

IMPLEMENTASI DRIP IRRIGATION BERBASIS IOT DAN ENERGI SURYA PADA KELOMPOK TANI KUBIS

Rizky Aje Aprilianto¹, Subiyanto², Nur Anita³ Fauzul Adzim⁴, Faiq Mananul Faqih⁵, Aisyah Fathimah⁶, Wildatul Afiah⁷, Apriansyah Wibowo⁸, I Gede Bagus Jayendra⁹, Listiana Sukaesi¹⁰, Bayu Adi Pambudi¹¹, Yohanes Lenaldo Sinaga¹², Febrinan Adi¹³, Muhammad Hilmi Farras¹⁴

^{1,2,5,9,11,12,13,14} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

³ Akutansi, Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Negeri Semarang

⁶ Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Negeri Semarang

^{8,10} Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

⁷ Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

e-mail: rizkyajiea@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Irigasi yang efektif sangat penting untuk memenuhi kebutuhan air tanaman sekaligus mencegah penguapan berlebih dan kekurangan air. Praktik konvensional seringkali menyebabkan pemborosan air dan pupuk sehingga menurunkan efisiensi produksi pertanian. Kegiatan ini bertujuan untuk menerapkan sistem drip irrigation berbasis Internet of Things (IoT) dan energi terbarukan meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi pada budidaya kubis di Kelompok Tani Bangkit Merbabu. Sistem ini mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara yang terhubung ke mikrokontroler untuk melakukan monitoring dan kontrol otomatis. Irigasi dan fertigasi dijadwalkan sesuai kebutuhan tanaman dengan mode otomatis. Hasil penerapan menunjukkan bahwa sistem fertigasi tetes berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi waktu kerja sebesar 80%, dibandingkan metode konvensional, dengan penghematan air mencapai 40%. Penerapan sistem ini menunjukkan potensi signifikan dalam mengoptimalkan sumber daya pertanian, meningkatkan produktivitas, serta mendukung penerapan pertanian presisi dan berkelanjutan berbasis energi terbarukan.

Kata kunci: Drip Irrigation, Energi Terbarukan, Internet of Things, Irigasi Otomatis, Kubis

Abstract

Effective irrigation is essential to meet plant water requirements while preventing excessive evaporation and water shortages. Conventional practices often result in water and fertilizer waste, thereby reducing agricultural production efficiency. This activity aims to implement an Internet of Things (IoT)-based drip irrigation system and renewable energy to improve water and nutrient use efficiency in cabbage cultivation at the Bangkit Merbabu Farmer Group. This system integrates soil moisture, temperature, and air humidity sensors connected to a microcontroller for automatic monitoring and control. Irrigation and fertigation are scheduled according to plant needs in automatic mode. The results of the implementation show that the IoT-based drip fertigation system can increase work efficiency by 80% compared to conventional methods, with water savings of up to 40%. The implementation of this system shows significant potential in optimizing agricultural resources, increasing productivity, and supporting the implementation of precision and sustainable agriculture based on renewable energy.

Keywords: Drip Irrigation, Renewable Energy, Internet of Things, Automatic Irrigation, Cabbage

PENDAHULUAN

Ketersediaan air yang memadai merupakan faktor determinan dalam keberhasilan budidaya tanaman hortikultura, termasuk kubis (*Brassica oleracea* L.) yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap fluktuasi kelembaban tanah. Tanaman ini membutuhkan pasokan air yang konsisten sepanjang siklus produksinya, yakni berkisar antara 350–500 mm per musim tanam, dan defisit air pada fase kritis pertumbuhan dapat mengakibatkan penurunan hasil panen hingga 40% (Jang et al., 2024; Bute et al. 2021). (Wang et al. 2024) melaporkan bahwa ketidakstabilan kelembaban tanah berdampak signifikan terhadap kualitas fisik kubis, mencakup kepadatan kepala dan kandungan nutrisi. Sementara itu, sistem irigasi konvensional yang masih banyak diterapkan di tingkat petani menunjukkan keterbatasan dalam merespons dinamika kebutuhan air secara temporal dan spasial, dengan tingkat kehilangan air

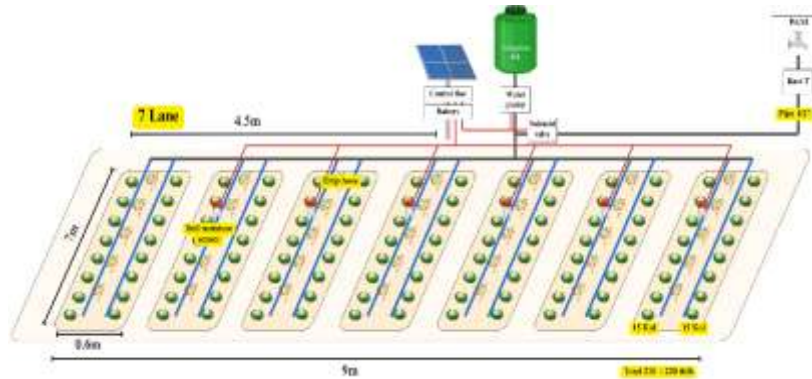
akibat evaporasi dan limpasan yang dilaporkan mencapai 50–60% (Mallareddy et al., 2023). Penyiraman berlebih akibat ketidaktepatan jadwal dan volume irigasi juga memicu pencucian unsur hara (nutrient leaching) dari lapisan tanah produktif, yang berimplikasi pada penurunan kesuburan tanah jangka panjang dan potensi pencemaran lingkungan (Huntley et al., 2023). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa penerapan sistem irigasi yang lebih presisi merupakan kebutuhan mendasar bagi keberlanjutan produksi hortikultura, khususnya di wilayah dengan pola curah hujan yang tidak menentu (Bhavsar et al., 2023).

Kajian terhadap penelitian dan kegiatan pengabdian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa irigasi tetes (drip irrigation) yang diintegrasikan dengan Internet of Things (IoT) secara konsisten terbukti lebih unggul dibandingkan metode konvensional. Sistem tersebut bekerja dengan menyalurkan air langsung ke zona perakaran berdasarkan data kelembaban dan suhu tanah secara real-time, sehingga konsumsi air dapat ditekan lebih dari 40% (Bhavsar et al., 2023; Inayah et al., 2025; Jain, 2023; Ngoma et al., 2025; Wibowo, 2024). Irigasi berbasis data sensor memungkinkan keputusan pemberian air ditentukan oleh kondisi aktual lahan, bukan berdasarkan jadwal tetap yang bersifat kaku (Abdelmoneim et al., 2025; Seyar et al., 2024). Dalam konteks komoditas kubis secara spesifik, penerapan irigasi tetes dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 42% sekaligus mendongkrak hasil panen sebesar 28% dibandingkan penyiraman konvensional (Bute et al., 2021). Sementara itu, (Kamali et al. 2025) membuktikan melalui pendekatan Participatory Action Research (PAR) bahwa pelibatan aktif petani dalam proses adopsi teknologi digital secara signifikan meningkatkan kapasitas mereka dalam mengelola irigasi dan pemupukan secara otomatis. Integrasi sistem irigasi berbasis IoT dengan sumber energi surya juga terbukti meningkatkan keberlanjutan operasional sistem sekaligus berkontribusi pada pengurangan emisi karbon (Bouali et al., 2022; Abdelhamid et al., 2025). Temuan-temuan tersebut secara kolektif memperkuat argumen bahwa konvergensi antara teknologi irigasi tetes, IoT, dan energi surya merupakan pendekatan yang relevan dan mendesak untuk diterapkan, terutama pada komunitas petani yang selama ini belum terjangkau oleh inovasi tersebut.

Meskipun bukti empiris yang mendukung teknologi ini telah cukup kuat, kesenjangan antara perkembangan riset dan praktik nyata di lapangan masih sangat lebar. Kondisi ini secara nyata dijumpai pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu di Desa Kopeng, Kabupaten Semarang, yang mengelola lahan kubis seluas 5 hektar di lereng Gunung Merbabu. Secara agroklimat, lokasi ini sebenarnya memiliki potensi produksi yang tinggi, dengan suhu harian rata-rata 18–22°C, curah hujan tahunan 2.000 mm, dan radiasi surya rata-rata $\pm 4,8$ kWh/m² per hari. Namun demikian, hasil observasi lapangan dan wawancara mendalam menunjukkan bahwa praktik irigasi yang diterapkan masih bersifat konvensional, yaitu penyiraman manual menggunakan selang fleksibel yang dipasang secara seri pada setiap baris tanaman. Metode tersebut menghasilkan distribusi air yang tidak merata, sehingga sebagian tanaman mengalami cekaman air (water stress) sementara sebagian lainnya mengalami genangan (waterlogging) (Islam et al., 2022). Hasil pengukuran lapangan mencatat efisiensi aplikasi air hanya berkisar 45–50%, jauh di bawah standar efisiensi sistem irigasi modern yang seharusnya mencapai 80–85% (Jang et al., 2024). Kondisi ini diperburuk oleh tidak tersedianya sistem pemantauan kelembaban tanah secara real-time, ketiadaan standarisasi volume dan jadwal irigasi, serta rendahnya literasi petani terhadap teknologi pertanian presisi. Praktik pemupukan manual melalui penyemprotan juga menyebabkan serapan unsur hara oleh akar tanaman tidak optimal, yang berdampak pada pertumbuhan kubis yang lambat dan tidak seragam. Dampak kumulatif dari seluruh permasalahan tersebut tercermin pada produktivitas kubis yang hanya berkisar 20–30 ton per hektar dengan tingkat keseragaman kualitas yang rendah, sehingga mengurangi daya saing produk di pasar modern. Kondisi ini sejalan dengan temuan sejumlah penelitian sebelumnya yang mengidentifikasi rendahnya adopsi teknologi irigasi presisi sebagai hambatan utama peningkatan produktivitas petani skala kecil (Faiqoh et al., 2022), sekaligus menegaskan relevansi dan urgensi kegiatan pengabdian ini.

Berdasarkan identifikasi permasalahan dan kajian terhadap penelitian serta kegiatan pengabdian yang relevan, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem fertigasi tetes otomatis berbasis IoT dan energi surya sebagai solusi terintegrasi pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu. Secara lebih spesifik, kegiatan ini diarahkan untuk: (1) merancang dan memasang sistem irigasi tetes otomatis yang terintegrasi dengan sensor kelembaban tanah, unit kendali berbasis ESP32, dan panel surya sebagai sumber energi mandiri; (2) mengimplementasikan sistem fertigasi presisi melalui doser pump yang memungkinkan distribusi pupuk secara langsung ke

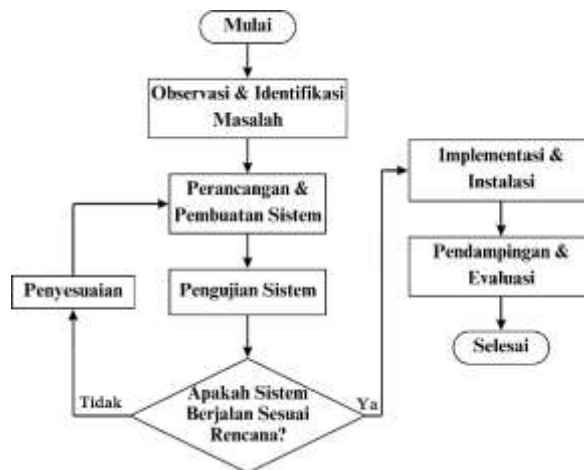
zona perakaran tanaman; serta (3) meningkatkan kapasitas anggota Kelompok Tani Bangkit Merbabu dalam mengoperasikan, memelihara, dan memanfaatkan teknologi pertanian presisi secara mandiri dan berkelanjutan melalui pendekatan PAR (Kamali et al. 2025).



Gambar 1. Design Drip Irrigation System

METODE

Metode pelaksanaan program "Implementasi Drip Irrigation Berbasis IoT dan Energi Surya pada Kelompok Tani Kubis" di Desa Kopeng, disusun secara sistematis dengan pendekatan partisipatif yang berfokus pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu. Metode ini memastikan teknologi yang diimplementasikan tidak hanya menjadi solusi teknis, tetapi juga dapat dipahami, dioperasikan, dan dikelola secara mandiri oleh mitra pasca-program berakhir. Tahapan kegiatan dirancang sistematis seperti pada Gambar 2 untuk memastikan keberlanjutan dan replikasi di lokasi berbeda.



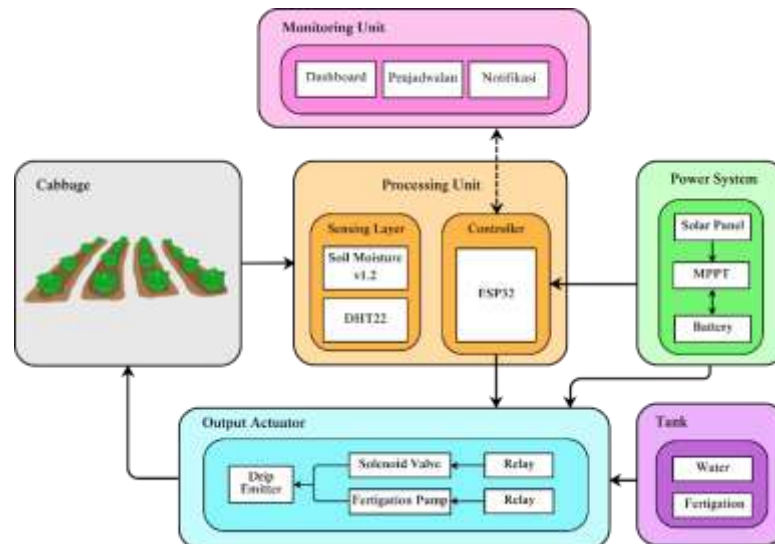
Gambar 2. Diagram Alir Kegiatan Pengabdian

1. Observasi Lapangan dan Identifikasi Masalah

Observasi partisipatif dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan utama melalui wawancara terstruktur, FGD, dan survei lapangan dengan pengukuran parameter agronomis. Hasil identifikasi mengungkap masalah utama: ketidaktepatan waktu dan volume irigasi, distribusi air dan pupuk tidak merata, ketergantungan tenaga manual, serta tidak adanya sistem monitoring real-time yang menurunkan efisiensi dan produktivitas kubis.

2. Perancangan dan Pembuatan Sistem

Berdasarkan analisis kebutuhan, dirancang sistem irigasi tetes terintegrasi IoT dan energi terbarukan yang mencakup tiga aspek utama seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hardware menggunakan sensor kelembaban tanah, ESP32, modem internet, solenoid valve, pompa DC, dan panel surya 120 WP. Software berupa dashboard web untuk monitoring dan kontrol real-time. Jaringan irigasi terdiri dari pipa PVC dan selang drip yang disesuaikan dengan jarak tanam kubis, dilengkapi unit fertigasi terintegrasi untuk aplikasi pupuk secara efisien.



Gambar 3. Framework Sistem

3. Pengujian Sistem

Sebelum diimplementasikan di lapangan, seluruh komponen sistem melalui proses pengujian komprehensif. Pengujian tersebut meliputi empat aspek: Kinerja kontrol otomatis melalui validasi akurasi sensor dan respons aktuator; Efisiensi air dengan membandingkan volume sistem otomatis versus konvensional; Distribusi kelembaban via pemetaan kelembaban tanah dan korelasi dengan kesehatan tanaman; serta Efisiensi waktu kerja melalui analisis perbandingan waktu operasional sistem otomatis dan manual.

4. Implementasi dan Instalasi

Proses instalasi sistem yang mencakup pemasangan struktur PLTS yang terdiri dari panel surya 120WP, MPPT, dan baterai, disertai penataan sistem kelistrikan. Bersamaan dengan itu dilakukan penempatan sensor kelembaban tanah di setiap baris tanaman kubis, pemasangan jaringan pipa distribusi dan dripper, serta integrasi unit kendali pusat dengan antarmuka monitoring. Seluruh proses instalasi dilakukan dengan penyesuaian desain berdasarkan kondisi lapangan aktual.

5. Pendampingan dan Evaluasi

Tahap pendampingan pasca-instalasi meliputi monitoring kinerja sistem secara berkala, serta pendampingan dalam interpretasi data monitoring untuk pengambilan keputusan budidaya yang tepat. Evaluasi program dilakukan melalui pengukuran aspek teknis diukur dari kinerja dan keandalan sistem serta peningkatan efisiensi penggunaan air, dan efisiensi kerja petani setelah penerapan sistem. Hasil evaluasi menjadi dasar untuk menentukan kebutuhan pengembangan sistem.

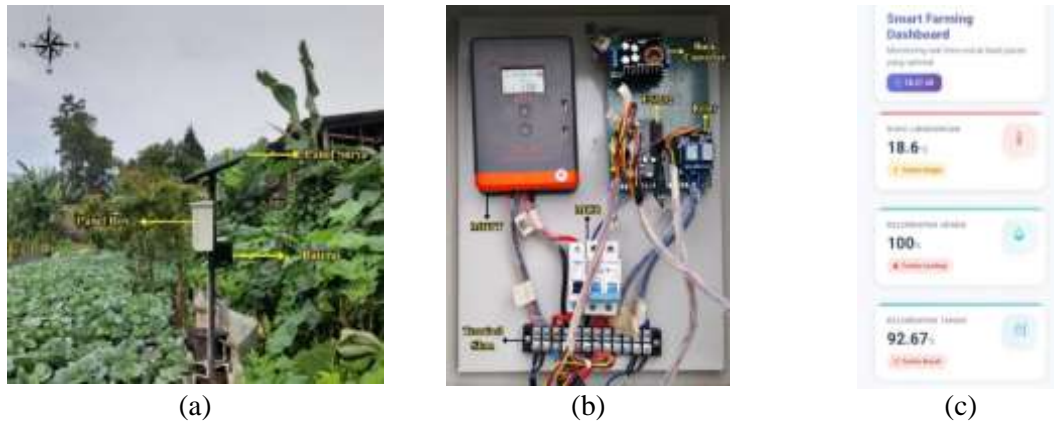
Dengan tahapan metodologis ini, sistem diharapkan dapat berfungsi optimal dan memberdayakan kelompok tani dalam mengadopsi teknologi irigasi modern yang berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem irigasi tetes berbasis IoT dan energi terbarukan telah berhasil diterapkan untuk mendukung peningkatan produktivitas tanaman kubis pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu, Desa Kopeng. Studi ini mengkaji kinerja teknis sistem secara komprehensif melalui analisis data operasional, efisiensi sumber daya, serta evaluasi dampak sosial ekonomi dari teknologi yang diimplementasikan. Hasil yang disajikan mencakup periode pengujian sistem selama satu siklus tanam dengan fokus pada aspek keberlanjutan sistem dalam menjawab permasalahan riil yang dihadapi mitra.

1. Implementasi Sistem IoT dan Energi Surya

Sistem irigasi tetes berbasis IoT dan energi terbarukan telah berhasil diimplementasikan untuk mendukung peningkatan produktivitas tanaman kubis pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu, Desa Kopeng. Sistem yang dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama yang terintegrasi secara sinergis seperti yang terlihat pada Gambar 4. Ketiga komponen tersebut antara lain:



Gambar 4. Implementasi Sistem (a) Sistem Energi Surya (b) Perakitan IoT (c) Dashboard Monitoring

Komponen pertama adalah sistem daya berbasis energi terbarukan yang berfungsi sebagai sumber energi utama bagi seluruh perangkat. Panel surya berkapasitas 120 WP dipasang pada tiang penyangga galvanis setinggi 4 meter dengan orientasi menghadap utara dan kemiringan 15°, yang disesuaikan dengan lintang geografis lokasi untuk memaksimalkan penyerapan radiasi matahari sepanjang hari.

Komponen kedua adalah unit pemrosesan yang berpusat pada mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama sistem. Unit ini terintegrasi dengan sensor kelembaban tanah Soil Moisture v1.2 dan sensor DHT22 untuk pemantauan suhu serta kelembaban udara secara berkelanjutan. Seluruh komponen elektronik dirangkai pada PCB dot matrix dan ditempatkan dalam weatherproof box guna menjamin ketahanan perangkat terhadap kondisi lingkungan lapangan yang dinamis.

Dashboard berbasis web digunakan sebagai unit monitoring dan kontrol. Antarmuka ini memungkinkan petani memantau kondisi lahan secara real-time melalui perangkat seluler, menampilkan data kelembaban tanah, suhu, kelembaban udara, serta estimasi umur tanaman kubis. Ketersediaan informasi yang terukur dan mudah diakses ini diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan irigasi yang lebih presisi dan tepat waktu.

2. Kinerja Sistem Irigasi dan Fertigasi Otomatis

Sistem otomasi irigasi memanfaatkan tekanan pompa untuk mendistribusikan air dari reservoir melalui jaringan pipa PVC ½ inci menuju selang PE 3,8 mm yang mengarah langsung ke perakaran tanaman. Hasil pengujian menunjukkan kinerja sistem yang optimal dalam merespons kondisi lapangan.

Tabel 1. Log Aktivitas Irigasi Otomatis

Tanggal	Jam mulai	Jam selesai	Durasi	Status	Keterangan
20/10/2025	14.00	14.03	3 menit	ON	Kelembaban 33% → 70%
27/10/2025	12.35	12.36	1 menit	ON	Kelembaban 45% → 70%
01/11/2025	13.05	13.02	2 menit	ON	Kelembaban 40% → 70%
07/11/2025	11.50	11.52	2 menit	ON	Kelembaban 40% → 70%
13/11/2025	11.39	11.40	1 menit	ON	Kelembaban 45% → 70%
18/11/2025	12.48	12.51	3 menit	ON	Kelembaban 33% → 70%
25/11/2025	15.21	15.22	1 menit	ON	Kelembaban 45% → 70%

Berdasarkan Tabel 1, sistem berhasil mengaktifkan irigasi secara otomatis ketika kelembaban tanah mencapai ambang kering (35-40%) dan menonaktifkannya pada ambang basah (70%). Durasi irigasi bervariasi antara 1-3 menit tergantung tingkat kekeringan awal, menunjukkan adaptabilitas sistem terhadap kondisi aktual lapangan.

Tabel 2. Log Aktivitas Fertigasi Terjadwal

Tanggal	Jam mulai	Jam selesai	Durasi	Volume	Status	Fase
21/10/2025	15.00	15.03	3 menit	15L	ON	Pembentukan Krop
26/10/2025	15.01	15.04	3 menit	15L	ON	Pembentukan Krop

31/10/2025	15.02	15.06	3 menit	15L	ON	Pembentukan Krop
05/11/2025	15.03	15.07	3 menit	16L	ON	Pembentukan Krop
10/11/2025	15.04	15.08	3 menit	16L	ON	Pematangan
15/11/2025	15.05	15.09	3 menit	16L	ON	Pematangan
20/11/2025	15.06	15.10	3 menit	16L	ON	Pematangan

Data pada Tabel 2 menunjukkan konsistensi sistem dalam menjalankan fertigasi terjadwal setiap 5 hari dengan peningkatan volume pupuk dari 15L menjadi 16L pada fase pematangan, sesuai dengan kebutuhan nutrisi tanaman kubis. Dari kedua tabel diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan irigasi tetes cerdas pada kebun kubis berhasil diimplementasikan dengan baik.

3. Analisis Efisiensi dan Dampak Implementasi

a. Efisiensi Penggunaan Air

Evaluasi efisiensi penggunaan air dilakukan dengan membandingkan volume air yang digunakan sistem irigasi otomatis dengan kebutuhan penyiraman normal metode manual sebelumnya. Analisis ini penting untuk mengetahui sejauh mana teknologi smart farming dapat mengurangi pemborosan dan meningkatkan efektivitas distribusi air dalam interval pertumbuhan kubis. Ringkasan hasil efisiensi air ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi Air per Periode

Periode	Volume Air Terpakai	Volume Normal	Penghematan	Efisiensi
Minggu 1	18L	30L	12L	40.0%
Minggu 2	17L	29L	12L	41.4%
Minggu 3	15L	24L	9L	37.5%
Minggu 4	16L	27L	11L	40.7%
Total 4 Minggu	66L	110L	44L	40.0%

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes cerdas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7 mampu menghemat air secara konsisten dengan total penggunaan 66 liter per bulan, lebih rendah dibanding metode manual sebesar 110 liter, sehingga menghasilkan efisiensi rata-rata sekitar 40%. Efisiensi mingguannya berkisar antara 37,5–41,4%, dipengaruhi oleh kebutuhan fisiologis tanaman pada tiap fase pertumbuhan. Secara keseluruhan, sistem mampu menyesuaikan suplai air secara adaptif dan mempertahankan efisiensi yang stabil sepanjang periode pengamatan.

b. Distribusi Kelembaban Tanah

Disamping itu, pengukuran kelembaban tanah dari enam titik sensor dilakukan untuk melihat keseragaman kondisi tanah dan respons sistem. Nilai rata-rata yang diperoleh membantu mengidentifikasi area yang optimal, area borderline, dan area yang membutuhkan penyesuaian irigasi. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kondisi Kelembaban Tanah Rata-rata

Lokasi Sensor	Rata-rata Kelembaban	Status	Keterangan
Sensor 1 (Line Awal)	58-65%	Moist Optimal	Pertumbuhan maksimal
Sensor 2 (Line Tengah)	55-62%	Moist Optimal	Pertumbuhan baik
Sensor 3 (Line Akhir)	45-52%	Dry-Moist Borderline	Pertumbuhan sedikit lambat
Sensor 4 (Line Tepi Timur)	42-48%	Dry	Diperlukan irigasi
Sensor 5 (Line Tepi Timur)	41-46%	Dry	Diperlukan irigasi
Sensor 6 (Line Tepi Barat)	42-47%	Dry	Diperlukan irigasi

Tabel 4 menunjukkan variasi kelembaban yang wajar antar lokasi sensor, terutama dipengaruhi jarak dari jalur irigasi utama. Sensor 1 pada awal jalur mencatat kelembaban 58–65% (moist optimal), sedangkan nilai pada sensor 2 hingga 6 cenderung menurun seiring

posisi yang semakin jauh. Selisih antar sensor hanya 1–10%, sehingga masih dalam batas toleransi dan konsistensi sistem. Secara umum, irigasi bekerja efektif pada area inti lahan, namun area tepi dan ujung jalur memerlukan penyesuaian seperti penambahan durasi atau jalur drip agar distribusi air lebih merata.



Gambar 5. Sistem Otomasi Irigasi

c. Efisiensi Waktu Kerja

Perbandingan waktu kerja petani sebelum dan sesudah penerapan sistem irigasi tetes cerdas disajikan pada Tabel 5. Analisis ini mencakup aktivitas utama penyiraman dan pemupukan yang sebelumnya dilakukan secara manual dan kini telah beralih menjadi otomatis dengan dukungan sistem berbasis IoT.

Tabel 5. Efisiensi Waktu Kerja

Kegiatan	Sebelum Sistem	Sesudah Sistem	Frekuensi
Penyiraman (1/3 lahan)	30 menit/ siklus	3-5 menit	3 hari sekali
Pemupukan (1/3 lahan)	10 menit/siklus	3-5 menit	5 hari sekali
Total waktu kerja	40 menit	6-10 menit	-

Berdasarkan tabel diatas membuktikan bahwa penerapan sistem mengurangi waktu kerja petani yang sangat signifikan. Pada kegiatan penyiraman menghasilkan efisiensi sekitar 83%. Sementara itu, proses pemupukan efisiensi mampu mencapai 50%. Hasil ini menekankan bahwa sistem mampu menghemat waktu secara konsisten dan meringankan beban kerja fisik petani dalam kegiatan budidaya harian.

4. Pendampingan dan Evaluasi Sistem

Kegiatan pendampingan pascainstalasi dilaksanakan selama empat minggu dengan mengadopsi pendekatan PAR, di mana petani dilibatkan secara aktif dalam setiap tahapan pembelajaran melalui demonstrasi lapangan dan pendampingan individual. Sejalan dengan prinsip PAR yang dikemukakan oleh (Kamali et al. 2025), keterlibatan aktif petani terbukti lebih efektif dalam membangun kapasitas teknis dibandingkan pendekatan pelatihan konvensional yang bersifat satu arah. Evaluasi sistem dilakukan secara berkala melalui monitoring mingguan yang mencakup aspek teknis dan operasional, guna mengidentifikasi permasalahan lapangan secara dini dan melakukan penyesuaian yang diperlukan bersama anggota kelompok tani. Pendekatan ini diharapkan mendorong adopsi teknologi secara kultural sehingga keberlanjutan pemanfaatan sistem dapat terjaga dalam jangka panjang.

5. Diskusi Integrasi Teknologi dan Dampak Sosial

Integrasi IoT dan energi terbarukan dalam sistem irigasi tetes berhasil menciptakan solusi berkelanjutan yang mengatasi permasalahan utama mitra. Sistem tidak hanya meningkatkan efisiensi teknis tetapi juga memberdayakan petani melalui teknologi yang mudah dioperasikan dan dikelola secara mandiri. Keterlibatan aktif kelompok tani dalam seluruh tahapan program memastikan keberlanjutan sistem pasca-program berakhir. Pendekatan partisipatif ini menjadi kunci sukses dalam transfer pengetahuan dan teknologi, sekaligus membangun rasa kepemilikan yang tinggi terhadap sistem yang diimplementasikan. Dampak sosial yang teramati meliputi peningkatan kapasitas manajerial petani, penguatan kelembagaan kelompok tani, serta peningkatan minat generasi muda terhadap teknologi pertanian. Transformasi menuju smart farming ini membuka peluang replikasi sistem di lokasi lain dengan karakteristik serupa.

SIMPULAN

Penerapan sistem irigasi tetes berbasis IoT dan energi surya pada Kelompok Tani Bangkit Merbabu, Desa Kopeng, berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 40% dan menghemat waktu kerja petani hingga 80% dibandingkan metode konvensional, dengan tingkat ketersediaan sistem mencapai 98,2%. Mekanisme pengendalian otomatis berbasis data sensor secara real-time mampu mengatasi permasalahan distribusi air dan pupuk yang tidak merata sebagaimana dihadapi mitra sebelumnya. Di samping capaian teknis tersebut, program ini turut meningkatkan pemahaman teknis anggota kelompok tani dari 35% menjadi 85%, yang mengindikasikan terjadinya peningkatan kapasitas petani dalam mengoperasikan teknologi pertanian presisi secara mandiri.

SARAN

Hasil dari pengabdian yang sudah dilakukan memerlukan penelitian lanjutan perlu mengkaji optimasi distribusi tekanan air pada titik-titik ujung jaringan irigasi dan penambahan titik sensor di zona tepi lahan guna meningkatkan akurasi data kelembaban secara spasial. Integrasi parameter monitoring yang lebih komprehensif, mencakup kualitas air, karakteristik tanah, dan indikator pertumbuhan tanaman, juga perlu dilakukan untuk menyempurnakan presisi sistem secara menyeluruh. Selain itu, pengujian replikasi sistem pada kondisi agroklimat dan topografi yang berbeda diperlukan untuk mengevaluasi adaptabilitas dan skalabilitas model yang telah dikembangkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian masyarakat ini didanai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) di bawah Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdikitsaintek) pada skema Pemberdayaan Berbasis Masyarakat melalui Nomor kontrak turunan: 12.11.9/UN37/PPK.11/2025, berdasarkan Surat Perjanjian Penugasan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2025, Nomor kontrak induk: 302/C3/DT.05.00/PM-BATCH III/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhamid, M. A., Abdelkader, T. K., Sayed, H. A. A., Zhang, Z., Zhao, X., & Atia, M. F. (2025). Design and evaluation of a solar powered smart irrigation system for sustainable urban agriculture. *Scientific Reports*, 15(1), 1–20. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94251-3>
- Bhavsar, D., Limbasia, B., Mori, Y., Aglodiya, M. I., & Shah, M. (2023). A comprehensive and systematic study in smart drip and sprinkler irrigation systems. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100303>
- Bouali, E. T., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2022). Renewable energy integration into cloud IoT-based smart agriculture. *IEEE Access*, 10, 1175–1191. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138160>
- Bute, A., Iosob, G. A., Antal-Tremuric, A., Brezeanu, C., Brezeanu, P. M., & Cristea, T. O. (2021). The most suitable irrigation methods in cabbage crops (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*): A review. *Horticulture*, LXV(1), 399–405.
- Faiqoh, D. N., & Hani, E. S. (2022). Persepsi dan strategi adaptasi petani kubis terhadap dampak perubahan iklim di Desa Sumberrejo Kecamatan Ambulu Kabupaten Jember. *Jurnal Kirana*, 3(1), 43–60.
- Huntley, B. J. (2023). Soil, water and nutrients. In *Ecology of Angola* (pp. 127–147). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18923-4_6
- Inayah, I., Agustirandi, B., Budiman, M., Djamal, M., & Faizal, A. (2025). Experimental design: Implementation of IoT-based drip irrigation to enhance the productivity of Cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation. *Results in Engineering*, 25, 103600. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103600>
- Jain, R. K. (2023). Experimental performance of smart IoT-enabled drip irrigation system using and controlled through web-based applications. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100215. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100215>
- Jang, Y., Kim, J., Lee, J., Lee, S., Jung, H., & Park, G. H. (2024). Drought tolerance evaluation and growth response of Chinese cabbage seedlings to water deficit treatment. *Agronomy*, 14, 279. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020279>

- Kamali, M. A., Amiroh, K., Widyantara, H., & Hariyanto, M. D. (2023). Pembuatan smart urban farming berbasis internet of things untuk kelompok tani. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, 6(2), 201–214. <https://doi.org/10.33474/jipemas.v6i2.18732>
- Mallareddy, M., Thirumalaikumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., & Mariadoss, A. (2023). Maximizing water use efficiency in rice farming: A comprehensive review of innovative irrigation management technologies. *Water*, 15, 1802. <https://doi.org/10.3390/w15101802>
- Ngoma, D. H., Nkongo, D., Abdul-Rahman, H. M., Muna, B. H., Buberwa, A. P., & Ngaiza, E. (2025). Design and development of IoT smart drip irrigation and fertigation prototype for small and medium scale farmers: A case study of tomato farmers in Tanzania. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 106(2), 373–395. <https://doi.org/10.1007/s40030-024-00857-7>
- Wang, X., Wang, T., Wang, L., & Liu, E. (2024). The effects of different rotations of beans, maize, and cabbage on soil moisture and economic benefits. *Agronomy*, 14, 479. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030479>
- Wibowo, B. C. (2024). Implementasi sistem drip irrigation berbasis internet of things pada tanaman kubis bunga. *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, 9(3), 185–193. <https://doi.org/10.33772/elektroda.v9i3.170>