

Implementasi Smart Greenhouse Berbasis IoT untuk Digitalisasi Pengelolaan Greenhouse pada Kelompok Tani Mekar Jaya Satu

Chasrun Hasani^{1*}, Basri Noor Cahyadi²

^{1,2}Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia

Email: ¹chasrun@umm.ac.id, ²basrinoorc@umm.ac.id

*Email Corresponding Author: basrinoorc@umm.ac.id

Abstrak

Kelompok Tani Mekar Jaya Satu di Desa Sidorejo telah memanfaatkan greenhouse untuk meningkatkan efisiensi budidaya tanaman dan mendukung ketahanan pangan. Namun, pengelolaannya masih menghadapi kendala berupa suhu *greenhouse* yang tidak terkontrol dan *human error* pada proses penyiraman yang menyebabkan hasil panen belum optimal. Program pengabdian ini bertujuan mengimplementasikan *smart greenhouse* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung digitalisasi pengelolaan *greenhouse*. Kegiatan dilaksanakan melalui survei kebutuhan, pengembangan sistem, pengujian, dan pelatihan mitra. Sistem yang dikembangkan menggunakan ESP32, sensor suhu dan kelembapan udara DHT22, sensor kelembapan tanah, serta metode *fuzzy logic* untuk pengendalian *exhaust fan*. Hasil pengujian menunjukkan nilai eror sebesar 0,31°C untuk suhu udara, 3,71%RH untuk kelembapan udara, dan 2,41% untuk kelembapan tanah. Sistem *fuzzy logic* bekerja dengan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan pemahaman peserta meningkat dari 0–73% menjadi 87–100% setelah pelatihan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berhasil mendukung pengelolaan *greenhouse* yang lebih efektif dan meningkatkan kapasitas mitra dalam pemanfaatan teknologi pertanian modern.

Kata Kunci: *Internet of Things*, *smart greenhouse*, ketahanan pangan, *fuzzy logic*, *kelompok tani*

Abstract

The Mekar Jaya Satu Farmers Group in Sidorejo Village has utilized greenhouses to improve crop cultivation efficiency and support food security. However, its management still faces challenges such as uncontrolled greenhouse temperatures and human error in the watering process, resulting in suboptimal harvests. This community service program aims to implement an *Internet of Things* (IoT)-based *smart greenhouse* to support the digitization of greenhouse management. Activities were carried out through a needs survey, system development, testing, and partner training. The developed system uses ESP32, DHT22 temperature and humidity sensors, soil moisture sensors, and *fuzzy logic* methods for *exhaust fan* control. Test results showed error values of 0.31°C for air temperature, 3.71%RH for air humidity, and 2.41% for soil moisture. The *fuzzy logic* system worked with a 100% success rate, while participant understanding increased from 0–73% to 87–100% after training. These results indicate that the system successfully supports more effective greenhouse management and increases partner capacity in utilizing modern agricultural technology.

Keywords: *Internet of Things*, *smart greenhouse*, food security, *fuzzy logic*, Farmers Group

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital pada sektor pertanian menjadi salah satu strategi penting untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya tanaman dan mendukung ketahanan pangan berkelanjutan di tengah tantangan perubahan iklim serta keterbatasan sumber daya. Penerapan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), penginderaan jarak jauh, drone, robotika, kecerdasan buatan, dan analisis data memungkinkan pemantauan kondisi udara, tanah dan tanaman secara real-time, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam proses irigasi, dan pengelolaan budidaya (Fuentes-Peñailillo et al., 2024). Selain meningkatkan produktivitas, transformasi digital juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan penggunaan air dan pupuk secara berlebihan serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim (Balasundram et al., 2023). Di sisi lain, digitalisasi pertanian berpotensi menciptakan peluang ekonomi baru bagi masyarakat pedesaan, meskipun implementasinya masih menghadapi

kendala berupa tingginya biaya investasi dan rendahnya literasi digital petani yang dapat menghambat adopsi teknologi secara luas (Balyan et al., 2024; Wang et al., 2025).

Kelompok Tani Mekar Jaya Satu yang dikelola oleh BUMDes Sidorejo Mandiri berperan dalam mendukung ketahanan pangan melalui budidaya buah dan sayuran di greenhouse berukuran 6×12 m dengan potensi laba mencapai Rp28,2 juta per tahun. Greenhouse yang dibangun pada tahun 2024 ini pada awalnya dibangun untuk tanaman melon selada dan seledri tetapi saat ini greengouse tersebut belum bisa beroperasi sesuai dengan konsep awal, sehingga sampai saat ini tanaman yang diproduksi hanya berupa daun bawang dan sawi. Berdasarkan data tersebut target laba tahunan masih belum bisa tercapai dan pada kenyataannya hasil produksi sayuran greenhouse belum optimal, kegagalan panen sering terjadi yang disebabkan oleh kekeringan, dan suhu yang tidak terkontrol menjadi faktor utama. Sejauh ini hanya terdapat satu pegawai yang ditugaskan dalam pengoperasian greenhouse, keterbatasan ini juga dapat menimbulkan gagal panen yang disebabkan oleh *human error*.

Berdasarkan hasil dari pelaksanaan pengabdian yang sudah dilakukan oleh para peneliti terdahulu Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada *smart greenhouse* telah memberikan perubahan signifikan dalam pengelolaan budidaya tanaman melalui kemampuan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dan pengendalian otomatis berbagai parameter penting, seperti suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya (Bhushanam, 2025; Rahul et al., 2024). Selain itu, sistem otonom mampu mengendalikan irigasi dan perangkat pendukung lainnya berdasarkan data sensor sehingga mengurangi ketergantungan pada intervensi manual (Hadi Nugroho et al., 2025; Hashim et al., 2025). Penerapan teknologi ini juga mendukung efisiensi penggunaan air dan energi serta berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas pertanian yang lebih berkelanjutan, meskipun masih terdapat tantangan berupa biaya investasi awal dan kebutuhan keterampilan teknis dalam pengoperasiannya (Cahyadi et al., 2025; Zhong et al., 2024). Selain itu, penggunaan Raspberry Pi dan ESP32 mendukung pengumpulan data lingkungan secara real-time, penyimpanan berbasis cloud, serta pengendalian kondisi greenhouse dari jarak jauh untuk menjaga kondisi tumbuh tanaman tetap optimal (Huang et al., 2025; Rahul et al., 2024). Penerapan sistem otomatis ini mampu meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan sumber daya, dan mengurangi kesalahan manusia, meskipun masih memerlukan investasi awal dan kemampuan teknis dalam pengoperasiannya (Soh et al., 2023).

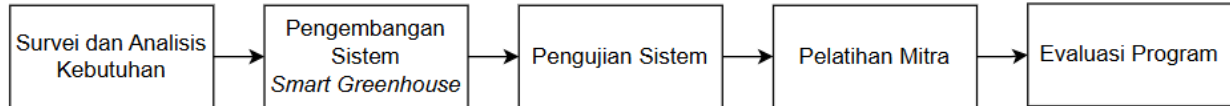
Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa teknologi smart greenhouse berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan dan otomatisasi budidaya tanaman (Vishakha Tomar & Nishtha Saroha, 2024; Zulkifli et al., 2025), implementasi teknologi tersebut pada kelompok tani skala desa masih relatif terbatas, khususnya yang diintegrasikan dengan program peningkatan kapasitas pengguna. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan pengabdian yang tidak hanya menerapkan teknologi, tetapi juga memperkuat kemampuan mitra dalam mengoperasikan dan memelihara sistem secara mandiri.

Penerapan smart greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) pada Kelompok Tani Mekar Jaya Satu bertujuan mendukung digitalisasi pengelolaan greenhouse melalui sistem pemantauan dan pengendalian otomatis. Sistem ini memanfaatkan sensor suhu, kelembapan udara, dan kelembapan tanah yang terhubung ke platform cloud sehingga kondisi lingkungan dapat dipantau secara real-time dan diakses dari jarak jauh melalui aplikasi seluler. Selain itu, sistem irigasi otomatis dan pengendalian lingkungan berbasis data mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi kebutuhan tenaga kerja, serta mendukung peningkatan produktivitas tanaman dan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan budidaya.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan pada Kelompok Tani Mekar Jaya Satu, Desa Sidorejo, Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif dan transfer teknologi yang melibatkan mitra pada setiap tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi implementasi sistem smart greenhouse berbasis Internet of Things (IoT). Tahapan kegiatan meliputi survei dan analisis

kebutuhan, pengembangan sistem smart greenhouse, pengujian sistem, pelatihan mitra, serta evaluasi program. Berikut ini adalah diagram alur pengabdian masyarakat.



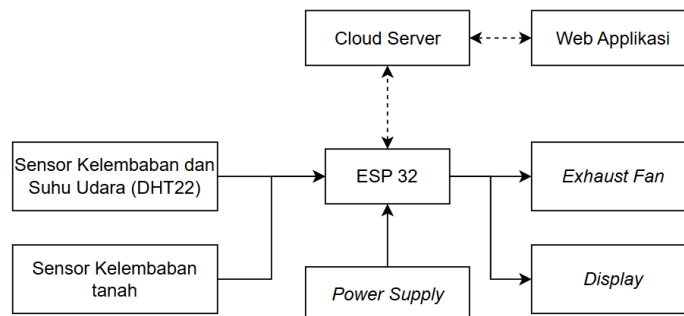
Gambar 1. Diagram alur pengabdian kepada masyarakat

2.1 Survei dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal kegiatan dilakukan melalui survei lapangan dan diskusi bersama pengelola Kelompok Tani Mekar Jaya Satu untuk mengidentifikasi kondisi eksisting greenhouse serta kebutuhan teknologi yang diperlukan. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai proses budidaya yang sedang berjalan, sistem penyiraman yang digunakan, kondisi lingkungan greenhouse, serta kendala yang dihadapi mitra dalam pengelolaan tanaman. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa proses pemantauan kondisi lingkungan dan penyiraman tanaman masih dilakukan secara manual sehingga diperlukan sistem otomatis yang mampu mendukung pengelolaan greenhouse secara lebih efektif dan efisien.

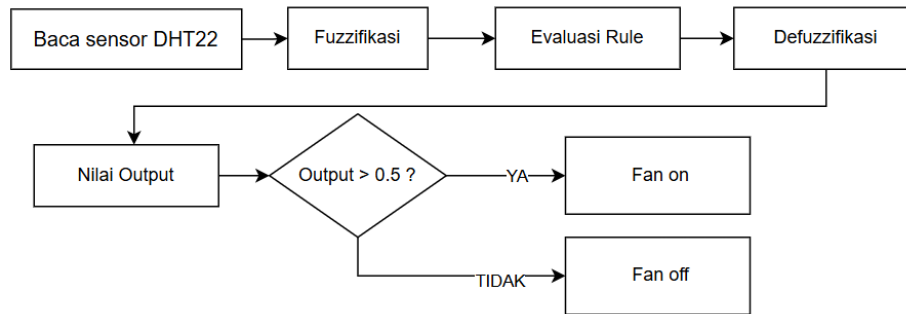
2.2 Pengembangan Sistem Smart Greenhouse

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, dilakukan pengembangan sistem smart greenhouse berbasis IoT yang dirancang untuk melakukan pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan greenhouse secara otomatis. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama yang terintegrasi dengan sensor kelembapan udara dan sensor kelembapan tanah. Data hasil pembacaan sensor digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk mengendalikan *exhaust fan* dan sistem penyiraman otomatis. Berikut ini adalah blok diagram sistem *smart greenhouse* berbasis IoT.



Gambar 2. Diagram blok sistem *smart greenhouse* berbasis IoT

Proses pengembangan perangkat lunak dilakukan dengan menerapkan metode *fuzzy logic* untuk menentukan kondisi lingkungan greenhouse dan kebutuhan penyiraman tanaman berdasarkan parameter kelembapan udara dan kelembapan tanah. Berikut ini adalah diagram alir sistem *fuzzy*.



Gambar 3. Diagram alir sistem *fuzzy*

2.3 Pengujian Sistem

Sebelum diterapkan pada greenhouse mitra, dilakukan pengujian terhadap sensor yang digunakan untuk memastikan tingkat akurasi pengukuran. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Tingkat kesalahan pengukuran dianalisis menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mendeteksi kondisi lingkungan greenhouse (Sirisanwannakul et al., 2023; Wardani et al., 2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

Keterangan:

- RMSE = *Root Mean Square Error*
- n = jumlah data pengujian
- X_i = nilai hasil pembacaan sensor
- Y_i = nilai alat ukur referensi (standar)
- $(X_i - Y_i)$ = error pada setiap pengukuran

Selain tingkat akurasi sensor, sistem *fuzzy logic* juga diuji untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan skenario yang telah dirancang. Pengujian meliputi pembacaan data sensor, proses inferensi fuzzy, aktivasi *exhaust fan*, serta pengendalian sistem penyiraman otomatis. Tahap ini bertujuan memastikan sistem mampu merespons perubahan kondisi lingkungan greenhouse secara tepat dan stabil. Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *black box testing* dengan membandingkan keluaran exhaust fan terhadap rule fuzzy yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pada berbagai kombinasi suhu dan kelembapan udara yang mewakili seluruh aturan fuzzy.

2.4 Pelatihan Mitra

Setelah sistem dinyatakan berfungsi dengan baik, dilakukan implementasi perangkat pada greenhouse milik Kelompok Tani Mekar Jaya Satu. Kegiatan implementasi meliputi pemasangan perangkat keras, konfigurasi sistem monitoring, serta pengujian operasional secara langsung pada lingkungan budidaya tanaman. Pelatihan diberikan kepada anggota kelompok tani untuk meningkatkan kemampuan dalam mengoperasikan dan memelihara sistem smart greenhouse. Materi pelatihan mencakup pengenalan komponen sistem, cara memantau kondisi greenhouse melalui dashboard monitoring, prosedur pengoperasian perangkat, serta langkah-langkah perawatan dan pemeliharaan sistem agar dapat digunakan secara berkelanjutan.

2.5 Evaluasi Program

Evaluasi dilakukan untuk mengukur keberhasilan implementasi teknologi serta tingkat penerimaan mitra terhadap sistem yang diterapkan. Evaluasi dilaksanakan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada peserta pelatihan untuk mengetahui tingkat pemahaman, kemudahan penggunaan sistem, serta tingkat kepuasan terhadap program pengabdian yang telah dilaksanakan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan sistem serta menjadi indikator keberhasilan program dalam mendukung digitalisasi pengelolaan greenhouse pada Kelompok Tani Mekar Jaya Satu.

3. HASIL PEMBAHASAN

3.1. Hasil Survei dan Analisis Kebutuhan

Hasil survei lokasi menunjukkan bahwa greenhouse milik Kelompok Tani Mekar Jaya Satu berada di kawasan yang strategis, yaitu di samping area persawahan dan berada dalam kompleks Desa Wisata Sidorejo (Dewisri), sehingga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sarana budidaya sekaligus edukasi pertanian berbasis teknologi. Kelompok tani ini beranggotakan 20 orang dengan rentang usia antara 28 hingga 52 tahun yang mencerminkan keterlibatan masyarakat usia produktif dalam kegiatan pertanian. Operasional greenhouse sehari-hari masih ditangani oleh satu orang pegawai dengan latar belakang pendidikan SMP, sehingga pengelolaan greenhouse sangat bergantung pada pengalaman dan pengamatan langsung di lapangan. Selain itu, hasil survei juga menunjukkan bahwa tingkat pengetahuan anggota kelompok tani mengenai teknologi greenhouse dan sistem pertanian berbasis digital masih relatif rendah. Kondisi tersebut menjadi dasar perlunya penerapan teknologi smart greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) yang disertai dengan kegiatan pelatihan dan pendampingan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia dalam pengelolaan greenhouse secara lebih efektif dan modern.



Gambar 4. Greenhouse kelompok tani Mekar Jaya Satu (a) tampak luar (b) tampak dalam

3.2. Penerapan Teknologi Smart Greenhouse

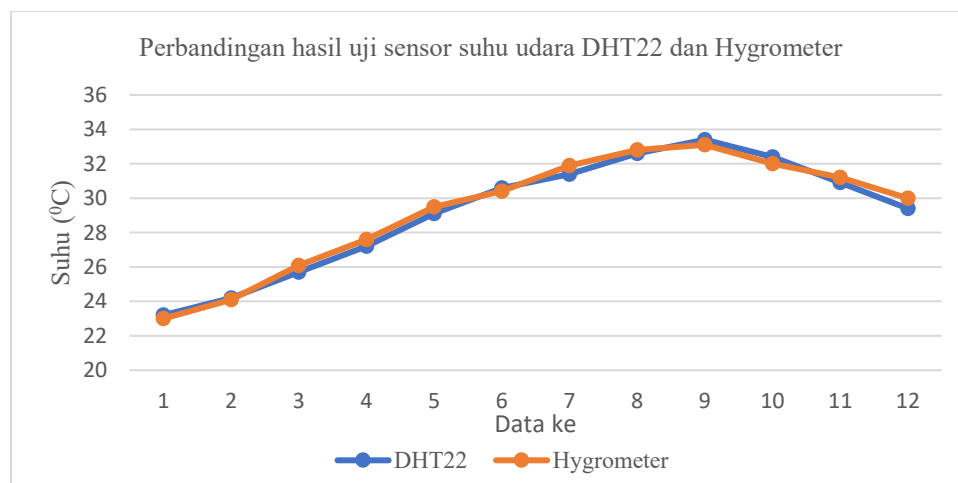
Sistem smart greenhouse berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan. Dimana pada sistem ini terdapat 2 sensor DHT22 dan sensor kelembaban tanah yang terintegrasi melalui ESP32. Data dari sensor dikirim secara realtime ke dashboard monitoring dan dapat diakses melalui web aplikasi dengan domain <https://iotee.com>. Selama pelaksanaan pemasangan tim dari kelompok tani Mekar Jaya Satu juga turut berpartisipasi dalam pemasangan.



Gambar 5. Sistem hardware smart greenhouse berbasis ESP32

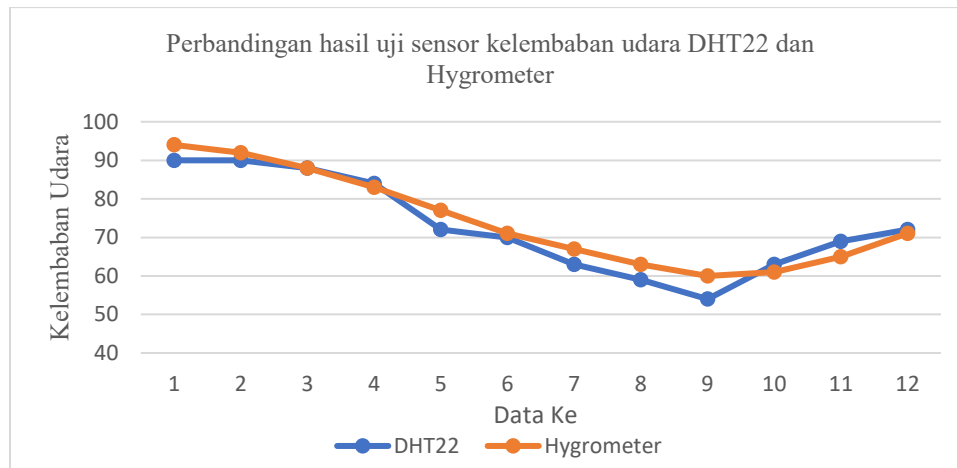
3.3. Pengujian Sistem

Untuk memastikan tingkat akurasi sensor dalam pengambilan data pada sistem smartgreenhouse dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian dilakukan sebanyak 12 kali dengan membandingkan data hasil pembacaan sistem smart greenhouse dengan alat ukur. Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian sensor suhu DHT22 dan Hygrometer, dimana hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor yang digunakan pada sistem smart greenhouse memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Pengujian sensor suhu DHT22 menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,31°C, yang menunjukkan bahwa perbedaan hasil pembacaan sensor dan alat ukur relative kecil.



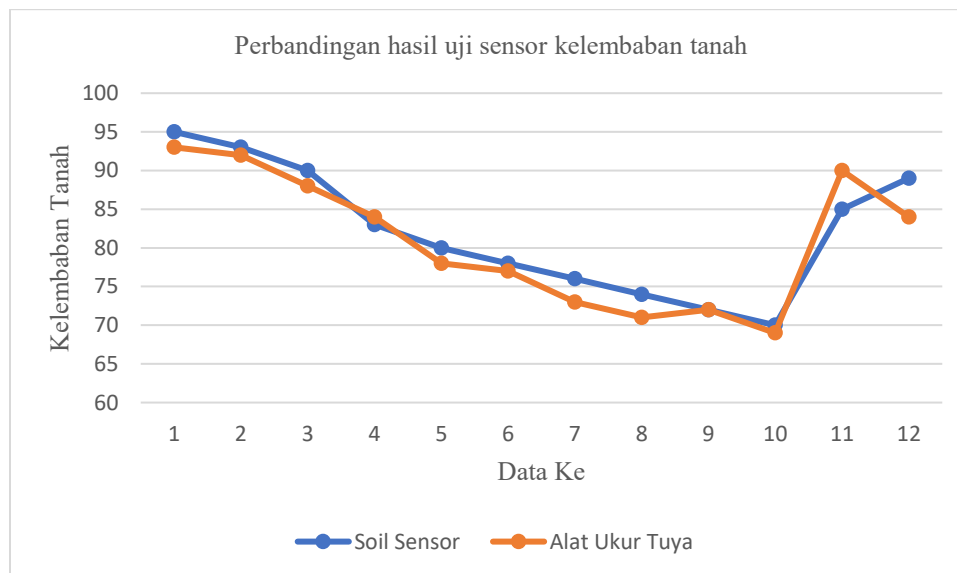
Gambar 6. Perbandingan hasil uji sensor suhu udara DHT22 dan Hygrometer

Selain suhu ruangan DHT22 juga mampu membaca kondisi kelembaban ruangan, dari hasil pengujian sensor yang ditunjukkan pada Gambar 7 terlihat bahwa sensor DHT22 memiliki akurasi yang sangat baik untuk membaca kelembaban ruangan. Dari hasil pengujian didapat nilai RMSE untuk kelembaban ruangan sebesar 3,71%RH, nilai error ini sangat kecil dan masih dapat diterima sebagai sistem monitoring kondisi ruangan greenhouse.



Gambar 7. Perbandingan hasil uji sensor kelembaban udara DHT22 dan Hygrometer

Sedangkan untuk mengukur kelembaban tanah pada sistem smart greenhouse digunakan sensor kelembaban tanah dari modul Arduino. Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian sensor kelembaban tanah, dimana pengujian ini dilakukan untuk memastikan kualitas sensor tersebut. Dari hasil pengujian didapat bahwa nilai RMSE relative rendah sebesar 2,41%.



Gambar 8. Perbandingan hasil uji sensor kelembaban tanah

Hasil RMSE pada setiap sensor tersebut mengindikasikan bahwa sensor mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban udara ataupun tanah yang mendekati kondisi sebenarnya sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian lingkungan greenhouse. Selain itu, Akurasi sensor kelembaban tanah menjadi faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap sistem penyiraman otomatis, sedangkan sensor kelembaban udara berperan dalam pengendalian ventilasi greenhouse. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi sensor pada sistem smart greenhouse mampu menghasilkan data lingkungan yang cukup akurat.

Pengujian metode fuzzy logic dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengendalikan exhaust fan berdasarkan kondisi suhu dan kelembaban udara yang terukur. Hasil pengujian pada lima skenario menunjukkan bahwa seluruh keluaran sistem sesuai dengan keluaran yang diharapkan sehingga tingkat keberhasilan pengujian mencapai 100%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa rule fuzzy yang dirancang mampu menerjemahkan perubahan

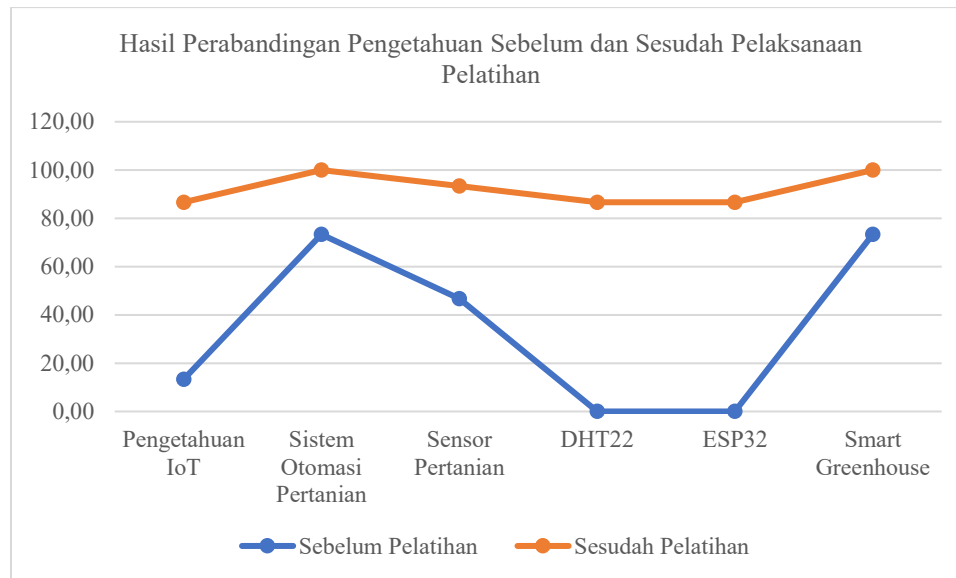
kondisi lingkungan menjadi keputusan pengendalian yang tepat, baik untuk menyalakan maupun mematikan exhaust fan. Dengan demikian, sistem dapat membantu menjaga kestabilan kondisi lingkungan greenhouse secara otomatis tanpa memerlukan intervensi operator secara terus-menerus, sehingga meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya tanaman. Berikut adalah tabel hasil uji sistem fuzzy logic pada smart greenhouse berbasis IoT.

Tabel 1. Hasil uji sistem fuzzy logic pada smart greenhouse berbasis IoT

No	Suhu (OC)	RH (%)	Output Diharapkan	Output Sistem	Status
1	33.7	55	OFF	OFF	Berhasil
2	25.6	85	OFF	OFF	Berhasil
3	28.5	75	ON	ON	Berhasil
4	33.8	60	ON	ON	Berhasil
5	32.6	85	ON	ON	Berhasil

3.4. Pelatihan Mitra

Pelatihan dan pendampingan pada kegiatan program pengabdian di Kelompok Tani Mekar Jaya Satu dilakukan dengan metode presentasi dan tutorial pelaksanaan perawatan sistem *smart greenhouse*. Adapun materi yang diberikan berupa pemahaman sistem IoT, smart greenhouse, sensor, serta pengoperasian sistem. Peserta yang mengikuti prosesi pelatihan berjumlah 15 orang dan merupakan anggota dari kelompok Mekar Jaya Satu yang memiliki rentang usia dari 28 hingga 52 tahun dengan rata-rata usia 40 tahun. Hasil dari pelaksanaan pelatihan menunjukkan bahwa materi yang diberikan mampu meningkatkan pemahaman peserta tentang teknologi. Gambar 9 menunjukkan hasil grafik perbandingan tentang pemahaman peserta terkait teknologi *smart greenhouse*. Sebelum pelatihan pemahaman peserta tentang teknologi smart green house relatif rendah terutama tentang teknologi sensor dan mikroprocessor ESP32 yang memperoleh nilai rata-rata 0%. Sedangkan pemahaman tentang IoT dan smartgreenhouse berada pada rentang 13-73%. Setelah dilakukan pelatihan, seluruh indikator penilaian mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Peningkatan terbesar terjadi pada materi sensor DHT22 dan sistem ESP32, dimana sebelum pelaksanaan pelatihan peserta belum memahaminya dan setelah pelatihan pemahaman peserta meningkat menjadi 87%. Selain itu, pemahaman tentang sistem otomasi pertanian dan smart greenhouse mencapai nilai tertinggi yaitu 100%. Hasil tersebut membuktikan bahwa kegiatan pelatihan dan transfer teknologi kepada anggota kelompok tani berjalan dengan baik dan mampu meningkatkan kapasitas pengetahuan setiap anggota. Peningkatan pengetahuan ini menjadi indikator penting keberhasilan program pengabdian karena kemampuan pengguna dalam memahami teknologi merupakan faktor utama yang mendukung keberlanjutan program pengabdian ini.



Gambar 9. Perbandingan hasil evaluasi pengetahuan sebelum dan sesudah pelatihan smart greenhouse berbasis IoT

4. KESIMPULAN

Program pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan di desa Sidorejo Kecamatan Jabung tepatnya kepada kelompok tani Mekar Jaya Satu berhasil dilaksanakan dengan baik. Sistem smart greenhouse berbasis IoT yang diterapkan pada greenhouse kelompok tani untuk memantau kondisi lingkungan secara real time dan menggunakan sensor suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah yang terintegrasi dengan web mampu berjalan dengan baik. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sensor yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai RMSE sebesar 0,31°C untuk suhu udara, 3,71%RH untuk kelembaban udara, dan 2,41% untuk kelembaban tanah.. Selain itu sistem *fuzzy logic* juga yang diterapkan untuk mengendalikan exhaust fan juga bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Pada kegiatan pelatihan dan pendampingan juga berhasil meningkatkan pemahaman peserta terhadap teknologi smart greenhouse, IoT, dan sistem otomasi pertanian. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh indikator pengetahuan mengalami peningkatan setelah pelaksanaan pelatihan dengan capaian sebesar 87% - 100%. Peningkatan kompetensi tersebut menunjukkan bahwa proses transfer teknologi berjalan dengan efektif dan mampu mendukung keberlanjutan program oleh mitra. Dari hasil tersebut, pelaksanaan program pengabdian tidak hanya berhasil meningkatkan fasilitas greenhouse tetapi juga mampu meningkatkan kapasitas sumber daya manusia khususnya anggota kelompok tani Mekar Jaya Satu. Meskipun demikian pengelolaan hasil panen masih menjadi tantangan bagi kelompok tani.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Malang atas pembiayaan program pengabdian kepada masyarakat melalui program pengabdian internal nomor E.2.a/276.10/RPK/ UMM/2025. Selain itu tidak lupa tim juga berterima kasih kepada Mitra yang senantiasa memberikan informasi dan data yang tim perlukan selama melakukan kegiatan pengabdian ini. Terakhir kepada berbagai pihak yang membantu kami dalam proses kegiatan pengabdian berlangsung baik itu Mahasiswa maupun teman-teman Dosen banyak terima kasih tim ucapkan.

6. REFERENSI

- Balasundram, S. K., Shamshiri, R. R., Sridhara, S., & Rizan, N. (2023). The Role of Digital Agriculture in Mitigating Climate Change and Ensuring Food Security: An Overview. *Sustainability*, 15(6), 5325. <https://doi.org/10.3390/su15065325>
- Balyan, S., Jangir, H., Tripathi, S. N., Tripathi, A., Jhang, T., & Pandey, P. (2024). Seeding a Sustainable Future: Navigating the Digital Horizon of Smart Agriculture. *Sustainability*, 16(2), 475. <https://doi.org/10.3390/su16020475>
- Bhushanamu, M. M. B. N. (2025). IOT Based Greenhouse Monitoring and Control System. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 09(04), 1–9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM46037>
- Cahyadi, B. N., Pakaya, I., & Ismail, A. S. (2025). PERANCANGAN SISTEM SMART GREENHOUSE BERBASIS IOT UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS SAYURAN DI BUMDes SIDOREJO MANDIRI, KECAMATAN JABUNG. *JURNAL APLIKASI DAN INOVASI IPTEKS "SOLIDITAS" (J-SOLID)*, 8(2), 166–177. <https://doi.org/10.31328/js.v8i2.7442>
- Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Vega, R., & Silva, G. C. (2024). Transformative Technologies in Digital Agriculture: Leveraging Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Smart Crop Management. *Journal of Sensor and Actuator Networks 2024*, Vol. 13, Page 39, 13(4), 39. <https://doi.org/10.3390/JSAN13040039>
- Hadi Nugroho, I., Puji Permana Aji, M., Helilintar, R., Proudly Sujianto, B., & Aulia Firdaus, S. (2025). Greenhouse Hidroponik IoT: Penguatan Kelompok Tani Modern Desa Karangrejo Wujudkan Ketahanan Pangan Mendukung Asta Cita. *Jurnal Dharma Bhakti Ekuitas*, 10(1), 46–61. <https://doi.org/10.52250/dbc.v10i1.1053>
- Hashim, N. B. M., Omar, N., Wan Ariffin, W. N. S. F., Zakaria, H. L., Hamzah, A. F., Azeme, S. N. A., Abeng, M. Q., & Alias, N. A. S. (2025). Smart Greenhouse with IoT-Driven Roof Automation and Real-Time Plant Health Monitoring for Gardening. *2025 9th International Conference on Man-Machine Systems (ICoMMS)*, 442–446. <https://doi.org/10.1109/ICoMMS66553.2025.11200232>
- Huang, X., Tian, J., Xiang, Z., & Chen, Z. (2025). Design of Multi Sensor Smart Agricultural Greenhouse Environment Monitoring System Based on Raspberry Pi. *2025 7th International Conference on Internet of Things, Automation and Artificial Intelligence (IoTAAI)*, 108–113. <https://doi.org/10.1109/IoTAAI66837.2025.11213342>
- Rahul, S. G., Rajkumar, R., Abburi, R. S. K., Reddy, B. T., Raja, C., & Teja, K. P. (2024). Condition Monitoring of Greenhouse Farming for Controlled Environment. *2024 3rd International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICONAT61936.2024.10775257>
- Sirisanwannakul, K., Siripool, N., Suzuki, K., Kongprawechnon, W., & Karnjana, J. (2023). Detection and Correction of Defective Relative Humidity Data Collected from the Greenhouse Environment Using Nested Kalman Filters with Standard Deviation Analysis. *2023 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, 1343–1348. <https://doi.org/10.1109/APSIPAASC58517.2023.10317478>
- Soh, Z. H. C., Pandi, M. S. M., Saod, A. H. M., Ramlan, S. A., Harron, N. A., & Abdullah, M. H. (2023). Greenhouse Monitoring System for Chili Plant via IoT Cloud on Ubidots Platform. *2023 10th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 175–180. <https://doi.org/10.1109/FiCloud58648.2023.00033>
- Vishakha Tomar, & Nishtha Saroha. (2024). IoT-Enabled Smart Greenhouse: Real-Time Monitoring and Automated Control for Efficient Agriculture. *International Journal of Research and Review in Applied Science, Humanities, and Technology*, 24–31. <https://doi.org/10.71143/48257x69>

-
- Wang, S., Yang, Y., Yin, H., Zhao, J., Wang, T., Yang, X., Ren, J., & Yin, C. (2025). Towards Digital Transformation of Agriculture for Sustainable Development in China: Experience and Lessons Learned. *Sustainability*, 17(8), 3756. <https://doi.org/10.3390/su17083756>
- Wardani, I. K., Ichniarsyah, A. N., Telaumbanua, M., Priyonggo, B., Fil'aini, R., Mufidah, Z., & Dewangga, D. A. (2023). The feasibility study: Accuracy and precision of DHT 22 in measuring the temperature and humidity in the greenhouse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012146. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012146>
- Zhong, X., Qiao, R., & Wang, X. (2024). An Innovative IoT-Based Intelligent Control System for Agricultural Greenhouses. *International Journal of Mechanical and Electrical Engineering*, 2(3), 85–90. <https://doi.org/10.62051/ijmee.v2n3.10>
- Zulkifli, M. H., Tukiran, M. I., Shafie, R., Hassan, N., & Ahmed, N. (2025). Development of an IoT-Enabled Automated Greenhouse with Real-Time Monitoring and Control. *2025 IEEE 8th International Conference on Electrical, Electronics, and System Engineering (ICEESE)*, 150–154. <https://doi.org/10.1109/ICEESE66784.2025.11212680>