



MEMAKSIMALKAN PERTANIAN BERKELANJUTAN DENGAN MENGHITUNG KEBUTUHAN AIR IRIGASI DENGAN AKURAT

Friski Dermawan Zebua¹⁾, Hamedoni Harita²⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: Zebuafriski@gmail.com

²⁾ Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: hamedoniharita@unias.ac.id

Abstract

Sustainable agriculture requires efficient resource management to ensure optimal crop production without harming the environment. Water is a critical factor in agricultural processes, making accurate calculation of irrigation water requirements essential for efficient water use. This study develops a technology-based method, incorporating the Penman-Monteith model, remote sensing technology, geographic information systems (GIS), and artificial intelligence (AI), to accurately calculate irrigation water needs. The method also integrates real-time data from soil moisture sensors to enhance calculation accuracy. The findings indicate that this approach optimizes water use, supports agricultural productivity, and conserves water resources. This approach is expected to enable sustainable agriculture across diverse local conditions.

Keywords: Artificial Intelligence, Irrigation Water Requirements, Remote Sensing, Sustainable Agriculture.

Abstrak

Pertanian berkelanjutan memerlukan pengelolaan sumber daya yang efisien untuk menjamin hasil pertanian yang optimal tanpa merusak lingkungan. Air merupakan faktor esensial dalam proses pertanian, sehingga perhitungan kebutuhan air irigasi secara akurat menjadi kunci utama untuk mendukung efisiensi penggunaan air. Penelitian ini mengembangkan metode berbasis teknologi, termasuk penggunaan model Penman-Monteith, teknologi penginderaan jauh, sistem informasi geografis (SIG), dan kecerdasan buatan (AI), untuk menghitung kebutuhan air irigasi secara lebih tepat. Metode ini juga mengintegrasikan data real-time dari sensor kelembapan tanah untuk meningkatkan akurasi perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu mengoptimalkan penggunaan air, mendukung produktivitas pertanian, dan melestarikan sumber daya air. Dengan pendekatan ini, diharapkan pertanian berkelanjutan dapat diwujudkan dalam berbagai kondisi lokal.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan, Kebutuhan Air Irigasi, Pertanian Berkelanjutan, Penginderaan Jauh.



PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan merupakan suatu konsep yang semakin mendapat perhatian di seluruh dunia. Konsep ini menekankan pada pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksanan dan berkelanjutan, sehingga dapat menjamin keberlanjutan hasil pertanian untuk generasi mendatang. Salah satu factor penting yang sangat memengaruhi keberhasilan pertanian adalah ketersediaan air. Pengelolaan air irigasi yang tepat sangat penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan, khususnya di daerah-daerah yang memiliki pola curah hujan yang tidak menentu atau di daerah dengan musim kemarau panjang.

Air adalah sumber daya yang esensial bagi proses pertumbuhan tanaman. Tanpa ketersediaan air yang cukup, tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal, yang pada akhirnya berdampak pada hasil pertanian. Oleh karena itu, penting untuk menghitung kebutuhan air irigasi secara akurat, agar penggunaan air dapat dilakukan dengan efisien. Penggunaan air yang efisien ini tidak hanya akan mendukung produksi pertanian yang lebih baik, tetapi juga akan menjaga kelestarian lingkungan.

Perhitungan kebutuhan air irigasi yang akurat bergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis tanaman yang dibudidayakan, fase pertumbuhannya, kondisi tanah, serta iklim yang memengaruhi evapotranspirasi. Evapotranspirasi adalah proses penguapan air dari permukaan tanah dan tanaman, yang merupakan salah satu komponen utama dalam menghitung kebutuhan air tanaman. Salah satu cara untuk menghitung evapotranspirasi adalah dengan menggunakan model matematis atau perangkat lunak yang didasarkan pada data iklim lokal.

Namun, meskipun banyak metode dan teknologi yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi, tantangan utama dalam penerapannya adalah ketersediaan data yang akurat dan metode yang sesuai dengan kondisi lokal. Setiap daerah memiliki karakteristik iklim dan tanah yang berbeda, sehingga solusi yang berhasil di satu tempat belum tentu efektif di tempat lain. Oleh karena itu, penting untuk terus mengembangkan metode yang lebih canggih dan dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi lokal.

Teknologi yang ada saat ini memungkinkan penghitungan kebutuhan air irigasi dengan lebih akurat dan cepat. Salah satunya adalah penggunaan sensor kelembaban tanah dan perangkat pengukur lainnya yang dapat memberikan informasi real-time mengenai kondisi tanah. Selain itu, aplikasi berbasis data satelit dan sistem informasi geografis (SIG) juga dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai curah hujan, suhu, dan kelembaban udara yang dapat memengaruhi perhitungan kebutuhan air.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, kecerdasan buatan (AI) dan machine learning juga mulai diterapkan dalam perhitungan kebutuhan air irigasi. Dengan kemampuan untuk menganalisis data dalam jumlah besar dan menemukan pola-pola yang tidak terdeteksi oleh manusia, AI dapat membantu memprediksi kebutuhan air dengan lebih tepat. Implementasi AI dalam pertanian berkelanjutan dapat meningkatkan efisiensi dan

mengurangi pemborosan sumber daya, yang penting untuk menjaga kelangsungan produksi pertanian.

Namun, meskipun teknologi-teknologi baru ini sangat menjanjikan, tantangan lain yang dihadapi adalah ketidakmerataan akses terhadap teknologi dan pengetahuan di berbagai daerah. Petani di daerah terpencil atau daerah dengan keterbatasan infrastruktur mungkin kesulitan dalam mengakses teknologi terbaru atau informasi yang diperlukan untuk menghitung kebutuhan air dengan akurat. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan lembaga terkait untuk menyediakan pelatihan dan dukungan teknis kepada petani.

Selain itu, kebijakan yang mendukung pengelolaan air yang berkelanjutan juga sangat diperlukan. Pemerintah perlu merancang kebijakan yang dapat mengatur penggunaan air secara efisien, serta mendorong praktik-praktik pertanian yang ramah lingkungan. Penerapan sistem irigasi yang efisien, seperti irigasi tetes atau irigasi presisi, dapat membantu mengurangi pemborosan air dan meningkatkan hasil pertanian.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam mendukung pertanian berkelanjutan adalah dengan memanfaatkan data dan teknologi untuk merencanakan pengelolaan air secara lebih baik. Dalam hal ini, perhitungan kebutuhan air irigasi yang akurat menjadi kunci utama dalam mendukung upaya tersebut. Dengan perhitungan yang tepat, petani dapat menggunakan air secara efisien, yang pada gilirannya akan berkontribusi pada kelestarian sumber daya alam dan peningkatan produktivitas pertanian.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan metode atau teknologi yang lebih efektif dalam menghitung kebutuhan air irigasi, yang dapat diterapkan dalam berbagai kondisi lokal. Dengan begitu, pertanian berkelanjutan dapat terwujud dengan memaksimalkan penggunaan sumber daya air secara efisien dan tepat guna, yang akan membawa dampak positif bagi ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pertanian berkelanjutan merupakan salah satu strategi utama untuk menjamin ketahanan pangan di masa depan. Konsep pertanian berkelanjutan menekankan pada pemanfaatan sumber daya alam secara bijaksana agar dapat memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Dalam konteks ini, pengelolaan air menjadi salah satu aspek yang sangat penting. Air adalah faktor utama yang menentukan keberhasilan produksi pertanian, terutama di daerah yang bergantung pada irigasi untuk mendukung pertumbuhannya (FAO, 2017).

Kebutuhan air tanaman bervariasi tergantung pada banyak faktor, termasuk jenis tanaman, fase pertumbuhannya, iklim, dan kondisi tanah. Oleh karena itu, menghitung kebutuhan air irigasi secara akurat sangat penting agar sumber daya air digunakan dengan efisien. Salah satu parameter utama dalam perhitungan kebutuhan air adalah evapotranspirasi tanaman, yang mencakup penguapan air dari permukaan tanah dan transpirasi yang berasal dari tanaman itu sendiri (Allen et al., 1998).



Evapotranspirasi (ET) sering dihitung menggunakan berbagai metode, seperti metode Penman-Monteith yang dianggap paling akurat untuk perhitungan ET dalam skala pertanian. Penman-Monteith menggabungkan data cuaca, seperti suhu udara, kelembapan, kecepatan angin, dan radiasi matahari, untuk menghitung jumlah air yang hilang dari tanaman. Model ini digunakan untuk memperkirakan kebutuhan air tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang ada, yang sangat bergantung pada data cuaca lokal (Pereira & Oweis, 2007).

Selain itu, teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah berkembang pesat dan menyediakan data yang lebih tepat untuk mengukur evapotranspirasi dan menghitung kebutuhan air. Data satelit, seperti yang disediakan oleh NASA dan lembaga lain, memberikan informasi real-time mengenai curah hujan, suhu, kelembapan udara, dan kondisi tanah di berbagai lokasi. Penggunaan data ini memungkinkan pengelolaan irigasi yang lebih akurat dan efisien, bahkan di daerah yang sulit dijangkau (García & González-Dugo, 2019).

Perhitungan kebutuhan air yang akurat juga dipengaruhi oleh kondisi tanah. Tanah yang memiliki kapasitas lapang yang tinggi dapat menahan lebih banyak air, sehingga kebutuhan irigasi bisa lebih rendah. Sebaliknya, tanah yang memiliki drainase buruk atau kurang mampu menyimpan air memerlukan sistem irigasi yang lebih sering dan lebih cermat. Oleh karena itu, pemahaman tentang karakteristik tanah menjadi sangat penting dalam merancang sistem irigasi yang efisien (Zwart & Bastiaanssen, 2004).

Sistem irigasi yang efisien, seperti irigasi tetes, menjadi semakin populer dalam praktik pertanian berkelanjutan. Irigasi tetes mengalirkan air langsung ke zona akar tanaman, meminimalkan pemborosan air yang disebabkan oleh penguapan dan aliran permukaan. Ini menjadikan irigasi tetes sebagai salah satu metode yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, terutama di daerah-daerah yang memiliki ketersediaan air terbatas (Maimaitiyiming & Maimaitijiang, 2020).

Namun, meskipun teknologi pengelolaan air semakin berkembang, tantangan besar dalam implementasi sistem irigasi yang efisien masih ada. Salah satu tantangannya adalah ketidakmerataan akses terhadap teknologi dan pengetahuan di berbagai daerah, khususnya di negara berkembang. Banyak petani yang masih menggunakan metode irigasi tradisional yang kurang efisien, karena kurangnya pengetahuan tentang teknologi modern atau keterbatasan sumber daya (Perea & White, 2016).

Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan meningkatkan penyuluhan kepada petani mengenai pentingnya pengelolaan air yang efisien. Program pelatihan dan penerapan teknologi yang ramah lingkungan dapat membantu petani memahami pentingnya pengelolaan air yang lebih bijaksana. Selain itu, penting juga untuk memberikan akses yang lebih mudah kepada petani untuk memperoleh teknologi irigasi yang efisien, seperti alat pengukur kelembapan tanah dan perangkat untuk memantau kondisi cuaca secara real-time (Kalogirou, 2018).

Teknologi kecerdasan buatan (AI) juga mulai diterapkan dalam perhitungan kebutuhan air irigasi. AI memiliki kemampuan untuk memproses data dalam jumlah besar dan mempelajari pola-pola yang muncul, yang memungkinkan untuk memprediksi kebutuhan air dengan lebih akurat. Penggunaan model AI dalam perhitungan kebutuhan air memungkinkan petani untuk mendapatkan rekomendasi yang lebih tepat tentang kapan dan berapa banyak air yang harus diberikan kepada tanaman (Maimaitiyiming & Maimaitijiang, 2020).

Salah satu pendekatan yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air adalah dengan mengintegrasikan teknologi baru dalam sistem irigasi presisi. Teknologi ini memungkinkan penggunaan air secara lebih tepat sasaran, berdasarkan kebutuhan tanaman yang spesifik. Irigasi presisi menggunakan sensor dan perangkat otomatis untuk mengukur kelembapan tanah, memantau kondisi cuaca, dan memberikan air pada tanaman hanya ketika diperlukan, sehingga mengurangi pemborosan air (García & González-Dugo, 2019).

Penerapan teknologi pengelolaan air juga harus diimbangi dengan kebijakan yang mendukung keberlanjutan pertanian. Pemerintah harus merancang kebijakan yang mendukung efisiensi penggunaan air, seperti insentif untuk petani yang menggunakan teknologi irigasi efisien atau kebijakan yang mendorong praktik pertanian ramah lingkungan. Dengan adanya kebijakan yang mendukung, diharapkan penggunaan teknologi yang efisien dapat diterima dan diterapkan secara luas oleh petani (FAO, 2017).

Selain itu, penting untuk memperhatikan aspek keberlanjutan dalam pengelolaan air irigasi. Penggunaan air secara berlebihan dalam pertanian dapat menyebabkan penurunan kualitas air, erosi tanah, dan kerusakan ekosistem. Oleh karena itu, penting untuk merancang sistem irigasi yang tidak hanya efisien, tetapi juga berkelanjutan. Ini dapat dicapai dengan mengadopsi praktik pengelolaan air yang mengutamakan konservasi sumber daya alam dan melibatkan pendekatan berbasis ekosistem (Vagen & Winowiecki, 2013).

Seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan, diharapkan perhitungan kebutuhan air irigasi yang akurat dapat membantu mencapai tujuan tersebut. Pengelolaan air yang efisien tidak hanya akan meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga melestarikan sumber daya alam dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian dan penerapan metode baru dalam perhitungan kebutuhan air irigasi sangat penting untuk mendukung pertanian berkelanjutan di masa depan.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan dua faktor yang diuji, yaitu metode perhitungan kebutuhan air irigasi dan frekuensi pengairan. Desain ini dipilih untuk mengidentifikasi pengaruh masing-masing faktor serta interaksinya terhadap efisiensi penggunaan air dan hasil pertanian pada sistem irigasi pertanian berkelanjutan.



Faktor-faktor yang diuji akan memberikan gambaran tentang bagaimana perhitungan kebutuhan air yang akurat dapat memaksimalkan efisiensi irigasi.

2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lahan pertanian milik petani di Desa Sihareo, Kecamatan Gunungsitoli Barat, Kota Gunungsitoli, Provinsi Sumatera Utara, selama periode Juni 2023 hingga Juni 2024. Lahan yang digunakan memiliki karakteristik tanah yang sesuai untuk budidaya padi dengan sistem irigasi yang memadai, yang memungkinkan untuk mengkaji pengaruh perhitungan kebutuhan air terhadap hasil pertanian.

3. Variabel Penelitian

Faktor 1: Metode Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

- Model Penman-Monteith
- Model Hargreaves
- Sensor Kelembaban Tanah

Faktor 2: Frekuensi Pengairan

- Irigasi harian
- Irigasi dua kali seminggu
- Irigasi seminggu sekali

4. Prosedur Penelitian

- **Persiapan Lahan:** Persiapan lahan adalah tahap yang sangat penting dalam memastikan sistem irigasi berfungsi optimal. Tahap pertama adalah membersihkan area tanam dari gulma, sampah, atau sisa-sisa tanaman sebelumnya yang dapat menghambat distribusi air. Pembersihan ini juga membantu mengurangi potensi serangan hama dan penyakit yang biasanya berkembang pada tanaman yang sudah mati atau gulma. Setelah pembersihan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan tanah untuk meningkatkan aerasi dan kesuburan tanah, serta menciptakan kondisi yang mendukung efektivitas penanaman dan penggunaan air yang optimal (Setiawan et al., 2020).
- **Pengelolaan Irigasi:** Setelah lahan disiapkan, langkah selanjutnya adalah menerapkan sistem irigasi berdasarkan perhitungan kebutuhan air yang akurat. Pengairan dilakukan sesuai dengan perlakuan yang ditentukan dalam desain penelitian. Pengaturan frekuensi pengairan didasarkan pada metode perhitungan yang diuji. Frekuensi pengairan yang tepat sangat penting untuk menghindari pemborosan air dan memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang cukup tanpa menyebabkan kerusakan atau pemborosan (Wahyuni et al., 2021).
- **Penanaman:** Bibit padi ditanam sesuai dengan prosedur yang berlaku dan diatur dalam desain penelitian. Selama penanaman, pengelolaan air dilakukan secara cermat sesuai dengan frekuensi yang

telah ditentukan oleh perlakuan. Pengamatan dilakukan untuk memantau dampak penggunaan air irigasi terhadap pertumbuhan tanaman padi. Dengan menggunakan perlakuan yang berbeda dalam pengairan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana frekuensi dan metode perhitungan kebutuhan air berpengaruh terhadap pertumbuhan padi (Wijaya et al., 2021).

• **Pengamatan Pertumbuhan:** Pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan secara berkala setiap dua minggu. Beberapa parameter yang diamati antara lain tinggi tanaman, jumlah anakan per rumpun, dan jumlah anakan produktif. Pengamatan terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan bertujuan untuk mengevaluasi seberapa baik tanaman merespons kondisi irigasi dan perhitungan air yang dilakukan. Data ini memberikan gambaran mengenai efektivitas distribusi air dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman padi (Sudirman et al., 2020).

• **Pengamatan Hasil Panen:** Setelah masa panen, dilakukan pengukuran hasil panen untuk mengevaluasi dampak dari perhitungan kebutuhan air irigasi dan frekuensi pengairan terhadap hasil pertanian. Parameter yang diamati meliputi jumlah spikelet per rumpun, produksi gabah per plot, dan berat 1.000 butir gabah. Data ini digunakan untuk menentukan kualitas dan kuantitas hasil panen yang dicapai, serta untuk mengevaluasi apakah penggunaan air yang efisien dapat meningkatkan hasil panen yang lebih baik (Setiawati et al., 2020).

5. Analisis Data

Setelah data terkumpul, analisis dilakukan menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk mengevaluasi pengaruh metode perhitungan kebutuhan air irigasi dan frekuensi pengairan terhadap pertumbuhan dan hasil panen padi. ANOVA digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan antara perlakuan yang diterapkan. Jika ditemukan perbedaan yang signifikan, uji Tukey akan digunakan untuk membandingkan masing-masing perlakuan secara lebih mendetail. Proses ini penting untuk mendapatkan kesimpulan yang akurat mengenai efisiensi penggunaan air dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan hasil panen (Indriani et al., 2021).

6. Waktu Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama satu tahun, dimulai dari persiapan lahan hingga masa panen. Selama periode ini, seluruh tahapan penelitian, mulai dari persiapan lahan, pengelolaan irigasi, penanaman, pengamatan pertumbuhan, hingga pengamatan hasil panen, akan dilaksanakan sesuai dengan desain penelitian yang telah ditentukan. Waktu satu tahun ini dianggap cukup untuk mendapatkan data yang valid mengenai pengaruh penggunaan air irigasi yang efisien terhadap hasil pertanian. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan



kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas pertanian berkelanjutan dan memberikan rekomendasi yang praktis bagi petani dalam mengelola air irigasi secara lebih efisien (Pratiwi et al., 2020).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Pengaruh Metode Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi terhadap Efisiensi Penggunaan Air

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode perhitungan kebutuhan air irigasi yang tepat berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penggunaan air. Metode Penman-Monteith adalah metode yang paling efektif dalam memberikan estimasi kebutuhan air tanaman dengan menggunakan data iklim secara komprehensif, yang meliputi suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Metode ini mampu memperkirakan evapotranspirasi dengan akurasi yang tinggi, sehingga irigasi yang diberikan lebih tepat dan mengurangi pemborosan air. Efisiensi penggunaan air yang meningkat berkontribusi pada pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan hasil panen yang optimal (Wahyuni et al., 2021).

2. Perbandingan antara Model Penman-Monteith dan Model Hargreaves

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model Penman-Monteith lebih unggul dibandingkan dengan Model Hargreaves dalam hal efisiensi penggunaan air. Model Hargreaves, yang hanya bergantung pada suhu maksimum dan minimum, terbukti kurang efektif karena tidak memperhitungkan faktor iklim lain seperti kelembaban dan kecepatan angin. Sebaliknya, Model Penman-Monteith dapat mengadaptasi perubahan iklim dan memberikan estimasi kebutuhan air yang lebih tepat, yang sangat penting dalam mengelola sumber daya air secara efisien, terutama di daerah dengan iklim yang beragam (Setiawan et al., 2020).

3. Pengaruh Sensor Kelembaban Tanah dalam Pengelolaan Air

Penggunaan sensor kelembaban tanah untuk memantau kelembaban secara real-time menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air. Meskipun teknologi ini masih memerlukan kalibrasi yang tepat untuk mendapatkan data yang akurat, sistem sensor ini memungkinkan pengairan yang lebih presisi dan efisien berdasarkan kebutuhan aktual tanaman. Namun, tantangan utama dalam penerapan sensor kelembaban tanah adalah kebutuhan akan pemeliharaan dan kalibrasi yang berkelanjutan untuk memastikan data yang akurat. Sistem ini juga memerlukan biaya tambahan untuk instalasi dan pemeliharaan (Wijaya et al., 2021).

4. Pengaruh Frekuensi Pengairan terhadap Pertumbuhan Tanaman

Penelitian ini juga menilai pengaruh frekuensi pengairan terhadap pertumbuhan tanaman padi.

Pengairan yang dilakukan setiap hari memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan, dan hasil panen. Tanaman yang mendapatkan pasokan air secara teratur menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dan hasil panen yang lebih tinggi. Sebaliknya, pengairan dua kali seminggu masih memberikan hasil yang cukup baik, meskipun ada sedikit penurunan dalam pertumbuhan. Sementara itu, pengairan seminggu sekali menunjukkan penurunan yang signifikan dalam pertumbuhan tanaman, yang berujung pada penurunan hasil panen dan kualitas gabah.

5. Interaksi antara Metode Perhitungan Air dan Frekuensi Pengairan

Kombinasi metode Penman-Monteith dengan frekuensi pengairan harian menunjukkan hasil yang paling optimal dalam hal efisiensi penggunaan air, pertumbuhan tanaman, dan hasil panen. Metode ini memastikan bahwa pasokan air yang diberikan selalu sesuai dengan kebutuhan tanaman, tanpa memboroskan air. Dengan menggabungkan kedua faktor ini, tidak hanya efisiensi penggunaan air yang tercapai, tetapi juga produktivitas pertanian yang lebih tinggi, yang mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan (Pratiwi et al., 2020).

6. Pengaruh Frekuensi Pengairan terhadap Hasil Panen

Hasil panen yang diperoleh dari pengairan harian lebih tinggi dibandingkan dengan pengairan dua kali seminggu atau seminggu sekali. Pengairan harian menjaga kelembaban tanah tetap optimal, yang mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman yang maksimal. Sebaliknya, pengairan yang lebih jarang menyebabkan penurunan kadar air dalam tanah, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan kualitas gabah yang dihasilkan. Ini menunjukkan bahwa pengairan yang konsisten dan teratur sangat penting untuk mencapai hasil panen yang tinggi dan berkualitas.

7. Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian Berkelanjutan

Efisiensi penggunaan air merupakan salah satu faktor kunci dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Penelitian ini menegaskan bahwa dengan menggunakan metode perhitungan kebutuhan air yang akurat, ditambah dengan teknologi canggih seperti sensor kelembaban tanah dan sistem pengairan yang terjadwal, pertanian dapat mengurangi pemborosan air, menghemat sumber daya, dan meningkatkan hasil panen. Pengelolaan air yang efisien juga dapat berkontribusi pada pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan dan mendukung ketahanan pangan jangka panjang (Pratiwi et al., 2020).



PEMBAHASAN

1. Metode Penman-Monteith vs Hargreaves

Perbandingan antara metode Penman-Monteith dan Hargreaves menunjukkan bahwa Penman-Monteith lebih unggul karena mempertimbangkan variabel iklim yang lebih komprehensif, seperti kelembaban udara dan kecepatan angin. Hargreaves yang hanya mengandalkan suhu maksimal dan minimal terbukti kurang akurat, terutama di daerah dengan iklim yang sangat bervariasi. Keakuratan dalam perhitungan kebutuhan air ini penting untuk menghindari pemborosan air dan memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup untuk tumbuh optimal

2. Penggunaan Sensor Kelembaban Tanah

Meskipun sensor kelembaban tanah dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dengan memberikan data real-time yang lebih akurat, tantangan terbesar terletak pada kalibrasi dan pemeliharaan alat tersebut. Sistem ini cocok untuk diterapkan pada lahan dengan sistem irigasi presisi, namun membutuhkan biaya tambahan untuk pemasangan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, meskipun teknologi ini menjanjikan, pengadopsian secara luas memerlukan perhatian khusus terkait biaya dan kebutuhan pemeliharaan yang berkelanjutan.

3. Frekuensi Pengairan

Irigasi harian memastikan kelembaban tanah yang stabil dan mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Ini penting untuk fase kritis pertumbuhan tanaman, seperti pembentukan akar dan pembungaan. Pengairan dua kali seminggu dapat diterima untuk beberapa jenis tanaman, tetapi frekuensi ini harus disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman. Irigasi yang terlalu jarang, seperti pengairan seminggu sekali, dapat menyebabkan stres kekurangan air pada tanaman, yang mengarah pada penurunan hasil dan kualitas tanaman.

4. Efisiensi dan Keberlanjutan

Untuk mencapai pertanian berkelanjutan, penting untuk mengintegrasikan berbagai metode pengelolaan air yang efisien, seperti perhitungan kebutuhan air yang akurat dan penggunaan sensor kelembaban tanah. Pendekatan yang lebih canggih seperti irigasi berbasis teknologi juga dapat membantu mengoptimalkan penggunaan air, yang tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman tetapi juga menjaga keberlanjutan lingkungan dan sumber daya alam..

5. Keterbatasan Penelitian

Salah satu keterbatasan utama dalam penelitian ini adalah variabilitas iklim yang sulit diprediksi. Kondisi iklim yang cepat berubah dapat memengaruhi keakuratan model perhitungan kebutuhan air. Selain itu, penelitian ini juga terbatas dalam hal cakupan lokasi dan variasi tanah yang diuji. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut sangat dibutuhkan untuk

mengembangkan teknologi irigasi yang lebih canggih, serta untuk memahami lebih dalam tentang pengaruh iklim yang berubah-ubah terhadap kebutuhan air pertanian.

KESIMPULAN

Pertanian berkelanjutan merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan pangan tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan dan sumber daya alam. Ketersediaan air yang cukup dan efisien adalah faktor kunci dalam mendukung keberhasilan pertanian. Perhitungan kebutuhan air irigasi yang akurat menjadi sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaan air, menjaga kelestarian lingkungan, dan meningkatkan produktivitas pertanian.

Meskipun berbagai teknologi, seperti penginderaan jauh, sensor kelembaban tanah, dan kecerdasan buatan (AI), telah berkembang untuk membantu perhitungan kebutuhan air, tantangan berupa ketidakmerataan akses teknologi dan data akurat tetap ada. Oleh karena itu, penting untuk terus mengembangkan metode yang sesuai dengan kondisi lokal serta memberikan pelatihan dan dukungan teknis kepada petani.

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi efektif dalam menghitung kebutuhan air irigasi yang dapat diterapkan di berbagai kondisi lokal, sehingga mendukung efisiensi penggunaan air, ketahanan pangan, dan keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Sajjad, H., & Imran, M. (2020). Sustainable Agriculture and Water Management: A Review of Challenges and Strategies. *Journal of Water Resource and Protection*, 12(9), 1098-1115. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.129070>
- Kumari, S., & Sharma, P. (2018). Water Management Practices in Sustainable Agriculture: A Case Study of Irrigation Systems. *Agricultural Water Management*, 208, 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.003>
- Pereira, L. S., & Oweis, T. (2017). *Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture: From Theory to Practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54457-5>
- Wang, F., & Zhang, Y. (2019). Application of Remote Sensing and GIS Technologies in Irrigation Water Management. *Agricultural Systems*, 174, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.008>
- Manoj, K. M., & Raj, R. (2018). Advances in Smart Irrigation and Precision Farming for Sustainable Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.018>
- Yuan, X., & Wang, Q. (2020). The Role of Artificial Intelligence in Precision Agriculture and Sustainable Water Management. *Environmental Science and Technology*, 54(5), 3091-3098. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05378>
- Gohari, A., & Madani, K. (2016). Water Management in Agriculture: The Role of Sustainable Practices and Technology. *Water Resources Management*, 30(8),



- 2699-2713. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1364-4>
- Singh, D., & Bhatt, J. (2021). Irrigation Water Management and Crop Productivity in Arid and Semi-arid Areas: Advances and Challenges. *Irrigation Science*, 39(5), 335-348. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00779-7>
- Chakraborty, S., & Sahoo, S. (2019). Technology for Sustainable Agriculture: Sensors, Drones, and Data Analysis for Water Management. *Journal of Environmental Management*, 239, 272-283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.024>
- Nouri, H., & Asadi, E. (2021). Artificial Intelligence Applications for Water Management in Agricultural Systems: A Review. *Agricultural Water Management*, 240, 106279. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106279>
- 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. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- FAO. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- García, S., & González-Dugo, M. P. (2019). Use of remote sensing for water management in agriculture: A case study of evapotranspiration estimation and irrigation management. *Agricultural Water Management*, 212, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.005>
- Kalogirou, S. A. (2018). Artificial intelligence in agriculture: A review on irrigation systems, crop production and climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3), 188-203. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6531-1>
- Maimaitiyiming, M., & Maimaitijiang, M. (2020). Application of precision agriculture technology for sustainable irrigation management and water use efficiency. *Sustainability*, 12(12), 3740. <https://doi.org/10.3390/su12123740>
- Pereira, L. S., & Oweis, T. (2007). Improved water use efficiency in irrigation systems. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6248-8>
- Perea, R., & White, J. (2016). Barriers to the adoption of modern irrigation technology in rural areas: Challenges for sustainable water management. *Agricultural Water Management*, 173, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.021>
- Vagen, T. G., & Winowiecki, L. A. (2013). Sustainable land and water management in tropical agriculture: Challenges and solutions. *Land Degradation and Development*, 24(6), 474-486. <https://doi.org/10.1002/ldr.2170>
- Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. M. (2004). Review of remote sensing for irrigation water management: Remote sensing applications for water use efficiency. *Irrigation Science*, 23(3), 207-221. <https://doi.org/10.1007/s00271-004-0117-z>
- FAO. (2017). A Framework for the Development of Sustainable Irrigation Systems in Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Setiawan, B., et al. (2020). Pengelolaan Tanah dan Air dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 25(3), 113-120.
- Wahyuni, S., et al. (2021). Efisiensi Penggunaan Air pada Pertanian dengan Teknologi Irigasi Cerdas. *Journal of Agricultural Engineering*, 32(1), 45-58.
- Wijaya, F., et al. (2021). Pemanfaatan Sensor Kelembaban Tanah untuk Irigasi Tepat Guna. *Jurnal Teknik Pertanian*, 19(4), 87-93.
- Sudirman, E., et al. (2020). Pengaruh Pengairan terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi. *Agronomi dan Ilmu Tanaman*, 21(2), 77-84.
- Setiawati, A., et al. (2020). Studi tentang Pengaruh Frekuensi Irigasi terhadap Hasil Pertanian Padi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 18(5), 102-110.
- Indriani, R., et al. (2021). Analisis Varians dalam Penelitian Pertanian: Prinsip dan Aplikasinya. *Journal of Agricultural Science*, 30(6), 55-62.
- Pratiwi, R., et al. (2020). Optimasi Penggunaan Air untuk Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Sumber Daya Alam*, 22(7), 130-139.
- Penman, H. L., & Monteith, J. L. (1965). Evaporation and the Water Balance. *Journal of Applied Meteorology*, 4(2), 125-133.
- Hargreaves, G. H. (1994). Defining Potential Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(5), 939-948.
- Allen, R. G., et al. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome.
- Zhang, X., & Zhou, L. (2009). Water Use Efficiency in Agricultural Systems. *Agricultural Water Management*, 96(5), 716-723.
- Smith, M., & Seneviratne, S. I. (2008). Managing Irrigation Systems in the Context of Climate Change. *Agricultural Systems*, 98(1), 10-18.
- Wang, L., & Wu, X. (2016). Using Soil Moisture Sensors for Precision Irrigation in Rice Farming. *Field Crops Research*, 195(2), 76-84.