

Implementasi Internet of Things (IoT) pada Sistem Irigasi Otomatis untuk Tanaman Cabai Menggunakan Aplikasi Blynk

Alisa Hasna Khaira Aswha^{1*}, Fulgentius Yovandi², Ahmad Nafi Rosyadi³, Pramono⁴

¹S1-Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer (Universitas Duta
Bangsa Surakarta)
^{1*}220103204@mhs.udb.ac.id

²S1-Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer (Universitas Duta
Bangsa Surakarta)
²220103207@mhs.udb.ac.id

³ S1-Teknik Informatika/Fakultas
Ilmu Komputer (Universitas Duta
Bangsa Surakarta)
³220103291@mhs.udb.ac.id

⁴ Teknik Informatika /Fakultas
Ilmu Komputer (Universitas Duta
Bangsa Surakarta)
⁴pramono@udb.ac.id

Abstrak— Pengelolaan irigasi manual pada tanaman cabai sering kali tidak efisien karena tidak disesuaikan dengan kondisi kelembapan tanah secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat dikendalikan melalui aplikasi Blynk. Metode yang digunakan adalah metode prototype, dimulai dari perancangan sistem, implementasi perangkat keras (ESP32, sensor kelembapan, pompa, relay), hingga integrasi dengan aplikasi Blynk untuk monitoring dan kontrol. Sistem yang dirancang mampu membaca kelembapan tanah secara real-time dan mengaktifkan pompa saat kelembapan <35%, serta mematakannya ketika kelembapan >60%. Selain itu, pengguna dapat memantau kondisi tanah melalui aplikasi dan mengontrol pompa secara manual jika diperlukan. Aplikasi Blynk menampilkan data secara real-time dan memberikan notifikasi kepada pengguna, sehingga sistem dapat beroperasi secara otomatis dan manual. Komponen-komponen seperti sensor, ESP32, dan relay bekerja sinergis dalam menjaga kelembapan tanah tetap ideal. Implementasi sistem ini mendukung efisiensi penggunaan air, meminimalisir overwatering atau underwatering, serta memberikan kemudahan bagi petani dalam mengelola penyiraman tanaman cabai. Hasil uji menunjukkan sistem merespons dengan baik perubahan kelembapan tanah; ketika sensor membaca nilai 28% sistem menyala, dan saat kelembapan mencapai 60% sistem otomatis berhenti. Berdasarkan hasil pembahasan, sistem mampu mempertahankan kelembapan tanah dalam rentang ideal 35–60%, serta tidak melakukan penyiraman saat kelembapan masih cukup, seperti pada nilai 39% dan 51%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara konsisten dan efisien sesuai logika kendali yang dirancang, serta mampu beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan di lapangan.

Kata kunci— Internet of Things, irigasi otomatis, sensor kelembapan tanah, ESP32, aplikasi Blynk

Abstract— Manual irrigation management for chili plants is often inefficient due to the lack of real-time soil moisture monitoring. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based automatic irrigation system controlled via the Blynk application. The research uses the prototype method, starting from system design, hardware implementation (ESP32, soil moisture sensor, pump, relay), to integration with the Blynk application for remote monitoring and control. The system reads soil moisture in real-time and activates the pump when the moisture is below 35%, and deactivates it when it exceeds 60%. Additionally, users can monitor soil conditions and manually control the pump through the Blynk application when needed. Blynk displays real-time data and provides notifications, allowing the system to operate both automatically and manually. Components such as the sensor, ESP32, and relay work together to maintain optimal soil moisture. This system enhances water efficiency, minimizes overwatering or underwatering, and simplifies irrigation management for chili farmers. Testing results showed that the system responded well to changes in soil moisture; it activated the pump at 28% and stopped at 60%. Based on the discussion of test results, the system maintained soil moisture within the ideal range of 35–60% and refrained from watering when moisture was still adequate, such as at 39% and 51%. This proves that the system operates consistently and efficiently according to the designed control logic and adapts effectively to real field conditions.

Keywords— Internet of Things, automatic irrigation, soil moisture sensor, ESP32, Blynk application

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia pertanian modern, tantangan dalam menjaga efisiensi dan efektivitas proses budidaya tanaman semakin meningkat, terutama dalam konteks perubahan iklim dan

keterbatasan sumber daya air. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh petani, khususnya dalam budidaya tanaman cabai, adalah pengelolaan irigasi yang kurang optimal[1]. Irigasi yang dilakukan secara

manual sering kali tidak tepat waktu dan tidak sesuai dengan kebutuhan air tanaman, sehingga berpotensi menurunkan produktivitas hasil panen[2]. Selain itu, metode tradisional tidak memungkinkan petani untuk memantau kondisi lahan secara real-time, yang menyebabkan kesulitan dalam pengambilan keputusan yang cepat dan akurat terkait penyiraman. Cabai sebagai salah satu komoditas hortikultura unggulan di Indonesia sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama kelembaban tanah yang menjadi faktor utama dalam pertumbuhan dan kualitas buahnya. Oleh karena itu, pengaturan irigasi yang efisien dan berbasis data sangat dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman tersebut. Sayangnya, mayoritas petani di daerah pedesaan belum memiliki akses atau pemahaman terhadap teknologi cerdas yang dapat membantu mengatasi permasalahan ini. Di sisi lain, perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam dunia pertanian melalui penerapan pertanian presisi[3]. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data secara otomatis dari sensor di lapangan, serta mengendalikan perangkat seperti pompa air berdasarkan kondisi nyata. Salah satu pendekatan praktis dan mudah diterapkan adalah penggunaan sensor kelembaban tanah yang terintegrasi dengan sistem penyiraman otomatis, dan dikendalikan melalui aplikasi mobile seperti Blynk[4]. Aplikasi ini memberikan kemudahan monitoring kondisi lahan dan kontrol pompa air secara jarak jauh, serta memberikan notifikasi kepada pengguna secara real-time. Namun, meskipun teknologi ini telah banyak dikembangkan, implementasinya dalam konteks lokal, khususnya untuk budidaya cabai di lahan terbatas, masih belum banyak diteliti secara menyeluruh[5]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu penelitian yang fokus pada penerapan sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk tanaman cabai dengan monitoring melalui aplikasi Blynk[4], guna menjawab tantangan dalam efisiensi penggunaan air, peningkatan produktivitas, dan kemudahan

manajemen pertanian bagi petani modern maupun tradisional.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat digunakan secara praktis dalam budidaya tanaman cabai, khususnya pada skala lahan kecil hingga menengah. Sistem ini akan menggunakan sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kondisi aktual kelembaban di sekitar akar tanaman, kemudian mengaktifkan pompa air secara otomatis apabila nilai kelembaban berada di bawah ambang batas tertentu yang telah ditentukan. Selain itu, sistem ini akan dikoneksikan dengan aplikasi Blynk sebagai platform monitoring dan kontrol jarak jauh yang dapat diakses melalui smartphone. Melalui aplikasi tersebut, pengguna dapat melihat kondisi kelembaban tanah secara real-time, menerima notifikasi ketika kelembaban tidak ideal, dan bahkan menyalakan atau mematikan pompa air secara manual jika dibutuhkan. Tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk memberikan solusi pertanian cerdas yang murah, mudah diakses, dan dapat dimanfaatkan oleh petani di daerah terpencil sekalipun, sehingga dapat meningkatkan efektivitas manajemen irigasi. Penelitian ini juga bertujuan untuk menguji efektivitas dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan, serta menganalisis pengaruh penggunaan sistem ini terhadap efisiensi penggunaan air dan pertumbuhan tanaman cabai. Diharapkan, melalui implementasi sistem ini, petani tidak hanya dapat menghemat waktu dan tenaga dalam penyiraman, tetapi juga mampu menghindari overwatering maupun underwatering yang sering menjadi penyebab menurunnya kualitas dan kuantitas panen. Penelitian ini juga ditujukan sebagai kontribusi nyata dalam mendukung digitalisasi sektor pertanian dan menjadi bagian dari solusi pertanian presisi yang dapat memperkuat ketahanan pangan nasional. Dengan adanya inovasi ini, diharapkan akan tercipta ekosistem pertanian yang adaptif terhadap perkembangan

teknologi, efisien dalam penggunaan sumber daya, serta ramah terhadap lingkungan dan berkelanjutan untuk masa depan.

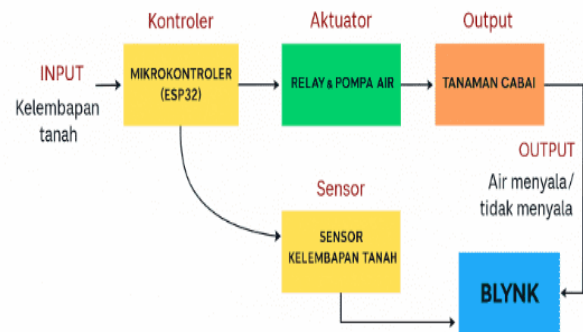
II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode prototype, yaitu pendekatan rekayasa perangkat lunak yang berfokus pada pembuatan model awal sistem untuk dievaluasi dan disempurnakan secara bertahap. Tahapan dimulai dari identifikasi kebutuhan sistem, perancangan awal perangkat keras dan perangkat lunak, pengembangan sistem irigasi otomatis menggunakan sensor kelembaban tanah dan mikrokontroler ESP32, serta integrasi dengan aplikasi Blynk untuk monitoring. Setelah prototipe dibuat, dilakukan pengujian fungsionalitas sistem dan evaluasi performa di lapangan. Hasil evaluasi digunakan untuk melakukan perbaikan sistem agar lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

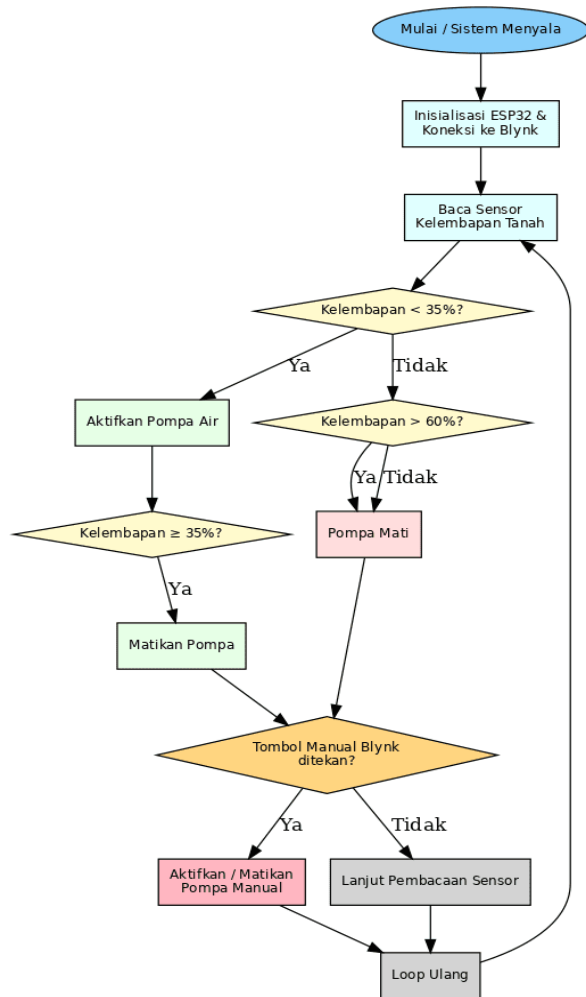
Penelitian ini menggunakan beberapa alat utama untuk membangun sistem irigasi otomatis tanaman cabai berbasis IoT[6]. Komponen inti dari sistem ini adalah **ESP32**, sebuah mikrokontroler yang memiliki kemampuan konektivitas WiFi sehingga memungkinkan integrasi dengan aplikasi pemantauan jarak jauh seperti **Blynk**. Untuk mendeteksi kondisi kelembaban tanah secara real-time, digunakan **sensor kelembaban tanah** yang menjadi acuan utama dalam menentukan waktu penyiraman[7]. **Pompa mini** digunakan untuk mengalirkan air ke tanaman secara otomatis, yang diatur melalui **modul relay** sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh ESP32. **Selang plastik** digunakan untuk menyalurkan air dari pompa ke area tanaman cabai. Seluruh komponen dihubungkan menggunakan **kabel jumper** agar sirkuit berjalan dengan baik. Sistem ini mendapatkan daya dari **adaptor cas (charger)** yang berfungsi sebagai sumber tegangan

utama. Kombinasi alat-alat ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan efisien dalam mendukung proses penyiraman tanaman.



Gambar 1. Diagram Block

Diagram blok sistem irigasi otomatis tanaman cabai berbasis IoT ini menggambarkan alur kerja dari proses penyiraman otomatis yang dimulai dari input berupa data kelembaban tanah yang dibaca oleh sensor kelembaban tanah. Sensor ini mendeteksi tingkat kelembaban tanah secara real-time dan mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat kendali sistem. Setelah menerima dan memproses data tersebut, ESP32 memutuskan apakah pompa air perlu diaktifkan atau tidak. Jika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, ESP32 akan mengaktifkan relay sebagai aktuator yang berfungsi menyalakan pompa air[8]. Pompa kemudian menyuplai air ke tanaman cabai melalui selang. Tanaman cabai sebagai objek utama dalam sistem ini akan menerima air hingga tanah kembali lembap. Output dari sistem ini adalah kondisi air menyala atau tidak menyala, tergantung pada hasil pemrosesan data kelembaban tanah. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi penyiraman secara otomatis tanpa intervensi manual, sehingga lebih hemat air dan mendukung pertanian berbasis teknologi



Gambar 2. Diagram Alir

Penelitian ini mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis tanaman cabai berbasis Internet of Things (IoT) yang bekerja berdasarkan tingkat kelembapan tanah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi dengan konektivitas WiFi untuk terhubung ke aplikasi Blynk sebagai antarmuka pemantauan dan pengendalian[9]. Ketika alat dinyalakan melalui adaptor cas, ESP32 akan melakukan inisialisasi dan menyambung ke jaringan WiFi serta ke server Blynk. Sensor kelembapan tanah (soil moisture sensor) kemudian mulai bekerja untuk membaca kadar air dalam media tanam secara real-time. Nilai kelembapan yang terbaca akan diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi Blynk agar pengguna dapat memantau kondisi tanah secara langsung melalui smartphone[10].

Sistem ini memiliki logika otomatis yang mengatur kapan pompa air harus dinyalakan atau dimatikan berdasarkan nilai kelembapan. Apabila sensor membaca bahwa kelembapan tanah berada di bawah 35%, maka kondisi tanah dianggap terlalu kering. Dalam situasi ini, ESP32 akan mengirim sinyal ke modul relay untuk mengaktifkan pompa air mini. Pompa akan menyala dan mengalirkan air melalui selang menuju tanaman cabai guna menaikkan kelembapan tanah. Proses penyiraman akan terus berlangsung sampai kelembapan tanah naik ke atas 35%. Jika sensor membaca nilai kelembapan berada di rentang ideal, yaitu antara 35% hingga 60%, maka ESP32 akan mematikan pompa karena tanah sudah memiliki kadar air yang cukup. Dalam kondisi ini, tidak ada penyiraman dilakukan untuk menghindari pemborosan air dan menjaga efisiensi sistem. Sementara itu, jika kelembapan tanah terdeteksi melebihi 60% hingga 70%, maka sistem menganggap tanah terlalu basah atau becek, sehingga ESP32 memastikan bahwa pompa tetap dalam keadaan mati untuk mencegah overwatering yang berpotensi merusak tanaman.

Selain berjalan secara otomatis, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur kontrol manual melalui aplikasi Blynk. Di dalam aplikasi tersedia tombol ON/OFF yang dapat digunakan pengguna untuk menyalakan atau mematikan pompa secara manual. Fungsi ini sangat penting apabila terjadi gangguan atau error dalam logika otomatis, seperti kegagalan sensor membaca data, relay tidak bekerja, atau pompa menyala terus menerus. Dengan adanya tombol manual, pengguna tetap memiliki kendali penuh terhadap sistem kapan pun dibutuhkan. Seluruh proses pembacaan sensor dan pengambilan keputusan berjalan secara berulang dan terus-menerus selama sistem aktif, menjadikan sistem irigasi ini responsif, fleksibel, dan efisien dalam menjaga kelembapan optimal untuk tanaman cabai.



Gambar 3. Gambar alat yang digunakan

1. Komponen pertama adalah **ESP32**, yaitu mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem. ESP32 memiliki konektivitas WiFi yang memungkinkan sistem berkomunikasi dengan aplikasi Blynk. Perannya sangat penting dalam memproses data dari sensor kelembapan tanah dan mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara otomatis. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data kelembapan ke Blynk untuk keperluan monitoring dan kontrol manual.

2. Alat kedua adalah **sensor kelembapan tanah** yaitu **sensor soil moisture**[11] yang berfungsi mendeteksi kadar air dalam tanah. Sensor ini bekerja dengan membaca tingkat kelembapan dan mengirimkan nilainya ke ESP32. Data tersebut digunakan sebagai acuan utama dalam menentukan apakah tanah memerlukan penyiraman atau tidak. Jika nilai kelembapan rendah (tanah kering), maka pompa akan diaktifkan.

3. Ketiga adalah **kabel jumper**, yang digunakan untuk menghubungkan semua komponen elektronika dalam rangkaian. Kabel ini memungkinkan komunikasi data dan aliran arus listrik antar perangkat seperti ESP32, sensor, dan relay. Tanpa kabel jumper, tidak akan ada koneksi fisik antar komponen sehingga sistem tidak dapat berjalan.

4. Keempat adalah **pompa air mini DC**. Fungsinya adalah mengalirkan air dari sumber menuju ke tanaman. Pompa ini akan menyala ketika tanah terdeteksi dalam kondisi kering dan berhenti ketika tanah telah cukup lembap. Penggunaan pompa mini DC sangat cocok untuk sistem irigasi skala kecil seperti penyiraman tanaman cabai.

5. Kelima adalah Relay yang berfungsi sebagai saklar elektronik. Relay ini dikontrol oleh ESP32 dan bertugas menghubungkan atau memutuskan aliran listrik ke pompa air. Dengan adanya relay, pompa hanya menyala ketika dibutuhkan, sesuai hasil pengolahan data dari sensor kelembapan.

6. Selanjutnya adalah **selang air** sebagai komponen keenam. Selang ini digunakan untuk menyalurkan air dari pompa ke area tanaman. Dengan adanya selang, aliran air menjadi terarah dan tepat sasaran, sehingga proses penyiraman menjadi lebih efisien.

7. **Aplikasi Blynk**, yaitu platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang digunakan untuk memantau dan mengontrol sistem penyiraman dari jarak jauh melalui smartphone. Blynk berfungsi untuk menampilkan data kelembapan tanah secara real-time dan memungkinkan pengguna untuk mengontrol pompa secara manual jika terjadi kondisi tidak normal, seperti pompa terus menyala padahal tanah sudah lembap. Dengan adanya Blynk, sistem ini menjadi lebih fleksibel dan responsif karena pengguna dapat mengakses dan mengendalikan kondisi sistem kapan saja dan di mana saja. Selain itu, Blynk juga dapat memberikan umpan balik berupa status ON/OFF pompa dan nilai kelembapan secara visual sehingga pengguna dapat memantau performa sistem irigasi secara efisien.



Gambar 4. Gambar alat sudah jadi

Alat penyiram otomatis tanaman cabai berbasis IoT diatas merupakan prototipe sistem irigasi cerdas yang bekerja dengan membaca tingkat kelembapan tanah secara otomatis dan mengatur penyiraman melalui pompa air mini. Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah (soil moisture sensor) yang ditancapkan ke dalam media tanam untuk mendeteksi kadar air. Data dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai otak sistem, memproses sinyal dari sensor dan menentukan apakah pompa perlu dinyalakan atau tidak. Jika kadar kelembapan di bawah 35%, ESP32 akan memerintahkan relay untuk mengaktifkan pompa air yang akan mengalirkan air dari

wadah melalui selang ke tanaman cabai. Komponen relay bekerja sebagai saklar elektronik yang dikendalikan mikrokontroler. Air akan berhenti mengalir ketika kadar kelembapan telah mencapai angka ideal, yaitu di atas 60%. Seluruh rangkaian ini saya rakit secara terorganisir dalam miniatur rumah, lengkap dengan wadah air dan wadah media tanam. Selain itu, ESP32 terhubung ke aplikasi Blynk melalui koneksi WiFi, yang memungkinkan pengguna untuk memantau tingkat kelembapan tanah secara real-time dan mengaktifkan atau menonaktifkan pompa secara manual jika terjadi kesalahan sistem, seperti pompa yang menyala terus-menerus. Sistem ini efisien dan praktis untuk skala kecil serta mendukung pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam dunia pertanian modern.

Tabel Hasil Uji Coba

NO	WAKTU PENGUJIAN	PENGUJIAN	NILAI SENSOR	STATUS POMPA
1	10.00	Tanah Awal Dalam Kondisi Kering	28%	Menyala
2	10.02	Tanah Dalam Kondisi Disiram Air	42%	Menyala
3	10.04	Tanah Dalam Kondisi Ideal Diantara 35% - 60%	60%	Mati
4	10.10	Tanah Meringing	51%	Mati
5	10.20	Tanah Mulai Meringing	39%	Mati
6	10.24	Kondisi Tanah Yang Sudah Harus Disiram	35%	Menyala

Dari tabel diatas, terlihat bahwa sistem irigasi otomatis bekerja sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang berdasarkan nilai kelembapan tanah. Pengujian dilakukan dalam

rentang waktu tertentu dan memperlihatkan siklus kerja penyiraman otomatis.

1. Pengujian 1 (Pukul 10.00)
Ketika tanah berada dalam kondisi sangat kering dengan nilai sensor 28%, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air. Ini menunjukkan bahwa logika penyiraman saat nilai <35% bekerja dengan baik.
2. Pengujian 2 (Pukul 10.02)
Setelah pompa menyiram, nilai sensor naik menjadi 42%, dan sistem masih tetap menyalakan pompa, karena kelembapan belum mencapai batas atas (60%). Ini membuktikan bahwa sistem menunggu kelembapan mencapai ambang batas optimal.
3. Pengujian 3 (Pukul 10.04)
Kelembapan tanah mencapai 60%, yaitu batas atas dari kondisi ideal. Pada titik ini, pompa otomatis mati untuk menghentikan penyiraman. Hal ini membuktikan bahwa sistem bekerja efisien dan mampu menjaga kelembapan dalam rentang yang ditentukan.
4. Pengujian 4 (Pukul 10.10)
Setelah beberapa waktu tanpa penyiraman, kelembapan menurun menjadi 51%. Meskipun menurun, nilai ini masih dalam rentang ideal (35–60%), sehingga pompa tetap tidak diaktifkan. Ini menunjukkan bahwa sistem tidak menyiram secara berlebihan.
5. Pengujian 5 (Pukul 10.20)
Nilai sensor kembali turun menjadi 39%, mendekati ambang bawah. Namun, sistem masih belum menyalakan pompa, karena nilai belum menyentuh titik <35%. Ini menandakan bahwa sistem menunggu kondisi benar-benar kering.
6. Pengujian 6 (Pukul 10.24)
Saat kelembapan mencapai 35%, sistem mengaktifkan pompa kembali. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyiram kembali secara

otomatis ketika kelembapan turun ke ambang batas bawah.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk mampu meningkatkan efisiensi dan efektivitas penyiraman tanaman cabai secara signifikan. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan membaca kelembapan tanah melalui sensor dan mengaktifkan pompa air jika kelembapan berada di bawah 35%, serta memamatkannya saat mencapai batas optimal di atas 60%. Integrasi dengan aplikasi Blynk memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau dan mengontrol sistem dari jarak jauh secara real-time, baik secara otomatis maupun manual. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan kondisi tanah dengan tepat dan konsisten sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang. Inovasi ini memberikan solusi praktis dan hemat sumber daya air, sangat sesuai untuk diterapkan pada lahan pertanian skala kecil hingga menengah, serta mendukung transformasi digital di sektor pertanian menuju pertanian cerdas yang adaptif dan berkelanjutan. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan dengan penambahan panel surya sebagai sumber daya alternatif dan fitur notifikasi otomatis berbasis pesan singkat (SMS/WhatsApp), sehingga tetap dapat digunakan di wilayah dengan keterbatasan internet dan listrik serta meningkatkan ketahanan sistem terhadap kondisi lingkungan ekstrem.

REFERENSI

- [1] E. M. J., S. K. H., and H. G. J., "A Paradigm Shift in Irrigation Management," *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 128, no. 5, pp. 267–277, Oct. 2002, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:5(267).
- [2] M. H. Ali and M. S. U. Talukder, "Increasing water productivity in crop production—A synthesis," *Agric. Water Manag.*, vol. 95, no. 11, pp. 1201–1213, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>.
- [3] L. S. Ilangaweera, S. E. M. H. Naramada, N. T. M. Sajith, M. N. M. Aashiq, and M. N. A. Hinas, "IoT Based Smart

- Plant Growing and Caring Platform for Urban Environments,” in *2024 9th International Conference on Information Technology Research (ICITR)*, 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICITR64794.2024.10857784.
- [4] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, “Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things,” in *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017, pp. 143–148. doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
- [5] S. Gahane, G. Bhojar, S. Kombe, D. Sharma, and P. Anawade, “A Study on Smart Greenhouse Monitoring System Using Blynk IoT Application BT - ICT Systems and Sustainability,” M. Tuba, S. Akashe, and A. Joshi, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2025, pp. 199–209.
- [6] M. Babiuch, P. Foltýnek, and P. Smutný, “Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing,” in *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765944.
- [7] R. Liao, S. Zhang, X. Zhang, M. Wang, H. Wu, and L. Zhangzhong, “Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept,” *Agric. Water Manag.*, vol. 245, p. 106632, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106632>.
- [8] J. D. Bolten, W. T. Crow, X. Zhan, T. J. Jackson, and C. A. Reynolds, “Evaluating the Utility of Remotely Sensed Soil Moisture Retrievals for Operational Agricultural Drought Monitoring,” *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 3, no. 1, pp. 57–66, 2010, doi: 10.1109/JSTARS.2009.2037163.
- [9] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
- [10] H. Durani, M. Sheth, M. Vaghasia, and S. Kotech, “Smart Automated Home Application using IoT with Blynk App,” in *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, 2018, pp. 393–397. doi: 10.1109/ICICCT.2018.8473224.
- [11] H. Mittelbach, I. Lehner, and S. I. Seneviratne, “Comparison of four soil moisture sensor types under field conditions in Switzerland,” *J. Hydrol.*, vol. 430–431, pp. 39–49, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01>