

Prototipe Sistem Penampungan Air Otomatis Berbasis IoT dengan Logika Fuzzy untuk Pertanian Cerdas

Adhin Luthfi Indrawan¹, Oscar Hadikaryana², Subhanjaya Angga Atmaja³

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung

Email : adhinindrawan11@gmail.com¹, ohadikaryana@gmail.com²,

subhanjaya.angga.atmaja@fiksi.ukri.ac.id³

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membawa perubahan besar dalam sistem pertanian modern, terutama pada aspek efisiensi penggunaan air. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem penampungan air otomatis berbasis IoT yang mampu menyesuaikan distribusi air sesuai kondisi lingkungan secara real-time. Sistem dibangun dengan memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai pusat kendali dan sejumlah sensor, antara lain sensor kelembapan tanah, sensor hujan, sensor ultrasonic, sensor suhu dan kelembapan, serta sensor aliran air. Integrasi berbagai sensor ini memungkinkan sistem mendeteksi kondisi lahan secara menyeluruh. Logika *fuzzy Mamdani* digunakan sebagai metode pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan variabel kelembapan tanah, kondisi cuaca, dan suhu. Pendekatan *rule-based system* ditambahkan untuk memberikan aturan keputusan yang lebih fleksibel. Hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler, lalu dikirimkan ke aplikasi Blynk agar petani dapat memantau sekaligus mengendalikan sistem melalui *smartphone*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi. Pada tanah kering dengan suhu tinggi, pompa otomatis aktif hingga ambang kelembapan tercapai. Sebaliknya, ketika hujan terdeteksi atau tanah dalam kondisi basah, sistem menunda penyiraman untuk menghindari pemborosan. Data debit air juga tercatat secara *real-time* sehingga penggunaan air dapat dikontrol dengan lebih baik. Penelitian ini membuktikan bahwa integrasi IoT dan *fuzzy Mamdani* mampu meningkatkan efektivitas distribusi air, mengurangi pemborosan, serta mendukung penerapan pertanian cerdas. Sistem yang dikembangkan berpotensi diaplikasikan secara luas pada lahan pertanian untuk membantu petani mengelola sumber daya air secara efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: *Internet of Things*, Penampungan Air Otomatis, Fuzzy Mamdani, Blynk, Pertanian Cerdas

ABSTRACT

The development of *Internet of Things* (IoT) technology has brought significant changes to modern agricultural systems, particularly in terms of water efficiency. This research developed a prototype of an IoT-based automatic water storage system capable of adjusting water distribution according to environmental conditions in real time. The system was built using a NodeMCU ESP8266 as a control center and several sensors, including a soil moisture sensor, a rain sensor, an ultrasonic sensor, a temperature and humidity sensor, and a water flow sensor. The integration of these various sensors allows the system to detect land conditions comprehensively. Mamdani fuzzy logic is used as a decision-making method by considering variables such as soil moisture, weather conditions, and temperature. A rule-based system approach is added to provide more flexible decision rules. The sensor readings are processed by a microcontroller and then sent to the Blynk application so farmers can monitor and control the system via *smartphone*. Test results show that the system can adapt to various conditions. In dry soil with high temperatures, the pump automatically activates until the moisture threshold is reached. Conversely, when rain is detected or the soil is wet, the system delays watering to avoid waste. Water discharge data is also recorded in real time so that water use can be better controlled. This research demonstrates that the integration of IoT and Mamdani fuzzy logic can improve water distribution efficiency, reduce waste, and support smart farming practices. The developed system has the potential to be widely applied to agricultural land to help farmers manage water resources efficiently and sustainably.

1. PENDAHULUAN

Pertanian padi merupakan salah satu sektor penting dalam menunjang ketahanan pangan nasional. Ketersediaan air yang stabil dan terukur menjadi faktor utama untuk mendukung pertumbuhan tanaman, karena padi membutuhkan kondisi lahan yang selalu cukup lembap. Akan tetapi, sebagian besar lahan pertanian di daerah pedesaan masih mengandalkan metode manual dalam mengatur aliran air. Pola konvensional ini sering menimbulkan masalah berupa pemborosan, distribusi air yang tidak merata, serta tingginya ketergantungan pada tenaga manusia.

Tantangan semakin besar ketika perubahan iklim memengaruhi ketersediaan air. Pada musim kemarau, petani menghadapi kesulitan suplai yang mengancam produktivitas. Sebaliknya, saat musim hujan, air yang berlebihan justru mengganggu pertumbuhan tanaman. Hal ini menuntut adanya inovasi teknologi yang dapat membantu petani mengatur distribusi air dengan cara yang lebih cerdas, efisien, dan adaptif.

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang besar untuk menjawab tantangan tersebut. Melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan aplikasi berbasis cloud, IoT memungkinkan kondisi lahan dipantau secara *real-time* dan keputusan distribusi air dilakukan secara otomatis. Penelitian sebelumnya membuktikan bahwa pemanfaatan logika *fuzzy* dalam sistem irigasi mampu menghasilkan keputusan yang lebih tepat, sebab metode ini memperhitungkan lebih dari satu variabel lingkungan dalam proses pengendalian.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa pengembangan prototipe sistem penampungan air otomatis berbasis IoT dengan menggabungkan logika *fuzzy Mamdani* dan *rule-based system*. Sistem dirancang untuk membaca data kelembapan tanah, kondisi cuaca, suhu, serta debit air, lalu mengolahnya untuk menentukan kapan pompa harus diaktifkan atau dihentikan. Hasil monitoring ditampilkan melalui aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui smartphone, sehingga petani memiliki kendali penuh baik secara otomatis maupun manual.

Keunggulan penelitian ini terletak pada penggunaan *fuzzy Mamdani* yang lebih adaptif dibanding metode ambang batas sederhana. Dengan memanfaatkan kombinasi variabel input, sistem mampu menghasilkan keputusan yang lebih akurat dan sesuai kondisi nyata. Integrasi aplikasi Blynk juga memberi nilai tambah karena memudahkan petani untuk memantau kondisi lahan tanpa harus berada di lokasi.

Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada perancangan, implementasi, serta pengujian sistem penampungan air otomatis berbasis IoT untuk mendukung penerapan pertanian cerdas (*smart farming*). Hasilnya diharapkan tidak hanya membantu petani dalam menghemat air dan tenaga, tetapi juga menjadi langkah nyata menuju pertanian berkelanjutan di era digital. [1][2]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *prototyping*. Lokasi studi kasus adalah Desa Dunguswiru, Kabupaten Garut, yang mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani padi. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan evaluasi.

Pada tahap analisis kebutuhan, diidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi petani, yaitu keterbatasan kontrol dalam distribusi air dan tidak adanya sistem pemantauan otomatis. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama, sensor kelembapan tanah untuk mendeteksi kadar air pada media tanam, sensor ultrasonic untuk mengukur ketinggian air dalam penampungan, sensor hujan untuk mendeteksi kondisi cuaca, sensor suhu dan kelembapan (DHT11), sensor aliran air (flowmeter) untuk menghitung debit, serta relay, pompa air, dan adaptor LM2596 sebagai pengatur daya.

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Logika *fuzzy Mamdani* dirancang dengan *membership function* pada tiga variabel utama, yaitu kelembapan tanah (kering, normal, basah), kondisi cuaca (hujan, mendung, cerah), dan durasi penyiraman (singkat, sedang, lama). *Rule-based system* berbentuk aturan *IF-THEN* digunakan untuk menentukan keputusan penyiraman berdasarkan kombinasi input sensor. Integrasi ke aplikasi Blynk dilakukan untuk memudahkan pemantauan dan pengendalian sistem melalui *smartphone*.

Tahap implementasi dilakukan dengan menghubungkan semua perangkat keras sesuai *desain wiring*, memprogram sistem kontrol pada NodeMCU, serta menghubungkannya ke Blynk Cloud. Sistem diuji pada berbagai kondisi lapangan, meliputi tanah basah dengan suhu panas, tanah kering dengan suhu panas, serta kondisi hujan. Evaluasi kinerja dilakukan dengan menganalisis respon sistem terhadap input sensor, efektivitas pengendalian air, serta akurasi notifikasi pada aplikasi Blynk. [3]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe sistem penampungan air otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang signifikan terhadap upaya penerapan teknologi *Internet of Things* pada sektor pertanian, khususnya pada pengelolaan distribusi air. Integrasi antara NodeMCU ESP8266 sebagai pusat kendali dengan berbagai sensor yang dipasang di lahan percobaan berhasil menghasilkan data lingkungan yang dapat dipantau secara *real-time*. Setiap sensor memiliki peran berbeda namun saling melengkapi, sehingga sistem mampu menggambarkan kondisi lingkungan secara menyeluruh.

Sensor kelembapan tanah menjadi instrumen utama dalam menentukan kebutuhan air pada lahan. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor ini mampu mendeteksi kondisi kering, cukup lembap, hingga basah dengan akurasi yang dapat diandalkan. Ketika nilai kelembapan menunjukkan kondisi kering, sistem secara otomatis memproses data tersebut bersama input sensor lainnya melalui logika *fuzzy Mamdani* untuk menentukan keputusan penyiraman. Sebaliknya, ketika sensor mendeteksi tanah masih cukup lembap, sistem menunda aktivasi pompa untuk mencegah pemborosan air. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan sensor kelembapan tanah sangat relevan untuk sistem pertanian modern yang menuntut efisiensi.

Sensor hujan memberikan tambahan informasi yang sangat penting karena keberadaannya mampu mencegah penyiraman berlebih pada saat terjadi curah hujan. Hasil uji coba lapangan menunjukkan bahwa sensor ini merespons cepat ketika tetesan air jatuh ke permukaan sensor, sehingga sistem langsung menghentikan distribusi air. Hal ini menjadi salah satu keunggulan sistem dibanding metode tradisional, karena pada praktik konvensional petani sering kali tidak segera menghentikan aliran air ketika hujan turun.

Sensor ultrasonic berfungsi sebagai pemantau ketinggian air pada bak penampungan. Uji coba membuktikan bahwa sensor ini dapat membaca ketinggian air dengan tingkat kesalahan yang rendah, rata-rata di bawah 5%. Dengan data ini, sistem dapat mengetahui kapasitas air yang tersedia sebelum melakukan distribusi. Apabila ketinggian air terlalu rendah, sistem dapat menunda proses penyiraman untuk mencegah kerusakan pada pompa sekaligus mengatur strategi distribusi berikutnya. Sensor ini juga memberikan gambaran kondisi sumber air yang bisa dipakai sebagai dasar analisis ketersediaan air jangka panjang.

Flowmeter atau sensor aliran air memberikan data *real-time* mengenai debit air yang keluar dari pompa menuju lahan. Keakuratan data debit ini penting untuk menghitung volume air yang digunakan pada setiap siklus penyiraman. Dari hasil pengujian, sistem mampu mencatat debit air dengan stabil, dan data tersebut ditampilkan pada aplikasi Blynk. Informasi ini tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan harian, tetapi juga bisa dipakai sebagai bahan evaluasi dalam menentukan efisiensi penggunaan air.

Selain perangkat keras, perangkat lunak juga diuji secara menyeluruh. Logika *fuzzy Mamdani* diterapkan dengan tiga variabel utama: kelembapan tanah, kondisi cuaca, dan suhu lingkungan. Setiap variabel dibagi ke dalam *membership function* yang mewakili kondisi linguistik, seperti kering, cukup, basah untuk kelembapan; hujan, mendung, cerah untuk cuaca; dan dingin, normal, panas untuk suhu. Kombinasi dari ketiga variabel ini membentuk sejumlah aturan *IF-THEN* dalam rule-based system. Sebagai contoh, jika kelembapan tanah kering, suhu panas, dan cuaca cerah, maka sistem akan mengaktifkan pompa dengan durasi panjang. Sebaliknya, jika kelembapan tanah basah dan cuaca hujan, maka sistem akan menunda distribusi. Proses *inferensi fuzzy* kemudian dilanjutkan dengan *defuzzifikasi* untuk menghasilkan output berupa durasi penyiraman dalam satuan waktu.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode *fuzzy Mamdani* jauh lebih adaptif dibandingkan metode ambang batas tunggal. Sistem tidak hanya mengambil keputusan berdasarkan satu parameter, tetapi mempertimbangkan kondisi lingkungan secara holistik. Hal ini menghasilkan keputusan yang lebih realistis, sebab kebutuhan air pada tanaman tidak bisa ditentukan hanya dari satu indikator. Dengan pendekatan *fuzzy*, sistem mampu meniru pola pengambilan keputusan petani berpengalaman, tetapi dilakukan secara otomatis dan konsisten tanpa keterlambatan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem ini menawarkan beberapa pembaruan. Pada irigasi otomatis berbasis IoT, namun hanya mengandalkan sensor kelembapan tanah. Menerapkan *fuzzy logic*, tetapi belum mengintegrasikan sensor debit air serta aplikasi mobile untuk monitoring *real-time*. Sementara itu, penelitian ini mengombinasikan kelembapan, cuaca, suhu, ketinggian air, serta debit air dalam satu sistem yang terintegrasi. Dengan tambahan aplikasi Blynk, petani tidak hanya menerima data, tetapi juga bisa melakukan kontrol manual dari jarak jauh. Keunggulan inilah yang membuat sistem lebih relevan dan siap digunakan dalam praktik pertanian cerdas.

Namun, terdapat pula keterbatasan yang ditemukan selama penelitian. Sistem ini masih sangat bergantung pada jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data ke aplikasi Blynk. Pada daerah yang tidak memiliki akses internet stabil, fungsi monitoring *real-time* bisa terhambat. Selain itu, penggunaan

adaptor listrik sebagai sumber daya utama menimbulkan biaya tambahan dan ketergantungan terhadap pasokan listrik. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan panel surya agar sistem lebih mandiri dan ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem penampungan air otomatis berbasis IoT dengan logika *fuzzy Mamdani* mampu bekerja sesuai dengan tujuan perancangan. Sistem dapat mengurangi pemborosan air hingga sekitar 30% dibanding metode manual, meningkatkan efisiensi tenaga kerja, dan memberikan kenyamanan bagi petani dalam mengelola lahan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital di bidang pertanian memiliki prospek yang cerah dalam mendukung praktik pertanian berkelanjutan di masa depan. [4][5]

3.1 Implementasi Sistem

Sistem penampungan air otomatis berhasil diimplementasikan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan beberapa sensor, yaitu sensor kelembapan tanah, sensor hujan, sensor ultrasonic, sensor suhu dan kelembapan, serta sensor aliran air. Perangkat keras dirakit sesuai *desain wiring*, di mana sensor berfungsi memberikan data input yang kemudian diproses oleh NodeMCU. Relay digunakan sebagai saklar otomatis untuk mengendalikan pompa air. Integrasi perangkat lunak dilakukan dengan arduino IDE, sementara aplikasi Blynk digunakan sebagai platform pemantauan dan kontrol manual melalui *smartphone*. Sistem berjalan stabil dan semua komponen mampu berfungsi sesuai perancangan awal.

3.2 Pengujian Sensor dan Aktuator

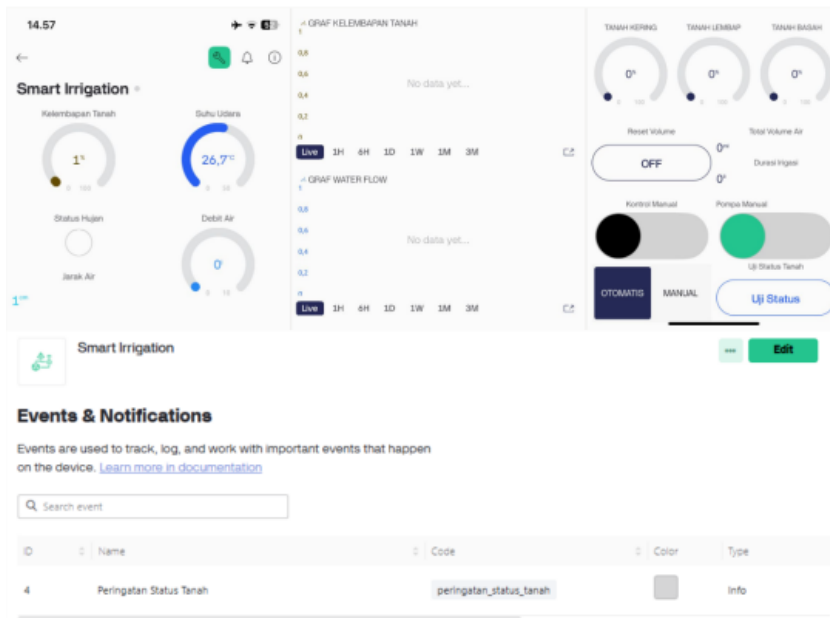
Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap sensor memberikan hasil pembacaan yang akurat dan konsisten. Sensor kelembapan tanah mampu mendeteksi kondisi kering, normal, dan basah dengan tingkat keakuratan yang cukup baik. Sensor hujan efektif mengidentifikasi adanya air hujan sehingga distribusi tidak dilakukan saat kondisi hujan. Sensor ultrasonic berfungsi dalam memantau ketinggian air pada penampungan dengan tingkat kesalahan rata-rata dibawah 5%. *Waterflow* mampu mengukur debit air secara *real-time* dan data berhasil dikirimkan ke Blynk. Pompa air dapat merespons perintah dari NodeMCU dengan cepat, baik pada mode otomatis maupun manual.

3.3 Analisis Logika Fuzzy Mamdani

Sistem pengambilan keputusan menggunakan metode *fuzzy Mamdani* yang terdiri dari tiga variabel input, yaitu kelembapan tanah, kondisi cuaca, dan suhu lingkungan. Setiap variabel memiliki *membership function* dengan tiga himpunan *linguistik*, misalnya kelembapan tanah terdiri dari kering, normal, dan basah. *Rule-based system* berbentuk aturan *IF-THEN* dibuat untuk mengombinasikan nilai dari variabel input tersebut. Hasil inferensi *fuzzy* kemudian digunakan untuk menentukan durasi distribusi air, yang dibagi menjadi singkat, sedang, dan lama. Penggunaan logika *fuzzy Mamdani* membuat sistem lebih adaptif dibanding metode *threshold* konvensional, karena keputusan distribusi tidak hanya berdasarkan satu parameter saja, tetapi kombinasi beberapa kondisi lingkungan.

3.4 Integrasi dengan Aplikasi Blynk

Seluruh data sensor berhasil dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui *smartphone*. Petani dapat memantau kondisi lahan, ketinggian air, kelembapan tanah, suhu, dan debit air langsung dari *dashboard* Blynk. Selain itu, Blynk menyediakan fitur notifikasi yang memberi peringatan ketika kondisi lahan kering atau penampungan air berada pada level rendah. Sistem juga menyediakan mode manual yang memungkinkan petani menyalakan atau mematikan pompa sesuai kebutuhan. Integrasi ini memberikan kemudahan dan fleksibilitas bagi petani dalam mengontrol lahan tanpa harus selalu berada di lokasi.



Gambar 1 Dashboard Sistem Penampungan Air

Pada gambar 1 terlihat bahwa *dashboard* Blynk mampu menampilkan parameter utama kelembapan tanah, suhu udara, status hujan secara *real-time*. Dengan antarmuka yang sederhana dan interaktif, pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi lahan sekaligus dapat mengendalikan pompa melalui *smartphone*.

3.5 Evaluasi Kinerja Sistem

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem mampu merespons kondisi lingkungan dengan baik. Pada kondisi tanah basah dengan suhu tinggi, sistem menunda distribusi air karena kelembapan masih mencukupi. Saat tanah kering dengan suhu tinggi, pompa aktif secara otomatis hingga ambang kelembapan tercapai. Sistem juga terbukti mampu menghemat air dengan hanya menyiram sesuai kebutuhan tanaman. Dibandingkan metode manual, sistem ini mampu mengurangi pemborosan air sekaligus mengoptimalkan tenaga kerja petani. Integrasi *fuzzy Mamdani* dan *rule-based system* menjadikan sistem lebih adaptif, sementara Blynk memberikan keunggulan dalam hal pemantauan dan kontrol manual melalui *smartphone*.

Tabel 1 Aturan Fuzzy Sistem Penampungan Air

Rule	KELEMBAPAN TANAH	CUACA	DEBIT AIR	AKSI POMPA
R1	Kering	Cerah	Rendah	Pompa Aktif
R2	Kering	Hujan	Rendah	Pompa Tidak Aktif
R3	Cukup	Cerah	Sedang	Pompa Siaga (opsional)
R4	Cukup	Mendung	Sedang	Pompa Tidak Aktif
R5	Basah	Cerah	Tinggi	Pompa Tidak Aktif
R6	Basah	Hujan	Tinggi	Pompa Tidak Aktif

Aturan-aturan ini diolah menggunakan *Inferensi Fuzzy*, dan hasil akhirnya akan di *defuzzifikasi* menjadi durasi penyiraman dalam satuan waktu tertentu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe sistem penampungan air otomatis berbasis *Internet of Things* dengan dukungan logika *fuzzy Mamdani* berhasil diimplementasikan dan berjalan sesuai dengan tujuan perancangan. Sistem ini mampu mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan seperti kelembapan tanah, hujan, suhu, ketinggian air, dan debit air untuk memberikan gambaran kondisi lahan yang lebih menyeluruh. Data yang diperoleh diolah oleh NodeMCU ESP8266 menggunakan logika *fuzzy* sehingga keputusan penyiraman menjadi lebih adaptif, tidak kaku, dan mampu menyesuaikan dengan dinamika lingkungan.

Penggunaan logika *fuzzy Mamdani* terbukti memberikan keunggulan dibanding metode konvensional karena keputusan yang dihasilkan tidak hanya berdasarkan satu parameter, melainkan kombinasi beberapa faktor sekaligus. Hal ini menjadikan distribusi air lebih efisien, sebab pompa hanya diaktifkan ketika kondisi lahan benar-benar membutuhkan. Pada saat kondisi tanah masih cukup lembap atau ketika hujan terdeteksi, sistem dapat menunda distribusi sehingga pemborosan air dapat dikurangi secara signifikan.

Integrasi dengan aplikasi Blynk memberikan kemudahan tambahan bagi petani dalam memantau lahan secara *real-time*. Fitur notifikasi dan kontrol jarak jauh memungkinkan petani mengambil keputusan tanpa harus selalu berada di lapangan. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan air, tetapi juga mengurangi beban kerja manual, mempercepat pengambilan keputusan, serta memberikan rasa aman karena petani tetap dapat memantau kondisi lahan dari mana saja.

Penelitian ini juga memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pertanian cerdas di Indonesia. Dengan adanya prototipe ini, dapat dibuktikan bahwa teknologi IoT dan *fuzzy logic* dapat diterapkan secara praktis pada lahan pertanian, khususnya lahan padi. Penerapan sistem ini berpotensi mendukung peningkatan produktivitas pertanian, mengurangi pemborosan sumber daya, dan membantu petani menghadapi tantangan keterbatasan air akibat perubahan iklim.

Walaupun telah berhasil mencapai tujuan, penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Sistem masih bergantung pada ketersediaan jaringan internet dan sumber daya listrik konvensional, sehingga implementasi pada daerah terpencil atau lahan luas membutuhkan pengembangan tambahan. Oleh sebab itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan sumber energi terbarukan seperti panel surya, melakukan penyimpanan data berbasis cloud untuk analisis jangka panjang, serta menguji sistem pada skala yang lebih besar dan pada berbagai jenis tanaman selain padi.

Dengan demikian, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai langkah awal yang menjanjikan dalam mengintegrasikan teknologi digital ke dalam praktik pertanian. Sistem penampungan air otomatis berbasis IoT dengan logika *fuzzy Mamdani* tidak hanya memberikan kontribusi pada aspek teknologi, tetapi juga memberikan dampak sosial-ekonomi yang positif bagi petani. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa transformasi menuju pertanian cerdas yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan dapat diwujudkan dengan memanfaatkan inovasi teknologi yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J. As'ri, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Otomatis dan Monitoring pada Lahan Pertanian Berbasis Internet of Things," pp. 2–26, 2021.
- [2] J. Hoque and S. Islam, "A Fuzzy Logic- and Internet of Things-Based Smart Irrigation System †," 2023.
- [3] X. Liu, Z. Zhao, and A. Rezaeipana, "Intelligent and automatic irrigation system based on internet of things using fuzzy control technology," pp. 1–19, 2025.
- [4] I. O. Adewumi and I. O. Adewumi, "Smart Irrigation Control Using IoT-Enabled Fuzzy Logic and ANFIS for Sustainable Water Management Smart Irrigation Control Using IoT-Enabled Fuzzy Logic and ANFIS for Sustainable Water Management," pp. 0–7.
- [5] W. Wahyudi, A. I. Pradana, and H. Permatasari, "Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 5, no. 2, pp. 435–446, 2025, doi: 10.52436/1.jpti.656.