

Analisis Penerapan Irigasi Pintar Berbasis IoT Sebagai Upaya Optimalisasi Pemberdayaan BUMDes Dinas PMD Sidoarjo

Munshif Alda ¹, Ahmad Isna Fatkhur Romadhon ¹, Sih Suwitaning Rahayu ², dan Utama Alan Deta ^{1,*}

¹ Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

² Sub Bagian Umum, Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa, Sidoarjo, Indonesia

* Email: utamadeta@unesa.ac.id

Abstrak

Permasalahan distribusi air pertanian yang belum efisien masih menjadi tantangan utama bagi masyarakat desa di Kabupaten Sidoarjo dan berdampak pada rendahnya produktivitas serta pemborosan sumber daya air. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang penerapan sistem irigasi pintar yang mampu mengatur aliran air secara lebih terukur dan berbasis data. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja teknis sistem irigasi pintar berbasis IoT sebagai langkah awal dalam mendukung optimalisasi pemberdayaan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) di bawah Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa (PMD) Kabupaten Sidoarjo. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang dipadukan dengan Research and Development (R&D) melalui model ADDIE yang meliputi tahap analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Pengujian dilakukan secara terkontrol dengan mengukur waktu aliran air, volume air, dan debit air menggunakan stopwatch dan gelas ukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu aliran air berpengaruh langsung terhadap volume air yang dihasilkan. Pada kondisi kontrol, volume air meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu aliran dalam rentang yang relatif sempit, sedangkan pada kondisi manipulasi peningkatan waktu aliran yang lebih besar menghasilkan volume air yang lebih tinggi dibandingkan kondisi kontrol. Secara umum, peningkatan waktu aliran berbanding lurus dengan peningkatan volume air, meskipun pada durasi tertentu terjadi kecenderungan penurunan debit. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengaturan waktu dan laju aliran air memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi distribusi air pertanian. Secara keseluruhan, sistem irigasi pintar berbasis IoT yang dikembangkan telah berfungsi sesuai prinsip dasar aliran fluida dan layak digunakan sebagai evaluasi teknis awal sebelum implementasi lebih luas melalui skema pemberdayaan BUMDes. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan lanjutan guna mendukung sistem pertanian desa yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: BUMDes, Debit Air, Efisiensi Air, Internet of Things, Irigasi Pintar

Analysis of the Implementation of IoT Based Smart Irrigation as an Effort to Optimize the Empowerment of Village-Owned Enterprises (BUMDes) by the PMD Office of Sidoarjo

Abstract

The problem of inefficient agricultural water distribution remains a major challenge for rural communities in Sidoarjo Regency and has resulted in low productivity and waste of water resources. The development of Internet of Things (IoT) technology opens up opportunities for the implementation of smart irrigation systems that can regulate water flow in a more measurable and data-driven manner. This study aims to analyze the technical performance of an IoT-based smart irrigation system as a first step in supporting the optimization of the empowerment of Village-Owned Enterprises (BUMDes) under the Sidoarjo Regency Community and Village Empowerment (PMD) Office. The research method uses a quantitative descriptive approach combined with Research and Development (R&D) through the ADDIE model which includes the stages

of analysis, design, development, implementation, and evaluation. Testing was carried out in a controlled manner by measuring water flow time, water volume, and water discharge using a stopwatch and a measuring cup. The results showed that water flow time directly affected the volume of water produced. Under control conditions, water volume increased gradually as flow time increased within a relatively narrow range, while under manipulation conditions, a larger increase in flow time resulted in a higher water volume compared to the control condition. In general, increasing flow time is directly proportional to increasing water volume, although at certain durations there is a tendency for decreased discharge. This finding indicates that timing and flow rate control play a crucial role in improving the efficiency of agricultural water distribution. Overall, the developed IoT-based smart irrigation system functions according to the basic principles of fluid flow and is suitable for initial technical evaluation prior to broader implementation through the Village-Owned Enterprise (BUMDes) empowerment scheme. The results of this study are expected to serve as the basis for further development to support a more efficient and sustainable village agricultural system.

Keywords: BUMDes, Water Flow Rate, Water Efficiency, Internet of Things, Smart Irrigation

Histori Naskah

Diserahkan: 21 September 2025 Direvisi: 15 Desember 2025 Diterima: 17 Desember 2025

How to cite:

Alda, M., Romadhon, A.I.F, Rahayu, S.S., & Deta, U.A. (2025). Analisis Penerapan Irigasi Pintar Berbasis IoT Sebagai Upaya Optimalisasi Pemberdayaan BUMDes Dinas PMDSidoarjo. *Dedikasi: Journal of Community Engagement and Empowerment*, 3(2), 54-62. DOI: <https://doi.org/10.58706/dedikasi.v3n2.p54-62>.

PENDAHULUAN

Salah satu tantangan mendasar yang dihadapi masyarakat desa, khususnya petani di Kabupaten Sidoarjo, adalah masalah distribusi air pertanian yang belum efisien. Pola irigasi manual masih dominan digunakan sehingga sering menimbulkan pemborosan air, keterlambatan penyiraman, dan penurunan produktivitas lahan (SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, 2023). Kondisi ini semakin kompleks dengan adanya hambatan berupa rendahnya literasi teknologi di kalangan petani, keterbatasan infrastruktur pendukung, serta minimnya pembinaan dan kolaborasi antarpetani dalam mengadopsi teknologi modern (Hartanto & Azzahra, 2025). Akibatnya, upaya untuk meningkatkan hasil pertanian melalui inovasi teknologi belum berjalan optimal dan berimplikasi pada terhambatnya penguatan ekonomi desa.

Di sisi lain, perkembangan teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0 membuka peluang besar bagi sektor pertanian untuk melakukan transformasi. Konsep *Internet of Things* (IoT) menghadirkan mekanisme kerja yang mampu mengintegrasikan sensor, aktuator, jaringan internet, dan sistem pengendalian data secara waktu nyata (Rahmanul dkk., 2021). Dalam konteks irigasi, penerapan IoT memungkinkan pengaturan distribusi air dilakukan secara otomatis berdasarkan data lingkungan yang diperoleh dari sensor, sehingga proses irigasi dapat berlangsung lebih terukur dan efisien. Dengan pendekatan ini, penggunaan air dapat dikendalikan secara lebih tepat sasaran dan berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian (Lubis dkk., 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan IoT dalam sistem irigasi memiliki relevansi kuat sebagai solusi teknologi terhadap permasalahan pengelolaan air di sektor pertanian.

Dalam kerangka pembangunan desa, Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) memiliki peran strategis sebagai penggerak inovasi dan ekonomi lokal. BUMDes tidak hanya berfungsi sebagai pengelola unit usaha desa, tetapi juga berpotensi menjadi wadah pengembangan dan adopsi teknologi tepat guna yang mendukung kesejahteraan masyarakat (Aini dkk., 2025). Peran ini sejalan dengan arah kebijakan Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo yang mendorong pembangunan desa berbasis inovasi, inklusivitas, dan keberlanjutan. Sebagai institusi pemerintah, DPMD memiliki mandat untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan melalui penguatan kapasitas kelembagaan desa, peningkatan kualitas layanan,

serta pengembangan ekonomi desa yang mandiri (Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo, 2024). Oleh karena itu, pengembangan teknologi irigasi berbasis IoT dapat dipandang sebagai bagian dari upaya strategis dalam mendukung transformasi desa secara bertahap.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam meningkatkan efisiensi irigasi dan mendukung praktik pertanian cerdas, sebagian besar kajian masih berfokus pada aspek konseptual, implementatif, atau dampak makro tanpa disertai evaluasi kinerja teknis alat secara rinci dan terukur. Beberapa studi menekankan peran IoT dalam optimalisasi penggunaan air dan produktivitas pertanian, namun belum secara spesifik mengkaji hubungan kuantitatif antara waktu aliran, volume air, dan debit sebagai parameter dasar yang menentukan efektivitas sistem irigasi (Lubis, dkk., 2021; Rahmanul, dkk., 2023). Di sisi lain, penelitian mengenai irigasi berbasis IoT yang dikaitkan dengan pemberdayaan BUMDes umumnya lebih menitikberatkan pada aspek kelembagaan dan ekonomi desa, sementara validasi teknis alat sebagai prasyarat implementasi berkelanjutan masih relatif terbatas (Aini, dkk., 2025). Padahal, pengujian kinerja teknis yang selaras dengan prinsip dasar aliran fluida merupakan tahap fundamental untuk memastikan bahwa sistem irigasi pintar bekerja secara stabil dan efisien sebelum diadopsi secara luas di tingkat desa (Kurniawan, dkk., 2021; Musa, dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan kajian yang secara khusus mengevaluasi kinerja teknis sistem irigasi pintar berbasis IoT sebagai landasan awal bagi pengembangan dan penerapan lebih lanjut dalam kerangka pemberdayaan BUMDes.

Sejalan dengan konteks tersebut, irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) dalam penelitian ini dikembangkan dan telah melalui tahap implementasi lapangan sebagai bagian dari proses pengembangan sistem. Namun demikian, ruang lingkup pembahasan dalam artikel ini secara khusus difokuskan pada pengujian kinerja alat sebagai respons terhadap permasalahan distribusi air pertanian yang belum efisien di tingkat desa. Pengujian ini menjadi penting karena sistem irigasi manual yang masih dominan berpotensi menyebabkan pemborosan air dan penurunan produktivitas lahan. Oleh karena itu, sebelum diimplementasikan secara luas melalui skema pemberdayaan BUMDes, sistem irigasi berbasis IoT perlu divalidasi kinerjanya, khususnya pada aspek mekanisme pengaturan aliran air serta kemampuannya menghasilkan data kuantitatif berupa waktu aliran, volume air, dan debit air secara akurat dan stabil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja teknis sistem irigasi pintar berbasis IoT melalui analisis kuantitatif terhadap parameter waktu aliran, volume air, dan debit air sebagai indikator efektivitas sistem dalam mengatur distribusi air pertanian. Pengujian kinerja dilakukan melalui percobaan terkontrol menggunakan gelas ukur dan stopwatch, sehingga data yang diperoleh dapat dianalisis secara objektif dan terukur. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa sistem IoT yang dikembangkan telah berfungsi sesuai dengan rancangan teknis dan prinsip dasar aliran fluida sebelum dilakukan pembahasan yang lebih luas mengenai dampak implementasi di lapangan. Dengan demikian, hasil yang disajikan dalam artikel ini diarahkan sebagai evaluasi teknis awal yang dapat menjadi dasar pengembangan dan penerapan lebih lanjut di lingkungan BUMDes.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang dipadukan dengan metode Research and Development (R&D). Pendekatan deskriptif kuantitatif diterapkan karena penelitian berfokus pada pengukuran kinerja teknis sistem irigasi pintar berbasis Internet of Things (IoT) melalui data numerik tanpa pengujian hipotesis inferensial (Waruwu, dkk., 2025). Metode R&D digunakan untuk mengembangkan sekaligus mengevaluasi prototipe alat irigasi secara sistematis, sehingga proses perancangan, implementasi, dan validasi kinerja teknis dilakukan dalam satu kerangka pengembangan yang terstruktur (Rahayu, 2025).

Pengembangan sistem mengacu pada model ADDIE yang meliputi tahapan Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Pada tahap Analysis dilakukan identifikasi kebutuhan sistem irigasi berbasis IoT dan kajian prinsip dasar dinamika fluida sebagai landasan teoretis pengujian. Tahap Design mencakup perancangan arsitektur sistem yang terdiri atas mikrokontroler berbasis ESP8266/ESP32, sensor aliran air tipe YF-S201, katup solenoid 12V, pompa air mini, serta modul konektivitas internet. Tahap Development dilakukan melalui perakitan perangkat keras, pemrograman menggunakan Arduino IDE, dan kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi pembacaan aliran. Tahap Implementation diwujudkan dalam bentuk pengujian alat pada kondisi terkontrol dengan sumber air bertekanan konstan. Tahap Evaluation difokuskan pada analisis kinerja teknis berdasarkan parameter waktu aliran, volume air, dan debit air (Hidayat & Muhamad, 2021; Slamet, 2022; Siregar & Rhamawati, 2025).

Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen terkontrol terhadap prototipe alat. Sistem dihubungkan dengan pipa PVC berdiameter ½ inci dan panjang 1 meter sebagai jalur aliran. Variasi waktu aliran ditetapkan

pada interval 5, 10, 15, dan 20 detik. Volume air diukur menggunakan gelas ukur berkapasitas 1000 mL dengan ketelitian 10 mL, sedangkan waktu dicatat menggunakan stopwatch digital dengan ketelitian 0,01 detik. Setiap variasi dilakukan tiga kali pengulangan untuk meningkatkan reliabilitas hasil. Debit air dihitung menggunakan persamaan $Q = V/t$, dengan Q menyatakan debit (mL/s), V volume air (mL), dan t waktu aliran (detik). Untuk menjaga validitas internal, tekanan sumber air dijaga konstan dan posisi instalasi tidak diubah selama seluruh rangkaian pengujian. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan mengevaluasi pola hubungan antara waktu aliran, volume air, dan debit guna menilai konsistensi kinerja alat berdasarkan prinsip dinamika fluida (Kurniawan, dkk., 2021; Musa, dkk., 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Sistem Irigasi Pintar Berbasis IoT Berdasarkan Model ADDIE

Distribusi air pertanian di tingkat desa masih didominasi oleh pengaturan manual yang tidak berbasis pengukuran kuantitatif. Durasi penyiraman sering ditentukan berdasarkan kebiasaan, bukan data, sehingga efisiensi penggunaan air sulit dikontrol. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pemborosan sumber daya dan menurunkan efektivitas penyiraman tanaman (SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, 2023). Perkembangan *Internet of Things* membuka peluang pengendalian irigasi yang lebih terukur melalui integrasi sensor dan sistem kendali otomatis. Pendekatan *smart farming* menekankan penggunaan data sebagai dasar pengambilan keputusan teknis dalam pengelolaan sumber daya (Rahmanul, dkk., 2023). Sistem irigasi otomatis berbasis mikrokontroler dilaporkan mampu meningkatkan presisi pengaturan waktu dan volume aliran (Lubis, dkk., 2021). Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan harus mampu mengatur durasi aliran secara presisi, menghasilkan data debit yang terukur, serta menggunakan komponen yang ekonomis agar realistis untuk diterapkan melalui skema pemberdayaan BUMDes (Aini, dkk., 2025). Pertimbangan kebijakan pemberdayaan desa turut memperkuat relevansi pengembangan sistem ini (Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo, 2024).

Perancangan sistem dilakukan dengan menyeimbangkan aspek teknis dan keterjangkauan biaya. Arsitektur terdiri atas mikrokontroler ESP8266 atau ESP32 sebagai pusat kendali, sensor aliran YF-S201 untuk membaca debit, katup solenoid sebagai pengatur aliran, dan pompa air sebagai sumber tekanan. Pemilihan komponen mempertimbangkan kemudahan perawatan dan ketersediaan di pasaran. Sistem dirancang untuk menghitung volume air berdasarkan jumlah pulsa sensor per satuan waktu. Prinsip ini sesuai dengan konsep dasar dinamika fluida yang menghubungkan debit, waktu, dan volume aliran (Angelita, dkk., 2024). Struktur sistem dibuat modular agar memungkinkan pengembangan lanjutan, seperti integrasi sensor kelembapan tanah atau pemantauan berbasis jaringan (Nuraini, dkk., 2025).

Tahap pengembangan mencakup perakitan perangkat keras dan pemrograman sistem menggunakan *Arduino IDE*. Sensor aliran dikalibrasi dengan membandingkan hasil pembacaan terhadap volume aktual yang diukur menggunakan gelas ukur. Pengulangan dilakukan untuk memastikan konsistensi data dan meminimalkan kesalahan pengukuran (Hardiyanti & Pulansari, 2025). Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa pembacaan debit relatif stabil pada tekanan sumber air yang konstan. Stabilitas ini penting karena karakteristik aliran dipengaruhi oleh tekanan dan hambatan saluran (Musa, dkk., 2025). Sistem dinilai mampu menghasilkan data kuantitatif yang dapat dianalisis pada tahap evaluasi.

Pengujian dilakukan pada kondisi terkontrol dengan dua skenario, yaitu kondisi kontrol dan manipulasi waktu aliran. Pengujian bertujuan memastikan bahwa sistem mampu mengatur durasi aliran secara presisi sekaligus merekam data waktu, volume, dan debit secara konsisten. Hasil uji fungsional menunjukkan bahwa katup solenoid dan sensor bekerja sinkron sesuai parameter yang diprogram. Validasi teknis pada tahap ini penting sebagai dasar evaluasi lebih lanjut sebelum sistem diterapkan dalam skala yang lebih luas (Slamet, 2022). Tahap implementasi menjadi landasan untuk analisis kuantitatif hubungan waktu, volume, dan debit yang dibahas pada subbab berikutnya.

Evaluasi dan Validasi Kinerja Teknis Sistem

Evaluasi kinerja sistem difokuskan pada hubungan antara waktu aliran, volume air, dan debit sebagai indikator utama stabilitas dan akurasi pengendalian irigasi. Parameter tersebut dianalisis untuk menilai apakah sistem bekerja selaras dengan prinsip dasar dinamika fluida. Dua skenario pengujian diterapkan, yaitu kondisi kontrol dengan rentang waktu sempit dan kondisi manipulasi dengan variasi waktu lebih luas.

Tabel 1. Data pada Kondisi Kontrol Waktu

No	Waktu (s)	Volume (mL)	Debit (mL/s)
1	3,00	58	19,33
	3,01	59	19,60
	3,02	60	19,87
2	3,10	61	19,68
	3,11	62	19,94
	3,12	63	20,19
3	3,20	64	20,00
	3,21	65	20,25
	3,22	66	20,50

Pada Tabel 1 diketahui kondisi kontrol menunjukkan bahwa peningkatan waktu aliran dari 3,00 detik hingga 3,22 detik diikuti kenaikan volume dari 58 mL menjadi 66 mL. Pola kenaikan berlangsung relatif konsisten pada setiap pengulangan. Kecenderungan ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mempertahankan aliran mendekati kondisi stabil dalam rentang waktu yang sempit. Hubungan positif antara waktu dan volume selaras dengan persamaan dasar debit $Q = \frac{V}{t}$, yang menyatakan bahwa volume berbanding lurus dengan waktu pada kondisi debit konstan (LibreTexts, 2020–2025). Konsep tersebut juga dijelaskan dalam kajian dinamika fluida pada sistem irigasi pertanian (Angelita, dkk., 2024). Konsistensi hasil pada kondisi kontrol menunjukkan bahwa pembacaan sensor dan respons katup berjalan stabil. Nilai debit pada kondisi kontrol berada pada kisaran ± 19 – 20 mL/s dan relatif stabil antar-pengulangan. Stabilitas ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan laju aliran konstan pada tekanan sumber air yang tetap. Kondisi tersebut mendekati karakteristik *steady flow* dalam dinamika fluida, yaitu aliran yang tidak mengalami perubahan signifikan terhadap waktu (Musa, dkk., 2025).

Tabel 2. Data pada Kondisi Manipulasi Waktu

No	Waktu (s)	Volume (mL)	Debit (mL/s)
1	3,00	58	19,33
	3,01	59	19,60
	3,02	60	19,87
2	4,18	72	17,22
	4,19	73	17,42
	4,20	74	17,62
3	5,44	75	13,79
	5,45	76	13,94
	5,46	78	14,29

Kondisi manipulasi pada Tabel 2 memperlihatkan pola serupa, tetapi dengan karakteristik yang berbeda. Waktu aliran diperpanjang hingga 5,46 detik dan volume meningkat hingga 78 mL. Peningkatan volume tetap terjadi, namun laju pertumbuhannya tidak sepenuhnya proporsional terhadap kenaikan waktu. Perbedaan ini menjadi indikator adanya perubahan karakteristik debit pada durasi lebih panjang. Ketika waktu aliran diperpanjang hingga sekitar 4,19 detik, debit menurun menjadi ± 17 mL/s. Pada rentang 5,45 detik, debit turun lebih lanjut hingga sekitar ± 14 mL/s. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan durasi tidak selalu mempertahankan laju aliran yang sama. Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui faktor teknis seperti penurunan tekanan efektif pompa dan hambatan gesek pada saluran pipa (Mulyati, 2023). Variasi debit akibat perubahan kondisi aliran juga telah dilaporkan dalam studi hidraulika sederhana pada sistem distribusi air (Hardiyanti & Pulansari, 2025).

Temuan ini memperlihatkan dua hal penting. Pertama, sistem berhasil merekam perubahan karakteristik aliran secara kuantitatif, yang menunjukkan sensitivitas sensor bekerja dengan baik. Kedua, efisiensi irigasi tidak hanya ditentukan oleh lamanya waktu aliran, tetapi juga oleh kestabilan debit selama proses berlangsung. Hasil evaluasi ini memperkuat bahwa sistem telah berfungsi sesuai prinsip dasar fluida, meskipun terdapat kecenderungan penurunan debit pada durasi lebih panjang. Validasi teknis ini menjadi dasar untuk membandingkan hasil penelitian dengan studi sebelumnya serta mengidentifikasi keterbatasan sistem yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

Pengembangan sistem irigasi berbasis *Internet of Things* telah banyak dikaji, terutama yang menitikberatkan pada otomatisasi penyiraman tanaman. Sistem berbasis mikrokontroler dan sensor aliran dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi distribusi air melalui pengaturan waktu dan volume secara terprogram (Lubis, dkk., 2021). Kajian lain pada budidaya hortikultura menekankan integrasi sensor dan aktuator untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara lebih terkontrol (Nuraini, dkk., 2025). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih berfokus pada aspek implementasi dan efektivitas aplikasi, sementara evaluasi hubungan kuantitatif antara waktu aliran, volume, dan debit sebagai dasar validasi teknis belum dibahas secara mendalam.

Pembahasan mengenai mekanika dan dinamika fluida dalam sistem irigasi sebenarnya telah dilakukan dalam kajian pendidikan fisika maupun teknik pertanian (Angelita, dkk., 2024; Anggraeni, dkk., 2024; Kurniawan, dkk., 2021). Konsep hubungan antara debit, waktu, dan volume telah dijelaskan secara teoretis, tetapi penerapannya dalam pengujian sistem irigasi berbasis *IoT* masih relatif terbatas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis hubungan waktu, volume, dan debit dapat digunakan sebagai indikator awal stabilitas sistem. Pendekatan ini memberikan dasar teknis sebelum sistem diterapkan pada skala lapangan yang lebih kompleks.

Perbedaan utama penelitian ini terletak pada integrasi validasi teknis berbasis prinsip fluida dengan arah implementasi kelembagaan melalui BUMDes. Transformasi digital pertanian melalui pendekatan *smart farming* umumnya dibahas pada tingkat kebijakan dan pengembangan makro (Rahmanul, dkk., 2023), sementara pengujian teknis sederhana yang terukur sering kali tidak menjadi fokus utama. Temuan bahwa debit stabil pada rentang waktu tertentu, namun menurun pada durasi lebih panjang, memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai batas kinerja sistem. Kontribusi ini memperkaya penelitian sebelumnya dengan menghadirkan evaluasi kuantitatif yang eksplisit sebelum sistem diarahkan pada implementasi sosial dan kelembagaan di tingkat desa.

Keterbatasan Sistem dan Solusi Pengembangan

Pengujian sistem dilakukan pada kondisi terkontrol dengan tekanan sumber air yang relatif konstan, sehingga hasil yang diperoleh belum merepresentasikan variasi kondisi lapangan yang sebenarnya. Perubahan debit pada durasi aliran yang lebih panjang menunjukkan bahwa sistem masih dipengaruhi oleh faktor tekanan dan hambatan saluran. Fenomena ini sejalan dengan karakteristik aliran fluida yang sensitif terhadap perubahan tekanan dan kondisi hidraulik (Musa, dkk., 2025; Mulyati, 2023). Selain itu, sistem yang dikembangkan belum dilengkapi sensor kelembapan tanah, sehingga pengaturan penyiraman masih berbasis waktu, bukan kebutuhan aktual tanaman. Keterbatasan tersebut membuat efisiensi penggunaan air belum dapat diukur secara langsung pada tingkat respons tanaman.

Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah belum dilakukannya uji lapangan pada berbagai jenis tanah dan fase pertumbuhan tanaman. Variasi tekstur tanah dan daya infiltrasi berpotensi memengaruhi efektivitas distribusi air, sehingga hasil laboratorium belum tentu identik dengan kondisi pertanian nyata (Angelita, dkk., 2024). Tantangan implementasi teknologi di tingkat desa juga berkaitan dengan kesiapan sumber daya manusia dan biaya operasional, sebagaimana dilaporkan dalam kajian adopsi teknologi pertanian digital (Rahmanul, dkk., 2023). Keterbatasan ini menunjukkan bahwa validasi teknis yang telah dilakukan merupakan tahap awal, bukan tahap akhir dari pengembangan sistem.

Upaya pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada integrasi sensor kelembapan tanah agar sistem mampu menyesuaikan durasi aliran berdasarkan kondisi aktual media tanam. Penambahan algoritma pengendali berbasis ambang batas atau sistem kendali tertutup juga dapat meningkatkan stabilitas debit dan efisiensi distribusi air (Lubis, dkk., 2021; Nuraini, dkk., 2025). Pengujian pada lahan pertanian dengan variasi tekanan dan debit sumber air perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran performa yang lebih komprehensif. Pendekatan bertahap seperti ini dinilai penting agar sistem tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga realistis untuk diterapkan melalui skema pemberdayaan BUMDes.

Dampak Penelitian Terhadap Masyarakat dan Pemberdayaan BUMDes

Validasi teknis yang menunjukkan hubungan terukur antara waktu aliran, volume, dan debit memberikan dasar penting bagi peningkatan efisiensi penggunaan air di tingkat petani. Sistem yang mampu mengatur durasi secara presisi berpotensi mengurangi pemborosan air akibat penyiraman yang terlalu lama atau tidak terkontrol. Pendekatan berbasis data seperti ini selaras dengan prinsip *smart farming* yang menekankan optimalisasi sumber daya melalui pengendalian terukur (Rahmanul, dkk., 2023). Meskipun pengujian masih

dilakukan pada skala terbatas, hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi untuk mendukung praktik irigasi yang lebih rasional dan efisien.

Dampak ekonomi juga dapat dipertimbangkan dari sisi penghematan biaya operasional dan peningkatan produktivitas. Pengaturan aliran yang lebih terkontrol memungkinkan distribusi air dilakukan sesuai kebutuhan, sehingga penggunaan energi pompa dapat diminimalkan. Teknologi sederhana berbasis *Internet of Things* dengan komponen yang relatif terjangkau memberikan peluang bagi desa untuk mengembangkan unit layanan irigasi berbasis teknologi melalui BUMDes (Aini, dkk., 2025). Kebijakan pemberdayaan desa yang mendorong inovasi dan digitalisasi turut membuka ruang implementasi sistem seperti ini pada skala komunitas (Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo, 2024).

Aspek kelembagaan menjadi nilai tambah penelitian ini. BUMDes tidak hanya berperan sebagai pengelola unit usaha konvensional, tetapi juga dapat menjadi fasilitator adopsi teknologi tepat guna di sektor pertanian. Transformasi menuju pengelolaan berbasis teknologi membutuhkan tahapan yang diawali dengan validasi teknis yang jelas agar risiko implementasi dapat diminimalkan. Hasil penelitian ini memberikan pijakan awal bagi proses tersebut. Dampak yang dihasilkan belum dapat diukur secara kuantitatif pada tingkat kesejahteraan petani, namun arah pengembangan yang ditawarkan menunjukkan potensi kontribusi nyata terhadap penguatan ekonomi desa berbasis inovasi.

Pengembangan dan Keberlanjutan Sistem

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem telah mampu merekam hubungan waktu, volume, dan debit secara konsisten pada kondisi terkontrol. Tahap berikutnya perlu diarahkan pada pengujian lapangan dengan variasi tekanan sumber air, jenis tanah, serta fase pertumbuhan tanaman. Uji lapangan penting untuk menilai stabilitas sistem pada kondisi yang lebih dinamis, karena karakteristik aliran dan infiltrasi tanah dapat memengaruhi efektivitas distribusi air (Angelita, dkk., 2024; Musa, dkk., 2025). Pendekatan ini akan memperluas validasi dari skala laboratorium menuju skala operasional pertanian.

Pengembangan teknis dapat difokuskan pada integrasi sensor kelembapan tanah agar sistem tidak hanya berbasis waktu, tetapi juga berbasis kebutuhan aktual tanaman. Sistem kendali tertutup dengan ambang batas tertentu berpotensi meningkatkan presisi pengaturan debit dan mengurangi variasi aliran pada durasi panjang (Lubis, dkk., 2021; Nuraini, dkk., 2025). Integrasi modul pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet juga dapat dikembangkan untuk mendukung pemantauan berbasis data secara *real time*, sehingga pengambilan keputusan lebih responsif terhadap kondisi lapangan.

Arah penelitian lanjutan juga perlu mencakup analisis kelayakan ekonomi dan kesiapan kelembagaan desa. Transformasi pertanian berbasis *smart farming* tidak hanya bergantung pada kinerja teknis, tetapi juga pada kemampuan pengelolaan dan keberlanjutan operasional (Rahmanul, dkk., 2023). Kajian biaya implementasi, potensi penghematan air, serta model bisnis BUMDes berbasis layanan irigasi digital dapat menjadi fokus penelitian berikutnya. Langkah tersebut akan memperjelas kontribusi sistem terhadap penguatan ekonomi desa dan memastikan bahwa inovasi yang dikembangkan tidak berhenti pada tahap prototipe.

KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan waktu aliran diikuti kenaikan volume air secara konsisten pada rentang tertentu, dengan debit yang relatif stabil pada durasi pendek dan cenderung menurun pada durasi lebih panjang akibat faktor tekanan dan hambatan aliran. Temuan tersebut membuktikan bahwa sistem telah bekerja sesuai prinsip dasar dinamika fluida serta mampu menghasilkan data kuantitatif yang layak sebagai dasar pengendalian irigasi. Dampak penelitian ini terletak pada potensi peningkatan efisiensi penggunaan air dan penguatan praktik penyiraman berbasis data di tingkat petani, yang pada akhirnya dapat mendukung produktivitas pertanian desa. Implementasi temuan ini memerlukan kolaborasi aktif antara peneliti, petani, pengelola BUMDes, serta Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa agar sistem dapat diuji dan disesuaikan dengan kondisi lapangan secara partisipatif. Pengembangan lanjutan diarahkan pada integrasi sensor kelembapan tanah, pengujian skala lapangan pada berbagai jenis lahan, serta kajian kelayakan ekonomi agar sistem tidak hanya valid secara teknis, tetapi juga berkelanjutan secara sosial dan kelembagaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, penulis menyampaikan apresiasi kepada Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo atas izin dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian. Dukungan tersebut sangat membantu kelancaran pelaksanaan penelitian serta pengumpulan data di lapangan.

KONTRIBUSI PENULIS

Munshif Alda: Conceptualization, Methodology, Investigation, dan Writing – Original Draft; **Ahmad Isna Fatkhur Romadhon:** Methodology, Formal Analysis, Data Curation, dan Writing – Original Draft; **Sih Suwitaning Rahayu:** Resources dan Data Access; dan **Utama Alan Deta:** Validation dan Supervision. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir dari naskah ini.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi hasil yang dilaporkan dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Para penulis menyatakan bahwa penelitian dan penulisan naskah ini telah mematuhi standar etika penelitian dan publikasi, sesuai dengan prinsip ilmiah, serta bebas dari plagiasi.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Para penulis menyatakan bahwa Kecerdasan Buatan Generatif (*Generative Artificial Intelligence*) dan teknologi asistif lainnya tidak digunakan secara berlebihan dalam proses penelitian dan penulisan naskah ini. Secara khusus, ChatGPT untuk brainstorming ide. Para penulis telah meninjau dan menyunting semua konten yang dihasilkan AI guna memastikan ketepatan, kelengkapan, serta kepatuhan terhadap standar etika dan ilmiah. Tim Penulis bertanggung jawab penuh atas naskah versi akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Nelti, Yusrizal, Ananda, D., Halifa, I., Insana, K., Aurellia, N., Hariyanti, N., Asshidiqi, S.A., Sukmawati, T., & Hikmanda, W. (2025). Peran strategis BUMDes dalam pemberdayaan ekonomi masyarakat: Studi kasus di Desa Pekan Heran, Rengat Barat. *Al-Zayn Jurnal Ilmu Sosial & Hukum*, *3*(2), 1304-1310. Retrieved from: <https://ejournal.yayasanpendidikandzurriyatulquran.id/index.php/AlZayn/article/view/1022>.
- Angelita, T., Amatullah, S., Purwanti, N.Y.N., Mahmudiyah, N.N., Herman, N.B., Anggraeni, F.K.A., & Mahmudi, K. (2024). Kajian konsep fluida dalam sistem irigasi di lahan pertanian. *Jurnal Agritechno*, *17*(1), 99–104. Retrieved from: <https://agritech.unhas.ac.id/ojs/index.php/at/article/view/1325>.
- Anggraeni, N.M., Kinasih, R.E., & Ayuningtiyas, L. (2024). Analisis konsep penerapan mekanika dalam sistem irigasi pertanian berbasis teknologi. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, *8*(2), 248–257. <https://doi.org/10.37478/optika.v8i2.4222>
- Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa Kabupaten Sidoarjo. (2024). *Struktur organisasi*. Retrieved from: <https://dinpmd.sidoarjo.kab.go.id>.
- Hardiyanti, A.V. & Pulansari, F. (2025). Analisis perbedaan aliran harian dan muka air harian. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, *8*(1), 592–604. DOI: <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.39946>.
- Hartanto, A.Y. & Azzahra, Q. (2025). *IoT di ladang: Modal mencekik, tapi produksi naik*. Retrieved from: <https://tirto.id/iot-di-ladang-modal-mencekik-tapi-produksi-naik-g8RH>.
- Hidayat, F. & Nizar, M. (2021). Model ADDIE (analysis, design, development, implementation, and evaluation) dalam pembelajaran pendidikan agama Islam. *Jurnal Inovasi Pendidikan Agama Islam*, *1*(1), 28–37. DOI: <https://doi.org/10.15575/jipai.v1i1.11042>.
- Kurniawan, A.I.P., Supeno, S., & Bektiarso, S. (2021). Identifikasi konsep dinamika fluida pada aliran dam sawah menggunakan metode apung (floating method). *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, *14*(2), 108–119. DOI: <https://doi.org/10.37729/radiasi.v14i2.1340>.
- Lubis, R.A.S., Lubis, A.J., & Lubis, I. (2021). Sistem irigasi otomatis menggunakan Arduino UNO dan teknologi *Internet of Things* (IoT). *Jurnal Syntax*, *2*(2), 172-180. DOI: <https://doi.org/10.46576/syntax.v2i2.1684>.
- Mulyati, B. (2023). Rancang bangun alat pengukur kecepatan aliran air menggunakan water flow sensor berbasis arduino uno. *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains*, *2*(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.56244/formateks.v2i1.721>.
- Musa, R., Ashad, H., & Ali, B. (2025). Kajian Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perluasan Lahan. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, *7*(1), 303-316. Retrieved from: <https://teslink.nusaputra.ac.id/article/view/572>.

- Nuraini, D.J., Windari, G.A., Sudarti, S., & Mahmud, K. (2025). Analisis konsep fisika pada sistem penyiram otomatis untuk budidaya tanaman hortikultura. *JTPG (Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo)*, *10*(1), 19–27. DOI: <https://doi.org/10.30869/jtpg.v10i1.1460>.
- Rahayu, A. (2025). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Pengertian, jenis, dan tahapan. *DIAJAR: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, *4*(3), 459–470. <https://doi.org/10.54259/diajar.v4i3.5092>.
- Rahmanul, R., Daud, D., & Ikhsan, M. (2023). Analisis kebijakan *smart farming* dalam perkembangan pertanian di era revolusi industri 4.0. *Jurnal Administrasi Politik dan Sosial*, *4*(3), 151–156. DOI: <https://doi.org/10.46730/japs.v4i3.124>.
- Siregar, T., & Rhamayanti, Y. (2025). Implementasi pengembangan model ADDIE pada dunia pendidikan. *Jurnal Hasil Penelitian dan Pengembangan (JHPP)*, *3*(2), 85–100. DOI: <https://doi.org/10.61116/jhpp.v3i2.561>.
- Slamet, F.A. (2022). *Model penelitian pengembangan (R&D)*. Malang: Institut Agama Islam Sunan Kalijogo Malang. Retrieved from: <https://perpustakaan.iaiskjmalang.ac.id/wp-content/uploads/2023/09/64-Model-Penelitian-Pengembangan-RD.pdf>.
- SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo. (2023). *Teknologi IoT siswa Smamda Sidoarjo bantu petani atasi gagal panen*. Retrieved from: <https://memox.co.id/teknologi-iot-siswasmamda-sidoarjo-bantu-petani-atasi-gagal-panen/>
- Waruwu, M., Puat, S.N., Utami, P.R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode penelitian kuantitatif: Konsep, jenis, tahapan, dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, *10*(1), 917–932. DOI: <https://doi.org/10.29303/jipp.v10i1.3057>.