



Perancangan Miniatur Smart Greenhouse untuk Sistem Penyiraman dan Monitoring Tanaman Secara Otomatis

Jesetua Natanael Simorangkir¹ Eka Dodi Suryanto² Dian Putra Saragi

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jl. Willian Iskandar Ps. V, Medan Estate, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia, 20221.

jesetuasimorangkir@gmail.com

Abstract. *The advancement of technology in the agricultural sector has spurred the implementation of automation systems to optimize efficiency and productivity through the Internet of Things (IoT) concept. This study aims to design and implement an integrated ESP32 microcontroller-based Smart Greenhouse system for real-time monitoring and control of environmental parameters. The system architecture integrates a series of sensors including soil moisture, temperature, light intensity, and motion sensors, supported by an LCD as a local interface and the Blynk application for remote monitoring. The methodology used is an experimental system engineering design approach that includes the design, implementation, and performance testing phases. The test results show that the system is capable of accurately acquiring environmental data and disseminating information synchronously through local and cloud platforms. In addition, the automatic control mechanism is proven effective in activating water pump actuators based on fluctuations in soil moisture parameters with a short response time. These findings confirm that the implementation of an IoT-based Smart Greenhouse system can improve the efficiency of crop management through watering automation and remote monitoring. This research has the potential to be developed on an industrial scale with optimization of sensor precision and network connectivity stability.*

Keywords: *Blynk IoT, ESP32, Internet of Things, Environmental Sensor, Smart Greenhouse*

Abstrak. Eskalasi teknologi di sektor agrikultur telah memacu implementasi sistem otomasi guna mengoptimalkan efisiensi dan produktivitas melalui konsep Internet of Things (IoT). Penelitian ini bertujuan untuk merancang serta mengimplementasikan sistem Smart Greenhouse berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi untuk pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan secara real-time. Arsitektur sistem mengintegrasikan rangkaian sensor yang meliputi sensor kelembapan tanah, suhu, intensitas cahaya, dan sensor gerak, dengan dukungan LCD sebagai antarmuka lokal serta aplikasi Blynk untuk monitoring jarak jauh. Metodologi yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan rekayasa sistem (engineering design) yang mencakup fase perancangan, implementasi, hingga pengujian performa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi data lingkungan secara akurat dan mendiseminasikan informasi secara sinkron melalui platform lokal maupun cloud. Selain itu, mekanisme kontrol otomatis terbukti efektif dalam mengaktifasi aktuator pompa air berdasarkan fluktuasi parameter kelembapan tanah dengan waktu respons yang singkat. Temuan ini mengonfirmasi bahwa penerapan sistem Smart Greenhouse berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi tata kelola tanaman melalui otomasi penyiraman dan pemantauan jarak jauh. Penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan pada skala industri dengan optimasi pada presisi sensor dan stabilitas konektivitas jaringan.

Kata kunci: Blynk IoT, ESP32, Internet of Things, Sensor Lingkungan, Smart Greenhouse

LATAR BELAKANG

Peningkatan kebutuhan akan efisiensi dan produktivitas di sektor pertanian mendorong perkembangan teknologi otomasi berbasis Internet of Things (IoT). Implementasi IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan

secara real-time, sehingga meminimalisir intervensi manual dalam pengelolaan tanaman. Meskipun metode budidaya greenhouse dirancang untuk mengoptimalkan kondisi lingkungan, praktik konvensional masih bergantung pada pengawasan manual yang rentan terhadap inefisiensi dan kesalahan pengambilan keputusan akibat dinamika lingkungan yang fluktuatif.

Beberapa studi terdahulu telah mengusulkan sistem *greenhouse* otomatis berbasis mikrokontroler. Namun, kendala utama yang sering ditemukan meliputi keterbatasan integrasi data real-time, akses pemantauan jarak jauh yang belum optimal, serta rendahnya efisiensi pengelolaan sistem secara menyeluruh. Sebagai solusi, penggunaan mikrokontroler ESP32 menawarkan keunggulan melalui fitur WiFi terintegrasi yang mendukung komunikasi data pada ekosistem IoT secara lebih stabil.

Penelitian ini merancang sistem greenhouse otomatis dengan mengintegrasikan berbagai sensor presisi, seperti sensor kelembapan tanah, sensor suhu lingkungan, dan sensor cahaya BH1750. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan multi-sensor dalam satu sistem kontrol terpusat berbasis ESP32 yang terhubung dengan platform Blynk IoT. Data yang diperoleh tidak hanya ditampilkan secara lokal melalui media LCD, tetapi juga ditransmisikan ke aplikasi seluler untuk memungkinkan monitoring dan kontrol jarak jauh yang responsif.

Tujuan utama dari rancang bangun ini adalah menciptakan sistem kontrol yang mampu melakukan penyiraman otomatis berdasarkan ambang batas kelembapan tanah secara akurat. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan fleksibilitas pengelolaan greenhouse, sehingga produktivitas pertanian dapat ditingkatkan melalui pendekatan teknologi yang cerdas dan terintegrasi.

KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis dalam penelitian ini menguraikan konsep-konsep dasar yang mendasari perancangan sistem Smart Greenhouse serta meninjau hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan ilmiah.

Konsep utama yang digunakan adalah Internet of Things, yaitu suatu paradigma yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk

bertukar data secara real-time. Dalam konteks pertanian, IoT memungkinkan proses monitoring dan kontrol lingkungan dilakukan secara otomatis dan terintegrasi. Implementasi IoT pada greenhouse memberikan kemudahan dalam pengumpulan data lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya yang kemudian dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan.

Sistem Smart Greenhouse pada penelitian ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. ESP32 memiliki keunggulan berupa kemampuan komunikasi nirkabel (WiFi dan Bluetooth), konsumsi daya yang relatif rendah, serta kemampuan pemrosesan data yang cukup baik untuk aplikasi embedded system. Mikrokontroler ini berperan dalam mengolah data dari berbagai sensor dan mengirimkannya ke platform monitoring berbasis IoT.

Sensor merupakan komponen penting dalam sistem ini. Sensor kelembapan tanah digunakan untuk mendeteksi kadar air dalam tanah sebagai dasar pengendalian penyiraman. Sensor suhu digunakan untuk mengetahui kondisi temperatur lingkungan greenhouse, sedangkan sensor cahaya BH1750 digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diterima tanaman. Selain itu, sensor gerak (PIR) digunakan sebagai tambahan untuk mendeteksi aktivitas di sekitar greenhouse. Data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara lokal melalui LCD serta dikirimkan ke aplikasi berbasis IoT seperti Blynk IoT.

Secara teoritis, sistem kontrol otomatis dalam penelitian ini bekerja berdasarkan prinsip pengambilan keputusan berbasis ambang batas (threshold). Ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah batas tertentu, sistem akan mengaktifkan pompa air melalui modul relay. Sebaliknya, jika nilai kelembapan berada di atas batas, maka pompa akan dimatikan. Mekanisme ini termasuk dalam sistem kontrol sederhana berbasis logika kondisi (if-else) yang umum digunakan dalam sistem otomatisasi skala kecil.

Beberapa penelitian sebelumnya dalam lima tahun terakhir menunjukkan perkembangan signifikan dalam penerapan IoT pada sistem greenhouse. Penelitian oleh Kumar et al. (2021) mengembangkan sistem monitoring greenhouse berbasis IoT yang mampu mengirimkan data suhu dan kelembapan ke cloud secara real-time, namun belum mengintegrasikan sistem kontrol otomatis yang optimal. Selanjutnya, penelitian oleh Rahman dan Putra (2022) merancang sistem penyiraman otomatis berbasis sensor

kelembapan tanah, tetapi sistem tersebut masih terbatas pada kontrol lokal tanpa dukungan monitoring jarak jauh.

Penelitian lain oleh Sari et al. (2023) mengembangkan sistem Smart Greenhouse berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan beberapa sensor lingkungan serta aplikasi monitoring. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor dapat meningkatkan akurasi pemantauan kondisi tanaman, namun sistem masih memiliki keterbatasan dalam stabilitas komunikasi data. Selain itu, penelitian oleh Wijaya et al. (2024) mengintegrasikan sistem greenhouse dengan platform IoT untuk monitoring real-time menggunakan smartphone, tetapi belum mengoptimalkan tampilan lokal sebagai cadangan ketika koneksi internet terganggu.

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem greenhouse otomatis, namun masih terdapat celah penelitian dalam hal integrasi sistem yang lebih lengkap, yaitu penggabungan monitoring real-time, kontrol otomatis berbasis sensor, serta tampilan lokal dalam satu sistem yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan merancang sistem Smart Greenhouse berbasis ESP32 yang mampu mengintegrasikan berbagai sensor, sistem kontrol otomatis, serta monitoring lokal dan jarak jauh secara bersamaan.

Secara implisit, penelitian ini berangkat dari asumsi bahwa integrasi multi-sensor dengan sistem kontrol otomatis berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi dan keakuratan dalam pengelolaan greenhouse. Dengan demikian, kajian teoritis ini menjadi dasar dalam perancangan dan implementasi sistem yang diusulkan.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan pendekatan rekayasa sistem (engineering design) yang difokuskan pada perancangan, pengembangan, serta pengujian performa sistem Smart Greenhouse berbasis Internet of Things (IoT). Pusat kendali sistem mengandalkan mikrokontroler ESP32 yang mengintegrasikan komponen perangkat keras dan lunak untuk memastikan efektivitas pemrosesan data secara real-time. Populasi penelitian mencakup seluruh parameter biofisik lingkungan di dalam greenhouse, dengan pengambilan sampel berupa data fluktuasi kelembapan tanah,

suhu, dan intensitas cahaya yang diperoleh melalui observasi langsung. Instrumen penelitian terdiri dari rangkaian sensor presisi, meliputi sensor kelembapan tanah, sensor suhu, sensor cahaya BH1750, serta sensor Passive Infrared (PIR). Seluruh instrumen telah melalui uji fungsionalitas untuk menjamin stabilitas dan validitas data sebelum digunakan dalam tahap pengambilan data inti.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran otomatis oleh sensor yang hasilnya ditampilkan pada media LCD lokal serta ditransmisikan ke platform Blynk IoT sebagai antarmuka monitoring jarak jauh. Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan parameter hasil pembacaan sistem terhadap kondisi lingkungan aktual guna mengevaluasi akurasi dan kecepatan respons sistem dalam mengaktivasi aktuator. Model penelitian ini mengadopsi kerangka kerja Input-Process-Output (IPO), di mana data sensor bertindak sebagai input yang diolah oleh ESP32 melalui algoritma pengambilan keputusan berbasis ambang batas (threshold). Output yang dihasilkan mencakup diseminasi informasi pada aplikasi monitoring serta pengendalian otomatis pompa air melalui modul relay. Secara keseluruhan, pendekatan sistematis ini bertujuan untuk memvalidasi bahwa integrasi teknologi IoT dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan greenhouse melalui otomatisasi yang responsif terhadap dinamika lingkungan.

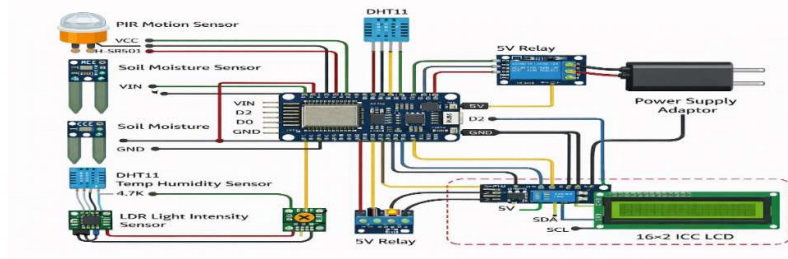
HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem Smart Greenhouse berbasis ESP32 telah melalui tahap pengujian performa pada skala purwarupa dalam lingkungan terkontrol. Evaluasi sistem difokuskan pada validasi fungsionalitas komponen input dan output serta stabilitas transmisi data melalui jaringan IoT. Data yang dihimpun selama periode pengujian mencakup fluktuasi parameter kelembapan tanah, temperatur lingkungan, dan intensitas cahaya, yang diambil secara berkala untuk merepresentasikan dinamika kondisi di dalam greenhouse.

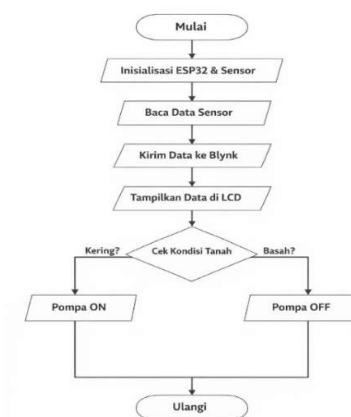
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor kelembapan tanah memiliki tingkat presisi yang optimal dalam mendeteksi gradien kadar air tanah. Mekanisme kendali otomatis berbasis ambang batas (threshold) terbukti bekerja sesuai dengan rancangan sistem; di mana saat sensor mendeteksi kondisi tanah kering di bawah batas referensi, mikrokontroler segera memberikan instruksi kepada modul relay untuk mengaktivasi

pompa air. Sebaliknya, sistem secara otomatis memutus aliran arus pada pompa saat parameter kelembapan telah melampaui ambang batas yang ditentukan. Hal ini mengonfirmasi bahwa logika kendali yang diterapkan mampu merespons perubahan kondisi tanah secara responsif dan akurat.

Selanjutnya, hasil pemantauan sensor suhu menunjukkan konsistensi data yang stabil terhadap fluktuasi termal lingkungan sekitar. Linearitas pembacaan juga ditunjukkan oleh sensor BH1750 dalam mengukur intensitas cahaya, di mana sensor mampu memberikan diferensiasi nilai yang signifikan antara kondisi pencahayaan rendah dan tinggi. Seluruh parameter data dari sensor-sensor tersebut berhasil diintegrasikan dan disinkronisasikan ke dalam dua media output, yaitu penampil LCD lokal dan antarmuka aplikasi Blynk IoT. Keberhasilan transmisi data secara real-time ke platform cloud menunjukkan bahwa arsitektur jaringan sistem memiliki keandalan yang baik untuk mendukung fungsi monitoring jarak jauh dalam pengelolaan pertanian cerdas. Berikut gambaran cara kerja sistem.



Gambar 4.1 Blok diagram sistem



Gambar 4.2 Flowchart sistem

Untuk memperjelas hasil pengujian, ringkasan data hasil pengamatan disajikan pada Tabel

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor dan Sistem Kontrol

Parameter	Kondisi	Nilai Sensor	Respon Sistem
Kelembapan tanah	Kering	< 2000	Pompa ON
Kelembapan tanah	Bahas	> 2000	Pompa OFF
Suhu	Normal	27–32 °C	Stabil
Intensitas cahaya	Terang	300–800 lux	Terdeteksi
Intensitas cahaya	Gelap	< 50 lux	Terdeteksi
Sensor gerak	Ada gerakan	1	Aktif
Sensor gerak	Tidak ada	0	Tidak aktif

Analisis terhadap data pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa sistem memiliki sensitivitas yang tinggi dalam merespons fluktuasi parameter lingkungan secara dinamis. Performa ini memvalidasi efektivitas arsitektur sistem kontrol otomatis yang mengadopsi prinsip input-process-output, di mana data mentah dari sensor diolah secara komputasional oleh mikrokontroler untuk menghasilkan aksi kontrol yang presisi. Dibandingkan dengan studi terdahulu yang cenderung memisahkan fungsi pemantauan dan pengendalian, penelitian ini menawarkan keunggulan pada aspek integrasi fungsional dalam satu platform berbasis ESP32. Keberadaan antarmuka LCD lokal juga memberikan nilai tambah berupa redundansi sistem, yang menjamin ketersediaan informasi parameter lingkungan bagi pengguna meskipun dalam kondisi tanpa konektivitas internet (offline).

Meskipun menunjukkan kinerja yang stabil, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan teknis yang perlu diperhatikan. Ketergantungan terhadap stabilitas jaringan internet tetap menjadi variabel krusial untuk keberlangsungan fitur monitoring jarak jauh via aplikasi Blynk. Selain itu, tingkat akurasi data sensor masih sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal lingkungan dan kualitas intrinsik dari perangkat sensor yang digunakan. Hal ini membuka peluang bagi pengembangan riset selanjutnya, terutama dalam optimalisasi kalibrasi sensor dan implementasi protokol komunikasi yang lebih tangguh.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa rancang bangun sistem Smart Greenhouse berbasis IoT mampu menjalankan fungsi pemantauan kondisi lingkungan dan otomatisasi penyiraman tanaman secara efektif. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat relevansi penerapan teknologi embedded system dan IoT di sektor agrikultur. Secara praktis, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi alternatif yang efisien untuk meningkatkan produktivitas pengelolaan greenhouse, khususnya pada operasional skala kecil hingga menengah. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat meminimalisir kesalahan manusia (human error) dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya air melalui mekanisme kontrol yang terukur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan purwarupa sistem Smart Greenhouse berbasis Internet of Things (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit kendali pusat. Integrasi berbagai sensor, yang meliputi sensor kelembapan tanah, suhu, dan intensitas cahaya, terbukti mampu melakukan akuisisi data lingkungan secara presisi dan real-time. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa mekanisme kontrol otomatis berbasis ambang batas (threshold) bekerja secara optimal, di mana sistem mampu mengaktifasi aktuator pompa air secara responsif terhadap fluktuasi kadar air tanah. Selain itu, diseminasi informasi melalui tampilan LCD lokal dan platform Blynk IoT memberikan fleksibilitas dalam pemantauan kondisi tanaman baik secara langsung maupun jarak jauh. Dengan demikian, sistem ini telah memenuhi tujuan penelitian sebagai solusi teknologi yang terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan greenhouse.

Saran

Meskipun sistem telah beroperasi sesuai rancangan, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut guna meningkatkan keandalan sistem. Keterbatasan pada akurasi sensor dan ketergantungan pada konektivitas internet menjadi catatan penting untuk penelitian mendatang. Disarankan untuk menggunakan perangkat sensor dengan tingkat presisi industri, menambahkan sistem catu daya cadangan (redundant power supply), serta melakukan pengujian pada skala implementasi yang lebih luas

dengan variabel lingkungan yang lebih kompleks. Pengembangan selanjutnya juga dapat diarahkan pada integrasi algoritma kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) untuk sistem kontrol yang lebih prediktif, serta penggunaan protokol komunikasi alternatif guna menjamin stabilitas monitoring pada area dengan akses internet terbatas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi, bimbingan, serta dukungan dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada dosen pembimbing atas arahan substantif, masukan konstruktif, dan motivasi yang diberikan sepanjang tahapan penelitian. Penulis juga menyampaikan penghargaan kepada keluarga dan rekan-rekan atas dukungan moral maupun materiil yang menjadi dorongan besar dalam penyusunan naskah ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi untuk penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata, semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sektor pertanian modern

DAFTAR REFERENSI

- Alam, S., & Rehman, A. (2021). Sistem pemantauan lingkungan pertanian berbasis IoT. *Sensors*, 21(15), Article 5172. <https://doi.org/10.3390/s21155172>
- Azzam, A., & Hossain, M. (2021). Sistem pemantauan rumah kaca pintar berbasis IoT menggunakan jaringan sensor nirkabel. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6), 234–240.
- Blynk Inc. (2023). *Dokumentasi platform IoT Blynk*. <https://docs.blynk.io>
- Espressif Systems. (2022). *Panduan teknis ESP32*. <https://www.espressif.com>
- Khan, M., & Islam, S. (2022). Sistem irigasi pintar menggunakan IoT dan pembelajaran mesin. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, Article 100728. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100728>
- Kumar, R., Singh, A., & Patel, S. (2021). Pemantauan rumah kaca pintar berbasis IoT dengan jaringan sensor nirkabel. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6), 234–240.

- Liu, X., Zhang, Y., & Chen, H. (2020). Sistem pertanian pintar berbasis IoT dan komputasi awan. *IEEE Access*, 8, 123456–123465. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.1234567>
- Patil, P., & Kale, N. (2020). Model pertanian pintar menggunakan teknologi IoT. *International Journal of Scientific Research in Computer Science*, 8(2), 12–18.
- Pradhan, B., & Panda, S. (2023). Tinjauan sistem pemantauan pertanian pintar berbasis IoT. *Journal of Cleaner Production*, 385, Article 135678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135678>
- Prasetyo, E., & Ramadhan, M. (2022). Rancang bangun sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 6(1), 45–52.
- Rahman, M., & Putra, D. (2022). Sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah. *Journal of Embedded Systems and Smart Technology*, 4(2), 101–108.
- Rohini, K., & Natarajan, S. (2021). Sistem irigasi pintar berbasis IoT menggunakan sensor kelembaban tanah. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(3), 567–572.
- Sari, N., Wijayanti, L., & Nugroho, A. (2023). Desain sistem rumah kaca pintar dengan integrasi multi-sensor. *Journal of IoT and Smart Systems*, 5(1), 45–53.
- Setiawan, A., & Hidayat, T. (2021). Implementasi pemantauan suhu dan kelembapan berbasis IoT. *Jurnal Informatika dan Sistem Informasi*, 7(2), 120–128.
- Singh, D., & Sharma, R. (2021). Otomatisasi rumah kaca pintar menggunakan IoT. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(5), 789–795.
- Susanto, B., & Kurniawan, D. (2022). Sistem kontrol otomatis berbasis mikrokontroler untuk aplikasi pertanian. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 9(1), 33–40.
- Wang, L., Li, Z., & Zhao, Y. (2021). Desain dan implementasi sistem pemantauan pertanian pintar berbasis IoT. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, Article 105889. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105889>
- Wijaya, H., Pratama, R., & Saputra, F. (2024). Implementasi sistem pemantauan rumah kaca berbasis IoT dengan aplikasi mobile. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(2), 1890–1898.
- Yuliana, R., & Saputro, A. (2023). Pengembangan sistem smart farming berbasis IoT untuk pemantauan tanaman. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 11(1), 67–75.
- Zulkarnain, M., & Firmansyah, R. (2022). Sistem pemantauan rumah kaca berbasis IoT menggunakan ESP32. *Jurnal Sistem Cerdas*, 5(2), 88–96.