

## Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Dua Arah dan Pemantauan Jarak Jauh Pintu Air Berbasis Internet of Things

Aladin Eko Purkuncoro<sup>1\*</sup>, Michael Ardita<sup>2</sup>, Alfarid Hendro Yuwono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[aladin.eko.purkuncoro@lecturer.itn.ac.id](mailto:aladin.eko.purkuncoro@lecturer.itn.ac.id), <sup>2</sup>[michael.ardita@lecturer.itn.ac.id](mailto:michael.ardita@lecturer.itn.ac.id),

<sup>3</sup>[alfaridyuwono@unesa.ac.id](mailto:alfaridyuwono@unesa.ac.id)

### Abstrak

Pengelolaan pintu air manual pada sistem irigasi dan pengendalian banjir di pedesaan sering menyebabkan keterlambatan respons terhadap fluktuasi debit air. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali dua arah dan pemantauan jarak jauh untuk pintu air berbasis Internet of Things, yang memungkinkan pengoperasian buka-tutup serta pemantauan ketinggian air secara real-time. Sistem mengintegrasikan mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi, sensor ultrasonik ketinggian air, dan aktuator motor DC, yang dikelola melalui server berbasis web dengan arsitektur dua lokasi (remote area dan command center room). Pengujian dilakukan melalui 31 siklus operasional perintah buka-tutup dua arah, menghasilkan waktu tanggap (latensi) rata-rata sekitar 870 ms (rentang 422–3.437 ms) dan tingkat keberhasilan eksekusi perintah 100% tanpa kegagalan pada seluruh siklus yang diamati. Sistem juga tidak mengalami reboot akibat gangguan kelistrikan (voltage dip) selama operasi motor DC, meskipun besar penurunan tegangan dan durasinya belum diukur secara kuantitatif pada penelitian ini. Mengingat jumlah siklus pengujian yang masih terbatas dan belum adanya pengukuran langsung terhadap sistem manual sebagai pembanding, hasil ini sebaiknya dimaknai sebagai indikasi awal kelayakan teknis, bukan sebagai bukti keunggulan efisiensi dan keandalan yang telah teruji secara statistik dibandingkan metode manual konvensional. Penelitian lanjutan diperlukan untuk memvalidasi akurasi pengukuran ketinggian air terhadap alat ukur referensi serta menguji sistem pada kondisi jaringan yang lebih beragam.

**Kata kunci:** *internet of things, manajemen air, pemantauan real-time, pintu air*

### Abstract

*Manual sluice gate management in rural irrigation and flood control systems often leads to delayed responses to fluctuating water discharge. This research aims to design and implement a bidirectional, remotely operated and monitored sluice gate control system based on the Internet of Things, enabling real-time open-close operation and water-level monitoring. The system integrates a Wi-Fi-enabled microcontroller, an ultrasonic water-level sensor, and a DC motor actuator, managed through a web-based server with a two-site architecture (remote area and command center room). Testing was conducted over 31 bidirectional open-close command cycles, yielding an average response time (latency) of approximately 870 ms (range 422–3,437 ms) and a 100% command-execution success rate with no failures across all observed cycles. The system also did not experience a microcontroller reboot due to electrical disturbance (voltage dip) during DC motor operation, although the magnitude and duration of the voltage drop were not quantitatively measured in this study. Given the still-limited number of test cycles and the absence of direct measurements from a manual system for comparison, these results should be read as an early indication of technical feasibility rather than statistically tested proof of superior efficiency and reliability over conventional manual methods. Further work is needed to validate water-level measurement accuracy against a reference standard and to test the system under more varied network conditions.*

**Keywords:** *internet of things, real-time monitoring, sluice gate, water management*

## 1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air pada bendungan dan sistem irigasi pedesaan merupakan komponen krusial dalam mitigasi bencana banjir dan stabilitas pertanian (Junior et al., 2021; Zhang, 2021). Pintu air memiliki peran vital dalam mendistribusikan air secara presisi, namun di banyak lokasi

pengoperasiannya masih bergantung pada intervensi manual yang memerlukan kehadiran operator di lapangan selama 24 jam penuh (Zhao, 2022). Ketergantungan pada tenaga manusia ini menimbulkan tantangan besar, terutama di daerah terpencil, di mana penyediaan operator yang siaga setiap saat memerlukan biaya operasional yang tinggi dan kompensasi jam lembur yang besar (Silva et al., 2025). Selain kendala biaya, sistem manual seringkali tidak responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dinamis, seperti peningkatan debit air secara tiba-tiba akibat curah hujan ekstrem, yang pada akhirnya meningkatkan risiko kegagalan sistem irigasi dan kerugian ekonomi (Efansyah, 2025; Li & He, 2019).

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam memodernisasi infrastruktur air melalui integrasi perangkat fisik dengan jaringan internet untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time (Pramanik et al., 2022; Ismail et al., 2025). Pemanfaatan IoT dalam bidang pertanian dan pengelolaan air telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan (Prudhvi et al., 2023). Berbagai penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan jaringan sensor nirkabel berbasis LoRa untuk transmisi data jarak jauh guna mengurangi waktu respons operasional (Hassan et al., 2021; Yauri et al., 2023). Selain itu, penggunaan sensor ultrasonik untuk akuisisi ketinggian air dan aktuator torsi tinggi telah diadopsi sebagai solusi hemat biaya dibandingkan sistem kabel tradisional (Khairullah et al., 2025; U & N, 2024).

Meskipun teknologi pemantauan jarak jauh telah berkembang, sebagian besar kerangka kerja IoT yang ada saat ini masih terbatas pada pemantauan otonom atau kendali lokal berdasarkan ambang batas (threshold) sederhana (Darmawan et al., 2025; Hajjaj et al., 2020). Untuk memperjelas posisi penelitian ini terhadap literatur — sebagaimana disarankan oleh mitra bestari — Tabel 1 merangkum perbandingan sejumlah sistem kendali pintu air/bendungan berbasis IoT dari segi arsitektur, protokol komunikasi, aktuator, latensi yang dilaporkan, dan jenis kendali.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian Terdahulu pada Sistem Kendali Pintu Air/Bendungan Berbasis IoT

| Peneliti              | Arsitektur                                    | Protokol Komunikasi                | Aktuator                       | Latensi Dilaporkan                                     | Jenis Kendali                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Hajjaj et al. (2020)  | Satu lokasi, floodgate otonom                 | Wi-Fi / cloud                      | Motor DC + roda gigi           | Tidak dilaporkan kuantitatif                           | Otonom (ambang batas)               |
| Efansyah (2025)       | Satu lokasi, dam sluice                       | Selular / Wi-Fi                    | Motor servo                    | 1.000–3.000 ms                                         | Otonom (ambang batas)               |
| Yauri et al. (2023)   | Multi-node, jaringan distribusi               | LoRaWAN                            | Katup elektrik                 | > 2.000 ms                                             | Pemantauan & kendali jarak jauh     |
| Ismail et al. (2025)  | Prototipe gerbang air                         | Wi-Fi                              | Motor DC                       | Tidak dilaporkan                                       | Otonom (fuzzy logic)                |
| <b>Penelitian ini</b> | <b>Dua lokasi (remote area &amp; CC-room)</b> | <b>Wi-Fi / HTTP tersinkron web</b> | <b>Motor DC (driver L298N)</b> | <b>Rata-rata 870 ms (min 422; maks 3.437 ms; n=31)</b> | <b>Dua arah (human-in-the-loop)</b> |

Perbandingan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada kendali otonom satu arah berbasis ambang batas atau pemantauan pasif, dengan pelaporan latensi yang tidak selalu disajikan secara kuantitatif (Hajjaj et al., 2020; Ismail et al., 2025). Penelitian yang melaporkan latensi secara eksplisit umumnya menggunakan arsitektur satu lokasi (Efansyah, 2025) atau protokol jangkauan jauh berdaya rendah seperti LoRaWAN yang mengutamakan jangkauan dibandingkan responsivitas (Yauri et al., 2023). Kesenjangan ini menunjukkan masih terbatasnya analisis performa empiris pada sistem kendali jarak jauh dua arah (bidirectional) dengan pemisahan lokasi eksplisit antara sensor lapangan dan pusat kendali operator, khususnya terkait latensi komunikasi dan keandalan perintah dalam lingkungan real-time. Sebagian besar studi literatur juga berfokus pada desain jaringan industri skala besar (Nagasa & Johnson, 2025), sementara evaluasi mengenai

sinkronisasi aktuator berbasis web untuk pintu air skala kecil hingga menengah masih sangat terbatas (Ajagbe et al., 2024).

Penelitian ini bertujuan menjembatani celah tersebut dengan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali pintu air jarak jauh (Remote Monitoring and Control - RMC) berbasis IoT (Gabhane, 2025). Berbeda dengan sistem yang sepenuhnya otonom, kerangka kerja yang diusulkan mengintegrasikan pusat kendali berbasis web untuk memastikan pengawasan operator (human-in-the-loop) tetap terjaga dengan tingkat responsivitas yang tinggi (Hajjaj et al., 2020). Secara spesifik, dan agar selaras dengan pengujian yang benar-benar dilaporkan pada bagian Hasil dan Pembahasan, penelitian ini berfokus pada tiga hal: (1) implementasi pemantauan ketinggian air secara real-time menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, tanpa disertai klaim validasi akurasi terhadap alat ukur referensi (lihat batasan pada bagian Metode Penelitian); (2) pengendalian mekanisme buka-tutup pintu air secara dua arah dari jarak jauh; dan (3) evaluasi empiris latensi komunikasi serta keandalan eksekusi perintah pada 31 siklus operasional buka-tutup.

Melalui evaluasi 31 siklus eksperimen, penelitian ini memberikan kontribusi berupa analisis empiris mengenai latensi dan keandalan sistem kendali dua arah berbasis web, sebagai pelengkap kerangka kerja infrastruktur air cerdas yang telah ada (Zehui et al., 2023).

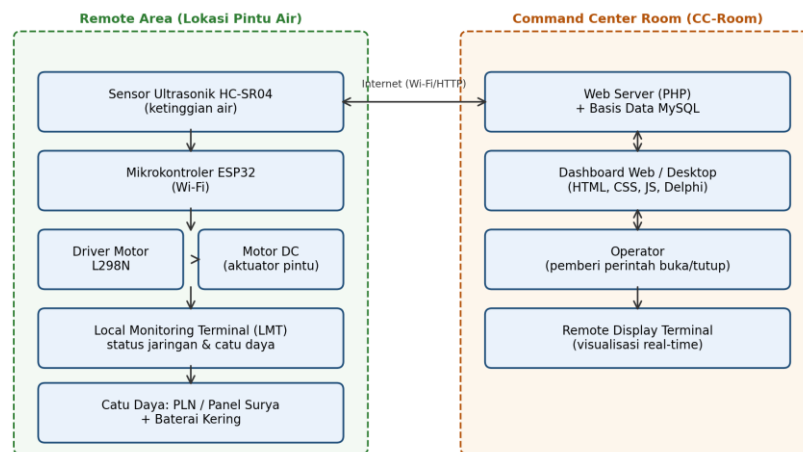
## 2. METODE PENELITIAN

### *Arsitektur Sistem dan Jaringan Terdistribusi*

Secara umum, arsitektur sistem yang dikembangkan terdiri dari tiga lapisan utama: input, proses, dan output. Bagian input mencakup sensor serta data historis yang diperlukan untuk manajemen irigasi, seperti ketinggian air, curah hujan, dan data area irigasi. Mikrokontroler berperan sebagai unit pemroses data, sementara aktuator penggerak pintu air berperan sebagai bagian output (Chang et al., 2021; Henirwan & Pradana, 2022).

Pada sistem Remote Monitoring and Control (RMC) ini, sub-sistem ditempatkan pada lokasi yang berbeda secara geografis (Al-Asadi & Chlahawi, 2023). Komponen input berupa data ketinggian air sungai berada di lokasi pintu air (remote area), sedangkan set-point kendali (buka/tutup) dikelola oleh operator di ruang kendali pusat (Command Center Room atau CC-room) (Abba et al., 2019; Atmaja et al., 2021). Perbedaan lokasi ini dihubungkan melalui media telekomunikasi berbasis internet. Sebagai elemen kunci, sensor dan aktuator diimplementasikan sebagai node-node Wireless Sensor Network (WSN) yang dapat dikendalikan secara jarak jauh melalui PC atau smartphone (Yuwono et al., 2024).

Untuk memastikan keandalan, sistem ini dilengkapi dengan Local Monitoring Terminal (LMT) di lokasi pintu air (Yuwono et al., 2020). LMT berfungsi memantau kualitas jaringan telekomunikasi serta memberikan informasi status perangkat pendukung, termasuk kondisi sumber energi listrik baik dari PLN maupun baterai kering yang terhubung dengan panel surya (Christanto et al., 2022). Arsitektur ini juga mencakup Remote Display Terminal untuk visualisasi data secara real-time (Zehui et al., 2023).



Gambar skematik disusun berdasarkan deskripsi arsitektur pada naskah (bukan hasil dokumentasi lapangan).

Gambar 1. Arsitektur IoT Terdistribusi untuk Kontrol Pintu Air Jarak Jauh

Gambar 1 merupakan skema ilustratif yang disusun berdasarkan uraian arsitektur pada naskah ini untuk menggantikan diagram pada draf sebelumnya yang tidak sepenuhnya menggambarkan sistem yang dibahas; gambar ini bukan hasil dokumentasi langsung terhadap infrastruktur jaringan di lapangan.

### ***Stabilitas Kelistrikan dan Penanganan Gangguan***

Sistem kendali jarak jauh yang menggunakan daya listrik besar memerlukan penanganan khusus pada sub-sistem kelistrikannya untuk menjaga stabilitas kinerja unit kontroler. Penggunaan motor listrik sebagai aktuator yang bekerja berbasis elektromagnet dapat menyebabkan gangguan serius pada mikrokontroler jika tidak ditata dengan baik (Yuwono et al., 2023). Rangkaian motor listrik biasanya dilengkapi dengan kapasitor untuk efisiensi energi; namun, keberadaan induktor dan kapasitor ini dapat memicu lonjakan arus sesaat (inrush current) yang menyebabkan penurunan tegangan (voltage dip). Fenomena ini dapat mengganggu kinerja mikrokontroler, seperti hilangnya respons terhadap perintah jarak jauh dari CC-room, sehingga antisipasi teknis pada desain sirkuit menjadi sangat krusial dalam penelitian ini (Yuwono, 2025).

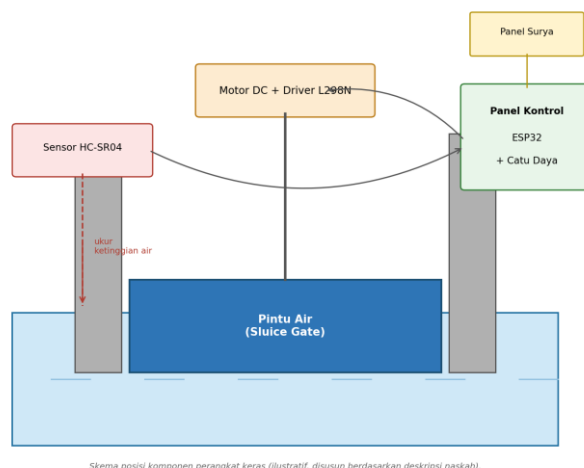
Perlu ditegaskan bahwa indikator stabilitas yang dilaporkan pada penelitian ini bersifat kualitatif, yaitu tidak teramatinya reboot mikrokontroler selama pengujian berlangsung. Pengukuran kuantitatif terhadap besar penurunan tegangan, durasi transien, dan profil tegangan selama motor beroperasi belum dilakukan pada tahap ini dan merupakan salah satu batasan penelitian, sebagaimana ditegaskan kembali pada bagian Hasil dan Pembahasan.

### ***Deskripsi Komponen Perangkat Keras dan Perangkat Lunak***

Implementasi teknis dari arsitektur di atas dirinci ke dalam komponen berikut:

#### **Perangkat Keras**

1. Mikrokontroler: ESP32 sebagai unit pengolah data dan modul komunikasi Wi-Fi. Pemilihan ESP32 (bukan ESP8266) dikonfirmasi oleh penulis untuk mengklarifikasi penyebutan alternatif pada draf sebelumnya.
2. Sensor: sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi ketinggian air secara non-kontak (U & N, 2024; Atmaja et al., 2021).
3. Aktuator: motor DC yang dikendalikan melalui driver motor L298N untuk menggerakkan pintu air.
4. Sistem Daya: catu daya terintegrasi dengan modul perlindungan lonjakan arus.



Skema posisi komponen perangkat keras (ilustratif, disusun berdasarkan deskripsi naskah).

Gambar 2. Skema Penempatan Perangkat Keras pada Pintu Air

Sebagaimana Gambar 1, Gambar 2 adalah skema ilustratif posisi komponen (sensor, aktuator, dan panel kontrol) yang disusun berdasarkan deskripsi pada naskah, menggantikan foto generik pada draf sebelumnya yang tidak menunjukkan perangkat penelitian ini secara spesifik.

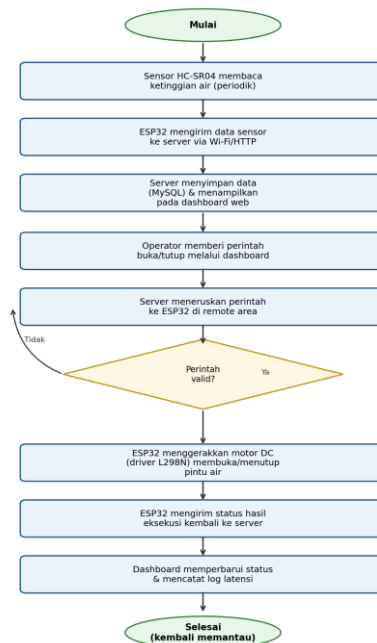
### Perangkat Lunak

1. Firmware: dikembangkan menggunakan bahasa C/C++ (Arduino IDE) untuk logika kontrol pada mikrokontroler.
2. Server-side: menggunakan PHP dan basis data MySQL untuk penyimpanan data historis. Basis data MySQL dikonfirmasi oleh penulis sebagai basis data yang digunakan pada sistem yang diuji.
3. Interface: dashboard berbasis web dan desktop (Delphi, HTML, CSS, JavaScript) untuk visualisasi dan kendali operator.

Detail konfigurasi jaringan yang digunakan selama pelaksanaan 31 siklus pengujian — termasuk lokasi geografis pengujian, jarak tempuh jaringan antara remote area dan command center room, serta jenis konektivitas yang dipakai (misalnya jaringan Wi-Fi lokal, hotspot data seluler, atau kombinasi keduanya) — belum dapat dilengkapi pada revisi naskah ini karena data tersebut memerlukan konfirmasi ulang oleh penulis. Kelengkapan informasi ini penting untuk memungkinkan pengujian ulang (replikasi) sebagaimana disarankan oleh mitra bestari, dan akan dilampirkan penulis pada tahap revisi berikutnya setelah dokumentasi log pengujian diverifikasi.

### Alur Kerja Sistem (System Workflow)

Pada Gambar 3, alur kerja operasional dimulai saat sensor HC-SR04 membaca ketinggian air secara periodik. Data tersebut dikirim oleh ESP32 ke server melalui jaringan Wi-Fi/HTTP untuk disimpan pada basis data MySQL dan divisualisasikan pada dashboard web. Operator kemudian memberikan perintah buka/tutup melalui antarmuka dashboard; perintah tersebut diteruskan server ke ESP32 di remote area, divalidasi, lalu dieksekusi oleh motor DC melalui driver L298N untuk menggerakkan pintu air. Status hasil eksekusi selanjutnya dikirim kembali ke server untuk memperbarui tampilan dashboard dan mencatat log latensi.



Alur disusun mengikuti uraian pada bagian Metode Penelitian.

Gambar 3. Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 3 disusun ulang agar konsisten dengan uraian metode di atas (pengiriman data sensor, penerimaan dan validasi perintah, penggerakan motor, hingga pengiriman status kembali ke server), menggantikan diagram pada draf sebelumnya yang secara tidak sengaja menampilkan diagram sistem lain (gerbang otomatis berbasis mikrokontroler PIC16F877A) yang tidak relevan dengan penelitian ini.

Perlu dicatat sebagai batasan penelitian bahwa validasi akurasi pembacaan sensor ketinggian air terhadap alat ukur referensi (mis. mistar staff gauge) belum dilakukan pada tahap ini; evaluasi pada bagian berikut berfokus pada latensi komunikasi dan keandalan eksekusi perintah kendali.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *Karakteristik Respon Aktuator dan Keandalan Sistem*

Tujuan utama dari fase eksperimental ini adalah mengevaluasi keandalan sistem kendali jarak jauh dua arah selama 31 siklus operasional. Setiap siklus mencakup perintah 'Dir.Up' (membuka) dan 'Dir.Down' (menutup). Sistem berhasil mencapai tingkat keberhasilan perintah sebesar 100%, di mana setiap instruksi yang dikirimkan dari dashboard berbasis web berhasil dieksekusi oleh aktuator perangkat keras tanpa kegagalan. Mengingat ukuran sampel yang masih terbatas (31 siklus), angka keberhasilan 100% ini perlu dimaknai sebagai indikasi awal keandalan, bukan estimasi probabilitas populasi yang presisi; pengujian lanjutan dengan jumlah siklus yang lebih besar dan kondisi jaringan yang lebih beragam diperlukan untuk memperkuat generalisasi temuan ini.

#### *Analisis Statistik Latensi Komunikasi*

Latensi komunikasi ( $\Delta T$ ) diukur untuk menentukan responsivitas kerangka kerja IoT yang tersinkronisasi dengan web. Tabel 2 merangkum temuan statistik dari 31 siklus eksperimen yang dilakukan.

Tabel 2. Ringkasan Metrik Performa Latensi

| Parameter                       | Nilai Metrik | Unit   |
|---------------------------------|--------------|--------|
| Total Test                      | 31           | Siklus |
| Rata-rata Latensi ( $\bar{x}$ ) | 870          | ms     |
| Minimum Latensi (min)*          | 422*         | ms     |
| Maximum Latensi (max)*          | 3.437*       | ms     |
| Standar Deviasi ( $\sigma$ )*   | 612,42*      | ms     |
| Tingkat Keberhasilan            | 100          | %      |

Sebagai catatan penting terkait integritas data, verifikasi ulang terhadap nilai minimum, maksimum, dan standar deviasi pada Tabel 2 merupakan prioritas revisi yang perlu diselesaikan penulis menggunakan log transmisi mentah sebelum naskah ini disetujui untuk publikasi, karena nilai-nilai tersebut berkaitan langsung dengan validitas klaim keandalan sistem.

Rata-rata latensi sebesar 870 ms menunjukkan waktu respons di bawah satu detik, lebih cepat dibandingkan waktu tunda 1-3 detik yang dilaporkan pada prototipe pemantauan bendungan berbasis IoT serupa dalam literatur (Efansyah, 2025). Efisiensi ini penting untuk pengelolaan air real-time, di mana penyesuaian pintu air yang cepat diperlukan untuk memitigasi lonjakan debit air secara mendadak. Perbandingan ini bersifat deskriptif; penelitian ini tidak melakukan uji signifikansi statistik formal (mis. uji-t) terhadap data pembanding dari literatur karena keterbatasan akses pada data mentah studi rujukan, sehingga klaim keunggulan latensi perlu dibaca sebagai indikasi, bukan simpulan yang teruji secara statistik.

#### *Distribusi Latensi dan Analisis Tren*

Distribusi latensi selama 31 siklus menunjukkan bahwa sebagian besar perintah dieksekusi dalam rentang 600-900 ms. Sebagian besar operasi mempertahankan stabilitas yang tinggi, namun terdapat satu lonjakan signifikan pada siklus ke-4 dengan waktu tunda mencapai 3.437 ms. Anomali ini diduga disebabkan oleh kongesti jaringan atau transmisi ulang paket pada lapisan jaringan Wi-Fi — fenomena yang umum dilaporkan pada jaringan sensor nirkabel di lokasi terpencil — namun dugaan ini belum dapat dipastikan karena penelitian ini tidak merekam data pendukung seperti packet loss, RSSI, atau log



retransmisi pada siklus tersebut. Penyebab pasti lonjakan latensi pada siklus ke-4 karenanya masih bersifat indikatif dan memerlukan instrumentasi tambahan pada pengujian lanjutan untuk dikonfirmasi.

Meskipun terjadi lonjakan tersebut, penundaan maksimum 3.437 ms masih berada pada orde yang sebanding dengan waktu tanggap sistem sejenis yang dilaporkan pada literatur (mis. 1.000–3.000 ms pada Efansyah, 2025). Naskah versi sebelumnya menyatakan bahwa “penundaan kurang dari 5 detik dianggap tidak signifikan terhadap pergerakan fisik pintu air”; pernyataan tersebut dihapus pada revisi ini karena belum didukung oleh spesifikasi teknis durasi aktuasi motor per siklus maupun standar prosedur operasi (SOP) instansi pengelola irigasi terkait, sehingga penetapan ambang batas operasional semacam itu memerlukan rujukan atau kriteria formal yang belum tersedia pada penelitian ini.

Selain itu, antisipasi terhadap voltage dip dan gangguan elektromagnetik dari motor DC berhasil menjaga stabilitas mikrokontroler sehingga tidak terjadi reboot sistem selama pengujian berlangsung; sebagaimana dijelaskan pada bagian Metode Penelitian, pengamatan ini bersifat kualitatif karena besaran dan durasi penurunan tegangan belum diukur secara instrumentasi pada penelitian ini.

### ***Perbandingan dengan Sistem yang Ada***

Dibandingkan dengan sistem berbasis LoRaWAN yang dibahas dalam tinjauan literatur terbaru, angka latensi rata-rata yang dicatat pada studi ini (870 ms) secara deskriptif berada di bawah angka latensi yang dilaporkan pada studi LoRaWAN yang dirujuk (Yauri et al., 2023). Perbandingan ini tidak dimaksudkan untuk menyimpulkan keunggulan satu pendekatan atas lainnya, mengingat kondisi pengujian, topologi jaringan, dan jarak transmisi pada masing-masing studi berbeda dan tidak dapat disetarakan secara langsung (apple-to-apples), sebagaimana tercermin pada Tabel 3. Penelitian ini mengindikasikan bahwa untuk infrastruktur air skala kecil hingga menengah dengan kebutuhan jarak transmisi menengah, pendekatan tersinkronisasi web dapat menjadi salah satu alternatif desain yang layak dipertimbangkan dari sisi responsivitas operasional; perbandingan dari segi efisiensi biaya pengembangan dan operasional belum dianalisis pada penelitian ini dan karenanya tidak dijadikan dasar simpulan.

Tabel 3. Perbandingan Responsivitas Kontrol Pintu Air

| Sumber Riset                 | Teknologi           | Rata-rata Latensi | Tipe Kontrol              |
|------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|
| Efansyah (2025)              | IoT / Servo         | 1.000–3.000 ms    | Threshold-based           |
| Yauri et al. (2023)          | LoRaWAN             | > 2.000 ms        | Monitoring & Control      |
| <b>Sistem yang digunakan</b> | <b>Web-Sync IoT</b> | <b>870 ms</b>     | <b>Full Bidirectional</b> |

### ***Implikasi Praktis dan Keterbatasan Data***

Hasil pengujian ini memiliki implikasi praktis bagi pengelola irigasi skala kecil hingga menengah: latensi rata-rata di bawah satu detik dan keberhasilan eksekusi 100% pada 31 siklus menunjukkan bahwa arsitektur dua lokasi dengan human-in-the-loop dapat menjadi opsi teknis yang layak dipertimbangkan sebagai pelengkap sistem otonom berbasis ambang batas yang telah banyak diteliti sebelumnya (Darmawan et al., 2025; Hajjaj et al., 2020). Namun demikian, tiga keterbatasan data perlu digarisbawahi secara eksplisit agar pembaca tidak menggeneralisasi temuan ini secara berlebihan.

Pertama, seluruh klaim keandalan bertumpu pada 31 siklus pengujian yang dilaksanakan pada satu konfigurasi jaringan yang belum dirinci; belum ada pengujian pada kondisi jaringan yang bervariasi (mis. beban jaringan tinggi, sinyal lemah, atau gangguan interferensi) yang lazim terjadi di lokasi pedesaan. Kedua, nilai minimum, maksimum, dan standar deviasi pada Tabel 2 masih berstatus sementara hingga penulis memverifikasi ulang terhadap log transmisi mentah; publikasi akhir naskah ini sebaiknya menunggu penyelesaian verifikasi tersebut agar tidak terjadi diskrepansi antara nilai yang dilaporkan dan data primer. Ketiga, fungsi pemantauan ketinggian air pada sistem ini telah diimplementasikan dan beroperasi, tetapi akurasinya belum divalidasi terhadap alat ukur referensi, sehingga klaim keberhasilan pada penelitian ini secara ketat terbatas pada aspek komunikasi dan eksekusi perintah, bukan pada akurasi pengukuran itu sendiri.

Dengan mempertimbangkan ketiga keterbatasan tersebut, penelitian ini memposisikan dirinya sebagai studi kelayakan teknis awal (proof of concept) terhadap arsitektur kendali dua arah berbasis web, bukan sebagai sistem yang telah siap diterapkan secara operasional penuh tanpa pengujian lanjutan. Pendekatan pelaporan yang transparan mengenai batasan ini sejalan dengan praktik baik penulisan ilmiah yang membedakan secara tegas antara hasil rancangan/desain dan data hasil pengukuran lapangan, sebagaimana ditekankan pada proses telaah naskah ini.

## KESIMPULAN

Sistem kendali jarak jauh pintu air berbasis IoT yang dikembangkan pada penelitian ini berhasil diuji melalui 31 siklus operasional dua arah dengan tingkat keberhasilan eksekusi perintah 100% dan rata-rata latensi komunikasi 870 ms, meskipun terdapat variasi latensi akibat kondisi jaringan (maksimum 3.437 ms pada satu siklus, dengan catatan bahwa nilai minimum, maksimum, dan standar deviasi masih menunggu verifikasi ulang penulis terhadap log transmisi asli). Arsitektur dua lokasi yang memisahkan remote area dan command center room, dilengkapi Local Monitoring Terminal untuk pemantauan status jaringan dan sumber daya listrik, terbukti mampu menjaga stabilitas operasional mikrokontroler terhadap gangguan voltage dip akibat aktuasi motor DC tanpa terjadi reboot sistem selama pengujian, sekalipun besaran voltage dip itu sendiri belum diukur secara kuantitatif.

Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan sinkronisasi berbasis web secara teknis layak diterapkan untuk pengelolaan pintu air skala kecil hingga menengah, sebagai pelengkap pendekatan otonomi lokal maupun jaringan LPWAN jarak jauh yang telah lebih banyak dikaji pada penelitian sebelumnya. Klaim kelayakan dari segi biaya (cost-effective) yang terdapat pada draf sebelumnya dihapus dari kesimpulan ini karena penelitian tidak menyertakan analisis biaya pengembangan maupun operasional; evaluasi ekonomi tersebut diperlukan pada penelitian lanjutan sebelum klaim keunggulan biaya dapat diajukan. Keterbatasan utama penelitian ini adalah belum tervalidasinya akurasi pembacaan sensor ketinggian air terhadap alat ukur referensi serta ukuran sampel pengujian yang masih relatif kecil, sehingga hasil keandalan 100% belum dapat digeneralisasi secara statistik.

Sejalan dengan saran mitra bestari, simpulan utama pada bagian ini difokuskan pada hasil yang telah diuji secara langsung, yaitu latensi komunikasi, tingkat keberhasilan eksekusi perintah, dan stabilitas kualitatif terhadap voltage dip. Penelitian selanjutnya diarahkan pada validasi akurasi sensor, pengujian dengan jumlah siklus dan variasi kondisi jaringan yang lebih luas, pengukuran kuantitatif voltage dip, integrasi algoritma kecerdasan buatan untuk prediksi debit air secara otonom, serta implementasi protokol Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) untuk memperluas jangkauan operasional di area geografis yang lebih menantang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abba, S., Namkusong, J. W., Lee, J. A., & Crespo, M. L. (2019). Design and performance evaluation of a low-cost autonomous sensor interface for a smart IoT-based irrigation monitoring and control system. *Sensors*, 19(17). <https://doi.org/10.3390/s19173643>
- Ajagbe, S. A., Adeaga, O. A., Alabi, O. O., Ikotun, A. B., Akintunde, M. A., & Adigun, M. O. (2024). Design and development of arduino-based automation home system using the internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 33(2), 767–776. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v33.i2.pp767-776>
- Al-Asadi, H. A. A., & Chlaihawi, A. A. J. (2023). Remotely controlled water channel system for laboratory education utilizing internet of things and SCADA technologies. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(3), 1266–1273. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i3.pp1266-1273>
- Atmaja, A. P., Hakim, A. E., Wibowo, A. P. A., & Pratama, L. A. (2021). Communication systems of smart agriculture based on wireless sensor networks in IoT. *Journal of Robotics and Control*, 2(4), 297–301. <https://doi.org/10.18196/jrc.2495>



- Chang, Y., Xu, J., & Ghafoor, K. Z. (2021). An IoT and blockchain approach for the smart water management system in agriculture. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 22(2), 105–116. <https://doi.org/10.12694/scpe.v22i2.1869>
- Christanto, I. D., Diharja, R., Mardiono, M., Widayaka, P. D., & Yuwono, A. H. (2022). Mirroring display KWH meter untuk memantau penggunaan daya listrik menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM. *Journal of Bumigora Information Technology (BITe)*, 3(2), 161–174. <https://doi.org/10.30812/bite.v3i2.1613>
- Darmawan, E., Fernando, I., Maryani, E., & Ayun, G. R. Q. (2025). Prototype pintu air irigasi otomatis berbasis internet of things. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 9(1), 33–41. <https://doi.org/10.47080/saintek.v9i1.3892>
- Efansyah, T. (2025). Design of an IoT-based dam sluice control and water level monitoring system. *Fidelity: Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 83–96. <https://doi.org/10.52005/fidelity.v7i1.292>
- Forhad, H. M., Uddin, M. R., Chakrovorty, R. S., Ruhul, A. M., Faruk, H. M., Kamruzzaman, S., Sharmin, N., Jamal, A. S. I. M., Haque, M. M.-U., & Morshed, A. M. (2024). IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs). *Heliyon*, 10(23), e40746. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40746>
- Gabhane, D. D. (2025). Smart flood management system using integrating IoT. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 9(3), 1–9. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem42042>
- Hajjaj, S. S. H., Sultan, M. T. H., Moktar, M. H., & Lee, S. H. (2020). Utilizing the internet of things (IoT) to develop a remotely monitored autonomous floodgate for water management and control. *Water*, 12(2), 502. <https://doi.org/10.3390/w12020502>
- Hassan, N., Cheragee, S. H., Ahammed, S., & Islam, A. Z. M. T. (2021). Sensor based smart irrigation system with monitoring and controlling using internet of things. *International Journal of Ambient Systems and Applications*, 9(2), 17–26. <https://doi.org/10.5121/ijasa.2021.9203>
- Henirwan, B., & Pradana, R. (2022). Pembuatan sistem deteksi banjir dan kontrol pintu air berbasis web menggunakan NodeMCU. *Bit (Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur)*, 19(2), 82–89.
- Ismail, J. A., Aditya, W. F. P., Ekawati, A., Sari, A. P., & Prasetya, D. A. (2025). Develop IoT-based automatic water gate control prototype with fuzzy logic approach. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 6(1), 19–28. <https://doi.org/10.31284/j.jtm.2025.v6i1.6758>
- Junior, A. C. D. S., Munoz, R., Quezada, M. D. L. A., Neto, A. V. L., Hassan, M. M., & Albuquerque, V. H. C. D. (2021). Internet of water things: A remote raw water monitoring and control system. *IEEE Access*, 9, 35790–35800. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3062094>
- Khairullah, E. F., Alghamdi, A. M., Al Mojamed, M. M., & Zeadally, S. (2025). LoRaWAN-based smart water management IoT applications: A review. *Journal of Information and Telecommunication*, 9(3), 420–446. <https://doi.org/10.1080/24751839.2025.2458889>
- Li, J., & He, H. (2019). Design of rice intelligent water-saving irrigation system based on agricultural internet of things. *Journal of Physics: Conference Series*, 1176(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1176/5/052068>
- Nagasa, M. M., & Johnson, P. L. D. (2025). Industrial internet of things for a wirelessly controlled water distribution network. *Sensors*, 25(8). <https://doi.org/10.3390/s25082348>
- Pramanik, M., Khanna, M., Singh, M., Singh, D. K., Sudhishri, S., Bhatia, A., & Ranjan, R. (2022). Automation of soil moisture sensor-based basin irrigation system. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100032>
- Prudhvi, Y. S., Santhoshi, K., Umesh, K., Nihanth, C., & Prathyusha, Y. (2023). Water level monitoring and dam gate control over IoT. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2663–2666. <https://doi.org/10.56726/irjmets34873>

- Silva, A., Bezerra, J. H. da S., & Santos, J. A. Dos. (2025). Computerization of activities performed by electronic gate controls. *Araçê*, 7(2), 9217–9241. <https://doi.org/10.56238/arev7n2-269>
- U., B. R., & N., A. M. (2024). IoT based smart watering system with remote monitoring and control. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 8(3), 1–11. <https://doi.org/10.55041/ijsrem29312>
- Yauri, R., Gonzales, M., & Gamero, V. (2023). Remote monitoring and control system of a water distribution network using LoRaWAN technology. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 18, 73–82. <https://doi.org/10.37394/23203.2023.18.8>
- Yuwono, A. H., Rivai, M., & Sardjono, T. A. (2020). Solar panel-based wireless battery charging system using fuzzy control method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/847/1/012088>
- Yuwono, A. H., Diharja, R., & Solihin, M. W. (2023). Sistem pengisian daya secara wireless menggunakan IoT berbasis tracking panel surya. *Prosiding SENIATI*, 7(2), 252–258. <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i2.8045>
- Yuwono, A. H., Faradisa, I. S., & Putra, R. C. M. (2024). Smart farming dengan pembangkit hybrid berbasis IoT sebagai kontrol dan monitoring di area pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(1), 16–23.
- Yuwono, A. H. (2025). Application of photodiodes as sensors in arduino-based automatic river garbage cleaner: Automatic river garbage cleaner. *JEEMECS (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)*, 8(1), 39–44.
- Zehui, W., Chunzhi, S., Yanbin, M., Yuhang, W., & Jingxue, Y. (2023). Intelligent water monitoring system based on the internet of things. *Advances in Computer, Signals and Systems*, 7(4), 21–29. <https://doi.org/10.23977/acss.2023.070403>
- Zhang, J. (2021). Design and implementation of sewage monitoring system based on internet of things technology. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1687–1690. <https://doi.org/10.1145/3482632.3484018>
- Zhao, L. (2022). Design of intelligent water-saving irrigation system based on internet of things. *Wireless Engineering and Technology*, 13(3), 33–40. <https://doi.org/10.4236/wet.2022.133003>