Jurnal
Kolaborasi Riset Sarjana

*Artikel*

# Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Kendali Kelembaban Lingkungan pada Pertanian Perkotaan

Dundun Simare Mare [1], Sriyadi [2], Aditia Putra Hamid [3], Rofingi Aji [4], Rosyid Ridlo Al-Hakim [5,*], Fajarani Fitriasih [6], Lugito Nurwahono [2,7] and Agung Pangestu [8]

1 PT. Schlumberger Geophysics Nusantara, Jakarta, Indonesia
2 PT. PLN Indonesia (Persero), Jakarta, Indonesia
3 Program Studi Ilmu Komputer, MNC University, Jakarta, Indonesia
4 IT and Telecom Engineer Superintendent, Petrochina International Jabung Ltd., Jakarta, Indonesia
5 Departemen Sistem Informasi, Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia
6 Program Studi Pendidikan Biologi Program Magister, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia
7 Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
8 Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia
* Korespondensi: rosyid@uhb.ac.id

**Abstrak:** Kehidupan penduduk kota yang sangat sibuk dengan pekerjaan mengakibatkan terbatasnya waktu dan kesempatan untuk melakukan aktivitas berkebun atau bertani di rumah. Oleh karena itu, dikembangkanlah sistem penyiraman tanaman pada kebun vertikal secara otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan tujuan mempermudah tugas manusia dalam aktivitas berkebun di rumah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengatur dan pengontrol utama, dilengkapi sensor kelembaban tanah, sensor suhu, serta aplikasi *Blynk* untuk *realtime monitoring* yang dapat diakses melalui perangkat Android maupun situs web. Pengujian dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor dengan alat ukur standar untuk mengukur tingkat akurasi, serta uji fungsional sistem pemantauan dan pengendalian. Sistem dirancang untuk menjaga kelembaban media tanam pada kisaran 40–60% dan suhu udara sekitar tanaman pada kisaran 25–35°C. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan (*error*) pembacaan sensor kelembaban sebesar 4,29% dan sensor suhu sebesar 5,69%. Selain itu, uji fungsi pemantauan menggunakan *Blynk* berhasil menampilkan data secara *realtime* dengan tingkat keberhasilan 100%, sehingga kondisi kelembaban dan suhu media tanam dapat dikendalikan sesuai kebutuhan. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan dengan

***Received**: 22 Januari 2025*
***Revised**: 24 Februari 2025*
***Accepted**: 1 April 2025*
***Published**: 6 Mei 2025*

Copyright: © 2023 by the authors.
License Universitas Harapan Bangsa, Purwokerto, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

menambahkan analisis efisiensi, nilai ekonomi, dan kebutuhan konsumsi daya listrik sistem.

Kata Kunci: *Internet of Things*; Mikrokontroler ESP32; *Android*; *Blynk*; Sistem Pemantauan; Sistem Kendali

# Pendahuluan

Teknologi telah dimanfaatkan oleh hampir semua kalangan dalam kehidupan sehari-hari untuk berinteraksi, berkomunikasi, belajar, dan bekerja, salah satunya melalui penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) (Malhotra et al., 2021). Perkembangan IoT telah terbukti mampu menyediakan sistem yang memudahkan manusia dalam menjalankan berbagai aktivitas (Giaffreda et al., 2015). IoT merupakan revolusi teknologi yang membawa perubahan besar bagi kehidupan manusia di seluruh dunia (Mandler et al., 2009), memungkinkan objek untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa campur tangan langsung dari manusia atau komputer (Iswanto et al., 2020). Dengan kemampuan ini, pengguna dapat mengendalikan dan mengelola berbagai aspek secara jarak jauh melalui internet tanpa harus hadir di lokasi (Borgia, 2014).

Kebutuhan akan solusi berbasis IoT semakin relevan di era modern untuk menciptakan kualitas hidup yang lebih baik bagi semua orang. Penerapan konsep smart city dan smart home telah memberikan manfaat nyata, mulai dari peningkatan produktivitas hingga pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan (Balas et al., 2019; Pamungkas, 2020; Pangestu et al., 2021). Salah satu bidang yang dapat memanfaatkan kemajuan ini adalah pertanian perkotaan (urban farming), yaitu penerapan teknik bercocok tanam di lahan sempit dan terbatas (Daud et al., 2024).

Teknik *vertical farming* maupun *indoor farming* banyak dipilih karena memungkinkan penanaman tanaman secara bertingkat, sehingga hemat lahan. Kegiatan ini dapat dilakukan di pekarangan, atap bangunan, atau ruang terbuka terbatas lainnya untuk menciptakan area hijau yang ramah lingkungan (Hidayat & Agung, 2023). Namun, kehidupan masyarakat perkotaan yang padat aktivitas mengakibatkan keterbatasan waktu untuk merawat tanaman, sehingga dibutuhkan metode berkebun yang cerdas, mandiri, dan produktif (Pangestu et al., 2023).

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem otomasi penyiraman tanaman dan pengendalian lingkungan berbasis IoT. Akan tetapi, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada satu aspek saja, misalnya hanya penyiraman atau hanya pemantauan kelembaban, tanpa integrasi menyeluruh untuk kebutuhan urban farming. Penelitian ini menawarkan pendekatan yang menggabungkan fungsi pemantauan dan pengendalian secara *realtime* terhadap kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara, sekaligus menyediakan kendali manual melalui aplikasi *Blynk*. Keunggulan lain dari sistem ini adalah penggunaan modul mikrokontroler ESP32 yang memiliki konektivitas WIFI bawaan, sehingga sistem dapat beroperasi tanpa tambahan perangkat komunikasi eksternal.

Dengan sistem ini, diharapkan masyarakat perkotaan dapat tetap melakukan aktivitas harian tanpa harus khawatir akan kebutuhan penyiraman atau pengaturan kelembaban tanaman. Selain memberikan manfaat bagi pemenuhan kebutuhan pangan rumah tangga, sistem ini juga memiliki potensi ekonomi jika diimplementasikan dalam skala lebih besar, sekaligus mendukung program ketahanan pangan pemerintah.

# Materi dan Metode

## Alat dan Bahan

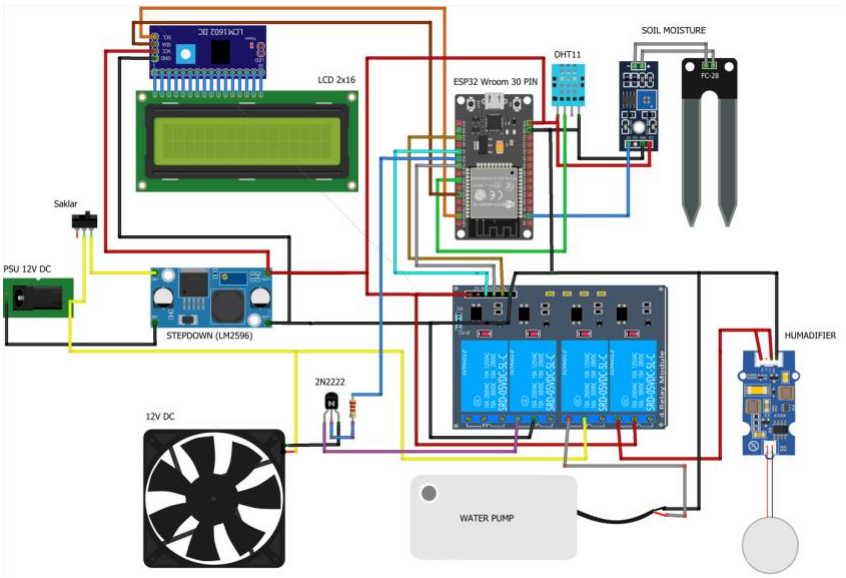
Penelitian ini memanfaatkan perangkat utama berupa mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, karena dilengkapi modul WIFI bawaan untuk mendukung konektivitas IoT. Sensor yang digunakan antara lain Sensor Kelembaban Tanah YL39 untuk memantau tingkat kelembaban media tanam, Sensor Suhu DHT-11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta Modul Pelembab (*Humidifier Mist Maker*) HSM-20G untuk mengatur kelembaban udara. Sistem kendali dilengkapi dengan Modul *Relay*, Regulator Tegangan LM2596, dan *Liquid Crystal Display* (LCD) sebagai penampil informasi lokal.

Selain itu, digunakan pompa air, pipa air, kipas, dan aktuator pendukung lainnya. Perangkat lunak utama yang digunakan adalah *Arduino IDE* untuk pemrograman mikrokontroler dan aplikasi *Blynk* untuk pemantauan *realtime* melalui perangkat Android maupun antarmuka web. Media tanam, adaptor 12–5V, kotak panel, dan beberapa jenis tanaman digunakan untuk pengujian sistem secara langsung. Seluruh perangkat keras dirakit pada *panel box* yang mengintegrasikan ESP32, adaptor, panel *relay*, dan instrumen lainnya dalam satu sistem.

## Sistem Kerja Alat

Sistem dirancang agar sensor kelembaban tanah dan suhu udara secara kontinu mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32. Ketika kelembaban tanah turun di bawah 40% (kategori sangat kering), mikrokontroler memicu *relay* untuk mengaktifkan pompa air dan membuka *solenoid valve*, sehingga air dialirkan ke media tanam. Setelah kelembaban mencapai 60% (kategori lembab optimal), pompa dan solenoid otomatis dimatikan.

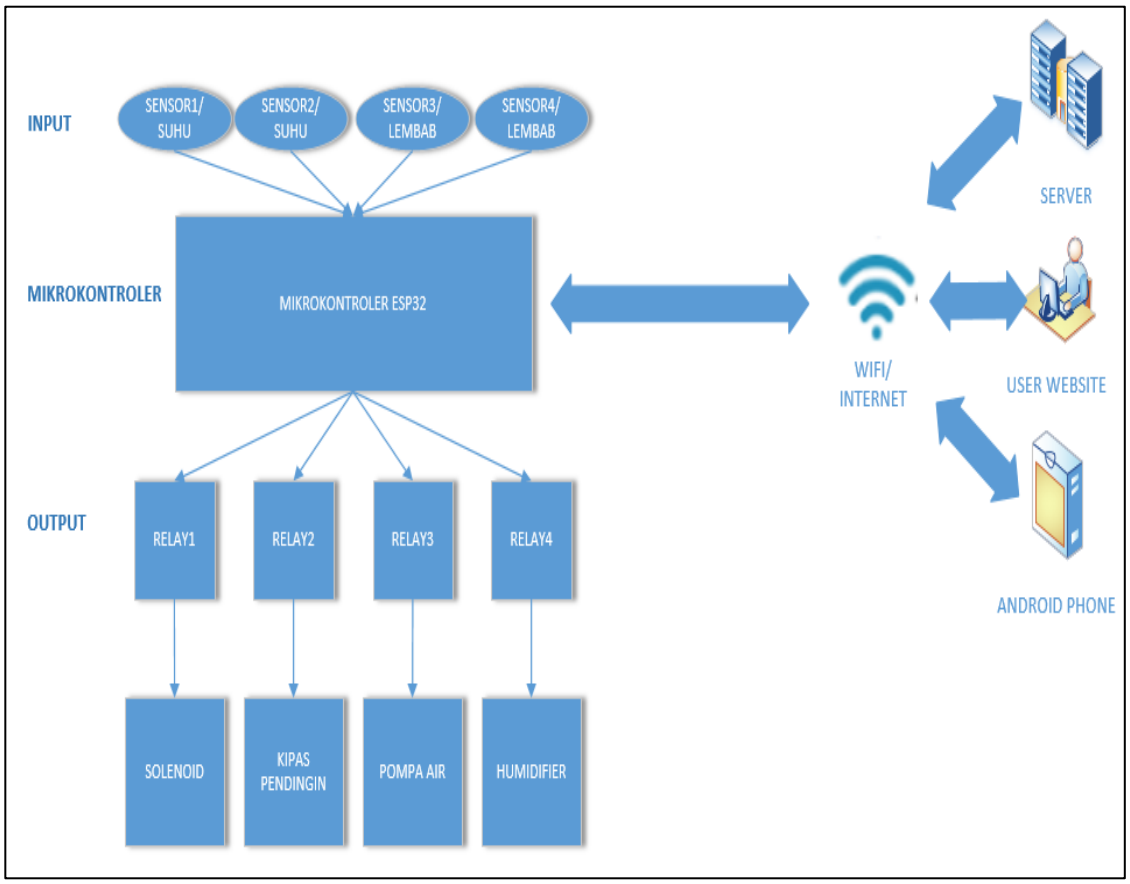
Untuk pengaturan kelembaban udara, apabila sensor mendeteksi kelembaban udara di bawah 45% dan suhu melebihi 35°C, maka kipas dan *humidifier* otomatis aktif untuk menurunkan suhu sekaligus meningkatkan kelembaban. Ketika kondisi sudah kembali pada rentang optimal (kelembaban udara ≥ 60% dan suhu ≤ 25°C), kipas dan *humidifier* akan berhenti secara otomatis. Secara lebih rinci, sistem kerja alat diilustrasikan melalui *wiring diagram* alat yang disajikan pada Gambar 1.




**Gambar 1.** *Wiring diagram* alat.

## Rangka Kerja Sistem Pemantauan dan Kendali

Sistem pemantauan memanfaatkan konektivitas WIFI pada ESP32 untuk mengirimkan data ke server dan menampilkannya melalui aplikasi *Blynk*. Aplikasi ini tidak hanya menampilkan data kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara secara *realtime*, tetapi juga menyediakan fitur kendali manual bagi pengguna untuk menyalakan atau mematikan pompa, kipas, maupun *humidifier* dari jarak jauh. Pengguna dapat membuat akun *Blynk* melalui situs web atau aplikasi Android, kemudian mendaftarkan perangkat ESP32 sesuai prosedur. Setelah terhubung, data sensor akan ditampilkan dalam bentuk teks, indikator visual, dan grafik sehingga memudahkan pemantauan kondisi lingkungan tanaman. Selain itu, Gambar 2 menjelaskan konsep dan rangka kerja sistem pemantauan dan kendali dalam penelitian ini.




**Gambar 2.** Diagram rangka kerja sistem pemantauan dan kendali pada penelitian ini.

## Pengumpulan, Analisis, dan Pengujian Data

Pengujian dilakukan dengan menempatkan sistem pada *vertical farming* atau *indoor farming* dan menjalankannya selama beberapa hari untuk mengumpulkan data kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara. Data dikumpulkan secara otomatis melalui aplikasi *Blynk*, serta secara manual menggunakan alat ukur standar (*soil moisture meter* dan termometer) untuk keperluan validasi.

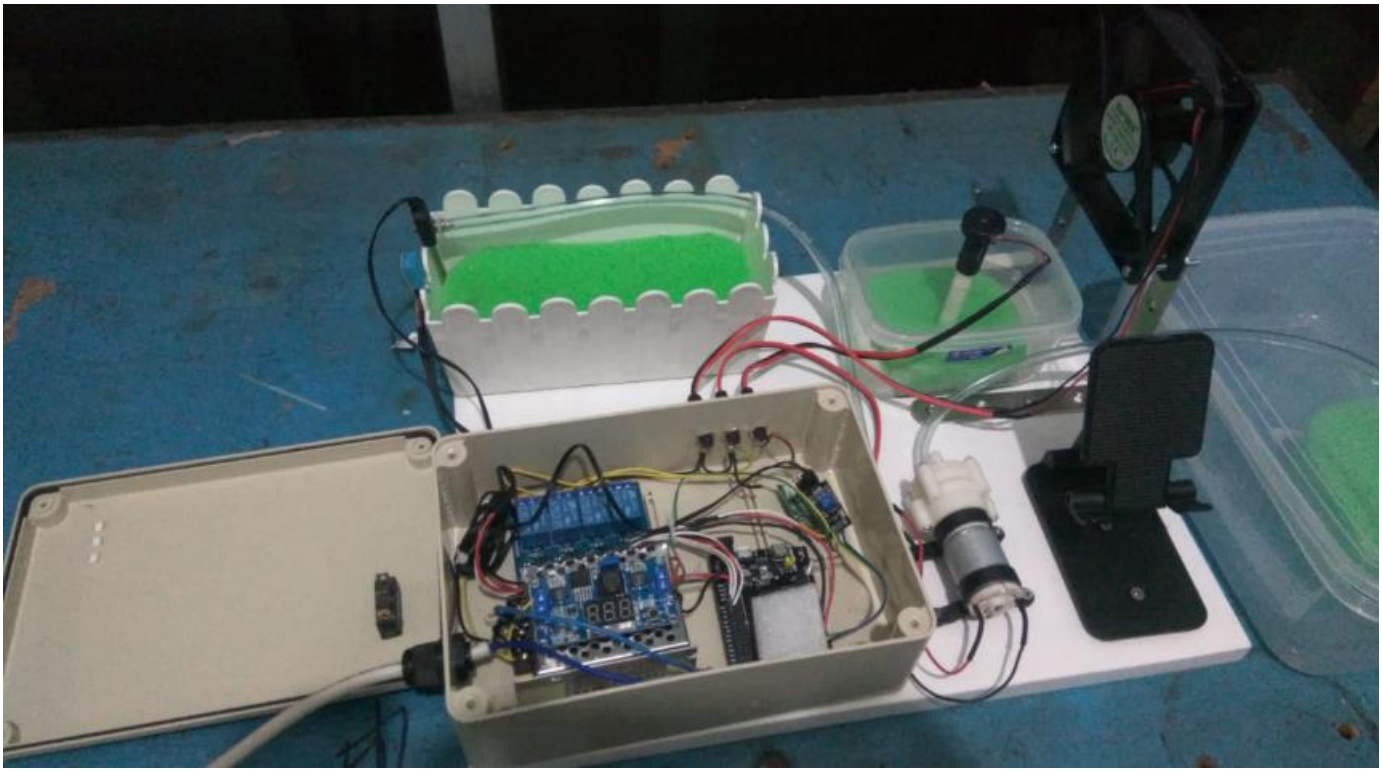
Akurasi sistem dihitung dengan membandingkan hasil sensor terhadap alat ukur standar. Apabila simpangan (*error*) rata-rata di bawah 6%, maka sistem dianggap bekerja dengan baik. Pengujian ini juga mencakup evaluasi

fungsional, yaitu mengamati apakah sistem mampu melakukan penyiraman, pendinginan, dan pengabutan secara otomatis sesuai parameter yang ditentukan.

# Hasil dan Pembahasan

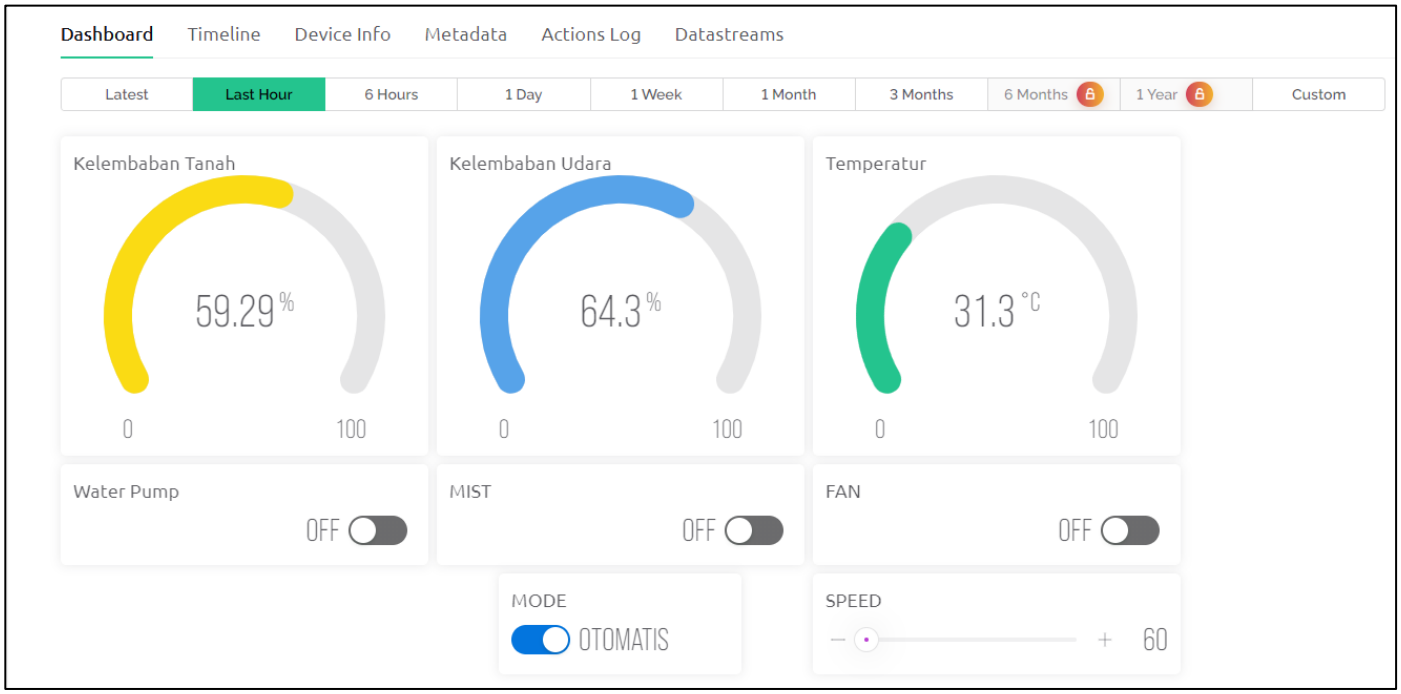
## Pengembangan Purwarupa

Hasil penelitian ini berupa purwarupa sistem penyiraman dan pengatur kelembaban otomatis untuk *vertical farming*, yang mengintegrasikan sensor kelembaban tanah, sensor suhu dan kelembaban udara, kipas, pompa air, *humidifier*, serta aplikasi *Blynk* sebagai media pemantauan. Purwarupa fisik sistem ditunjukkan pada Gambar 3. Sensor kelembaban tanah dipasang di dekat area perakaran tanaman, terhubung ke mikrokontroler ESP32. Data pembacaan sensor dikirimkan secara *realtime* ke aplikasi *Blynk*, yang menampilkan nilai kelembaban tanah dan udara. Sistem dirancang untuk mempertahankan kelembaban tanah pada kisaran 40–60% dan suhu udara sekitar tanaman pada kisaran 25–35°C.



**Gambar 3.** Purwarupa fisik sistem yang dikembangkan.

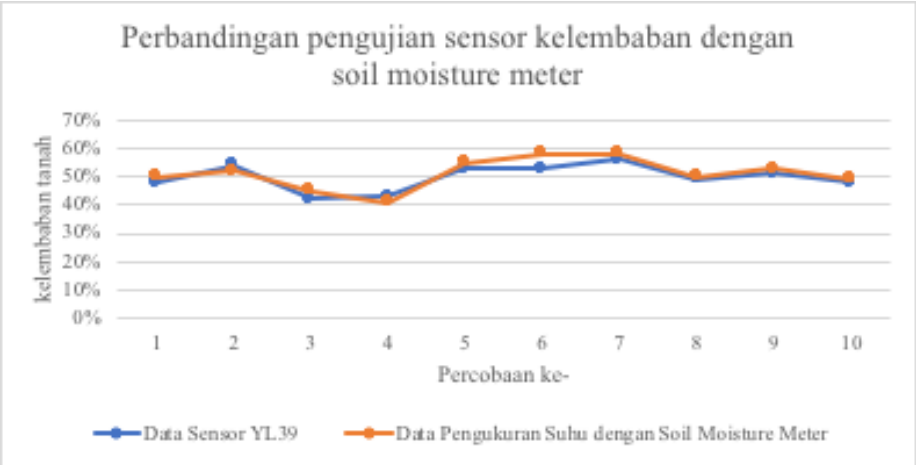
Ketika kelembaban tanah terdeteksi kurang dari 40%, pompa air menyala secara otomatis untuk melakukan penyiraman hingga kelembaban mencapai 60%, kemudian pompa dimatikan oleh *relay*. Untuk kelembaban udara, ketika nilainya berada di bawah 45% dan suhu melebihi 35°C, kipas dan *humidifier* aktif secara bersamaan. Setelah kelembaban udara meningkat hingga ≥ 60% dan suhu menurun ≤ 25°C, perangkat pendingin dan pengabut dimatikan secara otomatis. Gambar 4 merupakan tampilan antarmuka pengguna sistem ini melalui aplikasi *Blynk*.




**Gambar 4.** Aplikasi *Blynk* untuk menampilkan hasil pengukuran sensor kelembaban dan sensor suhu.

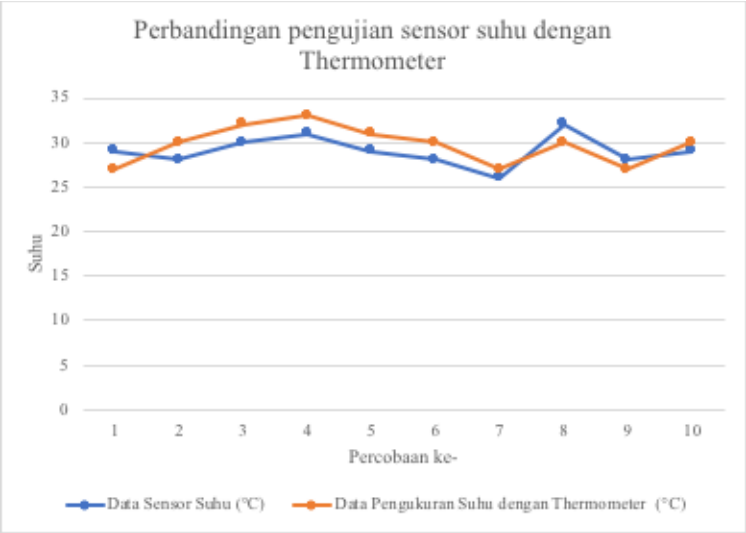
## Hasil Uji Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan Sensor YL39 terhadap alat ukur standar *soil moisture meter*. Nilai kesalahan (*error*) maksimum tercatat 8,6%, minimum 2%, dengan rata-rata 4,29%. Hasil pengukuran menunjukkan konsistensi yang baik, di mana kelembaban rata-rata tercatat 51% pada *soil moisture meter* dan 50% pada sensor YL39. Gambar 5 menunjukkan hasil uji sensor kelembaban tanah. Perbandingan nilai maksimum dan minimum juga menunjukkan selisih yang relatif kecil, sehingga sensor layak digunakan untuk pemantauan otomatis (Al Hakim, Islam, et al., 2022; Wulandari et al., 2021).




**Gambar 5.** Pengujian sensor kelembaban tanah dengan alat ukur standar.

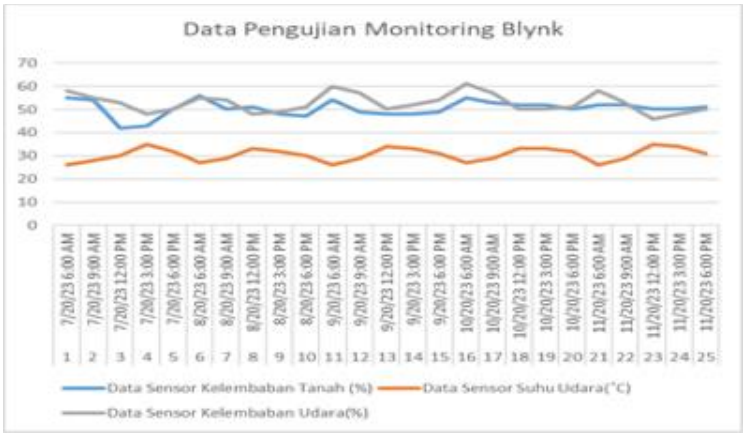
Sementara itu, pengujian akurasi sensor suhu dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap termometer standar. Nilai kesalahan maksimum tercatat 7,4%, minimum 3,3%, dengan rata-rata 5,69%. Hasil pengukuran suhu rata-rata adalah 30°C pada termometer dan 29°C pada sensor, sedangkan suhu maksimum masing-masing tercatat 33°C (termometer) dan 32°C (sensor), serta suhu minimum 27°C (termometer) dan 26°C (sensor). Perbedaan nilai ini masih dalam batas toleransi sehingga sensor dapat diandalkan (Al Hakim et al., 2021; Al Hakim, Pangestu, et al., 2022; Pangestu et al., 2022). Gambar 6 menunjukkan hasil uji sensor suhu.




**Gambar 6.** Pengujian sensor suhu dengan alat ukur standar

Sementara itu, pada kelembaban tanah di bawah 40% dalam keadaan suhu udara normal, maka sistem akan aktif menghidupkan pompa air untuk melakukan penyiraman tanaman. Demikian pula sebaliknya bila kelembaban tanah sudah di atas 40% maka sistem akan bekerja mematikan pompa air untuk menghentikan proses penyiraman tanaman. Keberhasilan uji coba sistem penyiraman otomatis ini adalah 100%. Disisi lain, pada kelembaban udara di bawah 46% maka sistem akan aktif untuk menyalakan mesin *humidifier* untuk menciptakan efek kabut dan bila suhu udara di atas 35°C maka sistem juga akan aktif untuk menyalakan kipas angin untuk menciptakan efek pendinginan pada udara. Demikian juga sebaliknya bila nilai suhu udara kembali di bawah 35°C maka sistem akan mematikan kipas angin dan bila nilai kelembaban udara di atas 46% maka sistem akan mematikan mesin *humidifier*. Keberhasilan uji coba sistem pendingin dan pengabut 100% untuk menjaga kondisi suhu dan kelembaban udara dalam rentang nilai yang ditentukan sesuai kebutuhan tanaman.

Selain itu, dari hasil pengujian *monitoring* sensor secara *realtime* dilakukan untuk mengetahui akurasi dari sistem *monitoring realtime* pada aplikasi *Blynk*. Data hasil pengujian kelembaban dan penyiraman media tanah serta pengujian pendingin dan pengkabutan di permukaan media tanah dapat dilihat pada Gambar 7.




**Gambar 7**. Grafik data pengujian *monitoring*.

Hasil data yang di tampilkan pada aplikasi *Blynk* sesuai dengan waktu pengujian sistem. Keberhasilan uji coba sistem *monitoring* secara *realtime* berhasil 100% di mana kondisi media tanah terkontrol kelembapannya dalam rentang 40 sampai 60 persen serta kelembaban udara terjaga di kisaran 45% sampai 60% dan temperatur sekitar permukaan media tanah juga terjaga dalam kisaran 25 derajat Celsius hingga 35 derajat Celsius.

## Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan rancangan awal, yaitu melakukan pemantauan dan pengendalian kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara secara otomatis serta memberikan opsi kendali manual melalui aplikasi *Blynk*. Dari sisi akurasi, sensor kelembaban tanah menunjukkan nilai *error* rata-rata 4,29% dibandingkan *soil moisture meter* standar, sedangkan sensor suhu memiliki rata-rata *error* 5,69% dibandingkan termometer standar. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi urban farming. Tingkat akurasi ini juga sejalan dengan hasil penelitian Al Hakim, Islam, et al., (2022) dan Wulandari et al. (2021), yang melaporkan bahwa sensor kelembaban tanah dan suhu berbasis IoT dapat memberikan pembacaan yang reliabel untuk kebutuhan otomasi penyiraman.

Keandalan sistem otomatis terbukti dengan keberhasilan 100% pada semua fungsi yang diuji. Penyiraman otomatis berjalan sesuai logika kendali, di mana pompa aktif ketika kelembaban tanah berada di bawah 40% dan berhenti secara otomatis saat kelembaban mencapai 60%. Pada fungsi pengaturan kelembaban udara dan suhu, sistem mampu menyalakan kipas dan *humidifier* ketika kelembaban udara kurang dari 45% dan suhu melebihi 35°C, kemudian mematikannya kembali ketika kondisi lingkungan telah kembali optimal. Selain itu, pemantauan *realtime* melalui aplikasi *Blynk* bekerja tanpa hambatan, menampilkan data sensor secara konsisten sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Temuan ini mengonfirmasi bahwa penggunaan ESP32 sebagai pusat kendali dan *Blynk* sebagai platform pemantauan merupakan kombinasi yang efisien untuk *smart farming*. Hal ini sejalan dengan penelitian Pangestu et al. (2023) yang menekankan pentingnya integrasi *platform cloud-based monitoring* untuk meningkatkan fleksibilitas pengendalian lingkungan tanaman. Jika dibandingkan dengan beberapa sistem sejenis yang hanya berfokus pada satu aspek, seperti penyiraman otomatis saja (Pamungkas, 2020) atau pemantauan kelembaban udara saja (Hidayat & Agung, 2023), penelitian ini memiliki keunggulan pada integrasi multi-fungsi. Sistem ini tidak hanya memantau kelembaban tanah, tetapi juga mengendalikan suhu dan kelembaban udara, serta memberikan opsi kendali manual jarak jauh.

Selain itu, keberhasilan sistem dalam menjaga kondisi lingkungan tanaman dalam rentang optimal berpotensi memberikan dampak positif pada produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan sumber daya. Dengan penyiraman yang tepat sasaran dan pengendalian kelembaban udara yang terukur, pemborosan air dan energi dapat diminimalkan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa rancangan sistem memenuhi tujuan awal penelitian, sekaligus memperlihatkan potensi penerapan lebih luas pada berbagai skenario urban farming di lingkungan rumah tangga maupun skala komersial kecil.

# Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan serta pengendalian kelembaban lingkungan pada *vertical farming* berbasis IoT dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi *Blynk*. Sistem ini mampu memantau kelembaban tanah, kelembaban udara, dan suhu secara *realtime*, sekaligus melakukan pengendalian otomatis untuk menjaga kondisi lingkungan tanaman pada rentang optimal.

Pengujian menunjukkan tingkat akurasi sensor yang baik, dengan rata-rata *error* kelembaban tanah sebesar 4,29% dan suhu sebesar 5,69% dibandingkan alat ukur standar. Sistem otomatis berfungsi dengan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh skenario pengujian, termasuk penyiraman, pengaturan kelembaban udara, dan pengendalian suhu, serta pemantauan jarak jauh melalui aplikasi *Blynk*.

Hasil ini menegaskan bahwa sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi praktis bagi masyarakat perkotaan untuk melakukan urban farming secara efisien dan berkelanjutan. Ke depan, pengembangan dapat diarahkan pada integrasi sensor tambahan, analisis efisiensi energi, serta evaluasi nilai ekonomi untuk mendukung penerapan dalam skala yang lebih luas.

# Referensi

Al Hakim, R. R., Islam, I. N., Ropiudin, Pangestu, A., Jaenul, A., Arief, Y. Z., & Hidayah, H. A. (2022). IoT-based pesticide distribution control system with photometric sensor framework. *Journal of Global Engineering Research & Science (J-GERS)*, *1*(2), 35–41. https://doi.org/10.56904/jgers.v1i2.45

Al Hakim, R. R., Pangestu, A., Hidayah, H. A., Faizah, S., & Nugraha, D. (2022). Pemanfaatan Teknologi IoT untuk Pertanian Berkelanjutan (IoT Technology for Sustainable Agriculture). *E-Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Berkelanjutan (INOPTAN)*, *1*(1), 1–9. https://jurnal.unikastpaulus.ac.id/index.php/inoptan/article/view/1400

Al Hakim, R. R., Pangestu, A., Jaenul, A., & Ropiudin. (2021). Desain Manajemen Irigasi Kontrol Jarak Jauh Berbasis IoT dengan Terintegrasi Android. *Seminar Nasional Perteta – FTIP Unpad 2021*, 1–4.

Balas, V. E., Kumar, R., & Srivastava, R. (2019). Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things. In *Intelligent Systems Reference Library* (Vol. 172). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_22

Borgia, E. (2014). The internet of things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, *54*, 1–31. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008

Daud, D., Zaini, Rusydi, M. I., Aulia, Novizon, Yunus, syukri, Novendra, R., Muharam, M., Novandri, A., Mubarok, F., & Susanti, R. (2024). Inovasi Solar Dryer Dome pada Usaha Budidaya Multiguna untuk Mendukung Urban Farming di Ekowisata Sungkai Green Park Lambung Bukit Pauh Kota Padang. *Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi*, *4*(1), 10–15. https://doi.org/10.25077/JARPET.V4I1.96

Giaffreda, R., Cagáňová, D., Li, Y., & Riggio, R. (2015). *Internet of Things. IoT Infrastructures*. *1*(November 2017), 427–438. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47075-7

Hidayat, M. R., & Agung, Ign. W. P. (2023). Rancang bangun Smart Urban Farming berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan Blynk. *E-Prosiding Teknik Informatika*, *4*(2).

Iswanto, Megantoro, P., Pramudita, B. A., & Winarno, H. A. (2020). Wi-fi Communication Methods for Internet of Things-based Sensor Telemetry with a Visual Basic-based User Interface. *7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, ICITACEE 2020 - Proceedings*, 263–266. https://doi.org/10.1109/ICITACEE50144.2020.9239162

Malhotra, P., Singh, Y., Anand, P., Bangotra, D. K., Singh, P. K., & Hong, W.-C. (2021). Internet of Things: Evolution, Concerns and Security Challenges. *Sensors*, *21*(5), 1809. https://doi.org/10.3390/S21051809

Mandler, Benny; Marquez-Barja, Johann; Campista, Miguel Elias Mitre ; Cagáňová, Dagmar; Chaouchi , Hakima; Zeadally, Sherali; Badra , Mohamad; Giordano, Stefano; Fazio, Maria; Somov, Andrey; Vieriu, R.-L. (2009). Internet of Things: IoT Infrastructures Part 2. In *Cyber Resilience of Systems and Networks*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77492-3_16

Pamungkas, S. (2020). Smart Greenhouse System On Paprican Plants Based On Internet of Things. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, *7*(2), 197–207. https://doi.org/10.34010/TELEKONTRAN.V7I2.2277

Pangestu, A., Al Hakim, R. R., Hidayah, H. A., Jaenul, A., Arief, Y. Z., & Ekawati, R. (2023). An android-based start-up app for self-agriculture and food. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1133*, 012070. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1133/1/012070

Pangestu, A., Mohammed, M. N., Al-Zubaidi, S., Bahrain, S. H. K., & Jaenul, A. (2021). An internet of things toward a novel smart helmet for motorcycle: Review. *AIP Conference Proceedings*, *2320*(1), 050026. https://doi.org/10.1063/5.0037483

Pangestu, A., Sodikin, I., Yusro, M., Sapundani, R., Al Hakim, R. R., & Wilyanti, S. (2022). IoT–based tire pressure monitoring system for air and temperature pressure using MPX5500D and LM35 sensor. *2022 IEEE 8th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/ICCED56140.2022.10010355

Wulandari, E., Al Hakim, R. R., Saputri, L. D., Syahdiar, I. A., Pangestu, A., & Jaenul, A. (2021). Mr. Rytem, An IoT-Based Smart Irrigation System Application Design for Cultivation Engineering of Allium sativum Garlic in Lowland Conditions. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, Dan Teknik Informatika*, 105–112. https://doi.org/10.31284/p.snestik.2021.1762