



# Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 1 No 2 Desember 2025, Hal. 11-21  
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)  
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

## Pemanfaatan Teknologi Irigasi Otomatis dan Sensor Kelembaban Tanah dalam Mendukung Efisiensi Air dan Ketahanan Pangan Berkelanjutan

Parwito<sup>1\*</sup>, Eko Sumartono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Ratu Samban Bengkulu, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Dehasen Bengkulu, Indonesia

email: [parwitoug@gmail.com](mailto:parwitoug@gmail.com)<sup>1</sup>, [ekosumartono@relawanjurnal.id](mailto:ekosumartono@relawanjurnal.id)<sup>2</sup>

### Article Info :

Received:

13-8-2025

Revised:

05-9-2025

Accepted:

15-10-2025

### Abstract

*Limited water resources and increasing global food demand require the application of efficient and sustainable agricultural technologies. This study examines the use of soil moisture sensor-based automatic irrigation technology to improve water efficiency and support sustainable food security through literature review and secondary data analysis. The results show that this technology can save water usage by 30–50%, increase crop productivity by up to 25%, and reduce long-term operational costs. The system works by continuously monitoring soil moisture and regulating water supply according to crop needs. The main challenges include initial investment costs, farmers' limited knowledge, and supporting infrastructure, but these can be overcome through policy support, training, and appropriate business models. This study recommends the development of affordable automated irrigation systems, increased farmer capacity, and comprehensive policies to accelerate the adoption of this technology at the field level.*

**Keywords:** Automatic Irrigation, Soil Moisture Sensor, Water Efficiency, Food Security, Sustainable Agriculture.

### Abstrak

Keterbatasan sumber daya air dan meningkatnya kebutuhan pangan global menuntut penerapan teknologi pertanian yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini mengkaji pemanfaatan teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah untuk meningkatkan efisiensi air dan mendukung ketahanan pangan berkelanjutan melalui kajian literatur dan analisis data sekunder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi ini mampu menghemat penggunaan air hingga 30–50 %, meningkatkan produktivitas tanaman hingga 25 %, serta menurunkan biaya operasional jangka panjang. Sistem bekerja dengan memantau kelembaban tanah secara berkelanjutan dan mengatur pemberian air sesuai kebutuhan tanaman. Tantangan utama meliputi biaya investasi awal, keterbatasan pengetahuan petani, dan infrastruktur pendukung, namun dapat diatasi melalui dukungan kebijakan, pelatihan, dan model bisnis yang tepat. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan sistem irigasi otomatis yang terjangkau, peningkatan kapasitas petani, dan kebijakan komprehensif untuk mempercepat adopsi teknologi tersebut di tingkat lapangan.

**Kata kunci:** Irigasi Otomatis, Sensor Kelembaban Tanah, Efisiensi Air, Ketahanan Pangan, Pertanian Berkelanjutan.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh dunia di abad kedua puluh satu. Dengan populasi global yang diproyeksikan mencapai 9,7 miliar jiwa pada tahun 2050, kebutuhan akan produksi pangan diperkirakan akan meningkat hingga 70 persen dari tingkat saat ini. Perubahan iklim, degradasi lahan, dan kelangkaan air semakin mengancam kemampuan sektor pertanian untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Inovasi teknologi pertanian menjadi sangat krusial untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan sumber daya alam.

Air merupakan sumber daya yang sangat penting dalam produksi pertanian, dengan sektor pertanian menyerap sekitar 70 persen dari total penggunaan air tawar global. Ketersediaan air semakin terbatas akibat perubahan pola curah hujan, peningkatan permintaan dari sektor lain, dan pencemaran sumber air. Di banyak wilayah, termasuk Indonesia, petani masih menggunakan sistem irigasi konvensional yang tidak efisien, menyebabkan pemborosan air yang signifikan dan produktivitas yang suboptimal. Sistem irigasi tradisional sering kali memberikan air secara berlebihan atau tidak mencukupi, karena tidak memperhitungkan kebutuhan aktual tanaman dan kondisi kelembaban tanah.

Teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi masalah ini. Sistem ini mengintegrasikan sensor yang memantau kelembaban tanah secara berkelanjutan dengan sistem kontrol otomatis yang mengatur pemberian air berdasarkan data kelembaban yang dikumpulkan. Air diberikan hanya ketika dan dalam jumlah yang dibutuhkan oleh tanaman, menghindari pemborosan dan memastikan kondisi pertumbuhan yang optimal.

Penerapan teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga dapat meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi biaya tenaga kerja, dan meminimalkan dampak lingkungan dari kegiatan pertanian. Dalam jangka panjang, teknologi irigasi otomatis dapat berkontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dengan memungkinkan produksi pertanian yang lebih tinggi dan lebih stabil, bahkan di tengah keterbatasan sumber daya air. Indonesia, sebagai negara agraris dengan sekitar 30 persen populasi bergantung pada sektor pertanian, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan teknologi ini. Namun adopsi teknologi irigasi otomatis di tingkat petani masih sangat terbatas, terutama karena keterbatasan pengetahuan, biaya investasi, dan infrastruktur pendukung. Diperlukan kajian yang komprehensif tentang potensi, tantangan, dan strategi implementasi teknologi irigasi otomatis dalam konteks Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan teknologi irigasi otomatis dan sensor kelembaban tanah dalam meningkatkan efisiensi air dan mendukung ketahanan pangan berkelanjutan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang bagaimana teknologi ini bekerja, manfaatnya, tantangan implementasinya, dan strategi untuk mempercepat adopsinya di tingkat lapangan. Penelitian ini dapat berkontribusi pada upaya untuk meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian di Indonesia dan negara-negara berkembang lainnya.

Kebutuhan pangan global terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dunia dan perubahan pola konsumsi yang semakin kompleks, sehingga sektor pertanian dihadapkan pada tantangan untuk meningkatkan produktivitas sambil mengelola sumber daya secara lebih bijak. Sumber daya air irigasi yang selama ini menjadi tulang punggung produksi tanaman menghadapi tekanan dari perubahan iklim, kompetisi antar pengguna air, dan degradasi kualitas tanah, sehingga efisiensi penggunaan air menjadi aspek yang tidak dapat diabaikan. Teknologi yang memungkinkan pengaturan irigasi secara otomatis serta pemantauan kelembaban tanah memberikan peluang strategis untuk mengurangi pemborosan air sekaligus mempertahankan atau meningkatkan hasil panen (Wahditiya, et al. 2024). Pemanfaatan sensor kelembaban tanah dan sistem irigasi otomatis dipandang sebagai salah satu upaya untuk mentransformasikan praktek pertanian tradisional menjadi lebih presisi dan berkelanjutan.

Irigasi memegang peranan kritis dalam produksi tanaman pangan terutama di wilayah yang mengalami curah hujan tidak merata atau musim kering yang panjang, dan oleh karena itu sistem irigasi yang tepat waktu serta sesuai kebutuhan tanaman menjadi kunci untuk efisiensi air dan optimalisasi hasil. Namun praktik irigasi konvensional sering kali dilakukan dengan pendekatan “menyiram secara rutin” tanpa mempertimbangkan kondisi riil kelembaban tanah atau kebutuhan spesifik tanaman sehingga terjadi pemborosan air maupun risiko stres air atau kelebihan air bagi tanaman. Teknologi sensor kelembaban tanah memungkinkan pengukuran secara real time terhadap kadar air tanah yang tersedia bagi tanaman, sehingga irigasi dapat diaktifkan berdasarkan kondisi aktual dan tidak sekadar berdasarkan jadwal tetap (Kencana, et al. 2025).

Di Indonesia, pembaruan sistem irigasi menjadi kebutuhan mendesak karena banyak jaringan irigasi yang dikelola pemerintah atau daerah masih menghadapi kerusakan atau ketidakefisienan dalam distribusi air, yang berdampak pada produktivitas lahan serta penggunaan air yang tidak optimal (Nelvi, 2019). Sebagai contoh, program modernisasi irigasi yang dilakukan oleh institusi riset nasional menunjukkan bahwa integrasi data sensor kelembaban tanah dan parameter lainnya dalam sistem irigasi dapat memperkuat ketahanan pangan nasional melalui peningkatan efisiensi air. Pemanfaatan teknologi irigasi otomatis dengan sensor kelembaban tanah oleh petani skala kecil maupun besar membuka peluang untuk mentransformasikan praktik irigasi dari pendekatan berbasis volume besar ke pendekatan berbasis kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah.

Data konkret mengenai penghematan air dan peningkatan efisiensi saat teknologi sensor kelembaban tanah dan irigasi otomatis diterapkan di lahan pertanian, sebagai berikut:

**Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Irigasi, Produktivitas Tanaman, dan Penggunaan Air antara Metode Konvensional dan Teknologi Sensor Kelembaban Tanah Otomatis**

Pengukuran	Metode Konvensional	Sensor & Otomatis
Efisiensi irigasi (%)	25,10 %	89,94 %
Peningkatan produktivitas tanaman	–	+25 %
Pengurangan penggunaan air	–	Hingga 30 %

Sumber: Adak (2025)

Dari data tersebut tampak bahwa penggunaan teknologi sensor kelembaban tanah dan sistem irigasi otomatis secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman jika dibandingkan dengan metode tradisional. Hal ini mengindikasikan bahwa adopsi teknologi tersebut berpotensi menjadi langkah nyata dalam mengatasi pemborosan air di sektor pertanian. Data-kuantitatif tersebut memberikan argumen kuat bahwa investasi dalam teknologi irigasi dan sensor tidak hanya bersifat teknis tetapi juga strategis dalam konteks keberlanjutan pangan. Pengukuran dalam kondisi spesifik dan skala yang lebih besar masih dibutuhkan untuk mereplikasi hasil di berbagai jenis lahan dan kondisi iklim.

Teknologi sensor kelembaban tanah umumnya menggunakan prinsip pengukuran kadar air dalam tanah melalui sensor kapasitansi, tahanan atau sensor dielektrik yang terhubung dengan sistem pengendalian irigasi, dan beberapa studi menunjukkan bahwa teknologi tersebut memiliki akurasi pengukuran hingga sekitar 93,80 % dalam kondisi spesifik tanah pasir liat (Faridah, et al. 2025). Dengan tingkat akurasi tersebut, sistem irigasi otomatis dapat mengambil keputusan kapan dan berapa banyak air yang diperlukan tanaman berdasarkan data nyata, bukan hanya asumsi atau jadwal tetap.

Dari perspektif ketahanan pangan, efisiensi penggunaan air irigasi memiliki implikasi langsung terhadap daya dukung lahan dan keberlanjutan produksi tanaman pangan, karena air yang digunakan lebih efektif akan memungkinkan lahan yang sama menghasilkan lebih banyak atau setidaknya mempertahankan produksi meski dalam kondisi air terbatas. Mengurangi pemborosan air irigasi juga berarti mengurangi tekanan terhadap sumber daya air bersih dan sistem distribusi irigasi yang sudah berbatasan kapasitas, sehingga potensi konflik antar pengguna dan degradasi lingkungan dapat diminimalkan. Integrasi irigasi otomatis dan sensor kelembaban tanah pada akhirnya juga memungkinkan adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim, misalnya musim kering lebih panjang atau curah hujan yang tidak dapat diprediksi, karena sistem dapat merespon kondisi tanah dan tanaman secara *real time* (Wahditiya, et al. 2025).

Meski manfaatnya signifikan, adopsi teknologi irigasi otomatis dan sensor kelembaban tanah menghadapi hambatan praktis seperti biaya awal investasi, keterbatasan infrastruktur irigasi tradisional, pemahaman pengguna, dan keberlanjutan operasional dalam jangka panjang. Di banyak daerah, kanal irigasi, pompa dan sistem distribusi masih beroperasi secara manual dan belum siap untuk integrasi dengan teknologi otomatis, sehingga diperlukan langkah adaptasi dan modernisasi yang terencana. Petani skala kecil seringkali menghadapi keterbatasan modal, akses teknologi, dan risiko teknis sehingga langkah-penggunaannya perlu didukung oleh model bisnis yang inklusif dan bantuan teknis

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian dengan pendekatan kualitatif, dimana dinyatakan Penelitian ini menggunakan metode kajian literatur dan analisis data sekunder untuk mengkaji pemanfaatan teknologi irigasi otomatis dan sensor kelembaban tanah (Zebua, et al. 2024). Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur ilmiah dari berbagai sumber, termasuk jurnal internasional dan nasional, prosiding konferensi, laporan penelitian, dan publikasi dari organisasi internasional yang berkaitan dengan pertanian dan teknologi irigasi. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur meliputi irigasi otomatis, sensor kelembaban tanah, efisiensi air pertanian, ketahanan pangan, pertanian presisi, dan teknologi pertanian berkelanjutan.

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai studi kasus implementasi teknologi irigasi otomatis di berbagai negara dan kondisi agroekologi yang berbeda. Data yang dikumpulkan mencakup informasi tentang desain sistem, tingkat penghematan air, dampak terhadap produktivitas tanaman, biaya implementasi, dan tantangan yang dihadapi. Analisis data dilakukan secara deskriptif dan komparatif untuk mengidentifikasi pola, tren, dan pembelajaran penting dari berbagai implementasi.

Validitas data dipastikan dengan menggunakan sumber-sumber yang kredibel dan terverifikasi, serta melakukan triangulasi informasi dari berbagai sumber (Susanto, & Jailani, 2023). Keterbatasan penelitian ini adalah tidak adanya data primer dari implementasi langsung, sehingga analisis bergantung sepenuhnya pada data yang tersedia dalam literatur. Namun, dengan menggunakan berbagai sumber dan melakukan analisis yang sistematis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang pemanfaatan teknologi irigasi otomatis untuk mendukung efisiensi air dan ketahanan pangan berkelanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Prinsip Kerja Teknologi Irigasi Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah

Teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah merupakan sistem yang mengintegrasikan beberapa komponen utama untuk mengoptimalkan pemberian air pada tanaman. Komponen pertama adalah sensor kelembaban tanah yang dipasang pada kedalaman tertentu di zona perakaran tanaman. Sensor ini bekerja dengan mengukur kandungan air dalam tanah menggunakan berbagai metode, seperti resistansi listrik, kapasitansi, atau tensiometer, dan mengubahnya menjadi sinyal elektronik yang dapat dibaca oleh sistem kontrol (Yusuf, & Suryono, 2025).

Komponen kedua adalah unit pengontrol atau kontroler yang berfungsi sebagai otak sistem. Kontroler menerima data dari sensor kelembaban tanah, membandingkannya dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan, dan membuat keputusan apakah perlu mengaktifkan atau menonaktifkan sistem irigasi (Utomo, 2018). Kontroler dapat berupa perangkat sederhana dengan pengaturan ambang batas tunggal atau sistem yang lebih canggih dengan kemampuan pemrograman yang kompleks dan konektivitas internet untuk pemantauan jarak jauh.

Komponen ketiga adalah sistem irigasi itu sendiri, yang dapat berupa sistem tetes, sprinkler, atau metode irigasi lainnya yang sesuai dengan jenis tanaman dan kondisi lahan. Sistem irigasi dilengkapi dengan katup solenoid atau aktuator yang dapat dibuka dan ditutup secara otomatis berdasarkan perintah dari kontroler. Ketika sensor mendeteksi bahwa kelembaban tanah turun di bawah ambang batas yang ditentukan, kontroler akan mengaktifkan katup untuk memulai irigasi. Sebaliknya, ketika kelembaban tanah mencapai level optimal, kontroler akan menonaktifkan katup untuk menghentikan aliran air (El Hudaefie, 2023).

Komponen tambahan yang semakin umum diintegrasikan adalah sensor lingkungan lainnya, seperti sensor suhu, kelembaban udara, radiasi matahari, dan curah hujan. Data dari sensor-sensor ini dapat digunakan untuk menghitung evapotranspirasi dan memprediksi kebutuhan air tanaman secara lebih akurat. Sistem yang lebih canggih juga dapat terhubung dengan stasiun cuaca otomatis dan mengintegrasikan data prakiraan cuaca untuk mengoptimalkan jadwal irigasi. Beberapa sistem modern juga dilengkapi dengan kemampuan pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui internet atau jaringan seluler (Agus, 2025). Petani dapat memantau kondisi kelembaban tanah, status sistem irigasi, dan mengatur pengaturan sistem dari jarak jauh menggunakan aplikasi ponsel pintar atau komputer. Fitur ini sangat berguna untuk lahan pertanian yang luas atau lokasi yang sulit diakses secara fisik.

### Keunggulan Teknologi Irigasi Otomatis

Penerapan teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan sistem irigasi konvensional (Hulukati, et al. 2025). Keunggulan utama adalah efisiensi penggunaan air yang sangat signifikan. Berbagai studi menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis dapat menghemat penggunaan air hingga 30-50 persen dibandingkan dengan irigasi manual atau berdasarkan jadwal tetap. Penghematan ini dicapai karena air diberikan hanya ketika benar-benar dibutuhkan oleh tanaman, menghindari pemberian air yang berlebihan atau tidak perlu. Tabel berikut menyajikan perbandingan efisiensi penggunaan air antara berbagai sistem irigasi berdasarkan hasil kajian literatur:

**Tabel 2. Perbandingan Efisiensi Penggunaan Air pada Berbagai Sistem Irigasi**

Jenis Sistem Irigasi	Efisiensi Penggunaan Air (%)	Penghematan Air Dibanding Irigasi Konvensional (%)	Catatan
----------------------	------------------------------	--	---------

Irigasi Konvensional (Genangan)	40-50	0 (Basis perbandingan)	Pemborosan air tinggi, evaporasi besar
Irigasi Manual dengan Jadwal Tetap	55-65	10-20	Tergantung kedisiplinan dan pengalaman petani
Irigasi Tetes Konvensional	70-80	30-40	Efisien tetapi jadwal tetap
Irigasi Otomatis dengan Timer	75-85	35-45	Lebih baik tetapi tidak responsif terhadap kondisi tanah
Irigasi Otomatis dengan Sensor Kelembaban	85-95	45-55	Sangat efisien, responsif terhadap kebutuhan aktual

Sumber: data olahan peneliti

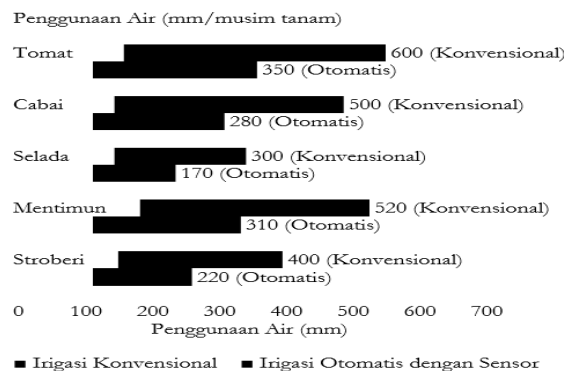
Keunggulan kedua adalah peningkatan produktivitas tanaman. Dengan memastikan bahwa tanaman menerima air dalam jumlah yang tepat pada waktu yang tepat, stres air dapat diminimalkan dan kondisi pertumbuhan optimal dapat dipertahankan. Berbagai penelitian melaporkan peningkatan hasil panen antara 15-25 persen pada tanaman yang diirigasi dengan sistem otomatis berbasis sensor dibandingkan dengan sistem konvensional. Peningkatan ini tidak hanya dalam hal kuantitas, tetapi juga kualitas produk, seperti ukuran buah yang lebih besar, kandungan gula yang lebih tinggi, dan umur simpan yang lebih panjang.

Keunggulan ketiga adalah penghematan tenaga kerja dan waktu. Sistem otomatis menghilangkan kebutuhan untuk memantau kondisi tanah secara manual dan mengoperasikan sistem irigasi setiap hari. Petani dapat mengalokasikan waktu mereka untuk kegiatan pertanian lain yang lebih produktif, seperti pemeliharaan tanaman, pengendalian hama, dan pemasaran. Penghematan tenaga kerja ini sangat penting di tengah kelangkaan tenaga kerja pertanian dan biaya tenaga kerja yang terus meningkat.

Keunggulan keempat adalah konsistensi dalam pemberian air. Sistem otomatis tidak terpengaruh oleh faktor manusia seperti lupa, terlambat, atau kesalahan dalam menilai kebutuhan air tanaman. Konsistensi ini menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih seragam dan hasil panen yang lebih dapat diprediksi. Dalam pertanian komersial, konsistensi ini sangat penting untuk memenuhi standar kualitas pasar dan perencanaan produksi. Keunggulan kelima adalah pengurangan pencucian nutrisi dan pencemaran air. Dengan menghindari pemberian air yang berlebihan, sistem irigasi otomatis mengurangi pencucian pupuk dan bahan kimia pertanian ke air tanah atau badan air. Hal ini tidak hanya menghemat biaya pupuk, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pertanian, mendukung keberlanjutan jangka panjang.

### Data Implementasi dan Dampak terhadap Efisiensi Air

Berbagai studi implementasi teknologi irigasi otomatis di berbagai belahan dunia telah mendokumentasikan dampak positif yang signifikan terhadap efisiensi penggunaan air. Grafik 1 berikut menunjukkan perbandingan penggunaan air pada berbagai jenis tanaman dengan sistem irigasi otomatis dan konvensional:



Gambar 1. Perbandingan Penggunaan Air pada Berbagai Jenis Tanaman

Data grafik pada gambar 1 menunjukkan bahwa untuk semua jenis tanaman yang dikaji, sistem irigasi otomatis dengan sensor kelembaban tanah mampu mengurangi penggunaan air secara signifikan, dengan penghematan rata-rata 40-45 persen. Penghematan terbesar terlihat pada tanaman tomat dan stroberi, yang mencapai sekitar 45 persen, sementara penghematan terendah pada mentimun sekitar 40 persen.

Studi di wilayah Mediterania menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi tetes otomatis dengan sensor kelembaban tanah pada perkebunan zaitun dapat mengurangi penggunaan air hingga 30 persen sambil mempertahankan produktivitas yang sama. Di wilayah semi-kering di India, implementasi teknologi serupa pada budidaya kapas menghasilkan penghematan air sebesar 35 persen dan peningkatan hasil panen sebesar 18 persen. Di Indonesia, beberapa implementasi percontohan pada lahan hortikultura di Jawa Barat dan Jawa Timur menunjukkan hasil yang menjanjikan. Pada budidaya cabai, sistem irigasi otomatis berhasil mengurangi penggunaan air sebesar 42 persen dan meningkatkan produktivitas sebesar 22 persen (Hariyanto, et al. 2024). Pada tanaman tomat, penghematan air mencapai 38 persen dengan peningkatan hasil panen sebesar 20 persen.

### Dampak terhadap Produktivitas dan Ketahanan Pangan

Selain efisiensi air, teknologi irigasi otomatis juga memberikan dampak positif yang signifikan terhadap produktivitas tanaman dan ketahanan pangan. Tabel 2 menyajikan ringkasan dampak implementasi teknologi irigasi otomatis terhadap berbagai indikator produktivitas dari berbagai studi:

**Tabel 3. Dampak Teknologi Irigasi Otomatis terhadap Produktivitas Tanaman**

Jenis Tanaman	Peningkatan Hasil Panen (%)	Peningkatan Kualitas Produk	Pengurangan Waktu Panen (hari)	Stabilitas Produksi
Tomat	20-25	Ukuran lebih besar, kandungan gula lebih tinggi	3-5	Sangat stabil
Cabai	18-23	Warna lebih cerah, tekstur lebih baik	2-4	Stabil
Selada	15-20	Daun lebih segar, masa simpan lebih lama	2-3	Sangat stabil
Mentimun	17-22	Ukuran lebih seragam, tekstur lebih renyah	2-4	Stabil
Stroberi	22-28	Rasa lebih manis, ukuran lebih besar	3-6	Sangat stabil
Padi	12-18	Jumlah gabah per malai meningkat	5-7	Stabil
Jagung	15-20	Ukuran tongkol lebih besar	4-6	Stabil

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa teknologi irigasi otomatis tidak hanya meningkatkan kuantitas hasil panen tetapi juga meningkatkan kualitas produk secara konsisten. Peningkatan kualitas ini sangat penting dalam meningkatkan nilai jual produk pertanian dan daya saing petani di pasar.

Dampak terhadap ketahanan pangan dapat dianalisis dari beberapa perspektif. Pertama, peningkatan produktivitas per satuan luas lahan berarti bahwa dengan lahan yang sama, dapat diproduksi lebih banyak pangan. Ini sangat penting di tengah keterbatasan lahan pertanian yang tersedia (Dewinta, & Warlina, 2017). Kedua, efisiensi penggunaan air memungkinkan perluasan lahan pertanian di wilayah-wilayah yang sebelumnya tidak dapat ditanami karena keterbatasan air. Ketiga, stabilitas produksi yang lebih tinggi mengurangi fluktuasi pasokan pangan dan harga, yang penting untuk ketahanan pangan rumah tangga dan nasional.

Keempat, pengurangan risiko gagal panen akibat kekeringan atau kelebihan air meningkatkan ketahanan pangan petani. Dengan sistem yang memantau dan mengatur pemberian air secara otomatis, tanaman terlindungi dari stres air yang dapat menyebabkan penurunan hasil atau bahkan kegagalan

panen. Kelima, kemampuan untuk bertani sepanjang tahun, termasuk di musim kemarau, meningkatkan ketersediaan pangan dan pendapatan petani.

### Analisis Ekonomi Implementasi Teknologi

Aspek ekonomi merupakan pertimbangan penting dalam adopsi teknologi irigasi otomatis. Tabel 3 menyajikan analisis biaya dan manfaat implementasi sistem irigasi otomatis berbasis sensor untuk lahan seluas satu hektar:

**Tabel 4. Analisis Biaya dan Manfaat Sistem Irigasi Otomatis (per Hektar)**

Komponen	Biaya/Manfaat	Keterangan
Biaya Investasi Awal		
Sensor kelembaban tanah (10 unit)	Rp 5.000.000	@ Rp 500.000/unit
Unit kontroler otomatis	Rp 3.500.000	Dengan kemampuan pemrograman
Sistem irigasi tetes	Rp 15.000.000	Pipa, emiter, pompa
Instalasi dan pelatihan	Rp 2.500.000	Teknisi dan pelatihan petani
Total Investasi Awal	Rp 26.000.000	
Biaya Operasional Tahunan		
Listrik untuk pompa	Rp 1.200.000	Penggunaan lebih efisien
Pemeliharaan dan kalibrasi sensor	Rp 800.000	
Penggantian komponen	Rp 600.000	
Total Biaya Operasional	Rp 2.600.000	
Manfaat Ekonomi Tahunan		
Penghematan biaya air	Rp 3.000.000	40% penghematan
Penghematan biaya tenaga kerja	Rp 4.500.000	60% pengurangan jam kerja irigasi
Peningkatan pendapatan dari hasil panen	Rp 15.000.000	20% peningkatan produktivitas
Penghematan biaya pupuk	Rp 1.500.000	Pengurangan pencucian nutrisi
Total Manfaat Ekonomi	Rp 24.000.000	
Manfaat Bersih Tahunan	Rp 21.400.000	Manfaat - Biaya Operasional
Periode Pengembalian Modal	1,2 tahun	Investasi/Manfaat Bersih Tahunan

Analisis pada Tabel 4 menunjukkan bahwa meskipun investasi awal untuk sistem irigasi otomatis cukup signifikan, manfaat ekonomi tahunan yang diperoleh jauh lebih besar. Dengan periode pengembalian modal sekitar 1,2 tahun, investasi ini sangat menarik secara ekonomi. Setelah periode pengembalian modal, petani akan terus menikmati manfaat bersih yang signifikan setiap tahun.

Perlu dicatat bahwa angka-angka dalam tabel ini adalah estimasi rata-rata dan dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor seperti jenis tanaman, kondisi lahan, harga input dan output di lokasi tertentu, serta skala implementasi. Untuk implementasi yang lebih besar, biaya per hektar dapat lebih rendah karena ekonomi skala. Sebaliknya, untuk implementasi yang lebih kecil, biaya per hektar mungkin lebih tinggi (Anugrah, et al. 2008).

### Tantangan dalam Implementasi Teknologi

Meskipun memiliki banyak keunggulan, implementasi teknologi irigasi otomatis menghadapi berbagai tantangan yang perlu diatasi. Tantangan pertama adalah biaya investasi awal yang tinggi. Bagi sebagian besar petani kecil di Indonesia, biaya investasi sebesar puluhan juta rupiah per hektar merupakan hambatan yang signifikan (Budiawati, et al. 2025). Keterbatasan akses terhadap kredit pertanian yang terjangkau memperburuk situasi ini.

Tantangan kedua adalah keterbatasan pengetahuan dan keterampilan teknis petani. Sistem irigasi otomatis memerlukan pemahaman tentang teknologi sensor, elektronika, dan sistem kontrol. Banyak petani, terutama petani tua, tidak familiar dengan teknologi ini dan memerlukan pelatihan yang intensif. Bahkan setelah pelatihan, masih diperlukan dukungan teknis berkelanjutan untuk mengatasi masalah yang mungkin muncul.

Tantangan ketiga adalah ketersediaan infrastruktur pendukung, terutama pasokan listrik yang andal. Sistem irigasi otomatis memerlukan listrik untuk mengoperasikan sensor, kontroler, dan pompa. Di banyak wilayah pedesaan, pasokan listrik masih tidak stabil atau bahkan belum tersedia. Meskipun

dapat menggunakan panel surya sebagai alternatif, ini menambah biaya investasi. Tantangan keempat adalah ketersediaan suku cadang dan layanan purna jual. Sensor dan komponen elektronik dapat mengalami kerusakan dan memerlukan penggantian. Jika suku cadang tidak tersedia secara lokal atau layanan perbaikan tidak mudah diakses, sistem dapat menjadi tidak berfungsi untuk waktu yang lama, mengurangi manfaat yang diperoleh.

Tantangan kelima adalah resistensi terhadap perubahan. Banyak petani telah menggunakan metode irigasi tradisional selama puluhan tahun dan merasa nyaman dengan metode tersebut. Mengubah praktik yang sudah mapan memerlukan tidak hanya bukti manfaat ekonomi, tetapi juga dukungan sosial dan demonstrasi yang meyakinkan. Tantangan keenam adalah kesesuaian teknologi dengan kondisi lokal. Sistem irigasi otomatis yang dirancang untuk kondisi tertentu mungkin tidak optimal untuk kondisi yang berbeda. Faktor-faktor seperti jenis tanah, topografi, iklim, dan jenis tanaman perlu dipertimbangkan dalam desain dan konfigurasi sistem (Gregory, et al. 2000).

### **Strategi Mempercepat Adopsi Teknologi**

Untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut dan mempercepat adopsi teknologi irigasi otomatis, diperlukan strategi yang komprehensif melibatkan berbagai pemangku kepentingan (Levidow, et al. 2014). Strategi pertama adalah dukungan kebijakan dan insentif pemerintah. Pemerintah dapat memberikan subsidi untuk pembelian peralatan, kredit berbunga rendah, atau keringanan pajak bagi petani yang mengadopsi teknologi ini. Program percontohan di berbagai wilayah dapat membantu membangun kepercayaan dan memberikan bukti nyata tentang manfaat teknologi.

Strategi kedua adalah pengembangan model bisnis yang terjangkau. Salah satu pendekatan adalah sistem sewa atau pembayaran berdasarkan penggunaan, di mana petani tidak perlu mengeluarkan investasi awal yang besar tetapi membayar biaya periodik berdasarkan manfaat yang diperoleh. Model koperasi atau kelompok tani juga dapat mengurangi biaya per petani melalui pembelian bersama dan penggunaan bersama peralatan. Strategi ketiga adalah program pelatihan dan pendampingan yang berkelanjutan. Pelatihan tidak hanya mencakup aspek teknis pengoperasian sistem, tetapi juga prinsip-prinsip agronomi yang mendasari penggunaan teknologi, pemeliharaan rutin, dan pemecahan masalah sederhana. Pendampingan oleh penyuluh pertanian atau petani yang telah berhasil mengadopsi teknologi dapat membantu petani baru mengatasi tantangan awal.

Strategi keempat adalah pengembangan rantai pasokan lokal untuk peralatan dan suku cadang. Dengan tersedianya komponen sistem secara lokal, biaya dapat diturunkan dan aksesibilitas ditingkatkan. Pelatihan teknisi lokal untuk instalasi dan pemeliharaan sistem juga dapat menciptakan lapangan kerja baru dan memastikan dukungan teknis yang berkelanjutan. Strategi kelima adalah penelitian dan pengembangan untuk adaptasi teknologi terhadap kondisi lokal. Penelitian diperlukan untuk mengoptimalkan desain sistem untuk berbagai jenis tanah, iklim, dan tanaman yang relevan dengan Indonesia. Pengembangan sistem yang lebih sederhana dan terjangkau tanpa mengorbankan efektivitas juga penting untuk meningkatkan aksesibilitas bagi petani kecil.

Strategi keenam adalah pembangunan demonstrasi plot dan pusat pembelajaran. Demonstrasi langsung di lapangan lebih efektif daripada presentasi teoritis dalam meyakinkan petani tentang manfaat teknologi. Pusat pembelajaran dapat menjadi tempat di mana petani dapat melihat, belajar, dan bahkan mencoba teknologi sebelum memutuskan untuk mengadopsinya. Strategi ketujuh adalah integrasi dengan teknologi pertanian lainnya. Sistem irigasi otomatis dapat diintegrasikan dengan sistem pemantauan tanaman, pengendalian hama otomatis, dan sistem manajemen pertanian digital untuk memberikan solusi pertanian presisi yang komprehensif. Integrasi ini dapat meningkatkan nilai tambah dan menarik minat petani yang lebih progresif.

### **Kontribusi terhadap Ketahanan Pangan Berkelanjutan**

Implementasi teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah memberikan kontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan berkelanjutan dalam beberapa dimensi. Dimensi pertama adalah peningkatan produksi pangan (Su, & Singh, 2024). Dengan meningkatkan produktivitas per satuan luas dan memungkinkan pertanian di lahan yang sebelumnya tidak produktif karena keterbatasan air, teknologi ini dapat meningkatkan total produksi pangan nasional.

Dimensi kedua adalah stabilitas pasokan pangan. Dengan mengurangi risiko gagal panen akibat kekeringan atau kelebihan air, dan memungkinkan produksi sepanjang tahun, teknologi ini meningkatkan stabilitas pasokan pangan. Stabilitas ini penting untuk mencegah fluktuasi harga yang



dapat merugikan konsumen dan produsen. Dimensi ketiga adalah ketahanan terhadap perubahan iklim. Perubahan iklim menyebabkan pola curah hujan yang semakin tidak dapat diprediksi dan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Teknologi irigasi otomatis memungkinkan petani untuk beradaptasi dengan kondisi ini dengan memastikan pasokan air yang optimal untuk tanaman, terlepas dari kondisi cuaca.

Dimensi keempat adalah keberlanjutan lingkungan. Dengan mengurangi penggunaan air dan pencucian nutrisi, teknologi ini mengurangi tekanan terhadap sumber daya air dan ekosistem akuatik. Keberlanjutan lingkungan ini penting untuk memastikan bahwa produksi pangan dapat dipertahankan dalam jangka panjang tanpa merusak basis sumber daya alam. Dimensi kelima adalah peningkatan kesejahteraan petani. Dengan meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya produksi, teknologi ini dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani. Kesejahteraan petani yang lebih baik penting untuk mempertahankan sektor pertanian dan menarik generasi muda untuk terlibat dalam pertanian.

Dimensi keenam adalah efisiensi sumber daya. Di tengah persaingan yang semakin ketat untuk sumber daya air antara pertanian, industri, dan domestik, efisiensi penggunaan air di sektor pertanian sangat penting. Teknologi irigasi otomatis memungkinkan sektor pertanian untuk mempertahankan atau bahkan meningkatkan produksi dengan menggunakan lebih sedikit air, membebaskan sumber daya untuk penggunaan lain.

### **Perspektif Masa Depan dan Pengembangan Teknologi**

Teknologi irigasi otomatis terus berkembang dengan integrasi inovasi-inovasi baru. Perkembangan pertama adalah integrasi dengan teknologi kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin. Sistem cerdas dapat belajar dari data historis tentang pola pertumbuhan tanaman, kebutuhan air, dan kondisi lingkungan untuk membuat prediksi dan keputusan yang semakin akurat tentang kapan dan berapa banyak air yang harus diberikan (Gaitan, et al. 2025).

Perkembangan kedua adalah integrasi dengan internet untuk segala atau teknologi pintar. Sensor dan perangkat dapat saling terhubung dan berbagi data melalui internet, memungkinkan pemantauan dan kontrol yang lebih terintegrasi. Petani dapat memantau kondisi lahan dari jarak jauh dan menerima peringatan otomatis jika ada masalah yang memerlukan perhatian. Perkembangan ketiga adalah penggunaan teknologi penginderaan jauh dan pemetaan dengan wahana tanpa awak. Gambar satelit dan foto udara dapat digunakan untuk memantau kondisi tanaman di area yang luas dan mengidentifikasi area yang mengalami stres air. Informasi ini dapat diintegrasikan dengan sistem irigasi otomatis untuk penyesuaian yang lebih presisi.

Perkembangan keempat adalah miniaturisasi dan penurunan biaya komponen elektronik. Dengan kemajuan teknologi, sensor dan kontroler menjadi semakin kecil, lebih efisien, dan lebih terjangkau. Ini akan membuat teknologi irigasi otomatis lebih aksesibel bagi petani kecil. Perkembangan kelima adalah pengembangan sistem irigasi otomatis yang bertenaga surya dan mandiri energi. Ini sangat penting untuk wilayah-wilayah yang tidak memiliki akses terhadap jaringan listrik. Sistem yang mandiri energi juga mengurangi biaya operasional dan meningkatkan keberlanjutan.

Perkembangan keenam adalah integrasi dengan sistem manajemen pertanian digital yang komprehensif. Sistem irigasi otomatis akan menjadi bagian dari platform yang lebih besar yang mencakup pemantauan tanaman, pengendalian hama, manajemen nutrisi, perencanaan tanam, dan manajemen keuangan. Integrasi ini akan memberikan solusi pertanian presisi yang lengkap dan memaksimalkan produktivitas dan keberlanjutan

### **KESIMPULAN**

Teknologi irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, produktivitas tanaman, dan keberlanjutan sistem pertanian melalui pengaturan pemberian air yang tepat sesuai kebutuhan tanaman. Meskipun memerlukan investasi awal yang relatif besar, teknologi ini memberikan manfaat ekonomi jangka panjang dengan penghematan air hingga 50 persen, peningkatan hasil panen hingga 25 persen, serta pengurangan biaya operasional dan tenaga kerja. Keunggulan lainnya mencakup kestabilan suplai air, peningkatan kualitas hasil pertanian, serta kontribusi terhadap pelestarian lingkungan melalui penggunaan sumber daya yang lebih efisien.

Namun, penerapan teknologi ini masih menghadapi hambatan seperti keterbatasan modal, kurangnya pengetahuan teknis, dan kesiapan infrastruktur pertanian. Diperlukan dukungan menyeluruh

dari pemerintah, lembaga penelitian, sektor swasta, dan petani melalui kebijakan insentif, pelatihan, serta pengembangan infrastruktur dan rantai pasok lokal. Dengan strategi dan kolaborasi yang tepat, teknologi irigasi otomatis berpotensi menjadi pendorong utama transformasi pertanian Indonesia menuju sistem yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan guna memperkuat ketahanan pangan nasional di tengah tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adak, S. (2025). Use of Soil Moisture Sensor for Efficient Irrigation in Smart Agriculture. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(6), 502-507. <https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i63511>.
- Agus Suprpto, S. P., MP, I., Budi Santosa, S. P., Gerson Hans Maure, S. P., Herman Tangkelayuk, S. P., Kuad Suwarno, S. P., ... & Ir Lisa Mawarni, M. P. (2025). *Pertanian Modern*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Anugrah, I. S., Sumedi, S., & Wardana, I. P. (2008). Gagasan dan implementasi system of rice intensification (SRI) dalam kegiatan budidaya padi ekologis (BPE). *Analisis Kebijakan Pertanian*, 6(1), 75-99. <https://doi.org/10.21082/akp.v6n1.2008.75-99>.
- Budiawati, Y., Gunawan, G., & Suherna, S. (2025). Smart Agriculture vs Pertanian Konvensional: Tantangan atau Peluang Pertanian Masa Depan di Indonesia? Smart Agriculture vs Pertanian Konvensional: Tantangan atau Peluang Pertanian Masa Depan di Indonesia?. *Agri Wiralodra*, 17(1), 16-28. <https://doi.org/10.31943/agriwiralodra.v17i1.119>.
- Dewinta, D., & Warlina, L. (2017). Dampak alih fungsi lahan pertanian terhadap ketahanan pangan di Kabupaten Cianjur. *Jurnal Wilayah Dan Kota*, 3(02), 91-104. <https://doi.org/10.34010/jwk.v4i02.2450>.
- El Hudaefie, Babre (2023) Rancang Bangun Saluran Irigasi Persawahan Menggunakan Mikrokontroller Arduino Ide. *Tugas Akhir*, Politeknik Harapan Bersama.
- Faridah, S. N., Sapsal, M. T., Jamaluddin, T. A. A., Dani Achmad, A., & Surya, M. A. (2025). Stability of soil moisture sensors for agricultural crop cultivation. *Research in Agricultural Engineering*, 71(2), 88-94. <https://doi.org/10.17221/33/2024-RAE>.
- Gaitan, N. C., Batinas, B. I., Ursu, C., & Crainiciuc, F. N. (2025). Integrating Artificial Intelligence into an Automated Irrigation System. *Sensors*, 25(4), 1199. <https://doi.org/10.3390/s25041199>.
- Gregory, P. J., Simmonds, L. P., & Pilbeam, C. J. (2000). Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agronomy Journal*, 92(5), 814-820. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.925814x>.
- Hariyanto, H., Putro, S. A. H., Dewi, R. S., Rizqi, F. N., & Nursafitri, S. (2024). Peningkatan Produktivitas Lahan Pertanian berbasis Climate-Smart Agriculture (CSA) dan Integrated Farming di Dusun Cisema, Bandung, Jawa Barat. In *The Proceeding of Community Service and Engagement (Cosecant) Seminar* (Vol. 4, No. 2). <https://doi.org/10.25124/cosecant.v4i2.8526>.
- Hulukati, S. A., Salihin, I. A., & Usman, I. F. (2025). Integrasi Internet Of Things (IoT) dengan Google Assistant untuk Optimalisasi Pengelolaan Kelembaban Tanah dan Kontrol Pompa. *Digital Transformation Technology*, 5(1), 180-190. <https://doi.org/10.47709/digitech.v5i1.6006>.
- Kencana, I. B. A., Arimbawa, I. W. A., & Wedashwara, I. G. P. W. W. (2025). Implementasi Iot Untuk Pemantauan Kelembaban Tanah Dan Debit Air Serta Pengendalian Irigasi Tetes. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTika)*, 7(2), 214-224. <https://doi.org/10.29303/jtika.v7i2.480>.
- Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., & Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agricultural Water Management*, 146, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.012>.
- Nelvi, Y. (2019). Isu Dan Pembaharuan Pengelolaan Sistem Irigasi Review and Perspectives. *JAS (Jurnal Agri Sains)*, 3(2). <https://doi.org/10.36355/jas.v3i2.294>.
- Parwito, P., Effendi, S. U., & Khairani, N. (2025). Keanekaragaman dan Manfaat Tanaman Obat Keluarga (TOGA) di Lingkungan Rumah Tangga. *Jurnal Sains Kesehatan*, 32(1), 142-150.
- Su, Q., & Singh, V. P. (2024). Advancing irrigation management: integrating technology and sustainability to address global food security. *Environmental monitoring and assessment*, 196(11), 1018. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13145-5>.

- Susanto, D., & Jailani, M. S. (2023). Teknik pemeriksaan keabsahan data dalam penelitian ilmiah. *QOSIM: Jurnal Pendidikan Sosial & Humaniora*, 1(1), 53-61. <https://doi.org/10.61104/jq.v1i1.60>.
- Utomo, Kuku Prasetyo (2018) Rancang Bangun Sistem Kontrol Kelembaban Dan Ketinggian Air Dengan Monitoring Menggunakan Human Machine Interface (HMI) Pada Alat Penetas Telur Otomatis Berbasis PLC Schneider. *Skripsi*, Universitas Diponegoro.
- Wahditiya, A. A., Laimeheriwa, S., Maruapey, A., Herlyani, H., Irnawati, I., Tebai, N., ... & La Habi, M. (2025). *Klimatologi Pertanian*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Wahditiya, A. A., Situmorang, H., Ernanda, R., Agustia, R., Wijaya, W., Hidayati, F., ... & Akbar, W. K. (2024). *Ekonomi Pertanian: Teori dan Praktik*. CV. Gita Lentera.
- Yusuf, I., & Suryono, R. R. (2025). Implementasi Aplikasi untuk Pemantauan Kelembaban Tanah Pada Teknologi Irigasi Tetes Tanaman Jagung: Implementation Application for Monitoring Soil Moisture in Corn Crop Drip Irrigation Technology. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(2), 541-549. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i2.1714>.
- Zebua, S. N., Dohona, N. H., & Waruwu, I. P. (2024). Evaluasi Irigasi Berbasis Teknologi Di Sektor Pertanian. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(2), 226-232. <https://doi.org/10.70134/penarik.v1i2.288>.