



EFEKTIVITAS PENERAPAN PERTANIAN PRESISI BERBASIS SENSOR KELEMBAPAN TANAH TERHADAP EFISIENSI PENGGUNAAN AIR DAN PRODUKTIVITAS TANAMAN

Nurhayati¹⁾

¹⁾ Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Borobudur, Jakarta Timur, Indonesia

Email: nurhayati1@gmail.com

Abstract

Water-use efficiency is an important challenge in developing sustainable agricultural systems. Conventional irrigation practices based on fixed schedules or visual observations may result in excessive water use and may not correspond to the actual water requirements of crops. This study aimed to analyze the effectiveness of precision agriculture based on soil moisture sensors in improving water-use efficiency and crop productivity. A quantitative experimental approach was employed by comparing crops treated with sensor-based irrigation and those receiving conventional irrigation. Data were collected through measurements of soil moisture, water consumption, irrigation frequency, plant growth, and crop yield. The data were analyzed descriptively and inferentially to determine differences in water use and productivity between the two groups. The results indicated that the application of soil moisture sensors optimized irrigation by adjusting watering times according to the actual moisture conditions of the growing medium. The sensor-based system potentially reduced water consumption by approximately 20–30% compared with conventional irrigation, while crop growth and productivity were maintained or slightly improved. These findings demonstrate that soil moisture sensors can serve as an alternative technology for supporting more efficient irrigation management. Precision agriculture based on soil moisture sensing not only contributes to water conservation but also supports crop productivity and the sustainability of agricultural practices. Furthermore, this technology has the potential to be developed through integration with automated irrigation systems and the Internet of Things to improve the accuracy and efficiency of water management under various cultivation conditions.

Keywords: precision agriculture; soil moisture sensor; water-use efficiency; irrigation; crop productivity

Abstrak

Efisiensi penggunaan air menjadi salah satu tantangan penting dalam pengembangan sistem pertanian yang berkelanjutan. Pemberian air secara konvensional berdasarkan jadwal atau pengamatan visual berpotensi menyebabkan penggunaan air yang berlebihan dan tidak sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah terhadap efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen yang membandingkan kelompok tanaman dengan sistem penyiraman berbasis sensor kelembapan tanah dan kelompok tanaman dengan penyiraman konvensional. Data penelitian diperoleh melalui pengukuran kelembapan tanah, volume air yang digunakan, pertumbuhan tanaman, frekuensi penyiraman, dan hasil panen. Data dianalisis secara deskriptif dan inferensial untuk mengetahui perbedaan penggunaan air dan produktivitas antara kedua kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sensor kelembapan tanah mampu mengoptimalkan pemberian air dengan menyesuaikan waktu penyiraman berdasarkan kondisi aktual media tanam. Sistem tersebut berpotensi mengurangi penggunaan air sekitar 20–30% dibandingkan metode konvensional, sementara pertumbuhan dan produktivitas tanaman tetap dapat dipertahankan atau mengalami peningkatan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sensor kelembapan tanah dapat menjadi alternatif teknologi dalam mendukung pengelolaan irigasi yang lebih efisien. Penerapan pertanian presisi berbasis sensor tidak hanya berkontribusi terhadap penghematan sumber daya air, tetapi juga mendukung produktivitas dan keberlanjutan kegiatan budidaya tanaman. Teknologi ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi sistem otomatis dan Internet of Things untuk meningkatkan ketepatan pengelolaan air pada berbagai kondisi budidaya.

Kata Kunci: pertanian presisi; sensor kelembapan tanah; efisiensi air; irigasi; produktivitas tanaman



PEDOMAN UMUM

Pertanian merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan, mendukung perekonomian masyarakat, serta menjaga keberlanjutan sumber daya alam. Namun, sektor pertanian menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah keterbatasan ketersediaan air yang semakin meningkat akibat perubahan iklim, pertumbuhan penduduk, dan meningkatnya kebutuhan air untuk berbagai sektor. Air merupakan komponen utama dalam proses pertumbuhan tanaman karena berperan dalam fotosintesis, transportasi unsur hara, pengaturan suhu tanaman, dan berbagai proses fisiologis lainnya. Meskipun demikian, penggunaan air dalam kegiatan budidaya tanaman masih sering dilakukan secara konvensional berdasarkan perkiraan petani atau jadwal penyiraman yang tetap. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pemberian air yang tidak sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman, baik berupa kelebihan maupun kekurangan air.

Irigasi yang dilakukan secara berlebihan tidak hanya menyebabkan pemborosan air, tetapi juga dapat meningkatkan risiko pencucian unsur hara, genangan, kerusakan struktur tanah, serta munculnya penyakit pada tanaman. Sebaliknya, pemberian air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan tanaman mengalami cekaman kekeringan sehingga menghambat proses fotosintesis, mengurangi pertumbuhan vegetatif, dan pada akhirnya menurunkan hasil produksi. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan pengelolaan air yang mampu menyesuaikan pemberian air dengan kondisi aktual media tanam dan kebutuhan tanaman. Pengelolaan irigasi yang tepat menjadi salah satu aspek penting dalam mewujudkan sistem pertanian yang efisien, produktif, dan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi digital memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui penerapan pertanian presisi (*precision agriculture*). Pertanian presisi merupakan pendekatan pengelolaan pertanian yang memanfaatkan teknologi informasi, sensor, sistem komunikasi, dan analisis data untuk mengoptimalkan penggunaan input pertanian sesuai dengan kondisi spesifik lahan dan kebutuhan tanaman. Penerapan konsep ini memungkinkan petani memperoleh informasi kondisi lahan secara lebih cepat dan akurat sehingga keputusan terkait penyiraman, pemupukan, maupun pengelolaan tanaman tidak hanya didasarkan pada perkiraan, tetapi berdasarkan data aktual di lapangan. Salah satu teknologi yang relatif sederhana dan potensial untuk diterapkan adalah sensor kelembapan tanah.

Sensor kelembapan tanah berfungsi untuk mendeteksi kandungan air yang terdapat di dalam tanah secara langsung. Data yang diperoleh dari sensor dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan waktu dan jumlah pemberian air kepada tanaman. Ketika kelembapan tanah berada di bawah batas tertentu, sistem dapat memberikan informasi atau mengaktifkan mekanisme penyiraman. Sebaliknya, apabila kadar kelembapan tanah masih mencukupi, pemberian air dapat ditunda. Dengan mekanisme tersebut, penggunaan air dapat diarahkan hanya ketika tanaman benar-benar membutuhkan air. Penerapan sensor kelembapan tanah juga berpotensi mengurangi

ketergantungan terhadap pengamatan manual yang memiliki keterbatasan dari segi waktu, konsistensi, dan subjektivitas.

Selain berhubungan dengan efisiensi penggunaan air, pengelolaan kelembapan tanah yang lebih tepat juga memiliki hubungan erat dengan produktivitas tanaman. Kondisi air tanah yang terlalu rendah dapat menghambat penyerapan air dan unsur hara, sedangkan kondisi tanah yang terlalu basah dapat mengurangi ketersediaan oksigen pada zona perakaran. Pemeliharaan kelembapan tanah dalam kondisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman diharapkan dapat menciptakan lingkungan perakaran yang lebih optimal sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dengan demikian, penerapan sensor kelembapan tanah tidak hanya diarahkan untuk mengurangi volume air yang digunakan, tetapi juga berpotensi meningkatkan atau mempertahankan hasil produksi tanaman.

Meskipun teknologi sensor telah banyak dikembangkan dalam bidang pertanian, efektivitas penerapannya tetap perlu dievaluasi berdasarkan kondisi tanaman, karakteristik tanah, pola pemberian air, dan lingkungan budidaya. Teknologi yang mampu mengurangi penggunaan air belum tentu secara otomatis meningkatkan produktivitas apabila pengaturan ambang kelembapan tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian yang secara simultan mengevaluasi efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman sebagai indikator keberhasilan penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai “Efektivitas Penerapan Pertanian Presisi Berbasis Sensor Kelembapan Tanah terhadap Efisiensi Penggunaan Air dan Produktivitas Tanaman” menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai sejauh mana pemanfaatan sensor kelembapan tanah mampu mengoptimalkan pemberian air sekaligus mendukung produktivitas tanaman. Hasil penelitian juga diharapkan dapat menjadi salah satu dasar dalam pengembangan sistem budidaya pertanian berbasis teknologi yang lebih hemat air, efisien, produktif, dan berkelanjutan. Penerapan teknologi tersebut pada akhirnya dapat mendukung transformasi praktik pertanian konvensional menuju pertanian yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi dan tantangan keterbatasan sumber daya air.

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Penelitian bertujuan untuk mengetahui efektivitas penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah terhadap efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman. Desain penelitian menggunakan eksperimen dengan membandingkan dua perlakuan budidaya, yaitu kelompok yang menggunakan sistem penyiraman berbasis sensor kelembapan tanah sebagai kelompok eksperimen dan kelompok yang menggunakan metode penyiraman konvensional sebagai kelompok kontrol.



Kelompok eksperimen memperoleh air berdasarkan kondisi kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor. Penyiraman dilakukan ketika kelembapan tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sementara itu, kelompok kontrol memperoleh penyiraman berdasarkan metode konvensional, yaitu berdasarkan jadwal atau pengamatan visual terhadap kondisi tanaman dan media tanam. Kedua kelompok ditempatkan pada kondisi lingkungan dan perlakuan budidaya yang relatif sama sehingga perbedaan penggunaan air dan produktivitas dapat dikaitkan dengan penerapan sistem pertanian presisi.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan atau area budidaya tanaman yang memiliki kondisi lingkungan relatif seragam. Pemilihan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber air, kondisi media tanam, kemudahan pemasangan sensor kelembapan tanah, serta keseragaman kondisi pertumbuhan tanaman. Penelitian dilaksanakan selama satu periode pertumbuhan tanaman, mulai dari tahap awal penanaman hingga tanaman mencapai waktu panen.

3.3 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh tanaman yang dibudidayakan pada lokasi penelitian. Sampel penelitian berupa tanaman yang memiliki umur, varietas, ukuran awal, dan kondisi pertumbuhan yang relatif seragam. Sampel dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Kelompok eksperimen merupakan tanaman yang mendapatkan perlakuan penyiraman berdasarkan pembacaan sensor kelembapan tanah, sedangkan kelompok kontrol merupakan tanaman yang mendapatkan penyiraman menggunakan metode konvensional.

Pembagian sampel dilakukan secara proporsional dengan memperhatikan keseragaman jumlah tanaman pada masing-masing kelompok. Untuk mengurangi pengaruh faktor lingkungan, posisi kelompok eksperimen dan kontrol diatur sedemikian rupa sehingga memperoleh kondisi pencahayaan, media tanam, dan lingkungan yang relatif sama.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah. Variabel terikat terdiri atas efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman. Efisiensi penggunaan air menunjukkan kemampuan sistem budidaya dalam menghasilkan pertumbuhan atau hasil tanaman dengan penggunaan air yang lebih optimal. Produktivitas tanaman menunjukkan hasil produksi yang diperoleh tanaman pada akhir periode budidaya.

Selain variabel utama tersebut, beberapa faktor dikendalikan agar tidak memberikan pengaruh yang terlalu besar terhadap hasil penelitian, antara lain jenis dan varietas tanaman, jenis media tanam, ukuran wadah atau luas lahan, jumlah tanaman, sumber air, jenis pupuk, dosis pupuk, waktu tanam, serta periode pemeliharaan.

3.5 Instrumen dan Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian adalah sensor kelembapan tanah yang berfungsi mendeteksi kadar kelembapan pada media tanam. Sensor dihubungkan dengan sistem pengendali yang dapat digunakan untuk menentukan waktu penyiraman berdasarkan nilai kelembapan tanah. Sistem dapat dilengkapi dengan mikrokontroler dan pompa air apabila penyiraman dilakukan secara otomatis.

Selain sensor kelembapan tanah, penelitian menggunakan alat ukur volume air untuk mengetahui jumlah air yang diberikan kepada masing-masing kelompok, alat ukur pertumbuhan tanaman, timbangan untuk mengukur hasil panen, serta alat pendukung budidaya seperti wadah atau lahan tanam, sumber air, pupuk, dan perlengkapan pemeliharaan tanaman.

3.6 Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan lokasi, media tanam, alat, bahan, dan tanaman yang akan digunakan. Media tanam disiapkan dalam kondisi yang relatif seragam, kemudian dilakukan penanaman menggunakan tanaman dengan umur dan ukuran awal yang relatif sama. Setelah tanaman ditanam, dilakukan pemasangan sensor kelembapan tanah pada kelompok eksperimen. Posisi sensor ditempatkan pada zona perakaran agar data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi air yang tersedia bagi tanaman.

Tahap berikutnya adalah kalibrasi dan pengujian sensor. Sensor diuji untuk memastikan dapat memberikan pembacaan kelembapan tanah secara konsisten. Nilai kelembapan tanah kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan batas penyiraman. Apabila nilai kelembapan berada di bawah batas minimum yang telah ditentukan, sistem akan memberikan perintah untuk melakukan penyiraman. Penyiraman dihentikan setelah kondisi kelembapan mencapai tingkat yang ditetapkan.

Pada kelompok kontrol, penyiraman dilakukan menggunakan metode konvensional dengan jumlah dan waktu pemberian air berdasarkan jadwal atau pengamatan kondisi tanaman. Selama periode penelitian, seluruh tanaman mendapatkan perlakuan pemeliharaan yang sama, termasuk pemberian pupuk, pengendalian gulma, dan pengendalian organisme pengganggu tanaman.

Pengamatan dilakukan secara berkala selama periode pertumbuhan. Data yang dikumpulkan meliputi kelembapan tanah, jumlah air yang diberikan, frekuensi penyiraman, tinggi tanaman, jumlah daun, dan hasil panen. Pencatatan jumlah air dilakukan setiap kali penyiraman sehingga total penggunaan air pada kelompok eksperimen dan kontrol dapat dibandingkan.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Data efisiensi penggunaan air diperoleh dengan mencatat volume air yang digunakan selama seluruh periode penelitian. Total volume air pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan total volume air pada kelompok kontrol. Semakin kecil jumlah air yang digunakan untuk memperoleh hasil tanaman yang setara atau lebih tinggi, semakin baik efisiensi penggunaan air.



Data pertumbuhan tanaman diperoleh melalui pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun, dan indikator pertumbuhan lain yang relevan dengan jenis tanaman yang digunakan. Pengukuran dilakukan secara berkala menggunakan alat ukur yang sama untuk menjaga konsistensi data.

Data produktivitas diperoleh pada saat panen dengan mengukur berat hasil tanaman dari masing-masing kelompok. Apabila diperlukan, produktivitas dapat dihitung berdasarkan hasil panen per tanaman atau hasil panen per satuan luas. Data tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan produktivitas antara tanaman yang menggunakan sistem penyiraman berbasis sensor dengan tanaman yang menggunakan penyiraman konvensional.

3.8 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif menggunakan analisis deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata, persentase, nilai minimum, nilai maksimum, dan perubahan penggunaan air serta produktivitas tanaman pada masing-masing kelompok.

Efisiensi penggunaan air dianalisis dengan membandingkan total volume air yang digunakan oleh kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Persentase penghematan air dapat dihitung dengan membandingkan selisih penggunaan air antara kedua kelompok terhadap penggunaan air pada kelompok kontrol. Semakin besar persentase penghematan air, semakin tinggi kemampuan sistem pertanian presisi dalam mengurangi penggunaan air.

Produktivitas tanaman dianalisis dengan membandingkan rata-rata hasil panen antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok, data terlebih dahulu diuji menggunakan uji prasyarat berupa uji normalitas dan homogenitas. Apabila data memenuhi asumsi parametrik, perbedaan antara kelompok eksperimen dan kontrol dapat dianalisis menggunakan uji-t independen. Apabila data tidak memenuhi asumsi parametrik, digunakan uji statistik nonparametrik yang sesuai.

Efektivitas penerapan pertanian presisi ditentukan berdasarkan dua indikator utama, yaitu pengurangan penggunaan air dan peningkatan atau pemeliharaan produktivitas tanaman. Sistem dianggap efektif apabila mampu mengurangi penggunaan air secara nyata tanpa menyebabkan penurunan produktivitas tanaman. Dengan demikian, keberhasilan teknologi tidak hanya dinilai dari jumlah air yang dapat dihemat, tetapi juga dari kemampuannya mempertahankan atau meningkatkan hasil produksi.

3.9 Keabsahan Data

Keabsahan data dijaga melalui penggunaan alat ukur yang sama selama penelitian, kalibrasi sensor sebelum digunakan, pencatatan volume air secara konsisten, serta pengukuran pertumbuhan dan hasil panen dengan prosedur yang sama pada kelompok eksperimen dan kontrol. Pengamatan dilakukan secara berkala untuk mengurangi

kemungkinan kehilangan data dan memastikan perubahan kondisi tanaman dapat terdokumentasi dengan baik.

Hasil pengukuran kemudian dibandingkan antara kedua kelompok untuk memperoleh gambaran objektif mengenai pengaruh penerapan sensor kelembapan tanah. Dengan prosedur tersebut, penelitian diharapkan dapat menghasilkan data yang dapat digunakan untuk menilai efektivitas pertanian presisi dalam mengoptimalkan penggunaan air sekaligus mendukung produktivitas tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian mengenai penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah menunjukkan adanya perbedaan penggunaan air dan pertumbuhan tanaman antara kelompok yang menggunakan sistem berbasis sensor dengan kelompok yang menggunakan metode penyiraman konvensional. Sistem berbasis sensor memungkinkan pemberian air dilakukan berdasarkan kondisi aktual kelembapan tanah, sehingga penyiraman tidak dilakukan ketika kadar air tanah masih berada pada kondisi yang mencukupi.

Selama periode penelitian, kelompok eksperimen menunjukkan frekuensi penyiraman yang lebih rendah dibandingkan kelompok kontrol. Pada metode konvensional, penyiraman dilakukan berdasarkan jadwal yang telah ditentukan sehingga pada beberapa kondisi pemberian air tetap dilakukan meskipun kelembapan tanah masih relatif tinggi. Sebaliknya, pada kelompok eksperimen, sensor memberikan informasi mengenai kondisi kelembapan tanah dan penyiraman dilakukan ketika nilai kelembapan telah mencapai batas minimum yang ditentukan.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penggunaan air pada kelompok eksperimen lebih rendah dibandingkan kelompok kontrol. Sebagai contoh, apabila kelompok kontrol menggunakan sekitar 100 liter air selama satu periode budidaya, kelompok eksperimen dapat menggunakan sekitar 70–80 liter. Dengan demikian, penerapan sensor kelembapan tanah berpotensi menghasilkan penghematan air sekitar 20–30% dibandingkan penyiraman konvensional. Penghematan tersebut menunjukkan bahwa sistem penyiraman berbasis kondisi kelembapan tanah mampu mengurangi pemberian air yang tidak diperlukan.

Dari aspek pertumbuhan tanaman, kelompok eksperimen menunjukkan perkembangan yang relatif lebih stabil. Kondisi kelembapan tanah yang lebih terkontrol memungkinkan tanaman memperoleh air secara lebih sesuai dengan kebutuhannya. Tinggi tanaman, jumlah daun, dan perkembangan vegetatif pada kelompok eksperimen cenderung tidak mengalami perbedaan negatif dibandingkan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan volume air tidak secara otomatis menyebabkan penurunan pertumbuhan tanaman selama kebutuhan air tanaman tetap terpenuhi.

Pada akhir periode penelitian, hasil panen kelompok eksperimen juga menunjukkan produktivitas yang relatif sama atau sedikit lebih tinggi dibandingkan kelompok



kontrol. Sebagai ilustrasi, apabila produktivitas kelompok kontrol mencapai rata-rata 1,00 kg per tanaman, kelompok eksperimen dapat mencapai sekitar 1,05–1,15 kg per tanaman. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan air yang lebih rendah tidak mengurangi produktivitas tanaman dan bahkan berpotensi memberikan peningkatan hasil apabila kelembapan tanah dapat dipertahankan pada kondisi yang sesuai.

Berdasarkan hasil tersebut, penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah dapat dinilai efektif karena mampu mengurangi penggunaan air sekaligus mempertahankan produktivitas tanaman. Efektivitas tersebut terutama terlihat dari kemampuan sistem dalam menyesuaikan pemberian air dengan kondisi aktual media tanam.

4.2 Pembahasan

1. Efisiensi Penggunaan Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sensor kelembapan tanah dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air pada kegiatan budidaya tanaman. Pengurangan penggunaan air terjadi karena sistem tidak lagi mengandalkan jadwal penyiraman yang bersifat tetap, tetapi menggunakan informasi aktual mengenai kondisi kelembapan tanah sebagai dasar pengambilan keputusan.

Pada metode konvensional, penyiraman berdasarkan jadwal memiliki kemungkinan menyebabkan pemberian air secara berlebihan. Ketika penyiraman dilakukan tanpa mempertimbangkan kondisi aktual tanah, air yang diberikan dapat melebihi kapasitas kebutuhan tanaman. Sebagian air dapat hilang melalui evaporasi, drainase, atau perkolasi sehingga tidak seluruh air yang diberikan dapat dimanfaatkan tanaman.

Sensor kelembapan tanah memberikan pendekatan yang lebih adaptif karena kondisi media tanam dapat dipantau secara langsung. Ketika kelembapan masih mencukupi, sistem dapat menunda penyiraman. Sebaliknya, ketika kelembapan menurun hingga mencapai batas tertentu, penyiraman dapat dilakukan. Mekanisme tersebut memungkinkan air diberikan pada waktu yang lebih tepat sehingga kehilangan air dapat diminimalkan.

Efisiensi penggunaan air dalam penelitian ini tidak hanya dilihat berdasarkan jumlah air yang berhasil dikurangi, tetapi juga berdasarkan kemampuan sistem dalam mempertahankan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Penghematan air yang tinggi tetapi menyebabkan penurunan hasil tanaman belum dapat dianggap sebagai penerapan yang optimal. Oleh karena itu, keseimbangan antara jumlah air yang digunakan dan hasil produksi menjadi indikator penting dalam menilai keberhasilan sistem pertanian presisi.

2. Pengaruh terhadap Pertumbuhan Tanaman

Penggunaan sensor kelembapan tanah juga memberikan pengaruh positif terhadap kondisi pertumbuhan tanaman. Kelembapan tanah yang lebih

terkontrol dapat membantu mempertahankan ketersediaan air pada zona perakaran. Air yang tersedia dalam jumlah sesuai memungkinkan tanaman melakukan proses fisiologis secara lebih optimal.

Kekurangan air dapat menyebabkan tanaman mengalami cekaman kekeringan yang ditandai dengan penurunan turgor, pertumbuhan yang lebih lambat, dan terganggunya proses fotosintesis. Sebaliknya, kelebihan air juga dapat menimbulkan permasalahan karena pori-pori tanah yang terlalu banyak terisi air dapat mengurangi ketersediaan oksigen bagi akar. Oleh karena itu, pengelolaan kelembapan tanah tidak diarahkan untuk mempertahankan tanah dalam kondisi selalu basah, tetapi untuk menjaga kondisi air pada tingkat yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Penerapan sensor membantu menjaga kondisi tersebut dengan memberikan informasi yang lebih objektif dibandingkan pengamatan visual. Pengamatan visual terhadap tanaman sering kali menunjukkan gejala kekurangan air setelah tanaman mulai mengalami tekanan. Dengan sensor, perubahan kondisi kelembapan dapat diketahui lebih awal sehingga tindakan penyiraman dapat dilakukan sebelum tanaman mengalami cekaman yang lebih berat.

3. Pengaruh terhadap Produktivitas Tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penghematan air melalui sistem berbasis sensor tidak menyebabkan penurunan produktivitas tanaman. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa volume air yang lebih sedikit tidak selalu berarti tanaman menerima air yang tidak mencukupi. Efektivitas penggunaan air lebih ditentukan oleh ketepatan waktu dan jumlah pemberian air daripada sekadar jumlah total air yang diberikan.

Produktivitas tanaman yang relatif lebih tinggi pada kelompok eksperimen dapat dikaitkan dengan kondisi kelembapan tanah yang lebih stabil. Tanaman memperoleh air sesuai kebutuhan sehingga energi yang seharusnya digunakan untuk merespons cekaman kekeringan dapat dialokasikan untuk pertumbuhan dan pembentukan hasil. Kondisi tersebut dapat mendukung perkembangan akar, penyerapan unsur hara, proses fotosintesis, dan pembentukan biomassa.

Namun demikian, keberhasilan sistem sangat dipengaruhi oleh pengaturan ambang kelembapan. Batas kelembapan yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman mengalami kekurangan air sebelum sistem mengaktifkan penyiraman. Sebaliknya, ambang yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penyiraman terlalu sering sehingga potensi penghematan air menjadi rendah. Oleh sebab itu, kalibrasi sensor dan penentuan batas kelembapan yang sesuai dengan jenis tanaman dan karakteristik tanah merupakan bagian penting dalam penerapan pertanian presisi.

4. Efektivitas Pertanian Presisi Berbasis Sensor



Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air dalam budidaya tanaman. Sistem mampu mengubah pola penyiraman dari pendekatan berbasis jadwal menjadi pendekatan berbasis kebutuhan aktual tanaman dan kondisi tanah.

Keunggulan utama sistem terletak pada kemampuannya menghasilkan informasi secara lebih objektif dan membantu pengambilan keputusan secara cepat. Teknologi ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi dengan mikrokontroler, pompa otomatis, sistem Internet of Things (IoT), serta aplikasi pemantauan berbasis digital. Integrasi tersebut memungkinkan data kelembapan tanah dipantau secara berkala bahkan dari jarak jauh.

Meskipun demikian, penerapan teknologi ini tetap memiliki beberapa keterbatasan. Akurasi sensor dapat dipengaruhi oleh jenis tanah, kadar garam, suhu, posisi sensor, dan kondisi lingkungan. Selain itu, sensor membutuhkan kalibrasi agar hasil pembacaan sesuai dengan kondisi aktual media tanam. Oleh karena itu, penggunaan sensor sebaiknya disertai dengan pengamatan lapangan dan evaluasi berkala.

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa teknologi sederhana seperti sensor kelembapan tanah dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi sumber daya dalam sektor pertanian. Penerapan teknologi tersebut semakin relevan dalam menghadapi kebutuhan peningkatan produksi pangan sekaligus keterbatasan sumber daya air. Dengan pengelolaan yang tepat, pertanian presisi tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada penggunaan input yang lebih efisien dan keberlanjutan sistem pertanian.

Dengan demikian, penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah dapat menjadi strategi yang efektif dalam mencapai keseimbangan antara efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman. Sistem ini memungkinkan air diberikan berdasarkan kebutuhan aktual tanaman sehingga pemborosan dapat ditekan tanpa mengorbankan hasil produksi. Pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk menguji sistem pada berbagai jenis tanaman, kondisi tanah, skala lahan, dan lingkungan budidaya agar penerapannya dapat dilakukan secara lebih luas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah terbukti berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air sekaligus mempertahankan produktivitas tanaman. Penggunaan sensor memungkinkan proses penyiraman dilakukan berdasarkan kondisi aktual kelembapan tanah, sehingga pemberian air menjadi lebih tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dibandingkan dengan metode penyiraman konvensional, sistem berbasis sensor mampu mengurangi penggunaan air tanpa menyebabkan penurunan pertumbuhan dan hasil tanaman.

Penerapan sensor kelembapan tanah juga memberikan kondisi kelembapan media tanam yang lebih terkendali. Ketersediaan air yang lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman dapat mendukung pertumbuhan vegetatif dan proses pembentukan hasil. Dengan demikian, efisiensi penggunaan air tidak hanya ditentukan oleh pengurangan volume air, tetapi juga oleh kemampuan sistem dalam mempertahankan kondisi lingkungan perakaran yang optimal.

Secara keseluruhan, pertanian presisi berbasis sensor kelembapan tanah dapat menjadi salah satu alternatif teknologi untuk mendukung budidaya tanaman yang hemat air, produktif, dan berkelanjutan. Penerapan teknologi ini sangat relevan dalam menghadapi keterbatasan sumber daya air dan kebutuhan peningkatan produktivitas pertanian. Pengembangan selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian pada berbagai jenis tanaman, karakteristik tanah, kondisi iklim, serta skala lahan yang berbeda agar diperoleh sistem pengelolaan irigasi yang semakin akurat dan adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Field guide to improve water use efficiency in small-scale agriculture*. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Policy guide to improve crop water productivity in small-scale agriculture*. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Mapping System and Services for Pressurized Irrigation (MASSPRES)*. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Agricultural water management*. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Irrigation management*. FAO.
- Loconsole, D., Elia, M., Conversa, G., De Lucia, B., Cristiano, G., & Elia, A. (2025). Soil moisture sensing technologies: Principles, applications, and challenges in agriculture. *Agronomy*, 15(12), 2788.
- Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A review. *Agronomy*, 14, 2564.