COMMUNITY
Jurnal Pengabdian Masyarakat Vol. 5, No. 2 Juli 2025, Hal. 158-172

Smart Farming Inovasi *Greenhouse* Berbasis AI dan IoT untuk Pemberdayaan Petani Krisan di Desa Tutur, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur

Mars Caroline Wibowo*[1], Supriyanto[2], Sigit Umar Anggono[3], Haikal Nur Rachmanrachim Archaqie[4] Purwanto[5] Reja Putra Jaya[6] Cherlina Helena Purnamasari Pandjaitan[7]
[1]Program Studi Desain Komunikasi Visual, Fakultas Vokasi, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
[2,3,4,7]Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Vokasi, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
[5,6]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
*e-mail: caroline@stekom.ac.id [1]

Abstrak

Petani krisan di Desa Tutur, Kabupaten Pasuruan, menghadapi fluktuasi produksi karena pengelolaan greenhouse masih manual dan berdasarkan perkiraan, sehingga suhu dan kelembapan sulit dijaga pada rentang optimal. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani serta menstabilkan pengelolaan greenhouse melalui penerapan sistem greenhouse cerdas berbasis AI dan IoT. Mitra kegiatan adalah Kelompok Tani Krisan Makmur yang beranggotakan 35 petani. Metode yang digunakan adalah pendekatan partisipatif dengan lima tahap, yaitu persiapan dan asesmen awal, sosialisasi, pelatihan dan praktik, penerapan dan pendampingan selama satu siklus tanam, serta evaluasi dan keberlanjutan. Keberhasilan diukur dengan pre-test dan post-test, observasi keterampilan, kuesioner sikap, galat sensor, data suhu dan kelembapan, catatan kehilangan hasil dan biaya tenaga, serta wawancara dan diskusi kelompok terarah. Hasilnya menunjukkan skor pengetahuan naik dari 43,6 menjadi 82,2 (N-Gain 0,68), 82,9% petani terampil, dan skor sikap naik dari 3,10 menjadi 4,38. Suhu dan kelembapan berada pada rentang optimal selama 86% waktu (58% pada greenhouse pembanding), dan kehilangan hasil turun dari 18,0% menjadi 11,5%. Kegiatan ini menunjukkan bahwa greenhouse cerdas dengan pendampingan partisipatif layak diterapkan untuk menstabilkan produksi dan memberdayakan petani krisan.

Kata kunci: *Smart Farming; Greenhouse Cerdas; Petani Krisan; Internet of Things; Pemberdayaan Petani*

Abstract

Chrysanthemum farmers in Tutur Village, Pasuruan Regency, face production fluctuations because greenhouse management is still manual and based on estimation, making it difficult to keep temperature and humidity within the optimal range. This community service aimed to improve farmers' knowledge and skills and to stabilize greenhouse management through a smart greenhouse system based on AI and IoT. The partner was the Krisan Makmur Farmer Group, with 35 members. A participatory approach was applied in five stages: preparation and initial assessment, socialization, training and practice, implementation and mentoring over one planting cycle, and evaluation and sustainability. Success was measured using pre- and post-tests, skill observation, an attitude questionnaire, sensor error, temperature and humidity records, yield loss and labor cost records, interviews, and focus group discussions. Knowledge scores rose from 43.6 to 82.2 (N-Gain 0.68), 82.9% of farmers became skilled, and attitude scores increased from 3.10 to 4.38. Temperature and humidity stayed within the optimal range 86% of the time (58% in comparison greenhouses), and yield loss fell from 18.0% to 11.5%. These results show that a smart greenhouse with participatory mentoring is feasible for stabilizing production and empowering chrysanthemum farmers.

Keywords: *Smart Farming; Smart Greenhouse; Chrysanthemum Farmers; Internet of Things; Farmer Empowerment*

1. PENDAHULUAN

Bunga krisan potong di Jawa Timur, khususnya di Kabupaten Pasuruan, adalah komoditas hortikultura dengan nilai ekonomi tinggi [1]. Sebuah penelitian yang melibatkan 53 petani krisan ber-*greenhouse* di Kecamatan Tutur menunjukkan bahwa usaha tani ini memiliki kelayakan ekonomis dengan rasio biaya dan manfaat (R/C) sebesar 1,15, menghasilkan pendapatan sekitar

Rp238.240.475 per hektare per musim. Namun, fluktuasi dalam produksi (CV 0,20) dan pendapatan (CV 0,23) lebih tinggi dibandingkan fluktuasi harga (CV 0,09), yang menunjukkan bahwa tantangan utama bagi petani adalah kestabilan produksi daripada masalah harga. Krisan membutuhkan kondisi lingkungan yang sangat spesifik untuk tumbuh, yaitu pada ketinggian antara 650–1200 mdpl dengan rentang suhu 17–30 °C, serta kelembapan yang harus dijaga antara 90–95% saat penanaman dan 70–80% saat fase pertumbuhan dan pembungaan. Oleh karena itu, penting bagi petani untuk memelihara suhu, kelembapan, dan tingkat cahaya di dalam *greenhouse* secara konsisten [2], [3], [4].

Desa Tutur, yang terletak di Kecamatan Tutur, Kabupaten Pasuruan, berada pada ketinggian sekitar 900 mdpl dan memiliki populasi sekitar 6.240 jiwa, terdiri dari 1.850 kepala keluarga [5]. Sekitar 58% dari penduduk desa ini bekerja di sektor pertanian. Kegiatan ini ditujukan kepada Kelompok Tani Krisan Makmur, yang beranggotakan 35 petani, dengan rata-rata usia 44 tahun. Tingkat pendidikan mayoritas anggota kelompok adalah SMP–SMA, mencapai 71%. Setiap petani mengelola *greenhouse* dengan luas rata-rata 1.200 m^2 dan memiliki pengalaman bertani krisan selama 12 tahun [6]. Dari segi fisik dan lingkungan, wilayah ini sangat cocok untuk budidaya krisan berkat lokasinya di dataran tinggi dengan suhu yang sejuk [7]. Secara sosial, kelompok tani ini aktif bertemu dua kali sebulan untuk berbagi ilmu dan pengalaman. Dari perspektif ekonomi, krisan menjadi sumber pendapatan utama bagi 82% anggota kelompok [8]. Seluruh *greenhouse* dilengkapi dengan instalasi listrik dan sudah terjangkau sinyal 4G, sehingga memungkinkan penggunaan alat berbasis sensor serta aplikasi telepon pintar untuk mendukung kegiatan pertanian.

Pengelolaan *greenhouse* di kalangan petani mitra masih dilakukan secara manual, meskipun memiliki potensi besar. Observasi dan wawancara awal menunjukkan bahwa 100% petani mengandalkan perkiraan untuk menentukan penyiraman, pembukaan ventilasi, dan penyinaran tambahan, yang menyebabkan fluktuasi suhu dalam *greenhouse* mencapai hingga 8 °C dalam satu hari. Fluktuasi ini berdampak negatif pada hasil panen, dengan kehilangan sekitar 18% pada setiap musim tanam akibat bunga yang cacat dan serangan penyakit. Selain itu, 74% petani belum pernah menerima pelatihan tentang teknologi digital dalam pertanian. Oleh karena itu, masalah yang dihadapi adalah bagaimana penerapan dan pendampingan *greenhouse* cerdas berbasis AI dan IoT dapat memfasilitasi peningkatan pengetahuan dan keterampilan petani krisan serta menstabilkan pengelolaan *greenhouse* [9], [10].

Pemantauan dan pengendalian otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk budidaya krisan di Indonesia telah mengalami kemajuan signifikan. Penelitian sebelumnya telah merancang sistem yang memanfaatkan NodeMCU ESP8266, bersama dengan sensor-sensor seperti DHT22 untuk pengukuran suhu udara, BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya, dan sensor kelembapan tanah kapasitif [11]. Data yang diperoleh dari sensor ini dapat diakses melalui aplikasi di telepon pintar, memudahkan petani dalam mengawasi kondisi lingkungan budidaya. Hasil pengujian di *greenhouse* menunjukkan bahwa rata-rata galat sensor adalah 0,99% untuk suhu, 1,11% untuk cahaya, dan 2,96% untuk kelembapan tanah, yang menunjukkan akurasi yang cukup tinggi [12].

Di sisi lain, studi lain mengembangkan sistem pemantauan berbasis Raspberry Pi dan IoT yang juga mencakup sensor suhu, kelembapan, cahaya, serta kamera RGB [3]. Sistem ini memungkinkan akses data dari mana saja dan membantu dalam menganalisis hasil panen berdasarkan kondisi yang ada di *greenhouse* selama periode budidaya. Penemuan ini menunjukkan potensi besar dari teknologi IoT dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian. Hal ini mengindikasikan bahwa jaringan saraf tiruan dapat digunakan dalam setting *greenhouse* untuk prediksi iklim mikro, konsumsi energi, serta pengendalian karbon dioksida. Integrasi antara IoT dan *machine learning* dalam konteks ini menawarkan solusi yang inovatif untuk tantangan yang dihadapi dalam budidaya.

Namun, perlu dicatat bahwa meskipun banyak studi telah merancang dan menguji alat-alat ini, penerapan nyata dalam kerja sama dengan petani krisan dengan dukungan berkelanjutan masih sangat jarang dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya gap antara pengembangan teknologi

dan penerapan di lapangan yang perlu diatasi agar manfaat dari sistem ini dapat sepenuhnya dirasakan oleh para petani.

Upaya pemberdayaan dalam kegiatan pengabdian yang berfokus pada penggunaan *greenhouse* telah dilakukan oleh beberapa pihak. Wijaya dan rekan-rekannya (2025) mengimplementasikan sistem penyiraman berbasis IoT di sebuah pusat edukasi pertanian di Jawa Timur yang menghasilkan pengendalian penyiraman yang lebih terpusat, efisien, dan sesuai jadwal [13]. Selain itu, Edy dan tim (2025) melatih guru dan siswa di SMKN 4 Barru dalam penggunaan *greenhouse* cerdas, yang mengintegrasikan teknologi IoT dan computer vision, sehingga meningkatkan pemahaman serta keterampilan mereka dalam penerapan teknologi tersebut [14]. Kegiatan ini bertujuan untuk melengkapi upaya lainnya dengan menyasar petani krisan sebagai pelaku usaha dan mengombinasikan IoT dengan kecerdasan buatan (AI) untuk rekomendasi pengendalian, serta memberikan pendampingan secara berkelanjutan kepada mereka.

Kegiatan ini adalah hilirisasi dari penelitian yang menghasilkan prototipe *greenhouse* cerdas dengan berbagai sensor (suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan kelembapan media tanam) serta model AI berbasis logika fuzzy. Sistem ini mengatur kipas, lampu, dan penyiraman dan dapat dipantau melalui aplikasi ponsel pintar. Tiga tujuan utama dari kegiatan ini adalah: (1) meningkatkan pengetahuan petani mengenai pengelolaan *greenhouse* krisan berbasis data, (2) melatih petani dalam mengoperasikan dan merawat sistem *greenhouse* cerdas berbasis AI dan IoT, dan (3) mendampingi petani dalam menerapkan sistem tersebut untuk menstabilkan produksi serta memperkuat pemberdayaan petani krisan di Desa Tutur.

2. METODE

Kegiatan ini menerapkan pendekatan partisipatif [15], di mana petani terlibat dari identifikasi masalah hingga evaluasi, bukan hanya sebagai penerima pelatihan. Pelaksanaan kegiatan berlangsung di Desa Tutur, Kecamatan Tutur, Kabupaten Pasuruan, selama lima bulan dari Mei hingga September 2025, yang mencakup satu siklus tanam krisan sekitar 100 hari. Mitra kegiatan adalah Kelompok Tani Krisan Makmur yang terdiri dari 35 petani. Kegiatan ini dilakukan melalui lima tahap.

Tahap pertama dari program ini melibatkan persiapan dan asesmen awal, di mana tim berkolaborasi dengan perangkat desa dan pengurus kelompok tani. Mereka mengobservasi kondisi *greenhouse* dan mengumpulkan data awal, termasuk pre-test pengetahuan, kuesioner sikap awal, persentase kehilangan hasil, serta biaya tenaga pengelolaan per musim tanam. Tahap kedua fokus pada sosialisasi dan edukasi melalui ceramah interaktif dan diskusi mengenai kebutuhan lingkungan tumbuh krisan, penerapan smart farming, serta fungsionalitas sistem AI dan IoT. Pada tahap ketiga, pelatihan dan praktik langsung diberikan dalam tiga sesi: petani diajarkan cara membaca data suhu, kelembapan, dan cahaya melalui aplikasi telepon pintar, serta cara mengatur ambang batas dan menggunakan mode otomatis dan manual. Mereka juga dilatih dalam merawat sensor dan mencatat data, dengan peserta dibagi menjadi lima kelompok kecil yang masing-masing terdiri dari tujuh petani untuk memastikan semua dapat terlibat secara langsung.

Tahap keempat dari proyek melibatkan penerapan dan pendampingan, di mana sistem dipasang dan dikalibrasi di satu *greenhouse* percontohan untuk kelompok dan lima *greenhouse* milik petani, sementara enam *greenhouse* lain yang terus dikelola secara manual berfungsi sebagai pembanding. Pendampingan dilakukan dua kali per minggu sepanjang siklus tanam. Pada tahap kelima, evaluasi dan keberlanjutan dilakukan melalui post-test, kuesioner sikap akhir, wawancara, dan diskusi kelompok terarah (FGD). Selanjutnya, disusun panduan bergambar serta dibentuk tim pengelola sistem dan grup WhatsApp untuk berbagi data dan masalah di antara anggota kelompok.

Keberhasilan dalam pengukuran sistem diukur melalui berbagai alat ukur kuantitatif dan kualitatif. Pengetahuan dinilai dengan menggunakan tes tertulis yang terdiri dari soal pilihan

ganda pada pre-test dan post-test, dengan peningkatan dihitung menggunakan rumus N-Gain, yaitu (skor post-test – skor pre-test) / (100 – skor pre-test). Keterampilan dievaluasi melalui lembar observasi yang menilai delapan indikator kunci, seperti kemampuan membaca dasbor, mengatur ambang, serta mengoperasikan mode otomatis dan manual, dengan menggunakan rubrik skor yang berkisar dari 1 hingga 4. Sikap peserta diukur lewat kuesioner dengan skala Likert dari 1 sampai 5, yang menilai kesediaan individu untuk menggunakan sistem, keyakinan terhadap manfaat yang diperoleh, dan kemampuan untuk mengelolanya secara kolektif.

Kinerja sistem ditentukan berdasarkan analisis galat sensor jika dibandingkan dengan alat ukur acuan, seperti termometer dan higrometer terkalibrasi, serta dengan mengevaluasi persentase waktu di mana suhu dan kelembapan berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan krisan (17–30 °C dan kelembapan 70–80%) menggunakan catatan data sistem. Dampak ekonomi dianalisis melalui persentase kehilangan hasil akibat bunga yang cacat dan terserang penyakit, jumlah tangkai yang dipanen per m^2, biaya manajemen, dan pendapatan per siklus tanam yang dibandingkan antara *greenhouse* yang menggunakan sistem dan yang tidak. Selain itu, dampak sosial budaya diinvestigasi melalui wawancara semi-terstruktur dengan sepuluh petani serta fokus grup diskusi (FGD) dengan pengurus kelompok yang membahas kebiasaan dalam pengelolaan *greenhouse*, kolaborasi antaranggota, berbagi data, dan peran generasi muda dalam komunitas tersebut.

Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif menggunakan teknik seperti rerata, persentase, dan kategori capaian, dengan perbandingan skor pre-test dan post-test yang diuji melalui uji t berpasangan atau uji Wilcoxon untuk data non-normal. Data kualitatif dievaluasi secara tematik melalui tiga tahap: reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Tingkat ketercapaian dihitung dengan rumus (skor perolehan / skor maksimum) × 100% dan dikategorikan ke dalam empat kategori: sangat baik (≥80%), baik (60–79%), cukup (40–59%), dan kurang (<40%). Kegiatan dianggap berhasil jika memenuhi lima kriteria, yaitu:

1. Pengetahuan dan Keterampilan: N-Gain pengetahuan harus minimal 0,30 (kategori sedang) dan setidaknya 75% peserta mencapai skor keterampilan ≥3.
2. Sikap: Rerata skor sikap akhir minimal 4,0 dari total 5, melebihi skor awal. 3.
3. Kinerja Sistem: Galat sensor harus maksimal 3%, dan waktu dalam rentang optimal meningkat minimal 20 poin persentase dibandingkan dengan *greenhouse* pembanding.
4. Ekonomi: Kehilangan hasil harus turun minimal 30% dari kondisi awal (18 %) dan biaya tenaga pengelolaan juga harus menurun.
5. Sosial Budaya: Terciptanya tim pengelola sistem dengan jadwal kerja yang stabil, serta wawancara dan FGD menunjukkan pengelolaan yang lebih efektif dengan meningkatnya kebiasaan berbagi data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pelaksanaan Kegiatan dan Partisipasi Peserta

Kegiatan ini dilakukan dalam lima tahap sesuai metode yang ditetapkan, mencakup satu siklus tanam krisan (Tabel 1). Seluruh 35 anggota Kelompok Tani Krisan Makmur berpartisipasi dalam asesmen awal, sosialisasi, dan evaluasi akhir. Kehadiran pada pelatihan dan pendampingan rata-rata mencapai 94% (33 petani) dan 83% (29 petani). Ketidakhadiran disebabkan oleh jadwal panen dan perawatan tanaman. Tingginya partisipasi menunjukkan relevansi kegiatan bagi petani, yang merupakan prasyarat untuk pendekatan partisipatif.

3.2 Peningkatan Pengetahuan Petani

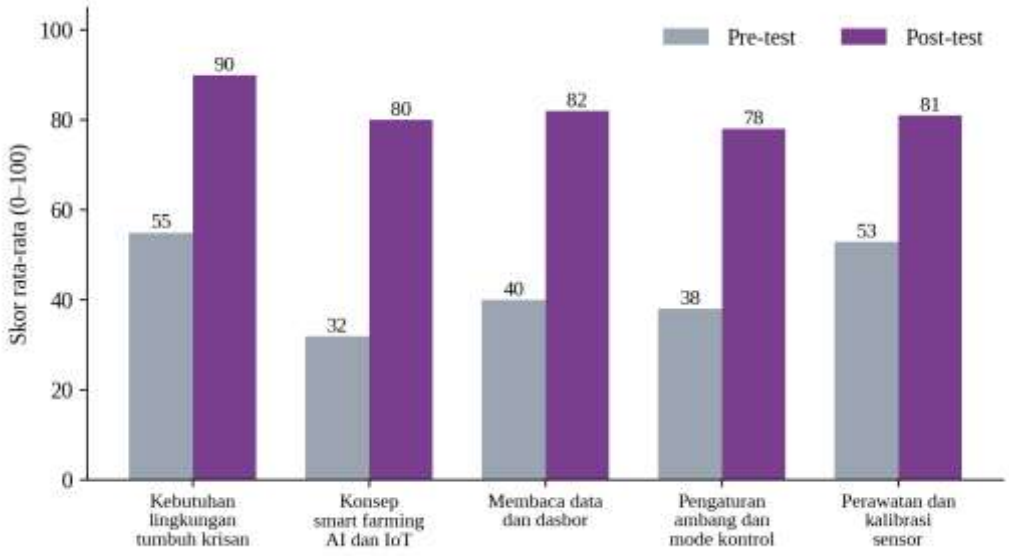
Skor rata-rata pengetahuan petani meningkat dari 43,6 pada pre-test menjadi 82,2 pada post-test, menunjukkan N-Gain sebesar 0,68 yang masuk dalam kategori sedang, mendekati

tinggi. Hasil analisis uji-t berpasangan menunjukkan peningkatan signifikan ($t(34) = 15{,}1$; $p < 0{,}001$). Data rincian per aspek dapat dilihat pada Tabel 2 dan divisualisasikan dalam Gambar 1.

Tabel 1. Tahapan kegiatan dan partisipasi peserta

No.	Tahap	Waktu (2025)	Kegiatan utama	Kehadiran, n (%)
1	Persiapan dan asesmen awal	Mei, minggu 1	Koordinasi, observasi, *pre-test*, kuesioner sikap awal, data awal kehilangan hasil dan biaya tenaga	35 (100%)
2	Sosialisasi dan edukasi	Mei, minggu 2	Penyuluhan kebutuhan lingkungan krisan, konsep *smart farming*, cara kerja AI dan IoT	35 (100%)
3	Pelatihan dan praktik	Mei, minggu 3-4 (3 sesi)	Membaca dasbor, mengatur ambang, mode otomatis dan manual, merawat sensor, mencatat data	33 (94%)
4	Penerapan dan pendampingan	Juni–September (2 kali per minggu)	Pemasangan dan kalibrasi sistem pada 6 *greenhouse*, pendampingan satu siklus tanam	29 (83%)
5	Evaluasi dan keberlanjutan	September	*Post-test*, kuesioner sikap akhir, wawancara, FGD, panduan dan tim pengelola	35 (100%)

Sumber: data primer, 2025. Kehadiran pada tahap 3 dan 4 adalah rata-rata dari seluruh sesi.



Gambar 1. Perbandingan skor pengetahuan petani pada *pre-test* dan *post-test* per aspek.
Sumber: data primer, 2025

Tabel 2. Skor pengetahuan petani sebelum dan sesudah kegiatan (n = 35)

Aspek pengetahuan	*Pre-test*	*Post-test*	*N-Gain*	Kategori
Kebutuhan lingkungan tumbuh krisan	55	90	0,78	Tinggi
Konsep *smart farming* AI dan IoT	32	80	0,71	Tinggi
Membaca data dan dasbor	40	82	0,70	Tinggi
Pengaturan ambang dan mode kontrol	38	78	0,65	Sedang
Perawatan dan kalibrasi sensor	53	81	0,60	Sedang
Rata-rata	43,6	82,2	0,68	Sedang

Sumber: data primer, 2025. Kategori N-Gain: tinggi ≥ 0,70; sedang 0,30–0,69; rendah < 0,30.

Peningkatan kapasitas petani terjadi paling signifikan dalam aspek kebutuhan lingkungan tumbuh krisan, dengan N-Gain 0,78, yang menunjukkan relevansi materi terhadap pengalaman petani. Konsep *smart farming* dan pembacaan dasbor juga menunjukkan peningkatan yang baik dari skor awal yang rendah (32 dan 40) ke kategori tinggi. Namun, peningkatan terendah tercatat pada perawatan dan kalibrasi sensor (N-Gain 0,60), yang menunjukkan tantangan dalam memahami materi teknis yang memerlukan latihan lebih intensif. Oleh karena itu, disarankan untuk meningkatkan jumlah sesi praktik dalam pendampingan lanjutan.

3.3 Peningkatan Keterampilan Petani

Hasil observasi menunjukkan bahwa 29 dari 35 petani (82,9%) memperoleh rata-rata skor keterampilan minimal 3, melampaui kriteria keberhasilan sebesar 75%. Rata-rata skor keseluruhan adalah 3,15 dari 4 (78,8%). Keterampilan tertinggi mencakup mencatat data harian dengan skor 3,5 dan membaca dasbor dengan skor 3,4. Sebaliknya, keterampilan terendah ditemukan dalam mengatasi gangguan sederhana seperti sinyal atau listrik (2,8) dan membaca rekomendasi AI (2,9), sebagaimana terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil observasi keterampilan petani (skor 1–4)

Indikator keterampilan	Rata-rata skor	Petani dengan skor ≥ 3, n (%)
Membaca dasbor suhu, kelembapan, dan cahaya	3,4	31 (89%)
Mengatur ambang batas	3,1	27 (77%)
Mengoperasikan mode otomatis dan manual	3,3	30 (86%)
Merawat sensor	3,2	28 (80%)
Mencatat data harian	3,5	32 (91%)
Membaca rekomendasi AI	2,9	23 (66%)
Mengatasi gangguan sederhana (sinyal, listrik)	2,8	22 (63%)
Berbagi dan menafsirkan data kelompok	3,0	25 (71%)
Keseluruhan (rata-rata skor individu ≥ 3)	3,15	29 (82,9%)

Sumber: data primer, 2025. Kriteria penilaian: 1 = belum terampil, 4 = sangat terampil.

Rendahnya skor membaca rekomendasi AI di kalangan petani diakibatkan oleh ketergantungan pada pengalaman pribadi, sehingga saran dari sistem AI perlu diverifikasi sebelum diterima. Selain itu, rendahnya skor dalam mengatasi gangguan mengindikasikan bahwa masalah jaringan dan listrik memerlukan pengetahuan teknis yang belum dikuasai oleh petani. Untuk mengatasi hambatan tersebut, dikembangkan panduan bergambar dan dibentuk tim pengelola yang berfungsi sebagai sumber rujukan bagi anggota lainnya.

Tabel 4. Skor sikap petani sebelum dan sesudah kegiatan (skala 1–5, n = 35)

Pernyataan sikap	Sebelum	Sesudah	Selisih
Bersedia memakai sistem *greenhouse* cerdas	3,1	4,5	+1,4
Yakin sistem membantu menjaga kondisi optimal	3,0	4,4	+1,4
Bersedia tidak lagi mengatur berdasarkan perkiraan	2,8	4,3	+1,5
Tertarik mempelajari teknologi digital pertanian lainnya	3,2	4,3	+1,1
Bersedia mengelola sistem secara bersama	3,4	4,4	+1,0
Rata-rata	**3,10**	**4,38**	**+1,28**

Sumber: data primer, 2025.

3.4 Perubahan Sikap Petani

Rata-rata skor sikap petani meningkat dari 3,10 menjadi 4,38 (skala 1–5), menunjukkan peningkatan sebesar 1,28 poin dan melampaui kriteria keberhasilan 4,0 (Tabel 4). Perubahan paling signifikan terjadi pada kesediaan untuk tidak mengatur *greenhouse* berdasarkan perkiraan (+1,5) dan keyakinan bahwa sistem membantu menjaga kondisi optimal (+1,4). Peningkatan terkecil terlihat pada kesediaan untuk mengelola sistem secara bersama (+1,0), meskipun skor

awal sudah tinggi (3,4). Transformasi ini dihasilkan dari pengalaman langsung petani melihat grafik suhu, kelembapan, dan kondisi tanaman melalui smartphone, yang membangun keyakinan berdasarkan pengalaman, bukan sekadar penjelasan.

3.5 Kinerja Sistem dan Kondisi Lingkungan Greenhouse

Galat sensor pada alat ukur acuan berkisar antara 1,2% dan 2,7%, yang semuanya memenuhi batas galat maksimum 3%. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wardani dkk. (2025) mengenai sistem pemantauan krisan, di mana galat sensor untuk suhu, cahaya, dan kelembapan tanah masing-masing dicatat sebesar 0,99%, 1,11%, dan 2,96% dalam pengujian di *greenhouse* krisan.

Tabel 5. Galat sensor terhadap alat ukur acuan

Parameter	Alat ukur acuan	Galat rerata (%)	Batas (%)	Keterangan
Suhu udara	Termometer terkalibrasi	1,2	≤ 3	Memenuhi
Kelembapan udara	Higrometer terkalibrasi	2,1	≤ 3	Memenuhi
Intensitas cahaya	*Lux meter*	1,8	≤ 3	Memenuhi
Kelembapan media tanam	Uji gravimetri	2,7	≤ 3	Memenuhi

Sumber: data primer, 2025.

Pengaruh sistem terhadap kondisi lingkungan terlihat dari persentase waktu berada dalam rentang optimal suhu dan kelembapan untuk krisan (Tabel 6). Rentang yang digunakan adalah suhu 17–30 °C dan kelembapan 70–80%, berdasarkan penelitian Riskiawan dkk. (2021). Di *greenhouse* perlakuan, suhu dan kelembapan berada dalam rentang optimal selama 86% waktu, dibandingkan dengan hanya 58% di *greenhouse* pembanding, yang menunjukkan peningkatan 28 poin persentase. Selain itu, selisih suhu maksimum dan minimum harian juga mengalami penurunan dari 8,4 °C menjadi 4,8 °C.

Tabel 6. Persentase waktu pada rentang optimal dan fluktuasi suhu harian

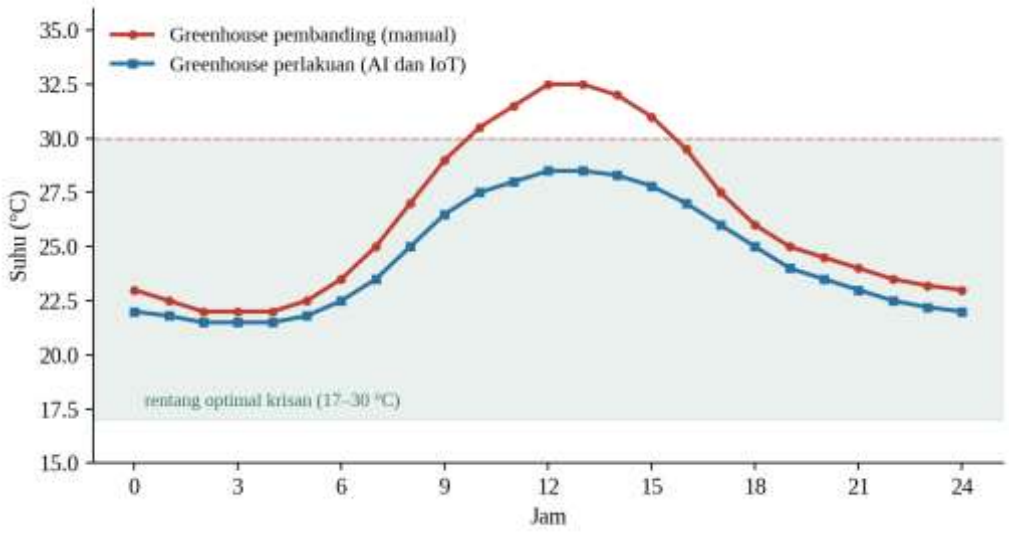
Indikator	Perlakuan	Pembanding	Selisih
Waktu suhu 17–30 °C (%)	96	81	+15 poin
Waktu kelembapan 70–80% (%)	90	66	+24 poin
Waktu suhu dan kelembapan sekaligus optimal (%)	86	58	+28 poin
Selisih suhu maksimum–minimum harian (°C)	4,8	8,4	−3,6 °C

Sumber: data primer, 2025. Perlakuan: 6 greenhouse; pembanding: 6 greenhouse dikelola manual.

Gambar 2 menunjukkan profil suhu di dua *greenhouse* pada hari panas. *Greenhouse* pembanding mengalami suhu melebihi 30 °C selama enam jam dan mencapai puncaknya pada 32,5 °C. Sebaliknya, suhu di *greenhouse* perlakuan tetap di bawah 29 °C berkat kerja kipas dan penyiraman yang dilakukan sebelum suhu mencapai batas kritis. Model AI yang digunakan saat ini berbasis logika fuzzy dan masih mengikuti sistem pengendalian berbasis aturan, tanpa mencakup prediksi iklim mikro dengan penerapan jaringan saraf tiruan. Pengembangan ke arah prediksi iklim mikro menjadi kesempatan untuk langkah selanjutnya.

3.6 Dampak Ekonomi

Kehilangan hasil akibat bunga cacat dan penyakit mengalami penurunan signifikan dari 18,0% pada kondisi awal menjadi 11,5% dengan perlakuan *greenhouse*, mencatat pengurangan sebesar 36,1% yang memenuhi kriteria penurunan minimal 30%. Di sisi lain, *greenhouse* pembanding menunjukkan penurunan hasil yang hampir tidak berubah, yaitu 17,6%. Selain itu, jumlah tangkai layak jual meningkat dari 61 menjadi 68 per m^2, sementara biaya tenaga pengelolaan mengalami penurunan sebesar 30,0%, menjadi Rp1.260.000 per siklus (Tabel 7).



Gambar 2. Profil suhu 24 jam pada hari panas di *greenhouse* perlakuan dan pembanding
Sumber: data primer, 2025

Kehilangan hasil 18,0% pada kondisi awal berasal dari catatan petani pada musim tanam sebelumnya yang diverifikasi dengan wawancara, sedangkan 17,6% dan 11,5% diukur langsung pada siklus tanam yang diamati dengan prosedur sortir yang sama (subbab 3.9). Karena data kondisi awal berbasis ingatan dan catatan petani, perbandingan yang lebih adil adalah antara perlakuan dan pembanding pada siklus yang sama, yaitu 11,5% dibanding 17,6% (selisih 6,1 poin persentase atau penurunan relatif 34,7%), sedangkan penurunan 36,1% terhadap kondisi awal dibaca sebagai indikatif.

Tabel 7. Indikator ekonomi per *greenhouse* (1.200 m^2) per siklus tanam

Indikator	Kondisi awal	Pembanding	Perlakuan	Perubahan perlakuan terhadap kondisi awal
Kehilangan hasil (%)	18,0	17,6	11,5	−36,1%
Tangkai layak jual (per m^2)	61	62	68	+11,5%
Biaya tenaga pengelolaan (Rp)	1.800.000	1.800.000	1.260.000	−30,0%
Pendapatan kotor (Rp)	109.800.000	111.600.000	122.400.000	+11,5%

Sumber: data primer, 2025. Harga jual diasumsikan Rp1.500 per tangkai.

Dibandingkan dengan *greenhouse* pembanding, pendapatan kotor dari perlakuan lebih tinggi sebesar Rp10.800.000 per siklus. Setelah memperhitungkan penghematan tenaga sebesar Rp540.000 dan mengurangi biaya listrik serta perawatan sistem sekitar Rp350.000, tambahan pendapatan bersih mencapai sekitar Rp10.990.000 per *greenhouse*. Dengan investasi sistem sekitar Rp9.500.000 per *greenhouse*, modal ini dapat kembali dalam waktu kurang dari satu siklus tanam jika selisih ini tetap konsisten.

Hal ini menunjukkan bahwa risiko usaha krisan *greenhouse* di Kecamatan Tutur lebih besar pada aspek produksi dibandingkan dengan harga, sehingga pengendalian lingkungan menjadi salah satu strategi untuk menekan risiko tersebut. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa waktu pengembalian investasi sangat bergantung pada besarnya selisih hasil panen yang benar-benar dapat dipertahankan: jika hanya 50% dari selisih pendapatan yang teramati bertahan, investasi kembali dalam sekitar 1,7 siklus; jika 25%, sekitar 3,3 siklus; dan jika tidak ada selisih hasil panen, penghematan tenaga dikurangi biaya operasional sistem (sekitar Rp190.000 per siklus) tidak cukup mengembalikan investasi dalam umur ekonomis sistem. Karena koefisien

variasi produksi usaha tani krisan di Kecamatan Tutur dilaporkan 0,20 [2], selisih 6–7 tangkai per m^2 pada enam pasang greenhouse juga dapat berada dalam rentang variasi alami, sehingga manfaat ekonomi ini tidak boleh digeneralisasikan kepada seluruh anggota kelompok atau petani krisan lain berdasarkan satu periode pengamatan.

3.7 Dampak Sosial Budaya

Wawancara terhadap sepuluh petani dan diskusi kelompok terarah (FGD) dengan dua belas pengurus dan anggota mengidentifikasi empat perubahan sosial budaya yang dirangkum dalam Tabel 8. Survei akhir menunjukkan penurunan penggunaan metode pengaturan *greenhouse* berdasarkan perkiraan dari 100% menjadi 26%. Perubahan ini melibatkan tidak hanya aspek alat, tetapi juga kebiasaan bertukar pengalaman yang sudah ada di kelompok, dengan sistem yang memberikan dasar data untuk pertukaran tersebut.

Tabel 8. Ringkasan temuan wawancara dan FGD

Tema	Temuan	Cuplikan wawancara
Cara mengelola *greenhouse*	Pengelolaan berdasarkan perkiraan turun dari 100% menjadi 26%; keputusan membuka kipas dan menyiram mulai merujuk data	"Dulu kira-kira saja, buka kipas kalau terasa panas. Sekarang lihat angkanya dulu." (petani, 49 tahun)
Kerja sama dan kelembagaan	Terbentuk tim pengelola sistem beranggota enam orang, jadwal piket mingguan, dan grup WhatsApp untuk berbagi data	"Datanya kami bagikan di grup, jadi yang lain bisa belajar dari *greenhouse* yang sudah dipasang." (ketua kelompok tani)
Peran generasi muda	Lima pemuda tani membantu membaca dasbor dan mengajari petani senior memakai aplikasi	"Bapak-bapak sering tanya ke kami kalau notifikasinya muncul." (pemuda tani, 25 tahun)
Penerimaan terhadap teknologi	Petani menilai teknologi mudah diterima karena hasilnya terlihat; kekhawatiran pada listrik padam, sinyal, dan biaya perawatan	"Kalau listrik mati bagaimana? Itu yang masih kami pikirkan." (petani, 53 tahun)

Sumber: data primer, 2025.

3.8 Tingkat Ketercapaian Kegiatan

Berdasarkan kriteria pada metode pelaksanaan, seluruh indikator keberhasilan tercapai (Tabel 9). Pada aspek yang dihitung dengan rumus (skor perolehan / skor maksimum) × 100%, capaian pengetahuan dan sikap berada pada kategori sangat baik (≥ 80%), sedangkan keterampilan berada pada kategori baik (60–79%). Selama kegiatan, beberapa kendala telah diidentifikasi. Pertama, keterampilan dalam menangani gangguan dan memahami rekomendasi dari AI masih rendah. Kedua, sistem memerlukan pasokan listrik dan sinyal yang stabil untuk beroperasi. Ketiga, dampak ekonomi baru terlihat hanya pada satu siklus tanam, menunjukkan perlunya pengujian konsistensi pada siklus tanam selanjutnya. Selain itu, beban investasi awal masih menjadi tantangan bagi petani kecil. Tindak lanjut yang direncanakan meliputi penyusunan modul perbaikan yang sederhana, pendampingan berkelanjutan bagi tim pengelola, penyediaan cadangan daya, serta pembelian sistem secara kolektif melalui koperasi tani untuk membagi biaya investasi.

3.9 Pemilihan Greenhouse Perlakuan dan Pembanding serta Prosedur Pencatatan Data

Dari 35 anggota kelompok, greenhouse yang memenuhi kriteria inklusi adalah yang (1) berukuran 1.000–1.400 m^2, (2) menanam varietas yang sama dengan jadwal tanam berselisih paling lama tujuh hari, (3) memiliki listrik dan sinyal 4G, dan (4) pemiliknya bersedia dicatat selama satu siklus tanam. Sebanyak [18] greenhouse memenuhi kriteria tersebut. Greenhouse percontohan milik kelompok ditetapkan sebagai perlakuan pertama, kemudian lima greenhouse perlakuan lainnya dipilih melalui undian dari [17] greenhouse yang tersisa. Enam greenhouse

pembanding dipilih dari [12] greenhouse yang tidak terpilih dengan memasangkan karakteristiknya (luas, umur greenhouse, dan kehilangan hasil awal) dengan greenhouse perlakuan. Dengan demikian, pemilihan tidak sepenuhnya acak karena greenhouse percontohan ditetapkan oleh kelompok dan pembanding dipilih melalui pemasangan karakteristik.

Tabel 9. Ketercapaian indikator keberhasilan kegiatan

Aspek	Indikator	Kriteria	Hasil	Capaian (%)	Status
Pengetahuan	*N-Gain* pengetahuan	≥ 0,30	0,68	82,2	Tercapai
Keterampilan	Petani dengan skor ≥ 3	≥ 75%	82,9%	78,8	Tercapai
Sikap	Rata-rata skor sikap akhir	≥ 4,0	4,38	87,6	Tercapai
Kinerja sistem	Galat sensor dan waktu optimal	≤ 3% dan ≥ +20 poin	Maks. 2,7%; +28 poin	–	Tercapai
Ekonomi	Penurunan kehilangan hasil dan biaya tenaga	≥ 30% dan menurun	36,1%; −30,0%	–	Tercapai
Sosial budaya	Tim pengelola dan pengelolaan berbasis data	Terbentuk dan berjalan	Terbentuk; 100% menjadi 26%	–	Tercapai

Sumber: data primer, 2025. Kategori capaian: sangat baik ≥ 80%; baik 60–79%; cukup 40–59%; kurang < 40%.

Kesetaraan kondisi awal kedua kelompok diperiksa pada Tabel 10. Kedua kelompok memiliki karakteristik yang mirip dan tidak berbeda nyata pada seluruh variabel yang dibandingkan (uji Mann-Whitney, [p > 0,05]), meskipun dengan enam greenhouse per kelompok kekuatan uji ini terbatas.

Tabel 10. Karakteristik awal greenhouse perlakuan dan pembanding

Karakteristik	Perlakuan (n = 6)	Pembanding (n = 6)	Hasil uji
Luas *greenhouse* (m^2)	[1.190]	[1.215]	[p > 0,05]
Umur *greenhouse* (tahun)	[5,2]	[5,5]	[p > 0,05]
Pengalaman bertani krisan (tahun)	[12,3]	[11,8]	[p > 0,05]
Kehilangan hasil awal (%)	[18,2]	[17,8]	[p > 0,05]
Selisih suhu harian awal (°C)	[8,2]	[8,5]	[p > 0,05]
Varietas dan jadwal tanam	[Sama; selisih ≤ 7 hari]	[Sama; selisih ≤ 7 hari]	–

Sumber: data primer, 2025.

Data lingkungan dicatat dengan cara yang sama pada seluruh dua belas greenhouse. Setiap greenhouse dipasang satu perekam data suhu dan kelembapan dengan sensor yang sama, diletakkan di titik tengah setinggi kanopi tanaman, dengan interval pencatatan [10 menit] selama 24 jam sepanjang siklus tanam. Pada greenhouse pembanding, perekam hanya mencatat dan tidak terhubung dengan aktuator maupun aplikasi, dan datanya tidak ditampilkan kepada petani agar perilaku pengelolaan tidak berubah. Seluruh sensor dikalibrasi terhadap termometer dan higrometer acuan pada awal dan akhir siklus. Persentase waktu pada rentang optimal dihitung sebagai jumlah pembacaan yang berada dalam rentang (suhu 17–30 °C dan kelembapan 70–80%) dibagi total pembacaan dikali 100%, dengan kehilangan data di bawah 5%.

Kehilangan hasil dihitung per greenhouse sebagai jumlah tangkai tidak layak jual (cacat bentuk, patah, atau terserang penyakit) dibagi total tangkai yang dipanen, dikali 100%. Tangkai disortir pada saat panen oleh dua enumerator bersama pemilik greenhouse dengan lembar sortir

yang sama, kemudian jumlahnya diverifikasi silang dengan catatan penjualan petani. Tangkai layak jual per m^2 dihitung dari jumlah tangkai layak jual dibagi luas greenhouse (1.200 m^2 sebagai luas standar). Nilai 18,0% pada kondisi awal berasal dari catatan petani pada [dua] musim tanam sebelumnya yang diverifikasi dengan wawancara, sehingga berbasis ingatan dan catatan petani, sedangkan nilai 11,5% (perlakuan) dan 17,6% (pembanding) diukur langsung pada siklus tanam yang diamati, yaitu tanam pada 3 Juni 2025 dan panen pada 8–12 September 2025 (umur *tanaman sekitar 100 hari).*

3.10 Peran Petani, Tim Pengabdi, dan Pengurus Kelompok dalam Penerapan dan Pemeliharaan Sistem

Pembagian peran selama penerapan dan pemeliharaan sistem dirinci pada Tabel 11. Tim pengabdi bertanggung jawab pada instalasi, kalibrasi, dan pendampingan teknis pada tahap awal, dengan peran yang dikurangi bertahap dan diserahkan kepada pengurus kelompok dan tim pengelola sistem pada akhir kegiatan. Petani bertanggung jawab atas operasi harian pada greenhouse masing-masing, sedangkan pengurus kelompok mengoordinasikan jadwal, pencatatan, dan pembiayaan operasional.

Tabel 11. Pembagian peran selama penerapan dan pemeliharaan sistem

Aktivitas	Petani	Tim pengabdi	Pengurus kelompok dan tim pengelola
Instalasi dan kalibrasi awal	Menyiapkan lokasi dan listrik, mendampingi pemasangan	Memasang dan mengalibrasi sensor, aktuator, dan aplikasi	Menetapkan jadwal pemasangan dan menjadi titik koordinasi
Operasi harian	Memeriksa dasbor dan rekomendasi, memilih mode otomatis atau manual, mencatat data harian	Memantau data dari jarak jauh dan memberi umpan balik pada pendampingan dua kali per minggu	Memeriksa kelengkapan pencatatan setiap minggu
Pemeliharaan sensor dan alat	Membersihkan sensor setiap [minggu] dan melaporkan kerusakan	Melatih, menyusun panduan bergambar, dan mengalibrasi ulang [setiap bulan] selama kegiatan	Tim pengelola mengambil alih pembersihan dan kalibrasi terjadwal pada akhir kegiatan
Penanganan gangguan (listrik, sinyal, sensor)	Melakukan pemeriksaan sederhana dan beralih ke mode manual	Menangani gangguan teknis lanjutan selama kegiatan	Tim pengelola menjadi rujukan pertama dan menghubungi tim pengabdi bila perlu
Pembiayaan operasional (listrik, paket data, suku cadang)	Menanggung biaya listrik *greenhouse* masing-masing	Menyediakan alat selama kegiatan	Mengelola kas kelompok untuk paket data dan suku cadang
Pencatatan data dan berbagi informasi	Mencatat hasil sortir panen dan kondisi tanaman	Merekap dan menganalisis data	Memimpin berbagi data di grup WhatsApp dan pertemuan dua kali per bulan
Evaluasi dan keberlanjutan	Mengisi post-test dan kuesioner serta mengikuti wawancara	Merancang evaluasi dan menyusun laporan	Menyusun rencana pembelian sistem secara kolektif dan jadwal piket

Sumber: data primer, 2025.

3.11 Penerapan Logika Fuzzy dan Perbedaannya dari Otomasi IoT Biasa

Sistem memakai pengendali logika fuzzy sebagai komponen AI berbasis aturan. Berbeda dari otomasi IoT biasa yang menjalankan aturan satu variabel dengan ambang tetap (misalnya kipas menyala saat suhu melebihi 30 °C), pengendali fuzzy menggabungkan suhu, kelembapan

udara, intensitas cahaya, dan kelembapan media tanam sekaligus. Nilai sensor diubah menjadi derajat keanggotaan pada himpunan linguistik (dingin, optimal, dan panas untuk suhu; kering, optimal, dan lembap untuk kelembapan udara), aturan dievaluasi dengan metode [Sugeno], lalu keluaran dihitung dengan rata-rata berbobot menjadi tingkat kecepatan kipas dan lama penyiraman. Aturan dan parameter fungsi keanggotaan disusun tim berdasarkan rentang optimal krisan dan masukan [penyuluh pertanian] serta disetel saat kalibrasi, dan tidak diperbarui otomatis dari data, sehingga sistem ini tidak termasuk machine learning.

Matriks aturan untuk masukan suhu dan kelembapan udara disajikan pada Tabel 12, dengan keluaran berupa kecepatan kipas (%) dan lama penyiraman (detik) pada setiap siklus kendali. Aturan lampu memakai intensitas cahaya dan waktu sebagai masukan, dan penyiraman ditunda apabila kelembapan media tanam di atas [70%].

Tabel 12. Matriks aturan fuzzy untuk suhu dan kelembapan udara (keluaran: kipas / penyiraman)

Suhu \ Kelembapan udara	**Kering (< 70%)**	**Optimal (70–80%)**	**Lembap (> 80%)**
Panas (> 30 °C)	Kipas 60% / siram 90 detik	Kipas 80% / siram 30 detik	Kipas 100% / siram 0 detik
Optimal (17–30 °C)	Kipas 20% / siram 60 detik	Kipas 20% / siram 0 detik	Kipas 60% / siram 0 detik
Dingin (< 17 °C)	Kipas 0% / siram 30 detik	Kipas 0% / siram 0 detik	Kipas 40% / siram 0 detik

Sebagai contoh, pada suhu 31 °C dan kelembapan udara 70%, suhu berada di daerah tumpang tindih sehingga derajat keanggotaannya 0,5 pada himpunan panas dan 0,5 pada himpunan optimal, dan kelembapan juga 0,5 pada himpunan kering dan 0,5 pada himpunan optimal. Empat aturan aktif dengan bobot masing-masing 0,5 (nilai minimum dari dua masukan), yaitu panas–kering (kipas 60%, siram 90 detik), panas–optimal (80%, 30 detik), optimal–kering (20%, 60 detik), dan optimal–optimal (20%, 0 detik).

Rata-rata berbobot menghasilkan kipas 45% dan penyiraman 45 detik, sedangkan pengendali berbasis ambang pada kondisi yang sama hanya menghasilkan keputusan biner menyala atau mati. Keluaran ini ditampilkan pada aplikasi sebagai rekomendasi (misalnya "suhu cenderung panas; kipas 45%, siram 45 detik"). Pada mode otomatis, keluaran dijalankan langsung oleh sistem, sedangkan pada mode manual petani dapat menerima atau mengubahnya. Perbedaan kedua pendekatan diringkas pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbedaan otomasi IoT berbasis ambang dan pengendali fuzzy pada sistem

Aspek	**Otomasi IoT berbasis ambang**	**Pengendali *fuzzy* pada sistem ini**
Masukan keputusan	Satu variabel untuk satu aktuator	Beberapa variabel sekaligus (suhu, kelembapan udara, cahaya, kelembapan media)
Bentuk keputusan	Biner (hidup atau mati) pada ambang tetap	Bertahap (kipas 0–100%, penyiraman dalam detik) sesuai tingkat penyimpangan
Kondisi mendekati batas	Berpindah mendadak di sekitar ambang	Berubah halus melalui derajat keanggotaan
Rekomendasi bagi petani	Tidak ada, hanya status hidup atau mati	Saran tindakan berbasis aturan pada aplikasi
Pengetahuan yang dipakai	Ambang tunggal	Basis aturan dari rentang optimal krisan dan pengetahuan pakar
Belajar dari data	Tidak ada	Tidak ada (aturan tetap, belum *machine learning*)

Sumber: analisis tim pengabdi, 2025.

3.12 Analisis Sensitivitas Pengembalian Investasi

Perkiraan pengembalian investasi pada subbab 3.6 dihitung secara optimistis dengan menganggap selisih hasil panen yang teramati bertahan. Tabel 14 menyajikan analisis sensitivitas dengan investasi Rp9.500.000 per greenhouse, penghematan tenaga Rp540.000 per siklus, biaya listrik dan perawatan sistem Rp350.000 per siklus, serta [tiga] siklus tanam per tahun. Waktu pengembalian dihitung sebagai investasi dibagi manfaat bersih per siklus, tanpa penyusutan dan bunga modal. Penyusutan sekitar Rp633.333 per siklus (umur ekonomis [lima] tahun) belum dimasukkan, sehingga manfaat bersih setelah penyusutan lebih kecil.

Tabel 14. Analisis sensitivitas pengembalian investasi per greenhouse

Skenario	**Selisih pendapatan kotor yang bertahan (Rp)**	**Manfaat bersih per siklus (Rp)**	**Waktu pengembalian (siklus)**	**Perkiraan (tahun)**
A. Selisih seperti teramati (100%)	10.800.000	10.990.000	0,86	0,3
B. Separuh selisih bertahan (50%)	5.400.000	5.590.000	1,70	0,6
C. Seperempat selisih bertahan (25%)	2.700.000	2.890.000	3,29	1,1
D. Tidak ada selisih hasil panen (0%)	0	190.000	50	16,7

Sumber: data primer, 2025, dihitung ulang. Manfaat bersih = selisih pendapatan yang bertahan + penghematan tenaga Rp540.000 – biaya listrik dan perawatan Rp350.000.

Hasil ini menunjukkan bahwa klaim pengembalian investasi kurang dari satu siklus hanya berlaku pada skenario A. Ketidakpastian itu bersumber dari variasi produksi alami (CV 0,20 [2]), fluktuasi harga jual (diasumsikan Rp1.500 per tangkai), jumlah pengamatan yang kecil (enam pasang greenhouse), dan satu siklus tanam.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pemberdayaan petani krisan di Desa Tutur, yang menerapkan *greenhouse* cerdas berbasis AI dan IoT, berhasil memenuhi seluruh indikator keberhasilan. Pengetahuan petani meningkat secara signifikan, dengan skor rata-rata naik dari 43,6 menjadi 82,2 dan 82,9% petani kini tergolong terampil. Sikap positif petani juga terbukti melalui kenaikan skor sikap dari 3,10 menjadi 4,38. Sistem yang diterapkan menunjukkan galat sensor maksimum 2,7% dan meningkatkan waktu suhu serta kelembapan dalam rentang optimal dari 58% menjadi 86%. Dalam aspek ekonomi, kehilangan hasil berkurang dari 18,0% menjadi 11,5%, biaya tenaga pengelolaan menurun 30,0%, sementara jumlah tangkai krisan layak jual meningkat dari 61 menjadi 68 per m^2. Secara sosial, pembentukan tim pengelola sistem dan petani menunjukkan pengelolaan *greenhouse* yang lebih terencana, dengan perkiraan pengelolaan menyusut dari 100% menjadi 26%. %. Pencapaian ini diamati pada dua belas greenhouse dalam satu siklus tanam dengan pembanding yang tidak diacak sepenuhnya, sehingga dibaca sebagai bukti awal bagi kelompok mitra, bukan sebagai bukti efektivitas program secara umum.

Kegiatan ini memiliki kelebihan melalui pendekatan partisipatif yang melibatkan petani dari pelatihan hingga pengelolaan sistem, dengan fokus pada pengendalian kipas dan penyiraman sebelum suhu mencapai batas, sehingga kondisi tanaman lebih stabil. Keberhasilan diukur dari berbagai aspek, termasuk pengetahuan, keterampilan, sikap, kinerja sistem, ekonomi, dan sosial budaya. Namun, terdapat kekurangan, seperti rendahnya keterampilan dalam mengatasi gangguan sederhana dan membaca rekomendasi AI, ketergantungan pada listrik dan sinyal yang stabil, serta tingginya investasi awal bagi petani kecil. Dampak ekonomi baru terlihat pada satu siklus tanam pada satu kelompok tani, sehingga belum dapat digeneralisasi. Selain itu, model AI yang digunakan masih berbasis logika fuzzy, sehingga belum dapat memprediksi iklim mikro.

Pengembangan lebih lanjut dalam proyek ini dapat difokuskan pada pendampingan berkelanjutan untuk tim pengelola, termasuk penyediaan modul perbaikan sederhana dan panduan bergambar. Selain itu, penting untuk menyediakan cadangan daya sebagai solusi agar sistem tetap berfungsi meskipun terjadi pemadaman listrik. Dalam hal teknologi, pengembangan model AI untuk prediksi iklim mikro dan deteksi dini penyakit tanaman juga dapat meningkatkan ketepatan pengendalian. Kelompok tani dianjurkan untuk mempertimbangkan pembelian sistem secara kolektif melalui koperasi untuk mengurangi beban investasi. Penting juga untuk melanjutkan evaluasi pada beberapa siklus tanam agar dampaknya terhadap produksi dan pendapatan dapat diukur dengan lebih efektif, serta memastikan bahwa model ini dapat direplikasi pada kelompok tani krisan lainnya di Kabupaten Pasuruan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Rachmawati, P. Ayu, T. Soedarto, and M. A. Syah, "Analisis Produksi dan Kelayakan Usahatani Bunga Potong Krisan (Chrysanthemum Sp .)," *J. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 19, no. 2, pp. 153–166, 2023.

[2] S. H. Hidayat, S. Widayanti, and T. Soedarto, "Analisis Pendapatan dan Risiko Usahatani Krisan dengan Sistem Greenhouse di Kecamatan Tutur Kabupaten Pasuruan menggunakan Metode Koefisien Variasi," *Agrimansion*, vol. 26, no. 3, pp. 1060–1072, 2025.

[3] H. Y. Riskiawan, S. Anwar, S. Kautsar, D. P. S. Setyohadi, and S. Arifin, "On-line Monitoring System in Greenhouse Area for Chrysanthemum Cultivation Based on Raspberry pi and iot," *IOP Publ.*, vol. 672, pp. 1–10, 2021.

[4] M. Ajik, A. Khusain, E. P. Wardani, and S. Kusumastuti, "An IoT-Based Monitoring and Control System for Chrysanthemum Cultivation," *J. Appl. Inf. Commun. Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 34–40, 2025.

[5] D. Abror and R. Jannah, "Implementasi Kebijakan Pariwisata di Desa Kalipucang Kecamatan Tutur Kabupaten Pasuruan," *Asketik J. Agama dan Perubahan Sos.*, vol. 5, no. 2, pp. 219–239, 2021.

[6] F. Bachtiar, S. C. Putro, U. Alaida, D. Sabilissalim, and R. Fauziyah, "Smart Farming : Inovasi Greenhouse Berbasis Ai Untuk Pemberdayaan Petani Krisan di Desa Tutur," *Penelit. dan Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 6, no. 1, pp. 435–442, 2025.

[7] T. R. Purnamasari, H. Wahyuni, and F. Hidayanto, "Pemanfaatan Limbah Bunga Krisan (Chrysanthemum sp.) Sebagai Bahan Tambahan Produksi Sabun Cair di Kabupaten Pasuruan," *Minda Baharu*, vol. 6, no. 1, pp. 10–19, 2022.

[8] D. Happy, R. Ramadani, U. Romadi, and I. Kurniasari, "Faktor yang Memengaruhi Adopsi Inovasi Penggunaan Instagram di Kampung Krisan Kabupaten Pasuruan," *Pros. Semin. Nas. Politek. Pembang. Pertan. Bogor*, vol. 3, pp. 888–902, 2025.

[9] D. Perdana, S. Hartati, P. Setiawan, U. Fadlillah, and G. C. Handoyo, "Penerapan Greenhouse Cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) untuk mendukung Ketahanan Pangan bagi Kelompok Tani Kismo Mulyo V," *Info Abdi Cendekia*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2025.

[10] I. Hadi Nugroho, M. Puji Permana Aji, R. Helilintar, B. Proudy Sujianto, and S. Aulia Firdaus, "Greenhouse Hidroponik IoT: Penguatan Kelompok Tani Modern Desa Karangrejo Wujudkan Ketahanan Pangan Mendukung Asta Cita," *J. Dharma Bhakti Ekuitas*, vol. 10, no. 1 SE-Articles, pp. 46–61, Dec. 2025.

[11] V. Thomopoulos, F. Tolis, T. Blounas, D. Tsipianitis, and A. Kavga, "Smart Agricultural Technology Application of Fuzzy logic and IoT in a small-scale Smart Greenhouse System," *Smart Agric. Technol.*, vol. 8, no. February, p. 100446, 2024.

[12] D. Kurniawan and A. Witanti, "Prototype of Control and Monitor System with Fuzzy Logic Method for Smart Greenhouse," *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 3, no. 2, pp. 116–127, 2021.

[13] C. J. Wijaya *et al.*, "Implementasi Sistem Penyiraman Berbasis Internet of Things dan Pengembangan Website Kelembagaan dalam Penguatan Operasional Pertanian Greenhouse," *J. Masy. Mandiri*, vol. 10, no. 2, pp. 2791–2801, 2025.

[14] M. R. Edy, M. I. Zulfikar, Nurfauziah, P. Nirmala, and N. Agusnaya, "Transformasi Pembelajaran Vokasi Pertanian melalui Integrasi IoT dan Computer Vision pada Smart Greenhouse di SMKN 4 Barru," *J. Pengabdi. Masy. dan Ris. Pendidik.*, vol. 4, no. 2, pp. 11622–11630, 2025.

[15] H. Abdullah *et al.*, "Strengthening Knowledge of Chrysanthemum Cultivation through Education and Information Sharing at the Regional Agriculture Office of Tomohon City, North Sulawesi," *J. Agribisnis Perikan.*, vol. 18, no. 2, pp. 67–72, 2025.