

ANALISIS KINERJA HIDRAULIK PROTOTIPE PINTU AIR IRIGASI OTOMATIS BERBASIS ENERGI SURYA DENGAN KENDALI IOT(*INTERNET OF THINGS*) STUDI KASUS DESA SUKOANYAR, KECAMATAN PAKIS, KABUPATEN MALANG

M. Ihsyamuddin H.¹, Eko Noerhayati², dan Anita Rahmawati³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22201051053@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: eko.noerhayati@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: anita.rahmawati@unisma.ac.id

ABSTRACT

Increasing irrigation water demand encourages the development of distribution systems that are more efficient, effective, and adaptive to changing field conditions. This study aims to evaluate the hydraulic performance of an automatic irrigation gate prototype that utilizes solar energy as a power source and Internet of Things (IoT) technology as a control system in Sukoanyar Village, Pakis District, Malang Regency. Data collection was carried out through direct measurements at gate opening variations of 4 cm, 6 cm, 8 cm, and 10 cm. The parameters analyzed included flow discharge, flow velocity, water surface elevation, and discharge coefficient. In addition, system effectiveness was also assessed by comparing the response time between the automatic and manual systems, as well as by distributing questionnaires to farmers, technicians, and planners. The results show that as the gate opening increases, the discharge and flow velocity tend to increase as well. The largest discharge value was obtained at the 10 cm opening variation. Testing of the control system showed that the IoT-based water gate was able to provide more efficient operation compared to the conventional system, since the control process could be carried out automatically and in real time. The use of solar panels as an energy source also supports the sustainability of system operation without being fully dependent on the conventional electrical grid. Based on the questionnaire results, the majority of respondents gave positive assessments regarding the ease of operation, the improvement in water distribution efficiency, and the potential for applying this technology in modern irrigation systems.

Keywords: *solar energy, hydraulics, Internet of Things (IoT), automatic irrigation, discharge coefficient, water gate*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air irigasi yang mencukupi merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan kegiatan pertanian. Oleh sebab itu, diperlukan sistem distribusi air yang mampu menyalurkan debit secara merata sesuai kebutuhan setiap lahan pertanian [12]. Apabila distribusi air tidak dikelola dengan baik, maka akan terjadi ketimpangan pasokan, yaitu sebagian lahan menerima air dalam jumlah berlebih, sedangkan lahan lainnya mengalami kekurangan. Keadaan tersebut berpotensi menurunkan efisiensi pemanfaatan air serta

berdampak terhadap produktivitas hasil pertanian [4].

Pada banyak jaringan irigasi, pengaturan pintu air masih dilakukan secara manual sehingga seluruh proses pengoperasian bergantung pada keberadaan petugas di lapangan. Pola operasi semacam ini dinilai kurang efisien karena memerlukan kehadiran fisik operator di lokasi, sehingga proses penyesuaian bukaan pintu menjadi lambat dan tidak responsif terhadap perubahan kebutuhan di lapangan. Kondisi ini dapat menghambat ketepatan distribusi debit, terutama ketika diperlukan penyesuaian aliran dalam waktu

singkat. Kemajuan teknologi digital memberikan alternatif penerapan sistem kendali berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan proses pengaturan pintu air dilakukan secara otomatis dan lebih responsif[1]. Dengan teknologi tersebut, pemantauan kondisi saluran dan pengaturan bukaan pintu dapat dilakukan secara jarak jauh melalui jaringan internet sehingga proses pengendalian menjadi lebih cepat, akurat, dan berlangsung secara *real-time* [9].

Keberhasilan pengoperasian pintu air otomatis juga dipengaruhi oleh ketersediaan sumber energi yang andal dan berkelanjutan. Panel surya hadir sebagai alternatif sumber daya yang menjanjikan, mampu memasok kelistrikan untuk komponen seperti sensor, penggerak, dan modul IoT tanpa bergantung sepenuhnya pada jaringan PLN. Penggunaan energi surya tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional, tetapi juga mendukung penerapan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan sesuai untuk wilayah pertanian yang memiliki keterbatasan akses listrik [6].

Desa Sukoanyar, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang merupakan daerah pertanian yang masih menghadapi kendala dalam pengelolaan distribusi air irigasi. Pembagian debit yang belum berlangsung secara optimal menyebabkan pasokan air pada lahan pertanian menjadi tidak merata. Sebagian area memperoleh suplai air yang melebihi kebutuhan, sedangkan area lainnya mengalami kekurangan air sehingga efisiensi distribusi belum dapat dicapai secara maksimal [5]. Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya penerapan teknologi yang mampu mengatur bukaan pintu air secara lebih presisi sehingga kestabilan aliran dan pemerataan distribusi air dapat ditingkatkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja hidraulik prototipe pintu air irigasi otomatis yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber daya dan *Internet of Things* (IoT) sebagai sistem kendali. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis pengaruh variasi bukaan pintu terhadap debit aliran, kecepatan aliran, tinggi muka air, serta koefisien debit. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji efektivitas sistem

otomatis dalam mendukung proses pengendalian distribusi air irigasi sehingga dapat menjadi alternatif penerapan teknologi irigasi modern yang lebih efisien [10].

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh bukaan pintu (4cm, 6cm, 8cm, dan 10cm) terhadap kinerja hidraulik pada prototipe pintu air otomatis berbasis energi surya dengan kendali IoT pada bagian hulu dan hilir pintu?
2. Bagaimana jenis tipe aliran pada variasi tinggi bukaan pintu air irigasi berbasis IoT?
3. Seberapa konsistensi dan presisi pintu air otomatis ini, dalam memudahkan pengguna untuk mengendalikan distribusi debit air?
4. Bagaimana tanggapan pengguna (petani), perencana, dan teknisi terhadap penerapan pintu air otomatis berbasis energi surya dengan kendali IoT?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh bukaan pintu (4cm, 6cm, 8cm, dan 10cm) terhadap kinerja hidraulik pada prototipe pintu air otomatis berbasis energi surya dengan kendali IoT.
2. Mengetahui jenis tipe aliran pada variasi tinggi bukaan pintu air irigasi berbasis IoT.
3. Mengevaluasi konsistensi dan presisi prototipe pintu otomatis dalam memudahkan pengguna untuk mengatur debit pada sistem irigasi.
4. Mengetahui persepsi dan tingkat penerimaan stakeholder (petani, perencana, teknisi) terhadap prototipe pintu air otomatis.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada analisis aliran prototipe pintu air otomatis yang diterapkan pada jaringan irigasi sekunder menuju saluran irigasi tersier dan tidak membahas jaringan irigasi primer.
2. Variabel yang dianalisis dalam penelitian meliputi variasi bukaan pintu sebesar 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm atau setara dengan 25%, 50%, 75%, dan 100% sesuai kebutuhan petani, serta parameter debit aliran, kedalaman aliran, kecepatan aliran, waktu

respon pintu, kestabilan aliran, dan koefisien debit.

3. Kajian penelitian hanya difokuskan pada aspek hidraulika, seperti debit aliran, profil muka air, dan kestabilan aliran. Selain itu, kuisioner digunakan untuk mengetahui pandangan petani, teknisi, dan perencana terkait kemudahan penggunaan, kelayakan teknis, serta keberlanjutan sistem tanpa membahas aspek sosial-ekonomi secara mendalam.
4. Penelitian ini tidak mencakup pembahasan mengenai pola tata tanam, kalender tanam, kebutuhan air tanaman, maupun analisis hidrologi curah hujan, karena penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja hidraulik pintu air otomatis berbasis IoT.
5. Analisis kuisioner pada penelitian ini dibatasi hanya pada penyajian tingkat kepuasan pengguna pintu air otomatis, meliputi petani (HIPPA), teknisi, dan perencana dalam bentuk grafik, tanpa menggunakan metode analisis statistik lanjutan atau analisis variabel lainnya.

1.5 Manfaat

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan ilmu di ranah hidraulika, khususnya dalam perancangan sistem irigasi cerdas yang mengintegrasikan IoT dan energi terbarukan.
2. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi dalam perancangan dan penerapan pintu air otomatis pada jaringan irigasi di lapangan.
3. Penelitian ini diharapkan mampu mendukung peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi di Desa Sukoanyar sehingga distribusi air menjadi lebih merata dan produktivitas pertanian dapat meningkat.
4. Penelitian ini juga memberikan gambaran awal mengenai tingkat penerimaan petani terhadap penggunaan teknologi irigasi modern dari sisi sosial dan operasional.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Irigasi dan Sistem Distribusi Air

Irigasi merupakan suatu sistem penyediaan dan pengaturan air yang bertujuan

memenuhi kebutuhan tanaman selama masa pertumbuhan sehingga produktivitas lahan dapat dipertahankan[12]. Keberhasilan suatu sistem irigasi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan air, tetapi juga oleh kemampuan jaringan dalam mendistribusikan air secara merata sesuai kebutuhan setiap petak lahan[4]. Penyaluran air umumnya dilakukan melalui jaringan irigasi primer, sekunder, hingga tersier yang saling terhubung dalam mendukung pelayanan irigasi.

Pada jaringan irigasi konvensional, pengaturan debit umumnya masih dilakukan secara manual sehingga proses distribusi air kurang fleksibel ketika terjadi perubahan kebutuhan di lapangan. Cara tersebut mengharuskan operator melakukan pengaturan langsung di lapangan sehingga proses pengendalian debit menjadi kurang efisien, terutama ketika diperlukan penyesuaian aliran dalam waktu singkat. Oleh karena itu, penerapan teknologi otomatis menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kecepatan, ketelitian, dan efektivitas pengelolaan distribusi air irigasi [10], [5].

2.2 Teori Hidraulika Pintu Air

Pada saluran terbuka, pintu air berfungsi sebagai bangunan pengatur yang mengendalikan tinggi muka air sekaligus mengatur besarnya debit yang dialirkan ke bagian hilir. Debit yang mengalir melalui pintu ditentukan oleh tiga faktor utama: dimensi penampang basah, ketinggian bukaan, dan kecepatan aliran[4]. Hubungan antara parameter-parameter tersebut dapat dinyatakan menggunakan Persamaan (1).

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang basah (m²)

V = kecepatan aliran (m/s)

Selain debit aliran, salah satu parameter penting dalam analisis hidraulik adalah koefisien debit (Cd). Parameter ini digunakan untuk menunjukkan tingkat efisiensi aliran yang melewati pintu air dengan membandingkan debit aktual terhadap debit teoritis[13].

$$C_d = \frac{q}{a\sqrt{2gy_1}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

q = debit per satuan lebar (m^3/det)

Q = debit aliran (m^3/det)

C_d = koefisien debit

a = tinggi bukaan pintu (m)

g = percepatan gravitasi (m/det^2)

y_1 = kedalaman aliran di hulu pintu (m)

Semakin tinggi nilai koefisien debit, semakin kecil kehilangan energi yang terjadi ketika aliran melewati pintu, sehingga performa hidraulik pintu air dapat dikatakan semakin baik [2].

Parameter lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu respons sistem. Waktu respons menggambarkan lamanya sistem dalam menjalankan perintah pembukaan maupun penutupan pintu air. Pada sistem otomatis berbasis IoT, waktu respons menjadi indikator penting karena berhubungan langsung dengan kecepatan pengaturan distribusi air. Pemanfaatan sensor dan aktuator memungkinkan proses pengendalian berlangsung lebih cepat dibandingkan sistem manual sehingga distribusi debit dapat dilakukan secara lebih efektif dan stabil.

Perhitungan waktu respons rata-rata dinyatakan dengan Persamaan (3).

$$\bar{t} = \frac{\sum t}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$\bar{t}$ = waktu respon rata-rata (detik)

$\sum t$ = jumlah seluruh waktu respon

n = jumlah percobaan

2.3 Internet of Things pada Sistem Irigasi

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat melalui jaringan internet sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara otomatis[1]. Dalam bidang irigasi, penerapan IoT dimanfaatkan untuk memantau kondisi saluran, mengukur tinggi muka air, serta mengendalikan bukaan pintu air tanpa memerlukan kehadiran operator secara langsung di lapangan [9].

Informasi dari sensor diteruskan ke platform monitoring sehingga kondisi saluran dapat terpantau secara langsung. Dengan demikian, IoT tidak hanya memudahkan pengendalian, tetapi juga mempercepat respon

terhadap perubahan kondisi di lapangan serta menekan risiko pemborosan air[11].

2.4 Energi Surya sebagai Sumber Daya Sistem

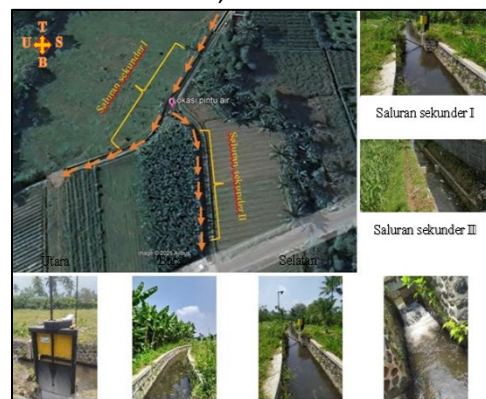
Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan untuk memasok kebutuhan listrik pada sistem otomatis di bidang pertanian. Panel surya berfungsi mengubah radiasi matahari menjadi listrik yang kemudian disimpan pada baterai untuk mendukung pengoperasian komponen elektronik[6].

Pemanfaatan energi surya memberikan beberapa keuntungan, antara lain mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional, mendukung penggunaan energi ramah lingkungan, serta memungkinkan sistem tetap beroperasi pada daerah yang memiliki keterbatasan akses listrik. Oleh karena itu, kombinasi teknologi IoT dengan sumber energi surya menjadi salah satu solusi yang potensial untuk mendukung modernisasi sistem irigasi secara berkelanjutan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada saluran irigasi di Desa Sukoanyar, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang, yang dipilih karena masih menerapkan sistem distribusi air semi-manual sehingga sesuai untuk pengujian prototipe pintu air otomatis. Lokasi tersebut dipilih karena merupakan kawasan pertanian yang masih menerapkan sistem distribusi air secara semi-manual sehingga sesuai sebagai lokasi pengujian prototipe pintu air otomatis. Titik koordinat lokasi penelitian berada pada - 7,988235 LS dan 112,748242 BT.



Gambar 1 Detail Lokasi Penelitian
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025

3.2 Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan melalui observasi lapangan, pengukuran langsung, serta dokumentasi selama pelaksanaan penelitian. Pengujian dilakukan menggunakan empat variasi bukaan pintu, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm.

Parameter yang diukur meliputi:

1. Kedalaman aliran pada sisi hulu dan hilir pintu air.
2. Kecepatan aliran yang diukur menggunakan *current meter*.
3. Luas penampang basah saluran.
4. Debit aliran pada setiap variasi bukaan pintu.
5. Waktu respons sistem pada pengoperasian pintu air otomatis maupun manual.

Selain pengambilan data teknis, penelitian ini juga dilengkapi dengan penyebaran kuesioner kepada petani (HIPPA), teknisi, dan perencana guna memperoleh informasi mengenai tingkat penerimaan pengguna terhadap penerapan sistem pintu air otomatis berbasis IoT.

3.3 Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian diawali dengan survei lokasi untuk mengidentifikasi kondisi eksisting saluran irigasi. Selanjutnya dilakukan perancangan prototipe pintu air otomatis, pemasangan perangkat *Internet of Things* (IoT), serta pengujian fungsi seluruh komponen sistem.

Setelah seluruh perangkat beroperasi dengan baik, dilakukan pengambilan data lapangan pada setiap variasi bukaan pintu. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja hidrolik sistem. Tahap akhir penelitian berupa evaluasi efektivitas prototipe berdasarkan hasil analisis hidrolik dan tanggapan responden melalui kuesioner.

Peralatan utama yang digunakan selama penelitian meliputi panel surya, *Programmable Logic Controller* (PLC) *Siemens*, *Raspberry Pi*, *sensor water level*, *rotary encoder*, serta *current meter* sebagai alat pengukur kecepatan aliran.

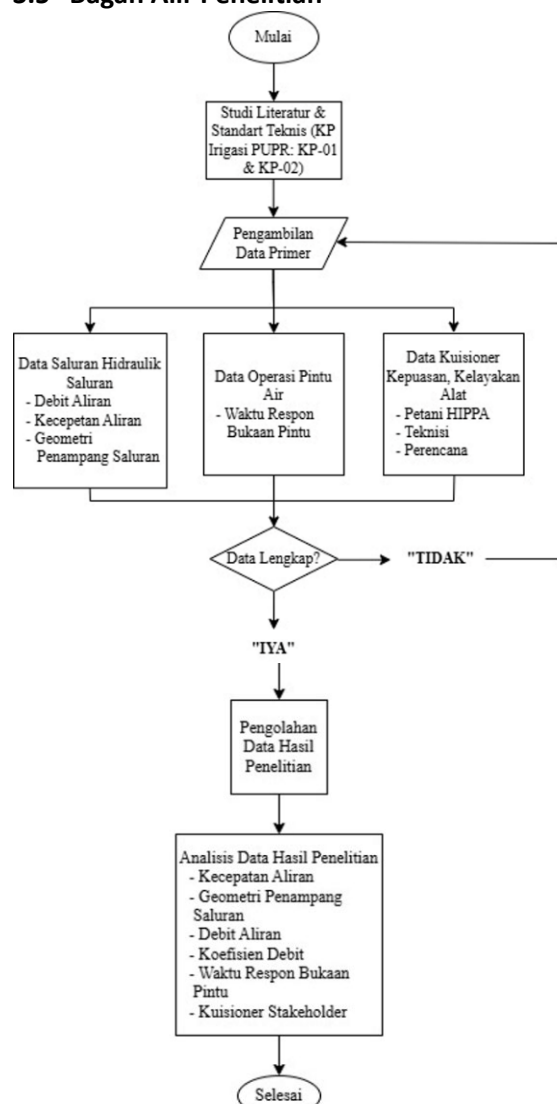
3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung debit aliran berdasarkan luas

penampang basah dan kecepatan rata-rata aliran. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara variasi bukaan pintu dengan perubahan debit aliran, kecepatan aliran, serta nilai koefisien debit.

Efektivitas sistem pintu air otomatis dievaluasi melalui perbandingan waktu respons antara sistem otomatis berbasis IoT dan sistem manual. Sementara itu, data hasil kuesioner dianalisis menggunakan skala Likert untuk mengetahui tingkat kepuasan dan penerimaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan.

3.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan alir penelitian.

3.6 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

a. Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan melalui dua pendekatan utama di lapangan. Pertama,

observasi untuk mencatat kondisi eksisting saluran dan lingkungan sekitarnya. Kedua, pengukuran langsung terhadap parameter teknis seperti geometri saluran, kedalaman, dan kecepatan aliran.

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber yang mendukung pelaksanaan penelitian, antara lain:

1. Literatur berupa jurnal ilmiah, buku referensi teknik sipil, hidraulika, serta Internet of Things (IoT).
2. Dokumen standar teknis seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), pedoman hidraulika, dan berbagai referensi yang berkaitan dengan perancangan pintu air.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

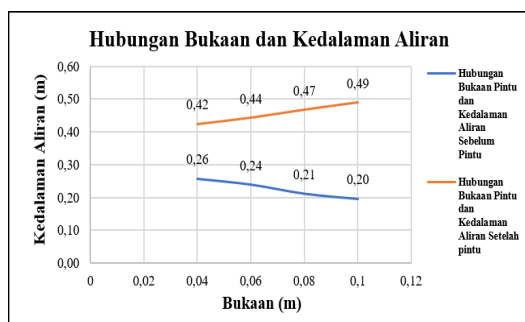
4.1 Analisis Kedalaman dan Kecepatan Aliran

Pengukuran kedalaman aliran dilakukan pada sisi hulu (sebelum pintu) dan hilir (setelah pintu) untuk setiap variasi bukaan pintu, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Kedalaman Setiap Variasi Bukaan Pintu

Variasi Bukaan Pintu(cm)	kedalaman aliran rata-rata(cm)	
	sebelum pintu	setelah pintu
4	25,63	42,35
6	23,90	44,28
8	21,17	46,69
10	19,60	48,87

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



Gambar 3. Hubungan bukaan dan kedalaman air

Berdasarkan hasil pengukuran, perubahan bukaan pintu memberikan pengaruh terhadap

karakteristik aliran pada saluran irigasi. Semakin besar bukaan pintu yang diterapkan, kedalaman aliran di bagian hulu cenderung mengalami penurunan, sedangkan kedalaman aliran di bagian hilir menunjukkan kecenderungan meningkat. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa bertambahnya bukaan pintu memperlancar aliran air sehingga distribusi debit menuju bagian hilir menjadi lebih besar.

Selain kedalaman aliran, pengukuran juga dilakukan terhadap kecepatan aliran pada setiap titik pengamatan. Rata-rata nilai kecepatan (V) aliran sebagai berikut :

$$V_{rata-rata} = \frac{V_{percobaan 1} + V_{percobaan 2} + dst.}{Jumlah percobaan}$$

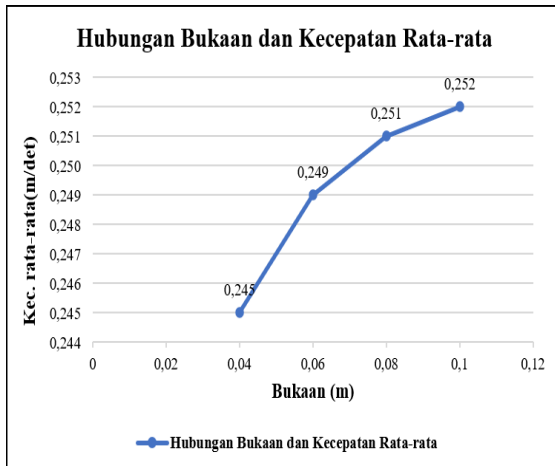
Untuk perhitungan nilai kecepatan rata-rata digunakan contoh pada sampel data kecepatan aliran bukaan 4 cm, maka Langkah perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{titik 1} &= \frac{0,13 + 0,12 + 0,12 + 0,14 + 0,13}{5} \\ &= 0,128 \text{ m/det} \\ V_{titik 2} &= \frac{0,12 + 0,14 + 0,13 + 0,13 + 0,14}{5} \\ &= 0,132 \text{ m/det} \\ V_{titik 3} &= \frac{0,13 + 0,13 + 0,14 + 0,12 + 0,14}{5} \\ &= 0,132 \text{ m/det} \\ V_{titik 4} &= \frac{0,12 + 0,13 + 0,13 + 0,15 + 0,11}{5} \\ &= 0,128 \text{ m/det} \\ V_{titik 5} &= \frac{0,52 + 0,53 + 0,52 + 0,52 + 0,54}{5} \\ &= 0,526 \text{ m/det} \\ V_{titik 6} &= \frac{0,42 + 0,44 + 0,42 + 0,44 + 0,41}{5} \\ &= 0,426 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Tabel 2 Data Kecepatan Aliran Setiap Titik Pada masing-masing Variasi Bukaan Pintu

Bukaan Pintu Ukuran 4 cm					
Titik 1 (m/det)	Titik 2 (m/det)	Titik 3 (m/det)	Titik 4 (m/det)	Titik 5 (m/det)	Titik 6 (m/det)
0,128	0,132	0,132	0,128	0,526	0,426
Bukaan Pintu Ukuran 6 cm					
Titik 1 (m/det)	Titik 2 (m/det)	Titik 3 (m/det)	Titik 4 (m/det)	Titik 5 (m/det)	Titik 6 (m/det)
0,132	0,134	0,134	0,13	0,534	0,43
Bukaan Pintu Ukuran 8 cm					
Titik 1 (m/det)	Titik 2 (m/det)	Titik 3 (m/det)	Titik 4 (m/det)	Titik 5 (m/det)	Titik 6 (m/det)
0,144	0,14	0,134	0,134	0,528	0,424
Bukaan Pintu Ukuran 10 cm					
Titik 1 (m/det)	Titik 2 (m/det)	Titik 3 (m/det)	Titik 4 (m/det)	Titik 5 (m/det)	Titik 6 (m/det)
0,148	0,136	0,134	0,146	0,53	0,418

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



Gambar 4. Hubungan bukaan dan kecepatan rata-rata

Berdasarkan hasil pengukuran dan grafik hubungan antara bukaan pintu dengan kecepatan aliran, terlihat bahwa peningkatan bukaan pintu diikuti oleh perubahan kecepatan aliran pada saluran. Semakin besar bukaan pintu yang diberikan, hambatan aliran menjadi semakin kecil sehingga air dapat mengalir dengan lebih lancar. Akibatnya, kemampuan saluran dalam menyalurkan debit air meningkat seiring bertambahnya luas bukaan pintu.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa variasi bukaan pintu merupakan salah satu faktor yang memengaruhi karakteristik hidraulik saluran. Bertambahnya luas bukaan tidak hanya memengaruhi distribusi debit, tetapi juga menyebabkan perubahan kedalaman dan kecepatan aliran. Dengan demikian, pengaturan bukaan pintu yang sesuai sangat penting untuk memperoleh distribusi air yang lebih stabil dan efisien pada jaringan irigasi.

4.2 Analisis Debit Aliran

Debit aliran pada penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil pengukuran kecepatan aliran dan luas penampang basah saluran. Perhitungan dilakukan pada setiap titik pengamatan untuk seluruh variasi bukaan pintu, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Dari hasil pengolahan data diperoleh bahwa nilai debit terbesar terjadi pada bukaan pintu 10 cm, sedangkan debit terkecil diperoleh pada bukaan pintu 4 cm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa besarnya bukaan pintu berpengaruh terhadap kapasitas aliran yang melewati saluran.

- **Titik 1** (penampang trapesium) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,548 \text{ m}^2$$

$$V = 0,128 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,548 \times 0,128 \\ = 0,070 \text{ m}^3/\text{det}$$

- **Titik 2** (penampang persegi) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,514 \text{ m}^2$$

$$V = 0,132 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,514 \times 0,132 \\ = 0,067 \text{ m}^3/\text{det}$$

- **Titik 3** (penampang persegi) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,508 \text{ m}^2$$

$$V = 0,132 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,508 \times 0,132 \\ = 0,067 \text{ m}^3/\text{det}$$

- **Titik 4** (penampang trapesium) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,539 \text{ m}^2$$

$$V = 0,128 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,539 \times 0,128 \\ = 0,069 \text{ m}^3/\text{det}$$

- **Titik 5** (penampang persegi) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,391 \text{ m}^2$$

$$V = 0,526 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,391 \times 0,526 \\ = 0,205 \text{ m}^3/\text{det}$$

- **Titik 6** (penampang persegi) perhitungan debit aliran (Q):

$$Q = A \times V, \text{ dimana}$$

$$A = 0,455 \text{ m}^2$$

$$V = 0,426 \text{ m/det},$$

$$\text{Jadi } Q = 0,455 \times 0,426 \\ = 0,193 \text{ m}^3/\text{det}$$

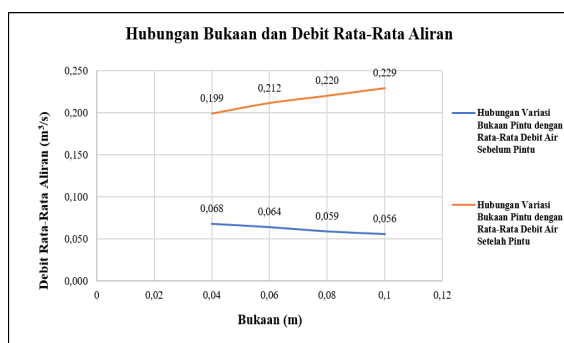
Berdasarkan hasil pengukuran serta grafik hubungan antara variasi bukaan pintu dengan debit aliran, terlihat bahwa pembesaran bukaan pintu menyebabkan peningkatan debit rata-rata pada sisi hulu. Nilai debit sebelum pintu meningkat dari 0,199 m³/det pada bukaan 0,04 m menjadi 0,229 m³/det pada bukaan 0,10 m. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa

bertambahnya luas bukaan pintu mampu mengurangi hambatan aliran sehingga volume air yang mengalir melalui pintu menjadi lebih besar.

Tabel 3 Data Debit Air Setiap Titik Pada Tiap Variasi Bukaan Pintu

Bukaan Pintu Ukuran 4 cm	Bukaan Pintu Ukuran 6 cm	Bukaan Pintu Ukuran 8 cm	Bukaan Pintu Ukuran 10 cm
Titik 1 0,070 m ³ /det	Titik 1 0,067 m ³ /det	Titik 1 0,060 m ³ /det	Titik 1 0,055 m ³ /det
Titik 2 0,067 m ³ /det	Titik 2 0,062 m ³ /det	Titik 2 0,059 m ³ /det	Titik 2 0,052 m ³ /det
Titik 3 0,067 m ³ /det	Titik 3 0,065 m ³ /det	Titik 3 0,060 m ³ /det	Titik 3 0,056 m ³ /det
Titik 4 0,069 m ³ /det	Titik 4 0,063 m ³ /det	Titik 4 0,057 m ³ /det	Titik 4 0,060 m ³ /det
Titik 5 0,205 m ³ /det	Titik 5 0,220 m ³ /det	Titik 5 0,228 m ³ /det	Titik 5 0,237 m ³ /det
Titik 6 0,193 m ³ /det	Titik 6 0,203 m ³ /det	Titik 6 0,212 m ³ /det	Titik 6 0,221 m ³ /det

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



Gambar 5. Hubungan bukaan dan debit rata-rata

Sebaliknya, debit rata-rata yang terukur pada sisi hilir mengalami penurunan, yaitu dari 0,068 m³/det menjadi 0,056 m³/det. Kondisi ini dipengaruhi oleh perubahan karakteristik aliran setelah melewati pintu air. Pada bagian hilir, aliran berubah menjadi lebih cepat, lebih tipis, dan cenderung turbulen sehingga hasil pengukuran debit di lokasi tersebut menjadi lebih kecil dibandingkan dengan kondisi di bagian hulu.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi bukaan pintu memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik debit aliran. Semakin besar bukaan pintu yang digunakan, semakin besar pula kemampuan saluran dalam mengalirkan air melalui pintu. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan tinggi bukaan pintu merupakan

faktor penting dalam mengendalikan distribusi debit agar sistem irigasi dapat bekerja secara lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan lapangan.

4.3 Koefisien Debit dan Jenis Aliran

Koefisien debit (Cd) merupakan salah satu parameter hidraulik yang digunakan untuk menggambarkan tingkat efisiensi aliran air ketika melewati pintu irigasi. Nilai ini diperoleh dari perbandingan antara debit aktual yang terukur di lapangan dengan debit teoritis yang dihitung berdasarkan kondisi ideal. Oleh karena itu, koefisien debit menjadi indikator penting dalam mengevaluasi performa hidraulik suatu bangunan pengatur air.

Perhitungan koefisien debit pada penelitian ini dilakukan untuk setiap variasi bukaan pintu, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm, menggunakan Persamaan (2). Contoh perhitungan pada bukaan pintu 4 cm adalah sebagai berikut.

Tabel 4 hasil pengamatan untuk perhitungan Cd dan Q melalui bawah pintu

yg (m)	y1 (m)	y2 (m)
0,04	0,271	0,412
0,06	0,252	0,431
0,08	0,230	0,449
0,10	0,2088	0,512

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026

menghitung koefisien kontraksi (Cc), digunakan contoh sampel data bukaan 4 cm :

$$Cc = \frac{y_2}{y_g} = \frac{0,412}{0,76} = 0,542$$

Maka untuk menghitung koefisien debit (Cd) menggunakan rumus 2.15 :

$$Cd = \frac{Cc}{\sqrt{1 + \frac{y_g \times Cc}{y_1}}} = \frac{0,542}{\sqrt{1 + \frac{0,04 \times 0,542}{0,271}}} = 0,521$$

Karena termasuk aliran bebas maka untuk mencari debit aliran di bawah pintu menggunakan rumus 2.14 :

$$Q = Cd \times y_g \sqrt{2 \times g \times y_1}$$

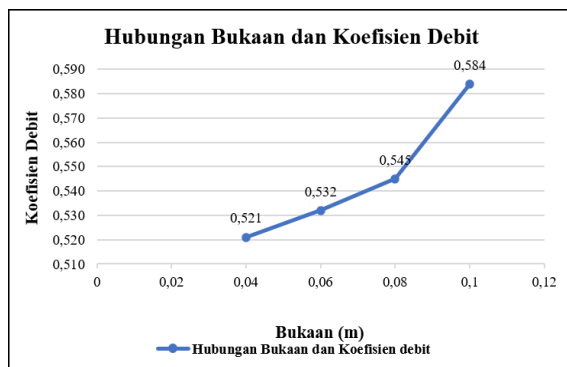
$$= \frac{0,521 \times 0,04}{\sqrt{2 \times 9,81 \times 0,271}} = 0,048 \text{ m}^3/\text{det}$$

Untuk lebih jelasnya nilai koefisien debit dan debit aliran yang melewati pintu bisa dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Data Koefisien Debit Pada Variasi Bukaannya Pintu

Bukaan pintu air (m)	Q (m ³ /det)	Cd
0,04	0,048	0,521
0,06	0,071	0,532
0,08	0,092	0,545
0,1	0,118	0,584

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 6. Hubungan bukaan dan koefisien debit

Berdasarkan grafik hubungan antara bukaan dan koefisien debit, Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa variasi bukaan pintu tidak mengubah karakter dasar aliran pada saluran. Selama penelitian berlangsung, aliran tetap berada pada kondisi turbulen dengan tipe subkritis. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa sistem pintu air mampu mempertahankan kestabilan aliran meskipun debit meningkat akibat bertambahnya tinggi bukaan pintu. Kondisi ini mendukung kinerja hidraulik prototipe dalam mendistribusikan air secara lebih efektif pada jaringan irigasi.

4.4 Analisis Waktu Respon Sistem

Pengujian waktu respons dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe pintu air otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dibandingkan dengan sistem pengoperasian manual. Parameter yang diamati adalah waktu yang dibutuhkan pintu air untuk mencapai

bukaan yang telah ditentukan, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Setiap variasi bukaan diuji beberapa kali sehingga diperoleh nilai rata-rata waktu respons yang lebih representatif.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baik sistem otomatis maupun sistem manual memerlukan waktu yang semakin lama seiring bertambahnya tinggi bukaan pintu. Hal tersebut disebabkan oleh meningkatnya jarak tempuh aktuator atau mekanisme penggerak ketika pintu dibuka pada ketinggian yang lebih besar. Rekapitulasi waktu respons kedua sistem disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Data Waktu Respon Pintu Air Manual

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026

Waktu Respon Pintu Air Manual							
Bukaan pintu ukuran 4 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 6 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 8 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 10 cm	Waktu (detik)
Percobaan ke 1	11,25	Percobaan ke 1	11,25	Percobaan ke 1	11,25	Percobaan ke 1	11,25
Percobaan ke 2	12,98	Percobaan ke 2	12,98	Percobaan ke 2	12,98	Percobaan ke 2	12,98
Percobaan ke 3	12,51	Percobaan ke 3	12,51	Percobaan ke 3	12,51	Percobaan ke 3	12,51
Percobaan ke 4	11,82	Percobaan ke 4	11,82	Percobaan ke 4	11,82	Percobaan ke 4	11,82
Percobaan ke 5	11,35	Percobaan ke 5	11,35	Percobaan ke 5	11,35	Percobaan ke 5	11,35
Rata-rata	11,98	Rata-rata	17,60	Rata-rata	22,76	Rata-rata	27,89

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026

Tabel 7 Data Waktu Respon Pintu Air IoT

Waktu Respon Pintu Air Basis IoT							
Bukaan pintu ukuran 4 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 6 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 8 cm	Waktu (detik)	Bukaan pintu ukuran 10 cm	Waktu (detik)
Percobaan ke 1	19	Percobaan ke 1	32,35	Percobaan ke 1	43,2	Percobaan ke 1	51,14
Percobaan ke 2	16,2	Percobaan ke 2	31,49	Percobaan ke 2	45,21	Percobaan ke 2	50,8
Percobaan ke 3	17,5	Percobaan ke 3	31,25	Percobaan ke 3	43,8	Percobaan ke 3	50,4
Percobaan ke 4	17,35	Percobaan ke 4	32,05	Percobaan ke 4	44,35	Percobaan ke 4	51,55
Percobaan ke 5	17,6	Percobaan ke 5	32,15	Percobaan ke 5	44,75	Percobaan ke 5	51,88
Rata-rata	17,53	Rata-rata	31,85	Rata-rata	44,26	Rata-rata	51,15

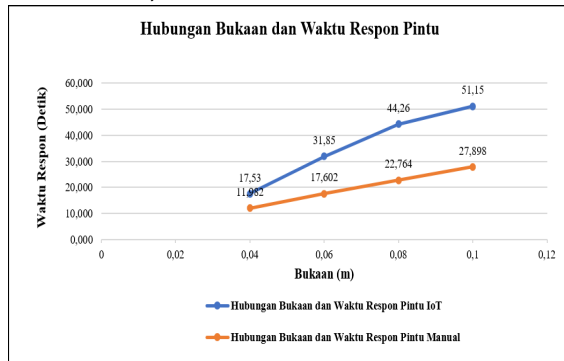
Sumber: Hasil Pengamatan, 2026

Sebagai contoh, perhitungan waktu respon rata-rata sistem manual pada bukaan pintu 4 cm dilakukan sebagai berikut:

$$\bar{t} = \frac{11,25 + 12,98 + 12,51 + 11,82 + 11,35}{5} = 11,98 \text{ detik}$$

Sedangkan untuk sistem otomatis berbasis IoT pada bukaan pintu 4 cm diperoleh:

$$\bar{t} = \frac{19 + 16,2 + 17,5 + 17,35 + 17,6}{5} = 17,53 \text{ detik}$$



Gambar 7. Hubungan bukaan dan waktu respon pintu

Berdasarkan hasil pengujian, waktu respons sistem manual lebih cepat dibandingkan sistem berbasis IoT pada seluruh variasi bukaan pintu. Rata-rata waktu respons sistem manual berkisar antara 11,98–27,90 detik, sedangkan sistem IoT memerlukan waktu 17,53–51,15 detik. Selisih waktu respons meningkat seiring bertambahnya bukaan pintu, yaitu dari 5,55 detik (46,33%) pada bukaan 4 cm hingga 23,25 detik (83,33%) pada bukaan 10 cm.

Waktu respons sistem IoT yang lebih lama disebabkan oleh proses tambahan, seperti pengiriman data melalui jaringan internet, pemrosesan oleh mikrokontroler, komunikasi antarperangkat, dan aktivasi aktuator. Meskipun demikian, sistem IoT memiliki keunggulan berupa pengoperasian jarak jauh, pemantauan *real-time*, serta pengendalian otomatis tanpa memerlukan operator di lokasi. Sebaliknya, sistem manual menawarkan waktu respons yang lebih cepat, tetapi efektivitasnya bergantung pada keberadaan operator. Dengan demikian, sistem manual unggul dari sisi kecepatan respons, sedangkan sistem IoT lebih unggul dalam aspek otomatisasi, fleksibilitas, dan kemudahan pengoperasian sehingga berpotensi diterapkan pada sistem irigasi modern.

4.5 Analisis Persepsi Pengguna

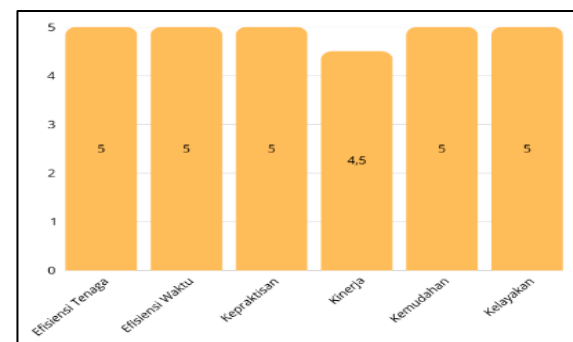
Hasil kuisioner menunjukkan bahwa mayoritas petani memberikan tanggapan positif

terhadap penerapan pintu air otomatis. Sistem dianggap mampu membantu distribusi air menjadi lebih merata dan mempermudah pengoperasian.

Tabel 8 Rekapitulasi Rata-Rata Skor Kepuasan Petani terhadap Sistem Pintu Air Otomatis

PETANI (HIPPA)			
No.	Indikator Penilaian	Rata-Rata Skor	Kategori
1.	Kemudahan Penggunaan Sistem	5,0	Sangat Setuju
2.	Monitoring Kondisi Air <i>Real-time</i>	5,0	Sangat Setuju
3.	Efisiensi Waktu Pengaturan Air	5,0	Sangat Setuju
4.	Kepraktisan Kendali Jarak Jauh	5,0	Sangat Setuju
5.	Keandalan Sistem saat Digunakan	4,5	Setuju
6.	Kelayakan Penerapan Berkelanjutan	5,0	Sangat Setuju
Rata-rata		4,92	Sangat Setuju

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



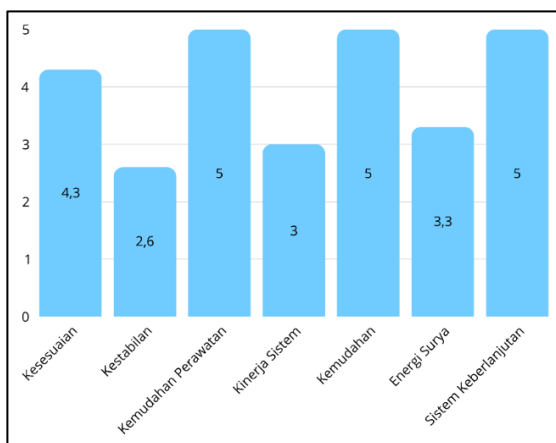
Gambar 8. Grafik rekapitulasi rata-rata skor kepuasan Petani

Tabel 9 Rekapitulasi Rata-Rata Skor Penilaian Teknisi terhadap Sistem Pintu Air Otomatis

TEKNISI			
No.	Indikator Penilaian	Rata-Rata Skor	Kategori
1.	Kesesuaian Desain Prototipe dengan Kebutuhan Lapangan	4,3	Sangat Setuju
2.	Stabilitas Aliran dan Kinerja Hidraulik	2,6	Cukup Setuju

3.	Kemudahan Perawatan (Maintenance) Komponen Sistem	5,0	Sangat Setuju
4.	Kinerja Sistem Kendali (IoT dan Aktuator)	3,0	Setuju
5.	Kemudahan Pengoperasian Sistem	5,0	Sangat Setuju
6.	Efektivitas Pasokan Energi Surya	3,3	Setuju
7.	Keberlanjutan Sistem untuk Diterapkan	5,0	Sangat Setuju
Rata-rata		4,03	Setuju

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



Gambar 9. Rekapitulasi Rata-Rata Skor Penilaian Teknisi

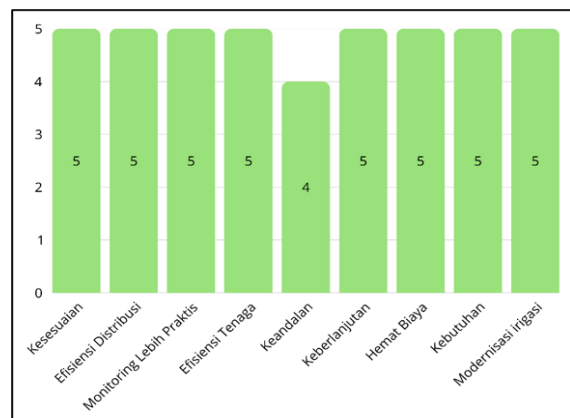
Dari sisi teknisi, sistem dinilai cukup baik karena komponen elektronik yang digunakan mudah dipelihara dan memiliki efisiensi energi yang tinggi.

Tabel 10 Rekapitulasi Rata-Rata Skor Penilaian Perencana terhadap Sistem Pintu Air Otomatis

PERENCANA			
No.	Indikator Penilaian	Rata-Rata Skor	Kategori
1.	Kesesuaian Desain Prototipe dengan Kebutuhan Irigasi	5,0	Sangat Setuju
2.	Peningkatan Efisiensi Distribusi Air	5,0	Sangat Setuju
3.	Kepraktisan Monitoring	5,0	Sangat Setuju

	dan Kendali Jarak Jauh		
4.	Efisiensi Tenaga Kerja Operasional	5,0	Sangat Setuju
5.	Keandalan Sistem untuk Diterapkan di Lapangan	4,0	Setuju
6.	Keberlanjutan Penerapan Sistem	5,0	Sangat Setuju
7.	Potensi Penghematan Biaya Operasional Jangka Panjang	5,0	Sangat Setuju
8.	Dukungan terhadap Modernisasi Irigasi	5,0	Sangat Setuju
Rata-rata		4,88	Sangat Setuju

Sumber: Hasil Pengamatan, 2026



Gambar 10. Rekapitulasi Rata-Rata Skor Penilaian Perencana

Sementara itu, perencana menilai bahwa sistem memiliki potensi besar untuk diterapkan pada jaringan irigasi modern, terutama pada daerah pertanian yang membutuhkan pengaturan debit secara presisi.

Namun demikian, beberapa responden menyampaikan bahwa kestabilan jaringan internet dan biaya awal pemasangan masih menjadi tantangan dalam penerapan teknologi ini.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

variasi bukaan pintu berpengaruh terhadap karakteristik hidraulik aliran pada saluran irigasi. Peningkatan bukaan pintu menyebabkan debit dan kecepatan aliran meningkat, sedangkan nilai koefisien debit menunjukkan kecenderungan menurun. Selama pengujian, karakteristik aliran tetap berada pada kondisi turbulen dengan tipe aliran subkritis, sehingga aliran masih relatif stabil untuk mendukung distribusi air.

Pengujian waktu respons menunjukkan bahwa sistem manual memiliki waktu pengoperasian yang lebih cepat dibandingkan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Rata-rata waktu respons sistem manual berada pada rentang 11,98–27,90 detik, sedangkan sistem IoT memerlukan waktu 17,53–51,15 detik. Selisih waktu respons meningkat dari 5,55 detik (46,33%) pada bukaan 4 cm menjadi 23,25 detik (83,33%) pada bukaan 10 cm. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh proses komunikasi data, pemrosesan mikrokontroler, serta aktivasi aktuator yang diperlukan pada sistem IoT.

Meskipun membutuhkan waktu respons yang lebih lama, sistem berbasis IoT menawarkan berbagai keunggulan, antara lain kemampuan pengendalian jarak jauh, pemantauan kondisi pintu secara real-time, serta pengoperasian otomatis yang mengurangi ketergantungan terhadap operator di lapangan. Hasil kuesioner juga menunjukkan bahwa mayoritas responden memberikan tanggapan positif terhadap penerapan sistem ini karena dinilai mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan distribusi air dan mempermudah proses pengoperasian pintu irigasi.

Secara keseluruhan, prototipe pintu air irigasi otomatis berbasis energi surya dengan kendali IoT memiliki potensi yang baik untuk diterapkan pada sistem irigasi modern. Selain mampu mendukung pengelolaan distribusi air secara lebih efektif, teknologi ini juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional dan pengembangan sistem irigasi yang berkelanjutan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian berikutnya disarankan untuk mengembangkan sistem kendali pintu air dengan mengintegrasikan teknologi *Artificial Intelligence* (AI). Penerapan AI diharapkan mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam menganalisis kondisi saluran, memprediksi kebutuhan debit air, serta mengatur bukaan pintu secara otomatis dan adaptif sesuai kondisi lapangan.
2. Untuk mendukung keandalan sistem, disarankan agar pada bagian hulu pintu air dipasang saringan atau penyaring sampah. Komponen ini berfungsi mencegah masuknya sampah, ranting, dan material lain yang berpotensi menghambat aliran air maupun mengganggu kinerja sensor serta mekanisme buka-tutup pintu air.
3. Penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan pada jaringan irigasi dengan skala yang lebih luas dan kondisi lapangan yang berbeda untuk mengevaluasi konsistensi kinerja hidraulik serta keandalan sistem IoT dalam berbagai karakteristik saluran irigasi.
4. Selain itu, pengembangan sistem komunikasi yang lebih stabil dan efisien perlu dipertimbangkan agar waktu respons sistem dapat dipersingkat tanpa mengurangi keakuratan proses pengendalian. Dengan demikian, penerapan pintu air irigasi otomatis berbasis energi surya dan IoT diharapkan dapat memberikan kinerja yang lebih optimal pada sistem irigasi modern.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, dan M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.
- [2] A. Behbahani, et al., "Hydraulic Performance of Sluice Gate Systems," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 151, no. 2, pp. 115–124, 2025.
- [3] M. H. Chaudhry, *Open Channel Flow*. New York, USA: Springer Science & Business Media, 2008.
- [4] V. T. Chow, *Open Channel Hydraulics*. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 1959.

- [5] E. Noerhayati, A. Rahmawati, dan R. Hidayat, "Pengembangan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 85–94, 2021.
- [6] Hamdi, A. Karim, dan R. Fauzi, "Solar Energy Application for Irrigation System," *Renewable Energy Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 44–53, 2021.
- [7] E. Noerhayati, A. Rahmawati, dan M. Rizal, "Sistem Sprinkler Otomatis Berbasis Android pada Pertanian Modern," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 55–63, 2020.
- [8] E. Noerhayati, A. Rahmawati, dan M. Ihsan, "Implementasi IoT pada Sistem Distribusi Air Irigasi di Desa Sukoanyar," *Jurnal Infrastruktur*, vol. 12, no. 3, pp. 120–129, 2022.
- [9] R. Patel dan P. Singh, "Smart Irrigation Control System Using IoT," *International Journal of Engineering Research*, vol. 10, no. 6, pp. 215–221, 2021.
- [10] A. Putra, B. Santoso, dan D. Prasetyo, "Analisis Kinerja Hidraulik pada Pintu Air Irigasi Otomatis," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 11, no. 2, pp. 98–107, 2020.
- [11] S. Shinde dan S. Wandre, "IoT Based Smart Irrigation System," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no. 5, pp. 3561–3565, 2020.
- [12] C. D. Soemarto, *Hidrologi Teknik*. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1999.
- [13] K. Subramanya, *Flow in Open Channels*. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill Education, 2013.