *An assessment of irrigation requirements for summer paddy in Raipur, India using CROPWAT 8.0*. Journal of Experimental Agriculture International, 46(11).

Kumar, R., et al. (2024). Estimation of Paddy Water Requirement using CROPWAT in Raipur, India.

Pemerintah Kabupaten Muara Enim. (2022). *DED Pengembangan Jaringan Irigasi DI Ataran Air Empelu.*

Prasetyo, A. (2024). Dampak Fluktuasi Evapotranspirasi terhadap Kebutuhan Air Irigasi Sawah.

PUPR. (2019). *Modul Pengenalan Sistem Irigasi.* Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.

Shalsabillah, H., Amri, K., & Gunawan, G. (2019). *Analisis kebutuhan air irigasi menggunakan CROPWAT 8.0 di Daerah Irigasi Air Nipis*. Indonesian Journal of Tropical Soil, 10(2), 61–68.

Smith, M. (1992). *CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management.* FAO, Rome.

Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1993). *Irigasi.* Jakarta: Pradnya Paramita.