

PENGEMBANGAN SISTEM IRIGASI CERDAS PADA *GREEN HOUSE* MELALUI APLIKASI *MOBILE* BERBASIS IOT

Lailatul Qodriyah¹, Miftahul Walid¹, Fathorrozi Ariyanto¹

¹Teknik Informatika, Teknik, Universitas Islam Madura

¹l.qodriyah1727@gmail.com, ²miftahwalid@gmail.com, ³fathorroziariyanto7@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem irigasi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengatur distribusi air secara otomatis berdasarkan data lingkungan yang diperoleh dari sensor. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air di rumah kaca, dengan memanfaatkan sensor kelembaban tanah, suhu, intensitas cahaya, dan aliran air yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data yang terkumpul dikirim secara *real-time* ke platform ThingSpeak untuk dianalisis dan dipresentasikan melalui aplikasi seluler, sehingga dapat dilakukan pemantauan dari aplikasi oleh pengguna. Hasil pengujian menunjukkan suhu rata-rata 28,22°C, kelembaban udara 72,97%, kelembaban tanah 66,55, intensitas cahaya 31,17, dan laju aliran air 57,62 L/menit. Sistem dapat mengaktifkan pompa otomatis ketika kelembaban tanah kurang dari 50 persen dan mematikannya pada sekitar 80 persen. Ini memungkinkan distribusi air yang lebih efektif dan pertumbuhan tanaman yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengoptimalkan penggunaan air dan mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan pendekatan berbasis IoT yang adaptif dan responsif, penelitian ini tidak hanya menawarkan efisiensi teknis, tetapi juga mendukung praktik pertanian presisi yang ramah lingkungan dan berorientasi pada keberlanjutan untuk kepentingan manusia dan ekosistem secara keseluruhan.

Kata kunci: Irigasi Cerdas, *Internet of Things*, *Green house*, Sensor, Efisiensi Air

ABSTRACT

This research aims to develop an *Internet of Things* (IoT)-based smart irrigation system that can automatically regulate water distribution based on environmental data obtained from sensors. This system is designed to enhance water use efficiency in greenhouses by utilizing soil moisture, temperature, light intensity, and water flow sensors, all integrated with an ESP32 microcontroller. The collected data is sent in *real-time* to the ThingSpeak platform for analysis and presentation via a mobile application, allowing users to monitor the system from the application. Test results showed an average temperature of 28.22°C, air humidity of 72.97%, soil moisture of 66.55%, light intensity of 31.17, and water flow rate of 57.62 L/minute. The system can activate the automatic pump when soil moisture is less than 50 percent and turn it off at around 80 percent. This enables more effective water distribution and optimal plant growth. The research results show that this system can optimize water use and support plant growth. With an adaptive and responsive IoT-based approach, this research not only offers technical efficiency but also supports environmentally friendly and sustainability-oriented precision farming practices for the benefit of humans and ecosystems as a whole.

Keywords: Smart Irrigation, *Internet of Things*, *Green house*, Sensors, Water Efficiency

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting yang berkontribusi terhadap ketahanan pangan dan perekonomian. Salah satu aspek penting dalam sektor pertanian adalah sistem irigasi. Sistem irigasi konvensional sering kali kurang efisien

karena bergantung pada pola manual, yang menyebabkan pemborosan air atau ketidaktepatan dalam pemberian air sesuai kebutuhan tanaman [1]. Sebaliknya, ketidakpastian cuaca dan keterbatasan teknologi memperburuk keadaan, terutama di

lingkungan green house yang sangat rentan terhadap tingkat kelembaban dan suhu. Di tengah kebutuhan akan efisiensi dan keberlanjutan sumber daya alam, diperlukan inovasi dalam sistem irigasi untuk mendukung praktik pertanian yang lebih modern [2]. Dalam konteks ini teknologi smart irrigation (Irigasi Cerdas) menjadi solusi inovatif untuk mengatasi tantangan efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan air di sektor pertanian [3].

Smart Irrigation (Irigasi Cerdas) dapat mengoptimalkan pengelolaan distribusi air secara otomatis berdasarkan kebutuhan spesifik tanaman. Dengan memanfaatkan teknologi ini, efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan, sementara hasil panen tetap optimal [4]. Sistem ini menggunakan data real-time dari sensor untuk menentukan kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan tanaman. Irigasi cerdas menciptakan pendekatan baru dalam manajemen air, menjadikannya solusi yang adaptif terhadap tantangan perubahan iklim dan semakin penting dalam pertanian modern. Salah satu teknologi utama yang mendukung irigasi cerdas adalah Internet of Things (IoT) [5].

Inovasi dalam Internet of Things (IoT) telah membawa perubahan besar dalam pengelolaan pertanian, terutama dalam mengoptimalkan irigasi melalui sistem cerdas yang terotomatisasi [6]. Konsep/skenario dimana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan. Teknologi IoT membantu monitoring real-time terhadap kondisi lingkungan di green house, seperti kelembaban tanah, suhu, dan tingkat cahaya, yang dapat diakses melalui aplikasi mobile. Hal ini memberikan fleksibilitas kepada petani untuk mengontrol sistem irigasi secara jarak jauh, mengoptimalkan penggunaan air, serta mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja manual. Penggunaan sistem berbasis IoT pada green house menawarkan beberapa keuntungan signifikan, seperti kemampuan untuk mengatur irigasi secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan tanaman [5]. Selain itu, integrasi IoT dengan aplikasi mobile menyediakan antarmuka yang mudah digunakan untuk memonitor dan mengontrol parameter penting seperti kelembaban tanah [7].

Sejumlah penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Mohammad Zuhakimi Muhammad Noor (2021) juga meneliti penggunaan sensor suhu, kelembaban tanah dan konsumsi daya untuk memantau secara otomatis tanaman menggunakan sistem IoT dan ditampilkan menggunakan aplikasi MIT App Inventor [8]. Chrysanthos Maraveas (2021) fokus pada manfaat teknologi IoT dalam mengatasi tantangan yang dihadapi oleh sektor pertanian, seperti perubahan iklim dan cuaca ekstrem, dengan cara mengoptimalkan parameter kritis seperti suhu dan kelembaban [7]. Selain itu, pada penelitian oleh Uray Ristian (2022) sistem kendali otomatis iklim greenhouse dimana perangkat-perangkat yang terhubung ke internet dapat mengirimkan data dan bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan dan bisa di akses melalui web browser atau perangkat mobile dengan google firebase sebagai database[6]. Pada penelitian, Thea Gavril Tambahani (2023) menghasilkan sistem irigasi pada tanaman bunga krisan diatur dan dipantau secara otomatis berdasarkan perubahan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya di dalam rumah kaca melalui website [9]. Penelitian lain oleh Ali Abrar (2023) menghasilkan bawa alat pengontrol irigasi berbasis Internet of Things dapat mempermudah petani mengontrol sistem irigasi dari jarak jauh tanpa harus datang ke lokasi melalui smartphone [3]. Penelitian oleh Rushikesh R. Futane et al (2024) menekankan pada pengumpulan data real-time mengenai kondisi lingkungan dan tanaman, seperti kelembaban, suhu, dan intensitas Cahaya dimana data ini dapat melakukan pengambilan keputusan yang lebih baik dan responsif terhadap kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian [10]. Dipenelitian selanjutnya oleh Vijendra Kumar (2024) memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana IoT dapat mengubah cara pertanian dilakukan, meningkatkan keberlanjutan, dan membantu memenuhi kebutuhan pangan global yang terus meningkat [11].

Dari beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem irigasi cerdas berbasis IoT untuk mentimun yang dapat secara otomatis menyesuaikan irigasi berdasarkan data yang

dikumpulkan dari sensor lingkungan. Sistem ini juga dapat diintegrasikan dengan aplikasi mobile untuk mempermudah pemantauan oleh petani [8]. Selain itu, sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things menawarkan solusi yang tidak hanya menghemat air tetapi juga ramah lingkungan, sesuai dengan tren pertanian yang lebih berkelanjutan [10].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan sistem dengan model prototype untuk merancang dan mengimplementasikan sistem irigasi cerdas pada Greenhouse berbasis Internet Of Things (IoT) melalui aplikasi mobile sebagai antarmuka pemantauan [12].

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir akan berlangsung selama beberapa bulan dan dimulai pada bulan Maret – Juni 2025. Tempat penelitian dilakukan di lingkungan Universitas Islam Madura.

2.2. Alat dan Bahan

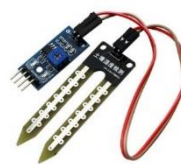
Penelitian ini menggunakan greenhouse dengan mentimun sebagai objek penelitian. Timun (*Cucumis sativus* L.) merupakan salah satu jenis sayuran yang termasuk ke dalam kelompok famili labu-labuan (*Cucurbitaceae*) seperti semangka, melon, dan labu. Suhu yang sangat sesuai untuk pertumbuhan tanaman timun sekitar $21,1^{\circ}$ – $26,7^{\circ}$ dan kelembapan yang dibutuhkan tanaman mentimun untuk pertumbuhan antara 50-80% [13]. Timun memiliki banyak kegunaan selain sebagai bahan makanan seperti untuk terapi berbagai macam penyakit dan keperluan kosmetika, sehingga sangat menguntungkan apabila dibudidayakan. Didalam *Greenhouse* dengan berbagai jenis mikrokontroler seperti ESP32 (Gambar 1), DHT11 (Gambar 2), *Soil Moisture* (Gambar 3), Sensor Cahaya (Gambar 4), Waterflow (Gambar 5), termasuk komponen pendukung relay (Gambar 6), pompa air (Gambar 7) dan adaptor5v (Gambar 8).



Gambar 1. ESP32



Gambar 2. DHT11



Gambar 3. Soil Moisture



Gambar 4. Sensor Cahaya



Gambar 5. Waterflow



Gambar 6. Relay



Gambar 7. Adaptor5v



Gambar 8. Pompa air

Selain alat diatas yang dibutuhkan, terdapat pula perangkat lunak yang dibutuhkan dalam pemrograman aplikasi untuk system cerdas pada *greenhouse* seperti Thingspeak (Gambar 9), ArduinoIDE (Gambar 10), dan juga Visual Studio Code (Gambar 11).



Gambar 9. Thingspeak



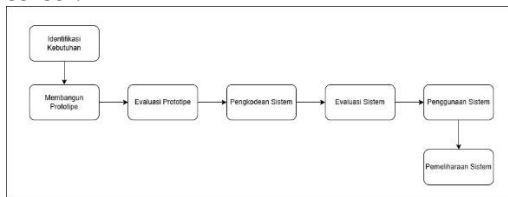
Gambar 10.
ArduinoIDE



Gambar 11. Visual Studio
Code

2.3. Metode Perancangan

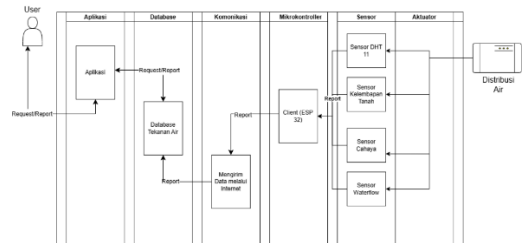
Pada penelitian ini rancangan system yang akan akan dibuat untuk mengoptimalkan proses irigasi pada rumah kaca dengan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT), mikrokontroler ESP32, dan berbagai sensor.



Gambar 12. Metode Perancangan

Pada gambar 12. Menjelaskan metode perancangan dimulai dengan tahap identifikasi kebutuhan alat dan bahan yang diperlukan. Tahap selanjutnya adalah membuat prototipe setelah kebutuhan terpenuhi, setelah prototipe selesai dilakukanlah evaluasi untuk menyempurnakan prototipe yang sebelumnya dibangun. Jika evaluasi sudah dilaksanakan dilakukan tahap selanjutnya yakni pengkodean system di mana sistem yang sebenarnya mulai dikembangkan dilanjutkan dengan evaluasi system untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai kebutuhan. Jika sistem dinilai sudah sesuai, tahap berikutnya adalah penggunaan system dan dilanjutkan dengan proses akhir pemeliharaan system.

Pada gambar 13. dijelaskan tentang pemantauan distribusi air pada system irigasi cerdas pada *green house*. Pengguna menggunakan aplikasi untuk mengirim permintaan atau menerima laporan. Semua sensor membaca data tekanan air, yang kemudian disimpan di database dan dikirim ke mikrokontroler melalui internet. Mikrokontroler memproses data tersebut untuk mengontrol aktuator dalam mendistribusikan air secara real-time, memastikan pemantauan dan pengelolaan yang efisien.



Gambar 13. Diagram Alir Sistem Pemantauan
Distribusi Air

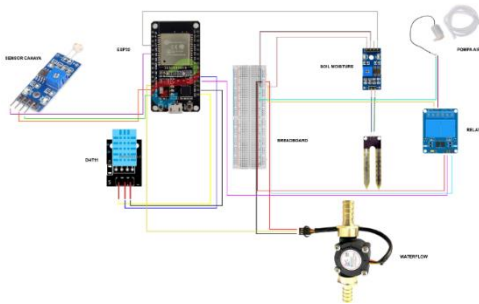
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Smart Greenhouse ini dirancang seperti layaknya *Greenhouse* pada umumnya, dimana berbagai jenis tanaman dapat ditanam di dalamnya. Struktur *greenhouse* ini menggunakan bahan yang transparan, seperti kaca atau plastik, yang memungkinkan cahaya matahari masuk ke dalamnya [14]. *Greenhouse* yang digunakan dalam penelitian ini telah dimodifikasi dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan *greenhouse* pada umumnya. Namun, *greenhouse* ini masih dilengkapi dengan berbagai peralatan yang mendukung sistem *smart greenhouse*, sehingga fungsinya tetap optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara efisien.

Rancangan rangkaian alat yang akan di pasang didalam *greenhouse* pada Gambar. 14 terdiri dari berbagai macam sensor, mikrokontroller dan komponen elektronik untuk mendukung berjalannya prototype yang akan dibuat. Sensor yang terdiri dari sensor suhu, kelembapan tanah, sensor cahaya, sensor aliran air, mikrokontrol esp32 dan juga komponen elektronik pendukung lainnya seperti relay, pompa dan juga beardboard untuk merakit rangkaian elektronik. Sensor yang dipasang juga memiliki spesifikasi [15] pada Tabel 1. yang menunjang proyek penyiraman yang akan dibuat. Dari rancangan yang ada Gambar 15. menunjukkan alat yang sudah dipasang sesuai fungsinya sebagai prototipe dari rancangan rangkaian alat yang akan dibuat.

Sistem irigasi cerdas yang dikembangkan menggunakan ThingSpeak sebagai platform cloud untuk menyimpan dan mengelola data yang diperoleh dari sensor. Setelah beberapa sensor terhubung ke ESP32, tren perubahan data dikirimkan secara instan ke ThingSpeak melalui koneksi WiFi. Dapat di lihat pada

Thingspeak seperti pada Gambar 16 tren perubahan data lingkungan yang dikirim akan tercatat dan tampil sesuai data lingkungan yang dibaca sensor. Misalnya pada data kelembapan tanah Gambar 16. yang digunakan sebagai acuan hidup dan matinya pompa air. Setiap sensor membaca data lingkungan secara *realtime*.



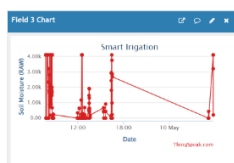
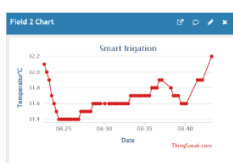
Gambar 14. Rangkaian Alat



Gambar 15. Prototype

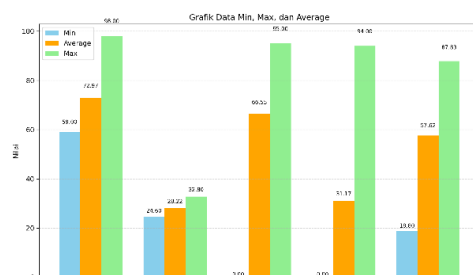
Table 1. Spesifikasi Sensor

Sensor	Item 1		
	Jangkauan	Akurasi	Resolusi
Soil Moisture	0 ~ 100%	±3%	0.1%
Suhu dan Kelembapan	20% ~ 95%	±2°C	1°C
Light Sensor	0% ~ 100%	±5% RH	1% RH
Module		±20%	0.1%
Water Flow Sensor	35% ~80%	10%	0.13 L



Gambar 16. Chart Sensor di Thingspeak

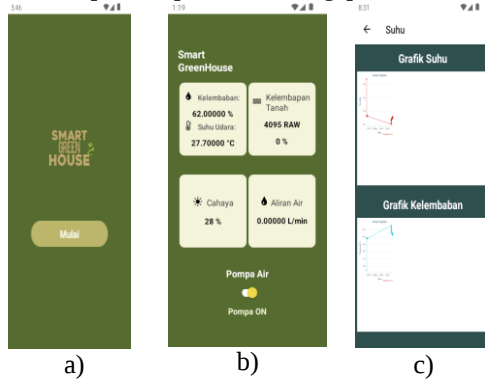
Setelah data sensor dikirim dan ditampilkan secara realtime pada platform ThingSpeak, data tersebut diekspor dalam format CSV dan dianalisis menggunakan Microsoft Excel. Analisis ini dilakukan dengan tujuan meningkatkan pemahaman kita tentang perubahan yang terjadi pada setiap parameter lingkungan. Grafik komparatif nilai minimum, maksimum, dan rata-rata dari lima parameter sensor yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 17. Berdasarkan grafik tersebut, kelembapan udara memiliki nilai minimum sebesar 59%, nilai maksimum sebesar 98%, dan nilai rata-rata sebesar 72,97%. Suhu parameter berkisar dari 24,6°C hingga 32,8°C, dengan nilai rata-rata 28,22°C, menunjukkan bahwa variasi suhu lingkungan masih berada di batas ideal untuk tanaman. Kelembaban tanah berkisar dari 0 hingga 95 (satuan analog), dengan rata-rata 66,55, menunjukkan variasi besar selama periode pengamatan. Selain itu, intensitas cahaya (Brightness) juga menunjukkan variasi dari 0 hingga 94 dengan rata-rata 31,17, yang menunjukkan perubahan dari gelap ke terang dalam pencahayaan lingkungan. Terakhir, laju aliran air, atau laju aliran air, berkisar antara 18,8 dan 87,83 liter per menit dengan rata-rata 57,62, menunjukkan bahwa pompa air aktif sesuai dengan kebutuhan irigasi selama periode waktu tertentu.



Gambar 17. Grafik nilai minimum, maksimum, dan rata-rata sensor

Untuk memudahkan lagi pengguna untuk memantau hasil data dari sensor juga dibuatkan antarmuka aplikasi berbasis android seperti pada Gambar 18. Halaman awal dari antarmuka aplikasi Gambar 18a. Dari Gambar. 18a pengguna langsung mulai dan diarahkan ke Gambar. 18b Dashboard. Di dashboard

pengguna bisa memantau hasil data sensor dalam bentuk angka untuk mempermudah pembacaan oleh pengguna. Selain itu pada aplikasi pengguna juga dapat melihat tren perubahan seperti pada Gambar 18c berupa chart seperti di platform Thingspeak.



Gambar 18. (a) Tampilan Awal aplikasi; (b) Dashboard aplikasi; (c) Chart Data Sensor

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things yang dapat secara otomatis merespon kondisi lingkungan dalam greenhouse dengan bantuan sensor yang terintegrasi dengan ESP32. Berdasarkan hasil pengujian system mampu membaca suhu, kelembapan tanah, intensitas Cahaya, dan aliran air secara *real time*. Data yang berhasil dibaca oleh sensor dikirimkan ke ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman oleh pompa.

Sistem berhasil menjalankan otomatisasi irigasi berdasarkan ambang batas (threshold) tertentu pada kelembapan tanah. Ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas minimum (misalnya <50) pompa air menyala secara otomatis, dan akan mati ketika kondisi kelembapan tanah mencapai batas optimal (sekitar 80%). Hal ini menunjukkan bahwa sistem sudah mencapai tujuan utama yakni mengatur distribusi air secara otomatis terhadap kebutuhan tanaman mentimun yang digunakan dalam pengujian. Keunggulan system ini terlihat dari integritas antara pengukuran sensor, pemrosesan logika otomatis pada ESP32 dan juga visualisasi data melalui aplikasi *mobile*. Fitur pemantauan berbasis aplikasi android menampilkan pembacaan sensor secara numerik sehingga memudahkan pengguna melihat status

lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap kontrol manual.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya selain pada penggunaan Thingspeak sebagai database yang memiliki keunggulan dan visualisasi tren data *real-time*, system ini berjalan otomatis penuh tanpa harus memilih mode terlebih dahulu seperti pada penelitian sebelumnya untuk membaca data lingkungan dan memicu pompa secara *real time* sehingga system lebih praktis. Dibandingkan sistem irigasi konvensional, system ini menunjukkan efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi karena hanya menyiram saat diperlukan dan menghindari kelebihan air yang sering terjadi pada system manual. Hal ini tidak hanya menghemat air tetapi juga mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

Namun, system ini memiliki keterbatasan yakni ketergantungan terhadap koneksi internet dan pengambilan keputusan berdasarkan threshold sederhana tidak menggunakan metode yang lebih fleksibel, seperti logika fuzzy atau pembelajaran mesin. Dengan demikian sistem irigasi cerdas menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam pengelolaan air berbasis *Internet of Things*.

4. KESIMPULAN

Sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dikembangkan dan mampu mengatur distribusi air secara otomatis berdasarkan data lingkungan dari sensor kelembapan tanah. Selain itu system juga dapat monitoring data lingkungan dengan sensor suhu dan kelembapan udara, intensitas Cahaya dan aliran air. Sistem ini terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan platform Thingspeak sebagai database untuk pemantauan *real-time*, serta aplikasi mobile sebagai antarmuka pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa system mampu melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan kondisi tanah, system juga mampu menjaga kelembapan tanah dalam rentang optimal secara otomatis. Selain itu, system bisa memudahkan pengelolaan pertanian di *green house* secara efisien dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, sistem ini tidak hanya memenuhi kebutuhan akan otomatisasi irigasi berbasis data, tetapi juga menawarkan solusi teknologi yang hemat sumber daya dan adaptif

terhadap perubahan lingkungan. Pengembangan di masa mendatang dapat mencakup pengujian berbagai jenis tanaman, penggabungan algoritma pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy atau machine learning untuk meningkatkan presisi irigasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya dengan penuh rasa syukur mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah membantu dalam penelitian dan pengembangan sistem *Smart Green house* ini. Saya juga berterima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan saran berharga selama proses penelitian ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada teman-teman dan keluarga saya yang terus mendorong saya untuk menyelesaikan penelitian ini.

Semoga pengembangan penelitian ini dapat membantu kemajuan teknologi pertanian berbasis *Internet of Things*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Obaideen *et al.*, "An overview of smart irrigation systems using IoT," *Energy Nexus*, vol. 7, no. January, p. 100124, 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100124.
- [2] G. Chataut, B. Bhatta, D. Joshi, K. Subedi, and K. Kafle, "Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review," *J. Agric. Food Res.*, vol. 11, no. February, p. 100533, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100533.
- [3] A. Abrar and T. Tukino, "Pengembangan Sistem Pengontrolan Irigasi Cerdas dengan Teknologi Internet of Things (IoT)," *Pros. Semin. Nas. Ilmu Sos. dan Teknol.*, vol. 5, no. September, pp. 286–293, 2023, doi: 10.33884/psnistek.v5i.8096.
- [4] N. Divya, E. A. Das, R. H. Prasath, R. Janani, B. Kaviya, and K. Lakshmi, "IoT Based Smart Irrigation System," *2022 1st Int. Conf. Comput. Power Commun. ICCPC 2022 - Proc.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–11, 2022, doi: 10.1109/ICCPC55978.2022.10072254.
- [5] N. Singh, A. K. Sharma, I. Sarkar, S. Prabhu, and K. Chadaga, "IoT-based greenhouse technologies for enhanced crop production: a comprehensive study of monitoring, control, and communication techniques," *Syst. Sci. Control Eng.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.1080/21642583.2024.2306825.
- [6] U. Ristian, I. Ruslianto, and K. Sari, "Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 8, no. 1, p. 87, 2022, doi: 10.26418/jp.v8i1.52770.
- [7] C. Maraveas and T. Bartzanas, "Application of Internet of Things (IoT) for Optimized Greenhouse Environments," *AgriEngineering*, vol. 3, no. 4, pp. 954–970, 2021, doi: 10.3390/agriengineering3040060.
- [8] M. Zulkakimi *et al.*, "Analisis Kinerja Sistem Rumah Kaca Pintar Berbasis IoT," vol. 4, no. 2, 2021.
- [9] T. G. Tambahani, M. E. I. Najoran, and A. M. Rumagit, "Aplikasi Pengendalian Rumah kaca untuk tanaman Bunga Krisan Berbasis Internet of Things," 2023, [Online]. Available: <http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/4378>
- [10] R. Futane *et al.*, "INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED INNOVATIVE TECHNOLOGY IN IoT Based Green House Monitoring System," vol. 9, no. 3, pp. 122–125, 2024, doi: 10.5281/zenodo.12177420.
- [11] V. Kumar, K. V. Sharma, N. Kedam, A. Patel, T. R. Kate, and U. Rathnayake, "A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies," *Smart Agric. Technol.*, vol. 8, no. May, p. 100487, 2024, doi: 10.1016/j.sat.2024.100487.

-
- 10.1016/j.atech.2024.100487.
- [12] F. Maulana, "Jurnal Informatika : Jurnal pengembangan IT Sistem Smart Home untuk Deteksi Potensi Kebakaran Berbasis Internet of Things dengan Notifikasi WhatsApp," vol. 10, no. 1, pp. 246–256, 2025, doi: 10.30591/jpit.v9ix.xxx.
- [13] P. Pembangunan, P. Manokwari, D. Perkasa, J. Agroteknologi, F. Pertanian, and U. S. Karawang, "Identifikasi dan Analisis Tingkat Keparahan Penyakit pada Tanaman Timun Menggunakan Software Plantix di Desa Cipetir Kecamatan Kadudampit Kabupaten Sukabumi," no. September, pp. 691–699, 2024.
- [14] M. Z. M. Noor and R. A. Ramlee, "Performances Analysis of IoT Based Smart Greenhouse System," *Int. J. Electr. Eng. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2021.
- [15] Li-Wei Liu, Mohd Hasmadi Ismail, Yu-Min Wang, and Wen-Shin Lin, "Internet of Things based Smart Irrigation Control System for Paddy Field," *Agrivita*, vol. 43, no. 2, pp. 367–377, 2021.