

PENGARUH BUKAAN PINTU AIR OTOMATIS TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN PADA SALURAN TERBUKA DENGAN KENDALI MPPT PV

Ikha Vidyah Nur Safitri¹, Eko Noerhayati² dan Anita Rahmawati³

¹ Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22001051008@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

ABSTRAK

Conventional floodgate operation is considered inefficient, while the application of IoT based technology with MPPT control on solar panels for floodgate automation systems is still rarely studied. In addition, studies on the relationship between the height of automatic floodgate opening and flow characteristics in open channels are still limited, and the use of solar energy in floodgate control systems has not been optimized optimally. The purpose of this study was to analyze the effect of the height of the automatic water gate on the resulting discharge, as well as to calculate the Froude number (Fr) and Reynold number (Re) to determine the flow characteristics that occur in the open channel. This study uses an experimental method on a laboratory scale which requires testing and measuring each variation in the height of the water gate opening. The results of this study are 1) The effect of the height of the floodgate opening, the smaller the resulting discharge in the downstream part of the channel, while after is an increase in discharge. 2) the flow characteristics that occur in open channels from upstream to downstream are dominated by laminar flow ($Re < 500$), while in the upstream the flow is subcritical ($Fr < 1$) and after the gate is opened to the downstream the flow is supercritical ($Fr > 1$). And 3) a higher opening of the water gate will lead to an increase in the resulting discharge coefficient.

Kata Kunci : Automatic water gate, Discharge, Flow characteristic, IoT, Open channel.

1. LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Dalam proses bertahan hidup, air sangat berperan penting bagi setiap makhluk yang ada di bumi, termasuk kebutuhan domestik, pengairan pertanian, industri, dan lainnya [1]. Sehubungan dengan adanya pemanfaatan air untuk kebutuhan irigasi dan kebutuhan yang lain, tidak jarang dibuat bangunan air seperti saluran, waduk, bendung, pintu air, tanggul dan sebagainya untuk mengatur dan mengendalikan air tersebut. Dalam proses penyaluran air ke berbagai tempat guna kebutuhan air bersih sering digunakan jenis saluran terbuka. Saluran terbuka merupakan saluran yang proses mengalirnya air pada muka

air bebas dan tekanan di permukaan air adalah sama [2]. Infrastruktur bangunan air yang dapat membantu dalam pengelolaan pembagian air, mengatur debit dan pola aliran agak mendapatkan hasil yang maksimal yaitu pintu air [3]. Karakteristik aliran air, seperti kecepatan dan kedalaman aliran juga harus dikendalikan agar aliran tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan distribusi air. Penggunaan IoT (*Internet of Things*) dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan panel surya pada pintu air otomatis bertujuan untuk pengoptimalan daya yang dihasilkan panel surya, bahkan saat intensitas cahaya matahari berubah, sehingga sistem dapat beroperasi secara efisien dan *real-time* [4].

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan konteks yang ada, maka masalah dapat diidentifikasi seperti dibawah ini:

1. Penerapan basis IoT (*Internet of Things*) dengan kendali MPPT PV pada bukaan pintu air otomatis masih belum banyak diteliti.
2. Kajian tentang hubungan antara beda tinggi bukaan pada pintu air otomatis dengan karakteristik aliran pada saluran jenis terbuka masih terbatas.
3. Pemanfaatan energi terbarukan khususnya panel surya masih belum banyak dioptimalkan dalam sistem kontrol pintu air.
4. Pengoperasian pintu air secara konvensional masih kurang efisien.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan konteks tersebut, rumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti berikut:

1. Apa dampak dari variasi bukaan pintu air 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm terhadap debit air pada saluran terbuka?
2. Bagaimana karakteristik aliran air yang terjadi setiap bukaan pintu air?

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka diperlukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, tidak mencakup implementasi di lapangan dalam skala yang lebih besar.
2. Peneliti hanya menganalisa mengenai pengaruh variasi bukaan pintu air terhadap debit air dan karakteristik aliran.
3. Peneliti tidak membahas gesekan atau gerusan.
4. Peneliti tidak membahas efisiensi panel surya dengan kinerja bukaan pintu air.
5. Penelitian ini tidak membahas *software* maupun *hardware* yang digunakan pada pintu air saluran terbuka dengan basis IoT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Debit

Jumlah air yang mengalir melalui penampang melintang dalam satuan volume per waktu disebut debit [5].

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

Q = debit (m³/detik)
t = waktu (det)
V = kecepatan aliran (m/det)

Sedangkan untuk mencari debit pada penampang saluran aliran sembarang yaitu:

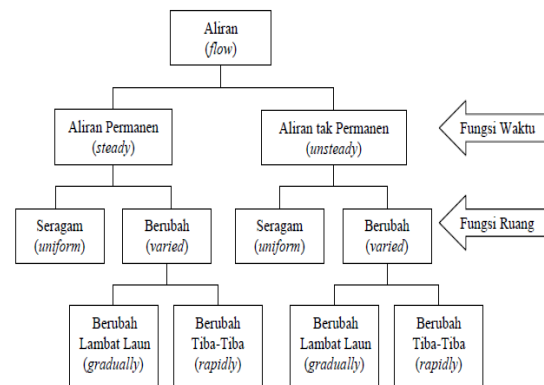
$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

Q = debit (m³/det)
A = luas penampang (m²)
V = kecepatan aliran (m/det)

2.2. Kriteria Jenis Aliran

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis tergantung kriteria yang digunakan [6].



Gambar 1. Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka

Sumber: Suripin, 2004

2.3. Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran laminer adalah jenis aliran yang mengikuti jalur tertentu dan menyerupai pergerakan lapisan paralel tipis atau benang. Di sisi lain, aliran turbulen terjadi ketika partikel mengikuti jalur yang tidak simetris. [7].

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

Re = bilangan Reynold
V = kecepatan aliran (m/det)
L = panjang karakteristik (m) L=R
 ν = kekentalan kinematik (m²/det)

Bilangan Reynold dibedakan menjadi tiga kategori:

Re < 2000 : Aliran laminer

2000 ≥ Re ≤ 4000 : Aliran transisi

Re > 4000 : Aliran turbulen

2.4. Aliran Subkritis, Kritis dan Superkritis

Ketika bilangan Froude kurang dari dan kecepatan rambat gelombang lebih tinggi daripada kecepatan aliran rata-rata, maka terjadi aliran subkritis. Tidak ada pergerakan gelombang dan bilangan Froude sama dengan satu ketika kecepatan gelombang sama dengan kecepatan aliran rata-rata, yang dikenai sebagai aliran kritis. Gelombang hanya bermigrasi ke hilir pada aliran superkritis ketika kecepatan gelombang lebih kecil dari kecepatan aliran rata-rata dan bilangan Froude lebih besar dari 1. Persamaan berikut ini berlaku untuk bilangan Froude :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

Fr = bilangan Froude
V = kecepatan aliran (m/det)
g = gaya gravitasi (9,81 m/det²)
h = kedalaman aliran hidrolis (m)

2.5. Kecepatan Aliran

Perhitungan kecepatan aliran menggunakan persamaan Chezy. Bentuk persamaan Chezy sebagai berikut:

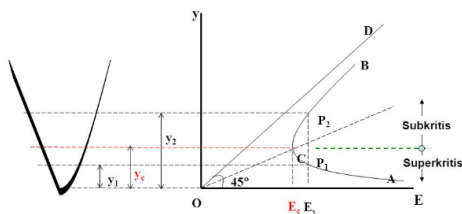
$$V = C \sqrt{R_h \times s} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran (m/det)
C = koefisien Chezy
R_h = jari- jari hidrolis
s = kemiringan

2.6. Energi Spesifik

Energi spesifik yaitu energi pada tampang melintang saluran yang dihitung terhadap dasar saluran [8].



Gambar 2. Lengkung Energi Spesifik

Sumber: Van Te Chow, 1985

Persamaan energi spesifik pada saluran terbuka sebagai berikut:

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

E = energi spesifik (m)
y = kedalaman air (m)
V = kecepatan aliran (m/det)
g = gaya gravitasi (9,81 m/det²)

2.7. Persamaan Kontinuitas

Air dikategorikan sebagai fluida tak termampatkan (*incompressible*), sehingga penerapan hukum kontinuitas massa dapat disederhanakan dengan mengatakan bahwa debit yang masuk dan keluar adalah sama [9]. Berdasarkan persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_2 = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

Q = debit (m³/det)
V = kecepatan aliran (m/det)
A = luas penampang (m²)

2.8. Persamaan Bernoulli

Menurut hukum Bernoulli, jumlah air dalam aliran apapun yang melalui penampang saluran dapat direpresentasikan sebagai fungsi kecepatan tinggi, tekanan tinggi dan jumlah air. [6]. Pada saluran terbuka tekanan dianggap sama dengan atmosfer sehingga pada bagian $\frac{p}{\rho g}$ akan hilang, maka persamaan Bernoulli menjadi sebagai berikut:

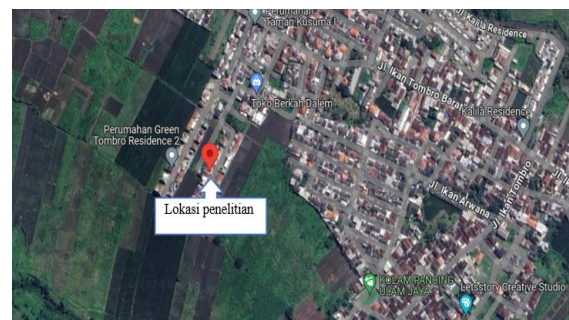
$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + z_2 + hf \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran (m/det)
g = gaya gravitasi (9,81 m/det²)
y = tinggi muka air (m)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Sumber: Google Maps, 2025

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika, tepatnya di Jalan Kav. Waing, Kelurahan Tasikmadu, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang.

3.2. Data Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian berbasis laboratorium dan perlu melakukan uji coba, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengumpulkan data primer seperti dibawah ini:

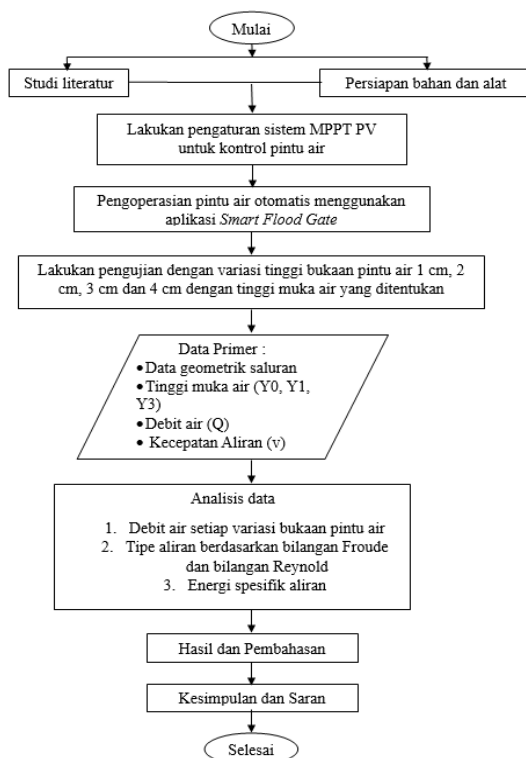
1. Debit

Pengukuran debit air pada berbagai variasi bukaan pintu air 1 cm sampai 4 cm dengan 5 kali percobaan setiap bukaan pintu air.

2. Ketinggian muka air

Mengukur tinggi permukaan air di saluran, terutama di bagian hulu saluran (Y0), setelah bukaan pintu air (Y1) dan dibagian hilir saluran (Y3)

3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian
Sumber: Dokumen Pribadi, 2024

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Geometri Saluran

Pada penelitian ini menggunakan saluran terbuka trapesium dengan detail ukuran

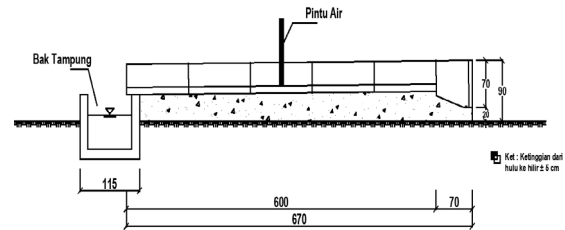
sebagai berikut:

Panjang saluran = 600 cm

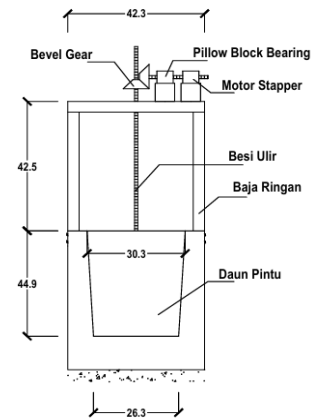
Lebar atas saluran = 30,3 cm

Lebar bawah saluran = 26,3 cm

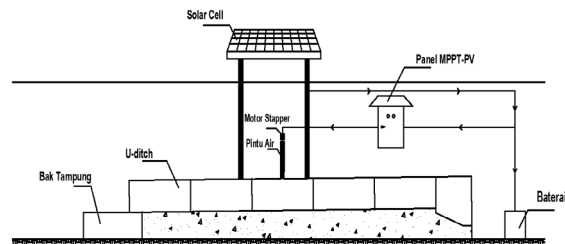
Tinggi saluran = 34,6 cm



Gambar 5. Saluran Terbuka Trapesium
Sumber: Dokumen Pribadi, 2025



Gambar 6. Pintu Air
Sumber: Dokumen Pribadi, 2025



Gambar 7. Sketsa Alur Instalasi Pintu Air
Sumber: Dokumen Pribadi, 2025

Berikut contoh perhitungan analisis hidrolis saluran pada bukaan pintu air 1 cm:

1. Lebar permukaan air bagian atas (B)

$$\begin{aligned}
 B &= b + 2my \\
 &= 0,263 + (2 \times 0,058 \times 0,282) \\
 &= 0,2956 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Luas penampang basah saluran (A)

$$\begin{aligned}
 A &= (b + mh) h \\
 &= (0,263 + (0,058 \times 0,282)) \times 0,282 \\
 &= 0,0788 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Keliling basah saluran (P)

$$P = b + 2y\sqrt{1 + m^2}$$

$$= 0,263 + 2 \times 0,282\sqrt{1 + 0,058^2}$$

$$= 0,8279 \text{ m}$$

4. Jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,0788}{0,8279} = 0,0951 \text{ m}$$

5. Kedalaman hidrolis (D)

$$D = \frac{A}{B} = \frac{0,0788}{0,2956} = 0,2664 \text{ m}$$

Tabel 1. Analisis Hidrolis Pada Bagian Hulu Saluran (Y0)

Bukaan Pintu Air (cm)	Waktu (det)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Lebar Saluran (b) (m)	Kemiringan Saluran (m)	Rerata Lebar Permukaan Air Bagian Atas (B) (m)	Rerata Luas Permukaan Basah (A) (m)	Rerata Keliling Basah Saluran (P) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Rerata Kedalaman Hidrolis (m)
1	3	0,282	0,2630	0,058	0,2956	0,0788	0,8279	0,0951	0,266
2	4	0,2670	0,2630	0,058	0,2942	0,0743	0,7979	0,0931	0,253
3	5	0,239	0,263	0,058	0,2896	0,0661	0,7414	0,0891	0,227
4	6	0,2300	0,2630	0,058	0,2907	0,0636	0,7238	0,0878	0,219

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

Tabel 2. Analisis Hidrolis Bagian Setelah Bukaan Pintu Air (Y1)

Bukaan Pintu Air (cm)	Waktu (det)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Lebar Saluran (b) (m)	Kemiringan Saluran (m)	Rerata Lebar Permukaan Air Bagian Atas (B) (m)	Rerata Luas Permukaan Basah (A) (m)	Rerata Keliling Basah Saluran (P) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Rerata Kedalaman Hidrolis (m)
1	3	0,014	0,2630	0,058	0,2646	0,0037	0,2910	0,0129	0,012
2	4	0,018	0,2630	0,058	0,2651	0,0047	0,2987	0,0157	0,017
3	5	0,022	0,2630	0,058	0,2656	0,0059	0,3075	0,0191	0,022
4	6	0,0258	0,2630	0,058	0,2659	0,0068	0,3147	0,0217	0,025

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

Tabel 3. Analisis Hidrolis Pada Bagian Hilir Saluran (Y0)

Bukaan Pintu Air (cm)	Waktu (det)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Lebar Saluran (b) (m)	Kemiringan Saluran (m)	Rerata Lebar Permukaan Air Bagian Atas (B) (m)	Rerata Luas Permukaan Basah (A) (m)	Rerata Keliling Basah Saluran (P) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Rerata Kedalaman Hidrolis (m)
1	3	0,0162	0,2630	0,058	0,2649	0,0043	0,2955	0,0145	0,015
2	4	0,021	0,2630	0,058	0,2654	0,0055	0,3051	0,0182	0,020
3	5	0,026	0,2630	0,058	0,2661	0,0070	0,3159	0,0211	0,022
4	6	0,0322	0,2630	0,058	0,2668	0,0085	0,3275	0,0260	0,032

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

4.2. Analisis Kecepatan Aliran dan Debit

Untuk menghitung kecepatan aliran menggunakan rumus Chezy. Berikut contoh perhitungan kecepatan aliran dan debit sebagai berikut:

1. Koefisien Chezy (C)

$$C = \frac{R_h^{1/6}}{n} = \frac{0,0951^{1/6}}{0,0130} = 51,9724 \text{ m/det}$$

2. Kecepatan Aliran

$$V = C \times \sqrt{R_h \times s}$$

$$= 51,9724 \times \sqrt{0,0951 \times 0,00833}$$

$$= 1,4630 \text{ m/det}$$

3. Debit

$$Q = V \times A$$

$$= 1,4630 \times 0,0788$$

$$= 0,1152 \text{ m}^3/\text{det}$$

Tabel 4. Analisis Perhitungan Kecepatan Aliran dan Debit Pada Bagian A Saluran

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Luas Penampang Basah (A) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Kekasaran Manning (n)	Rerata Koefisien Chezy (C) (m/det)	Rerata Kecepatan Aliran (V) (m/det)	Rerata Debit Aliran (Q) (m ³ /det)
1	0,0788	0,0951	0,0130	51,9724	1,4630	0,1152
2	0,0743	0,0931	0,0130	51,7900	1,4426	0,1073
3	0,0661	0,0891	0,0130	51,4111	1,4009	0,0926
4	0,0636	0,0878	0,0130	51,2807	1,3867	0,0881

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

Tabel 5. Analisis Perhitungan Kecepatan Aliran dan Debit Pada Bagian B1 Saluran

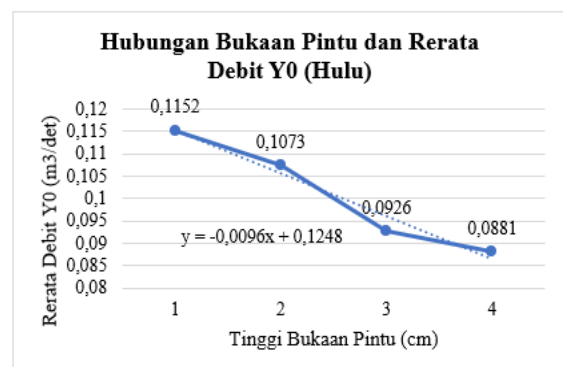
Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Luas Penampang Basah (A) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Kekasaran Manning (n)	Rerata Koefisien Chezy (C) (m/det)	Rerata Kecepatan Aliran (V) (m/det)	Rerata Debit Aliran (Q) (m ³ /det)
1	0,0037	0,0129	0,0130	37,2165	0,3850	0,0014
2	0,0047	0,0157	0,0130	38,5021	0,4407	0,0021
3	0,0059	0,0191	0,0130	39,7610	0,5012	0,0029
4	0,0068	0,0217	0,0130	40,6115	0,5457	0,0037

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)

Tabel 6. Analisis Perhitungan Kecepatan Aliran dan Debit Pada Bagian B2 Saluran

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Luas Penampang Basah (A) (m)	Rerata Jari-jari Hidrolis (R) (m)	Kekasaran Manning (n)	Rerata Koefisien Chezy (C) (m/det)	Rerata Kecepatan Aliran (V) (m/det)	Rerata Debit Aliran (Q) (m ³ /det)
1	0,0037	0,0129	0,0130	37,2165	0,4166	0,0018
2	0,0055	0,0182	0,0130	39,4400	0,4853	0,0027
3	0,0070	0,0221	0,0130	40,7457	0,5528	0,0039
4	0,0085	0,0260	0,0130	41,8776	0,6167	0,0053

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2025)



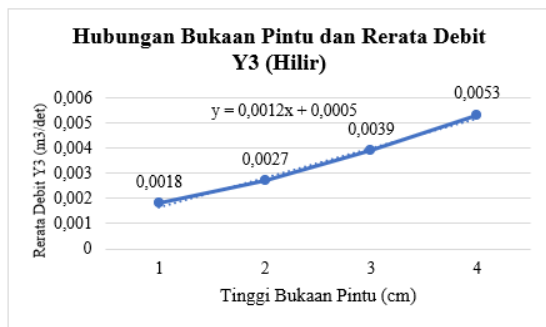
Gambar 8. Hubungan Antara Debit Rata-Rata Y0 (hulu) dan Bukaan Pintu Air

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 9. Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Rerata Debit Y1 (Setelah Bukaannya Pintu Air)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Debit dan Rerata Debit Y3 (Hilir)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

4.3. Analisis Karakteristik Aliran

Untuk menentukan karakteristik aliran dalam saluran terbuka, terlebih dahulu harus mengetahui berapa nilai bilangan *Reynold* dan bilangan *Froude* agar bisa ditentukan jenis alirannya.

1. Bilangan *Reynold* (Re)

$$Re = \frac{V \times L}{\nu} = \frac{1,4630 \times 0,0951}{0,809} = 0,1720$$

= (Laminer)

2. Bilangan *Froude* (Fr)

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = \frac{1,4630}{\sqrt{9,81 \times 0,282}} = 0,880$$

= (Subkritis)

Tabel 7. Analisa Perhitungan Bilangan Reynold dan Bilangan Froude Pada Bagian A Saluran (Hulu)

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Y0 (A)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Bagian A (m/det)	L (m)	Rerata Viskositas Kinematik (ν) Bagian A (m²/det)	Re Bagian A	Fr Bagian A	Keterangan	
							Re	Fr
1	0,282	1,4630	0,0951	0,809	0,1720	0,880	Laminer	Subkritis
2	0,2670	1,4426	0,0931	0,809	0,1661	0,892	Laminer	Subkritis
3	0,2388	1,4009	0,0891	0,809	0,1544	0,916	Laminer	Subkritis
4	0,2300	1,3867	0,0878	0,809	0,1505	0,923	Laminer	Subkritis

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 8. Analisa Perhitungan Bilangan Reynold dan Bilangan Froude Pada Bagian B1 Saluran

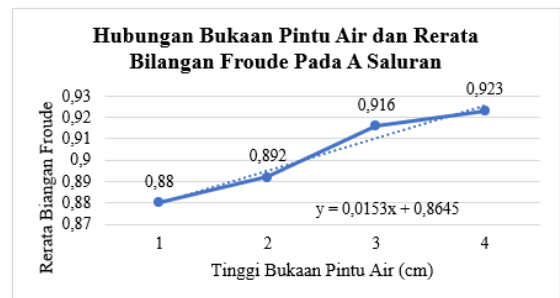
Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Y0 (A)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Bagian A (m/det)	L (m)	Rerata Viskositas Kinematik (ν) Bagian A (m²/det)	Re Bagian A	Fr Bagian A	Keterangan	
							Re	Fr
1	0,014	0,3850	0,0129	0,809	0,0061	1,039	Laminer	Superkritis
2	0,018	0,4407	0,0157	0,809	0,0086	1,055	Laminer	Superkritis
3	0,022	0,5012	0,0191	0,809	0,0118	1,074	Laminer	Superkritis
4	0,0258	0,5457	0,0217	0,809	0,0146	1,085	Laminer	Superkritis

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 9. Analisa Perhitungan Bilangan Reynold dan Bilangan Froude Pada Bagian B2 Saluran (Hilir)

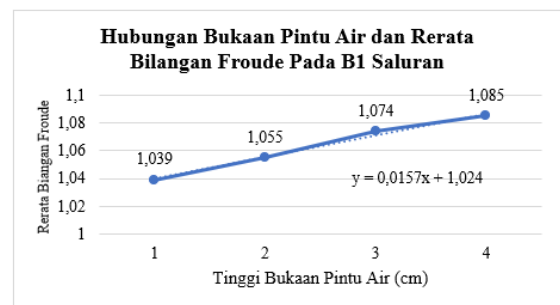
Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Y0 (A)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Bagian A (m/det)	L (m)	Rerata Viskositas Kinematik (ν) Bagian A (m²/det)	Re Bagian A	Fr Bagian A	Keterangan	
							Re	Fr
1	0,0162	0,4166	0,0145	0,809	0,0075	1,045	Laminer	Superkritis
2	0,021	0,4853	0,0182	0,809	0,0109	1,070	Laminer	Superkritis
3	0,026	0,5528	0,0211	0,809	0,0151	1,087	Laminer	Superkritis
4	0,0322	0,6167	0,0260	0,809	0,0246	1,097	Laminer	Superkritis

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



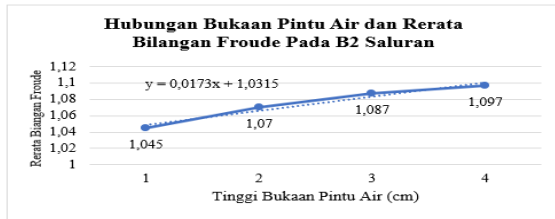
Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Rerata Bilangan Froude (Fr) Pada A Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Rerata Bilangan Froude (Fr) Pada B1 Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Rerata Bilangan Froude (Fr) Pada B2 Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

4.4. Energi Spesifik

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,282 + \frac{1,4630^2}{2 \cdot 9,81} = 0,3911 \text{ m}$$

Tabel 10. Analisa Energi Spesifik Pada Bagian A Saluran (Hulu)

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Rerata Kecepatan Aliran (m/det)	Percepatan Gravitasi (m ² /det)	Energi Spesifik
1	0,282	1,4630	9,81	0,3911
2	0,2670	1,4426	9,81	0,3731
3	0,2388	1,4009	9,81	0,3388
4	0,2300	1,3867	9,81	0,3280

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 11. Analisa Energi Spesifik Pada Bagian B1 Saluran (Setelah Bukaannya Pintu Air)

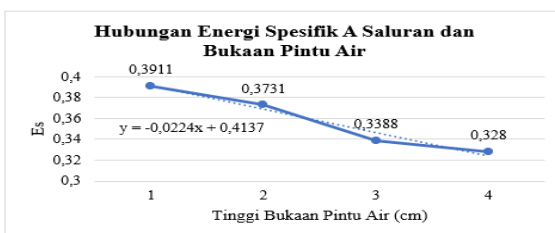
Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Rerata Kecepatan Aliran (m/det)	Percepatan Gravitasi (m ² /det)	Energi Spesifik
1	0,012	0,3491	9,81	0,0216
2	0,0176	0,4375	9,81	0,0277
3	0,0214	0,4904	9,81	0,0350
4	0,0258	0,5457	9,81	0,0410

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 12. Analisa Energi Spesifik Pada Bagian B2 Saluran (Hilir)

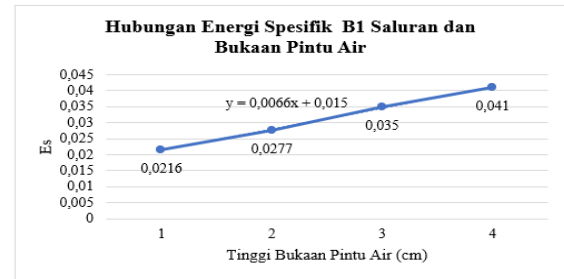
Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Tinggi Muka Air (Y0) (m)	Rerata Kecepatan Aliran (m/det)	Percepatan Gravitasi (m ² /det)	Energi Spesifik
1	0,0156	0,4076	9,81	0,0251
2	0,0176	0,4379	9,81	0,0330
3	0,0250	0,5362	9,81	0,0420
4	0,0322	0,6167	9,81	0,0516

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



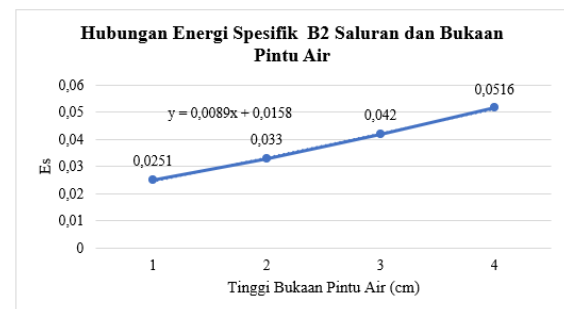
Gambar 14. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Energi Spesifik Pada A Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 15. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Energi Spesifik Pada B1 Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Energi Spesifik Pada B2 Saluran

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

4.5. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa debit (Q) memiliki nilai tetap sepanjang saluran yaitu:

1. Persamaan kontinuitas

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$0,0032 \times 0,3491 = 0,0046 \times 0,4076$$

$$0,0011 = 0,017$$

2. Simpangan

$$\text{Simpangan} = \left| \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \right| \times 100\%$$

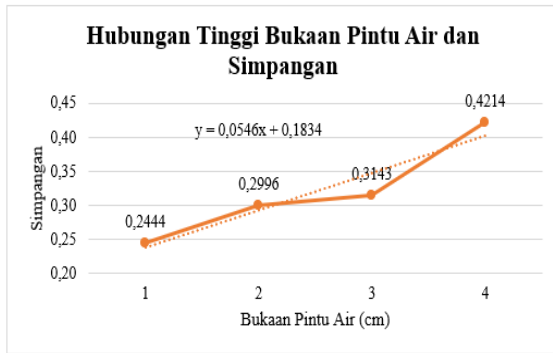
$$= \left| \frac{0,0011 - 0,0017}{0,0011} \right| \times 100\%$$

$$= 0,594\%$$

Tabel 13. Persamaan Kontinuitas Pada Bukaannya Pintu Air 1-4 cm

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Luas Penampang (A) Pada Titik 1 (m)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Pada Titik 1 (m/det)	Rerata Luas Penampang (A) Pada Titik 2 (m)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Pada Titik 2 (m/det)	Rerata Debit (Q) Pada Titik 1 (m ³ /det)	Rerata Debit (Q) Pada Titik 2 (m ³ /det)	Simpangan (%)
1	0,0037	0,3491	0,0043	0,4076	0,0014	0,0018	0,244
2	0,0047	0,4375	0,0055	0,4379	0,0021	0,0027	0,2996
3	0,0059	0,4904	0,0070	0,5362	0,0029	0,0039	0,3143
4	0,0068	0,5457	0,0085	0,6167	0,0037	0,0053	0,4214

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 17. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Simpangan

4.6. Persamaan Bernoulli

$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + z_2$$

- $$E1 = \frac{V_1^2}{2g} + y_1 + z_1$$

$$= \frac{0,3491^2}{2 \cdot 9,81} + 0,012 + 0,0258$$

$$= 0,0441 \text{ m}$$
- $$E2 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + z_2$$

$$= \frac{0,4076^2}{2 \cdot 9,81} + 0,3982 + 0,0467$$

$$= 0,0708 \text{ m}$$
- $$hf = |E1 - E2|$$

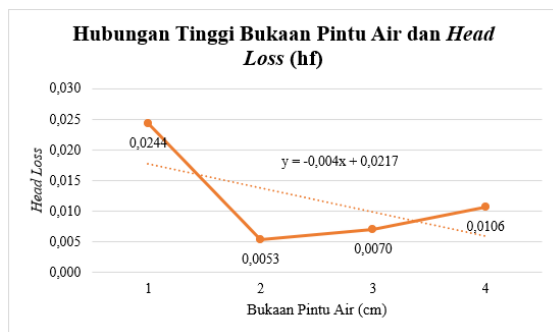
$$= |0,0441 - 0,0708|$$

$$= 0,0257 \text{ m}$$

Tabel 14. Persamaan Bernoulli Pada Bukaannya Pintu Air 1-4 cm

Bukaan Pintu Air (cm)	Rerata Tinggi Muka Air (Y1) Pada Titik 1 (A) (m)	Rerata Tinggi Muka Air (Y2) Pada Titik 2 (A) (m)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Pada Titik 1 (m/det)	Rerata Kecepatan Aliran (V) Pada Titik 2 (m/det)	Persamaan Bernoulli Titik 1	Persamaan Bernoulli Titik 2	hf
1	0,012	0,0156	0,3491	0,4076	0,0474	0,0718	0,0244
2	0,0176	0,0176	0,4375	0,4379	0,0277	0,0330	0,0053
3	0,0214	0,0250	0,4904	0,5362	0,0350	0,0420	0,0070
4	0,0258	0,0322	0,5457	0,6167	0,0410	0,0516	0,0106

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025



Gambar 18. Grafik Hubungan Antara Bukaannya Pintu Air dan Head Loss

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah, hasil perhitungan dengan data yang diperoleh, serta pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Ketika bukaan pintu air dinaikkan, debit yang dihasilkan di bagian hulu saluran akan berkurang. Hal ini merupakan hasil dari perubahan ketinggian bukaan pintu air. Ketika ketinggian bukaan pintu air meningkat, debit juga akan meningkat di bagian hilir saluran dan di bagian yang langsung mengikuti bukaan pintu air. Kecepatan aliran air meningkat dengan meningkatnya bukaan pintu air. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan dalam skala laboratorium dan belum menggunakan sistem IoT (*Internet of Things*) dengan kendali MPPT PV memiliki hasil yang sebanding yaitu jika tinggi bukaan pintu air bertambah, maka debit yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.
- Berdasarkan perhitungan bilangan *Reynold*, jenis aliran dominan laminar ($Re < 5000$). Sementara itu, perhitungan bilangan Froude menunjukkan bahwa jenis aliran yang tercipta di saluran hulu adalah aliran subkritis ($Fr < 1$) dan aliran dominan super kritis ($Fr > 1$) dari saluran hilir setelah bukaan pintu air.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

- Adanya kendala saat proses penelitian terutama pada sistem pengoperasian aplikasi *Smart Flood Gate* yang lambat mengirimkan perintah ke server jaringan sehingga perlu dilakukan *restart* terlebih dahulu sebelum dioperasikan.
- Perlu dilakukan pengontrolan secara rutin terhadap sistem alat uji penelitian agar lebih responsif saat digunakan.
- Untuk penyempurnaan dan pengembangan penelitian ini, selain melakukan pengukuran secara manual disarankan untuk mengukur tinggi muka

air bisa menggunakan alat *point gauge*, kecepatan aliran bisa menggunakan alat *current meter* dan pengukuran debit bisa menggunakan alat *flowmeter* agar memperoleh data yang akurat.

4. Perlu adanya evaluasi terhadap pompa air dan pipa untuk pendistribusian air yang masuk ke dalam saluran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Noerhayati and B. Suprpto, *Buku Perencanaan Jaringan Irigasi Saluran Terbuka*, Cetakan Ke. Malang: Inteligencia Media, 2018.
- [2] A. Latif, M. S. Pallu, F. Maricar, and M. P. Hatta, "Pengaruh Tinggi Bukaan Pintu Air Terhadap Bilangan Froude Dengan Dasar Tanah Lempung Pada Saluran Terbuka.," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 2459–9727, 2019.
- [3] M. Asadulloh, N. Eko, and A. Rahmawati, "Analisa Elevasi Muka Air Aliran Terbuka Segi Empat Berbasis Intenet of Things Dengan Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 14, 2024.
- [4] E. Noerhayati, A. Rahmawati, and S. Y. Wahyudi, "WATER SPREAD TEST ON IOT (Internet of Things) BASED AUTOMATIC IRRIGATION SYSTEM," *J. Innov. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.33474/jice.v1i1.9057.
- [5] Anggrahini, *Hidrolika Saluran Terbuka*. Surabaya: CV. Citra Media, 1997.
- [6] Suripin and S. Sangkawati, *Buku Ajar Hidraulika*. Semarang, 2008.
- [7] A. Sultonuddin, E. Noerhayati, and A. Rahmawati, "KAJIAN PENGARUH TINGGI BUKAAN PINTU AIR OTOMATIS TERHADAP PANJANG LONCATAN PADA SALURAN TERBUKA SEGI EMPAT BERBASIS WEB," *J. Rekayasa Sipil*, 2024.
- [8] A. ulfa Mutiah, N. N. Ramdhani, F. Maricarc, and F. Hamdi, "Analisis kehilangan energi pada berbagai bentuk bangunan peralihan," *REKAYASA J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 27, no. 1, pp. 1–5, 2023, doi: 10.23960/rekrjits.v27i1.78.
- [9] P. Utomo, *Modul Kuliah Hidrolika*. Yogyakarta, 2016.