



TUGAS AKHIR (AE43250)

**RANCANG BANGUN SISTEM SCADA PINTU AIR JAGIR
WONOKROMO MENGGUNAKAN PLC DENGAN PROTOKOL
MODBUS TCP/IP**

Ruzzi Rasydhan Faiz
NRP. 0921040029

Dosen Pembimbing
Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.
Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



TUGAS AKHIR (AE43250)

**RANCANG BANGUN SISTEM SCADA PINTU AIR JAGIR
WONOKROMO MENGGUNAKAN PLC DENGAN PROTOKOL
MODBUS TCP/IP**

Ruzzi Rasydhan Faiz
NRP. 0921040029

Dosen Pembimbing
Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.
Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK KELISTRIKAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2025

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM SCADA PINTU AIR JAGIR
WONOKROMO MENGGUNAKAN PLC DENGAN PROTOKOL
MODBUS TCP/IP**

Disusun Oleh:
Ruzzi Rasydhan Faiz
0921040029

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Otomasi
Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 21 Juli 2025
Periode Wisuda : Oktober 2025**

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Noorman Rinanto, S.T., M.T., Ph.D.

NUPTK

(6346754655130083)

Tanda Tangan

2. Riko Satrya Fajar Jaelani Putra, S.T., M.T.

(6859776677130162)

3. Evi Nafiatu Sholikhah, S. Tr. T., M. Tr. T.

(1962776677230112)

4. Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

(6149771672130433)

Dosen Pembimbing

1. Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T.

NUPTK

(9948769670130352)

Tanda Tangan

2. Agus Khumaidi, S.ST., M.T.

(6149771672130433)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**




Ica Rachman, S.T., M.T.
NIP. 198008162008121001

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**

Agus Khumaidi, S.ST., M.T.
NIP. 199308172020121004

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

 PPNS <small>POLITEKNIK TEKNIK SURABAYA</small>	PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	---------------------------------	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Ruzzi Rasydhan Faiz

NRP : 0921040029

Jurusan/Prodi : Teknik Kelistrikan Kapal / D4 – Teknik Otomasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

**RANCANG BANGUN SISTEM SCADA PINTU AIR JAGIR
WONOKROMO MENGGUNAKAN PLC DENGAN PROTOKOL MODBUS
TCP/IP**

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut,
maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 21 Juli 2025
Yang membuat pernyataan,



 (Ruzzi Rasydhan Faiz)
 NRP.0921040029

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang senantiasa mengiringi setiap langkah, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi pada jenjang Diploma IV Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, hingga mencapai tahap akhir dalam bentuk penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem *SCADA* Pintu Air Jagir Wonokromo Menggunakan PLC dengan Protokol Modbus TCP/IP” sebagai salah satu syarat kelulusan.

Dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta peran berbagai pihak yang telah dengan tulus memberikan waktu, tenaga, semangat, bimbingan, dan motivasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada kedua orang tua saya yang tanpa lelah terus mendoakan, memberikan semangat, serta menjadi sumber kekuatan utama dalam menjalani setiap proses perkuliahan. Dukungan penuh, yang menjadi penyemangat besar bagi penulis dalam menyelesaikan studi hingga pada akhirnya dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Isa Rachman, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Agus Khumaidi, S.ST., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, sekaligus Dosen Pembimbing II pada Tugas Akhir ini, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta waktu dan perhatian dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T. selaku koordinator tugas akhir.

6. Bapak Ryan Yudha Adhitya, S.ST., M.T. selaku Dosen pembimbing I pada Tugas Akhir ini, yang telah memberikan bimbingan, saran, serta dedikasi waktunya selama penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga dapat menyelesaikannya dengan maksimal.
7. Bapak Noorman Rinanto, S.T., M.T., Ph.D., Bapak Riko Fajar J. P., S.T., M.T., dan Ibu Evi Nafiatus S., S.Tr.T., M.Tr.T., selaku Dosen Penguji, yang telah bersedia meluangkan waktu serta memberikan masukan, kritik, dan saran dalam proses revisi pada Tugas Akhir ini.
8. Seluruh bapak dan ibu dosen Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya khususnya Prodi Teknik Otomasi jurusan Teknik Kelistrikan Kapal.
9. Seluruh teman-teman Teknik Otomasi angkatan 2021 yang telah menjadi bagian dari perjalanan 4 tahun penuh kenangan dan pembelajaran yang tak terlupakan. Tanpa dukungan dan semangat dari kalian, penyusunan Tugas Akhir ini tentu tidak akan dapat terselesaikan dengan baik.
10. Serta seluruh pihak yang telah berperan serta dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, Segala bantuan dan dukungan yang diberikan sangat penulis hargai dan ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis,

Ruzzi Rasydhan Faiz

RANCANG BANGUN SISTEM SCADA PINTU AIR JAGIR WONOKROMO MENGGUNAKAN PLC DENGAN PROTOKOL MODBUS TCP/IP

Ruzzi Rasydhan Faiz

ABSTRAK

Pintu air berfungsi untuk mengendalikan debit dan volume air agar tidak meluap, serta berperan penting dalam mitigasi banjir. Namun, sistem pintu air Jagir Wonokromo masih menggunakan pengawasan dan pengendalian secara manual, yang kurang efisien dan responsif terhadap kondisi darurat. Penelitian ini mengembangkan sistem pengendalian dan monitoring pintu air berbasis website, yang memungkinkan operator memantau ketinggian air dan mengatur bukaan pintu air secara jarak jauh. Sistem ini mengintegrasikan sensor ultrasonik, ESP32, PLC, dan gateway ECU-1051 menggunakan kombinasi protokol Modbus RTU dan Modbus TCP/IP. Prediksi bukaan pintu air dilakukan menggunakan metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) berdasarkan data elevasi dan debit air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model KNN memberikan prediksi yang akurat dengan error sangat kecil (≤ 0.5 cm), dan sistem berjalan stabil pada kecepatan motor PWM 25. Data dari ESP32 dapat dikirim dengan lancar ke PLC, dan ditampilkan secara *real-time* di website. Meskipun terdapat delay 2–3 detik dalam kontrol akibat komunikasi Modbus RTU dan kondisi jaringan, sistem tetap responsif. Dengan sistem ini, pengendalian pintu air menjadi lebih otomatis, adaptif, dan efisien untuk meminimalkan risiko banjir.

Kata kunci: *Pintu Air, K-Nearest Neighbors (KNN), PLC, Modbus TCP/IP, Programmable Logic Controller (PLC), Internet of Things (IoT), K-Nearest Neighbour (KNN), Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SCADA SYSTEM DESIGN FOR JAGIR WONOKROMO SLUICE GATE USING PLC WITH MODBUS TCP/IP PROTOCOL

Ruzzi Rasydhan Faiz

ABSTRACT

Sluice gates are critical for controlling water discharge and volume to prevent overflow, playing a vital role in flood mitigation. However, the Jagir Wonokromo sluice gate system relies on manual monitoring and control, which is less efficient and less responsive to emergency conditions. This research develops a website-based sluice gate control and monitoring system, enabling operators to remotely monitor water levels and adjust gate openings. The system integrates ultrasonic sensors, an ESP32 microcontroller, a PLC, and an ECU-1051 gateway, utilizing a combination of Modbus RTU and Modbus TCP/IP protocols. The K-Nearest Neighbors (KNN) method is employed to predict sluice gate openings based on elevation and water discharge data. Test results demonstrate that the KNN model provides accurate predictions with minimal errors (≤ 0.5 cm), and the system operates stably at a PWM motor speed of 25. Data from the ESP32 is transmitted smoothly to the PLC and displayed in real-time on the website. Although there is a 2–3-second delay in control due to Modbus RTU communication and network conditions, the system remains responsive. This system enhances the automation, adaptability, and efficiency of floodgate control, significantly reducing flood risks.

Keywords: *Sluice Gates, K-Nearest Neighbors (KNN), PLC, Modbus TCP/IP, Programmable Logic Controller (PLC), Internet of Things (IoT), K-Neareast Neighbour (KNN), Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perangkat Lunak, Metode dan Protokol Komunikasi Yang Digunakan	9
2.2.1 MQTT	9
2.2.2 Haiwell Happy.....	10
2.2.3 Advantech EdgeLink.....	10
2.2.4 Arduino IDE	11
2.2.5 Python	12

2.2.6	PHP	13
2.2.7	Visual Studio Code	13
2.2.8	XAMPP	14
2.2.9	MySQL Database.....	15
2.2.10	AJAX	15
2.2.11	Mosquitto Broker.....	16
2.2.12	Metode K-NN (K-Neareast Neighbour)	17
2.3	Perangkat Keras Yang Digunakan.....	17
2.3.1	PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR.....	17
2.3.2	ECU – 1051	19
2.3.3	Motor DC.....	20
2.3.4	Sensor Proximity	21
2.3.5	Ultrasonic Water Level Sensor.....	22
2.3.6	Driver Motor DC BTS7960	23
2.3.7	Power Supply.....	24
2.3.8	Push Button.....	24
2.3.9	Pilot Lamp	25
2.3.10	Rotary Encoder	26
2.3.11	Relay LY2N.....	26
2.3.12	ESP32	27
2.3.13	Potensiometer	28
BAB 3 METODE PENELITIAN		29
3.1	Tahap Identifikasi Awal	30
3.1.1	Identifikasi Awal	30
3.1.2	Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	30
3.2	Studi Literatur.....	30

3.3	Analisa Kebutuhan Sistem	31
3.4	Perancangan Sistem.....	31
3.4.1	Diagram Blok Sistem	32
3.4.2	<i>Flowchart</i> Sistem	33
3.4.3	<i>Flowchart</i> Sistem <i>SCADA</i>	35
3.5	Perancangan <i>Software</i>	36
3.5.1	Perancangan Tampilan <i>Website</i>	37
3.5.2	Use Case Diagram.....	38
3.5.3	Arsitektur Protokol MODBUS.....	39
3.5.4	Arsitektur Protokol <i>Website</i>	40
3.5.5	Proses Metode K-NN (K-Neareast Neighbour)	40
3.5.6	Contoh perhitungan metode K-Nearest Neighbor :.....	41
3.6	Tahap Perancangan Mekanik	43
3.7	Tahap Perancangan Wiring	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1	Hasil Perancangan Mekanik.....	47
4.1.1	Penempatan Sensor Ultrasonik Water Level Sensor.....	48
4.1.2	Penempatan Sensor Proximity	49
4.1.3	Penempatan Motor DC dan Rotary	50
4.2	Hasil Perancangan Panel	50
4.3	Hasil Perancangan Printed Circuit Board (PCB)	52
4.4	Hasil Pengujian Sensor dan Aktuator.....	52
4.4.1	Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor	53
4.4.2	Pengujian Rotary Encoder.....	54
4.4.3	Pengujian Proximity Sensor	55
4.4.4	Pengujian Push Button <i>Forward</i> , <i>Reverse</i> dan <i>Stop</i>	57

4.4.5	Pengujian <i>Pilot Lamp</i>	57
4.4.6	Pengujian Relay	58
4.4.7	Pengujian Motor DC	59
4.5	Hasil Perancangan Software	63
4.5.1	Hasil Perancangan Komunikasi Modbus TCP/IP dan ESP32	63
4.5.1	Hasil Perancangan Program PLC Haiwell A8	64
4.5.2	Hasil Perancangan ECU-1051	67
4.5.3	Hasil Perancangan Website	68
4.5.4	Hasil Perancangan Simulasi Metode KNN	72
4.5.5	Hasil Perhitungan Manual Metode KNN	76
4.5.6	Hasil Pengujian Prediksi K-Nearest Neighbor (KNN) pada Website	77
BAB 5 PENUTUP		89
DAFTAR PUSTAKA		91
LAMPIRAN		95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jurnal Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. 2 Spesifikasi Waduk.....	7
Tabel 2. 3 Spesifikasi Generator	7
Tabel 2. 4 Spesifikasi Pintu Air Roda Tetap.....	8
Tabel 2. 5 Spesifikasi PLC Haiwell A8	18
Tabel 2. 6 Spesifikasi ECU-1051	20
Tabel 2. 7 Spesifikasi Motor DC.....	21
Tabel 2. 8 Spesifikasi Proximity Sensor	22
Tabel 2. 9 Spesifikasi Ultrasonic Water Level Sensor.....	23
Tabel 2. 10 Spesifikasi Rotary Encoder	26
Tabel 3. 1 Analisa Kebutuhan Sistem	31
Tabel 3. 2 Tabel Data latih.....	41
Tabel 3. 3 Tabel Data Uji	42
Tabel 3. 4 Wiring Pada Panel.....	44
Tabel 4. 1 Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor	53
Tabel 4. 2 Pengujian Rotary Encoder	54
Tabel 4. 3 Pengujian Proximity Sensor.....	56
Tabel 4. 4 Pengujian Push Button	57
Tabel 4. 5 Pengujian Motor DC Searah Jarum Jam	60
Tabel 4. 6 Pengujian Motor DC Berlawanan Jarum Jam.....	61
Tabel 4. 7 Address Modbus Read PLC	66
Tabel 4. 8 Tabel Sluice Gate Pintu Air Jagir Wonokromo	74
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Manual $K=1$	76
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Manual $K=3$	76
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Manual $K=5$	76
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Manual $K=7$	77
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Manual $K=10$	77
Tabel 4. 14 Percobaan KNN Selisih 0.5 cm dan PWM 25	78
Tabel 4. 15 Percobaan KNN Selisih 0.5 cm dan PWM 50	80
Tabel 4. 16 Percobaan KNN Selisih 1 cm dan PWM 25	82

Tabel 4. 17 Percobaan KNN Selisih 1 cm dan PWM 50.....	83
Tabel 4. 18 Waktu Bukaam Pintu Air PWM 25	85
Tabel 4. 19 Waktu Bukaam Pintu Air PWM 50.....	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pintu Air Jagir Wonokromo	1
Gambar 2. 1 MQTT.....	9
Gambar 2. 2 Haiwell Happy.....	10
Gambar 2.3 Advantech EdgeLink.....	11
Gambar 2. 4 Arduino IDE.....	12
Gambar 2. 5 Python	12
Gambar 2. 6 PHP	13
Gambar 2. 7 Visual Studio Code.....	14
Gambar 2. 8 XAMPP	14
Gambar 2. 9 MySQL.....	15
Gambar 2. 10 MySQL.....	16
Gambar 2. 11 Mosquitto Broker	17
Gambar 2. 12 PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR	18
Gambar 2. 13 ECU-1051.....	20
Gambar 2. 14 Motor DC	21
Gambar 2. 15 Sensor Proximity	21
Gambar 2. 16 Ultrasonic Water Level Sensor	22
Gambar 2. 17 Driver Motor DC BTS7960.....	23
Gambar 2. 18 Power Supply	24
Gambar 2. 19 Push Button	25
Gambar 2. 20 Pilot Lamp.....	25
Gambar 2. 21 Rotary Encoder.....	26
Gambar 2. 22 Relay LY2N	27
Gambar 2. 23 ESP32	28
Gambar 2. 24 Potensiometer	28
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem	32
Gambar 3. 3 Flowchart system	34
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> sistem SCADA	35
Gambar 3. 5 Tampilan <i>Website Login</i>	37

Gambar 3. 6 Tampilan <i>Website Dashboard</i>	37
Gambar 3. 7 Tampilan <i>Website Laporan</i>	38
Gambar 3. 8 <i>Use Case Diagram</i>	38
Gambar 3. 9 Arsitektur Protokol Modbus	39
Gambar 3. 10 Arsitektur Protokol Website	40
Gambar 3. 11 Desain Mekanik	43
Gambar 3. 12 Wiring Pada Panel	44
Gambar 4. 1 Desain Bendungan Pintu Air	48
Gambar 4. 2 Penempatan Sensor Ultrasonik	49
Gambar 4. 3 Penempatan Sensor Proximity	49
Gambar 4. 4 Penempatan Motor DC dan Rotary Encoder	50
Gambar 4. 5 Perancangan Panel	51
Gambar 4. 6 Hasil Routing dan PCB Utama	52
Gambar 4. 7 Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor.....	53
Gambar 4. 8 Pengujian Proximity Sensor	56
Gambar 4. 9 Pengujian Pilot Lamp Hijau	58
Gambar 4. 10 Pengujian Pilot Lamp Merah	58
Gambar 4. 11 Pengujian Relay Forward dan Reverse	59
Gambar 4. 12 Grafik Pengujian Motor DC Searah Jarum Jam	60
Gambar 4. 13 Gambar Pengujian Motor searah jarum jam	60
Gambar 4. 14 Grafik Pengujian Motor DC Berlawanan Jarum Jam	61
Gambar 4. 15 Gambar Pengujian Motor Berlawanan jarum jam	62
Gambar 4. 16 Pengujian Motor DC	62
Gambar 4. 17 Komunikasi Modbus TCP/IP dan ESP32	63
Gambar 4. 18 Membuat New Project	64
Gambar 4. 19 Serial Setting.....	65
Gambar 4. 20 Program PLC Website	66
Gambar 4. 21 Program Manual	67
Gambar 4. 22 Konfigurasi Sensor Ultrasonik	68
Gambar 4. 23 Konfigurasi Edge Link Studio	68
Gambar 4. 24 Tampilan Dashboard.....	69
Gambar 4. 25 Tampilan Kontrol.....	70

Gambar 4. 26 Tampilan Tabel	71
Gambar 4. 27 Tampilan Cetak Laporan	71
Gambar 4. 28 Flowchart proses K-Nearest Neighbors (KNN)	72
Gambar 4. 29 Hasil Grafik Error Simulasi.....	75
Gambar 4. 30 Prediksi Metode KNN pada Website	78
Gambar 4. 31 Grafik Percobaan PWM 25	86
Gambar 4. 32 Grafik Percobaan PWM 50	87

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR NOTASI

$d(p,q)$ = jarak euclidean antara dua titik data p dan q

P_i = nilai fitur ke-i dari data uji (titik yang ingin di klasifikasikan)

q_i = nilai fitur ke-i dari data pelatihan (titik referensi)

n = jumlah fitur (dimensi)

$H1 - H2_i$ = Nilai elevasi hulu-hilir dari data ke-i

$H1 - H2_{test}$ = Nilai elevasi hulu-hilir dari data ke uji

Q_i = Nilai debit air dari data ke-i

Q_{test} = Nilai debit air dari data uji

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam di bumi yang menjadi kebutuhan pokok bagi manusia untuk mempertahankan kelangsungan hidup. Indonesia, sebagai negara kepulauan yang kaya akan sumber daya alam, memiliki ribuan sungai yang berperan penting dalam kehidupan masyarakat. Sungai-sungai ini tidak hanya menjadi sumber air untuk pertanian dan kebutuhan sehari-hari, tetapi juga berfungsi sebagai jalur transportasi. Namun, perilaku masyarakat yang kurang memperhatikan kebersihan dan pengelolaan lingkungan, seperti membuang limbah rumah tangga ke sungai, dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem dan banjir. Banjir menjadi jenis bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia, dengan jumlah kejadian mencapai 1.166 pada tahun 2023(Article, 2024).

Salah satu metode yang digunakan untuk mengendalikan debit air dan mencegah meluapnya volume air adalah melalui sistem pintu air. Tinggi permukaan air menjadi indikator utama untuk menentukan apakah pintu air harus dibuka atau ditutup. Pada musim penghujan, kenaikan tinggi air cenderung lebih cepat mencapai batas maksimum, sehingga pintu air memiliki peran penting dalam mengurangi risiko banjir. Namun, hingga saat ini, banyak bendungan yang masih bergantung pada sistem manual. Operator harus mengawasi dan mengendalikan sistem secara langsung agar bendungan dapat berfungsi dengan baik, ini dinilai kurang efektif dan efisien, terutama dalam situasi darurat yang memerlukan respons cepat dan otomatisasi.



Gambar 1. 1 Pintu Air Jagir Wonokromo
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sistem pintu air Jagir Wonokromo pada Gambar 1.1 pada awalnya menggunakan timer sebagai indikator untuk mengatur buka-tutup pintu air. Operator secara manual melakukan perhitungan waktu untuk menyesuaikan pengaturan timer tersebut. Untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem, penulis merancang sistem baru yang memanfaatkan deteksi ketinggian air sebagai indikator utama untuk pengoperasian pintu air Jagir Wonokromo. Sistem ini dirancang agar dapat dikendalikan dan dipantau secara otomatis melalui platform berbasis *Website*, sehingga meminimalkan keterlibatan manual operator dan meningkatkan respons terhadap perubahan kondisi air.

Dalam mengatasi banjir di pintu air Jagir Wonokromo, diperlukan sistem yang mampu mendeteksi perubahan ketinggian air secara akurat sehingga pintu air dapat dibuka atau ditutup pada waktu yang tepat. Oleh karena itu, diperlukan penerapan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*. *SCADA* adalah kombinasi dari perangkat lunak dan perangkat keras yang dirancang untuk mengawasi (*Supervisory*), mengendalikan (*Control*), dan mengakuisisi data (*Data Acquisition*) dalam proses kendali suatu sistem tertentu. Sistem ini melibatkan penggunaan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian permukaan air sungai sebagai input. Data dari sensor tersebut akan diolah oleh *Programmable Logic Controller (PLC)*, yaitu perangkat pengendali standar industri yang bertugas memproses data sensor dan menjalankan fungsi kontrol aktuator. Untuk pengiriman data secara *real-time*, sistem akan menggunakan protokol Modbus TCP/IP dan komunikasi MQTT, sebuah platform message broker yang memungkinkan pertukaran pesan secara andal dan terorganisir antara perangkat atau aplikasi. Protokol Modbus TCP/IP dan komunikasi MQTT akan mengelola distribusi data sensor dari PLC ke aplikasi monitoring berbasis *Website*, sehingga operator dapat memantau kondisi pintu air, mengawasi level ketinggian air, serta mengontrol buka-tutup pintu air dengan lebih efisien. Dengan sistem ini, pengawasan dan pengendalian pintu air diharapkan dapat dilakukan secara lebih efektif, *real-time*, dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana peforma metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) dalam pengendalian posisi pintu air berdasarkan data sensor ketinggian air?
2. Bagaimana mekanisme pengiriman dan integrasi data antara PLC, gateway ECU-1051, dan ESP32 menggunakan protokol Modbus TCP/IP dan Modbus RTU?
3. Bagaimana sistem monitoring dan kontrol pintu air berbasis *website* dapat terintegrasi dengan PLC melalui protokol Modbus RTU?

1.3 Batasan Penelitian

Agar ruang lingkup masalah tidak terlalu melebar, maka beberapa batasan masalah ditetapkan, antara lain:

1. Sistem kontrol dalam penelitian ini menggunakan PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR sebagai perangkat utama untuk menjalankan proses otomatisasi dalam pengendalian pintu air.
2. Tugas akhir ini akan membahas mengenai *software* berupa *Website* untuk monitoring dan kendali serta *hardware* berupa prototipe tidak implementasi langsung pada pintu air jagir wonokromo.
3. Dalam penerapan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN), data ketinggian air, debit air, dan bukaan pintu air diperoleh dari referensi *Tabel Sluice Gate* Pintu Air Jagir Wonokromo sebagai acuan utama dalam proses pengujian model prediksi.
4. Penggunaan mikrokontroler ESP32 sebagai pembaca sensor tambahan, yaitu rotary encoder dan potensiometer, serta sebagai pengontrol driver motor BTS7960. ESP32 juga berfungsi untuk menerima input kontrol berupa tombol manual dan nilai prediksi bukaan pintu air yang dikirimkan dari *website*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Merancang sistem *SCADA* berbasis PLC yang mampu memantau dan mengendalikan pintu air secara otomatis menggunakan protokol komunikasi Modbus TCP/IP.
2. Merancang sistem pengiriman data antara PLC dan *website* menggunakan protokol Modbus TCP/IP dan komunikasi MQTT untuk mendukung pengendalian pintu air secara *real-time*.
3. Mampu mengoptimalkan akurasi prediksi posisi pintu air menggunakan metode *K-Nearest Neighbors* (KNN) dalam pengujian keseluruhan sistem secara *real-time*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tersedianya sistem monitoring dan pengendalian pada pintu air jagir wonokromo untuk menimalisir banjir.
2. Mempermudah operator untuk memantau dan mengatur pintu air jagir wonokromo menggunakan *Website*.
3. Dapat mengoptimalkan kerja dan meningkatkan akurasi dari *Website* untuk pengendalian pintu air jagir wonokromo untuk mengatasi banjir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Berikut ini pada tabel 2.1 merupakan beberapa penelitian yang berkaitan dengan sistem pengendalian dan pemantauan pintu air berbasis *Website*, serta perbandingan protokol komunikasi. Penulis memanfaatkan hasil penelitian tersebut sebagai referensi dalam penyusunan penelitian tugas akhir:

Tabel 2. 1 Jurnal Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Aditya & Suryantoro, 2023)	Rancang Bangun Sistem Kendali Semi Otomatis Pintu Air Bendungan Dengan Mini Hoist PA200 Berbasis PLC OMRON CP1E E20SDR-A	Pada penelitian ini membahas sistem kendali pintu air semi otomatis menggunakan PLC Omron CP1E-E20SDR-A. Sistem ini dilengkapi tiga sensor pelampung untuk mendeteksi ketinggian air, dengan indikator lampu hijau, kuning, dan merah sesuai level air, serta buzzer untuk level melebihi batas. Pintu air dioperasikan dengan push button, dibantu limit switch untuk batas atas dan bawah. Terdapat juga untuk mode manual. Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak adanya sistem monitoring ketinggian air secara <i>real-time</i> yang dapat diakses dari jarak jauh melalui <i>Website</i> , yang dapat mengurangi efektivitas pengawasan dan respons terhadap perubahan kondisi air.
2.	(Quthbirrobbaani et al., 2021)	Sistem Pemantauan Ketinggian Air dan Curah Hujan Serta Kontrol Pintu Air Pada Simulasi Bendungan Berbasis IOT Dengan HMI SCADA	Pada penelitian ini merancang sistem pemantauan ketinggian air dan curah hujan berbasis IoT yang terintegrasi dengan HMI SCADA. Sistem memantau ketinggian air, intensitas hujan, dan mengontrol pintu air otomatis pada simulasi bendungan. Data sensor dikirim melalui ESP32 dengan protokol MQTT dan ditampilkan <i>real-time</i> di HMI SCADA menggunakan OPC. Pengujian menunjukkan akurasi buka/tutup pintu air 100% dengan respons cepat dan efisien, berkat komunikasi MQTT yang mengurangi bandwidth. HMI SCADA memberikan informasi

Tabel 2.1 Jurnal Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			kondisi air dan status pintu air dengan tiga mode alarm: siap, siaga, dan awas. Kekurangan dari penelitian ini adalah sistem tidak memiliki cloud untuk menyimpan data yang ditampilkan di <i>Website</i> , sehingga data akan hilang setelah koneksi terputus.
3.	(Achmad et al., 2023)	Analisa QoS pada MQTT Untuk <i>Website</i> Monitoring dan Pengendalian Pintu Air	Pada penelitian ini membahas penerapan protokol MQTT untuk sistem pemantauan dan pengendalian pintu air. MQTT dipilih karena efisien dan cepat untuk aplikasi IoT yang membutuhkan pengiriman data <i>real-time</i> dengan latensi rendah. Sistem menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor laser untuk posisi pintu air, dan Raspberry Pi sebagai penghubung data ke <i>Website</i> melalui MQTT. Hasil pengujian QoS menunjukkan performa baik dengan delay 53,53 ms, throughput 220 Kb/s, jitter 0,17 ms, dan packet loss 0,24%. Sistem ini meningkatkan efisiensi pengendalian pintu air dengan mendukung pengambilan keputusan cepat dan akurat. Kekurangan pada penelitian ini yaitu penggunaan mikrokontroler yang dapat ditingkatkan dengan PLC untuk keandalan yang lebih baik. Selain itu, kekurangan penelitian ini adalah tidak membandingkan MQTT dengan protokol lain dalam proses pengiriman data.

Dari beberapa jurnal hasil penelitian sebelumnya masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangan, penulis memiliki harapan untuk mengembangkan lebih baik dari berbagai inovasi dan temuan yang telah dicapai oleh penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini mengembangkan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)* yang terintegrasi dengan *Internet of Things (IoT)* untuk pengendalian pintu air Jagir Wonokromo. Sistem ini dirancang agar mampu mendeteksi dan mengontrol ketinggian air secara otomatis dan *real-time* dengan memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai alat pemantau ketinggian air.

Data yang diperoleh diproses oleh *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai pusat kendali, yang kemudian diteruskan melalui *gateway* untuk mendistribusikan informasi ke aplikasi monitoring berbasis web. Sistem ini memberikan solusi bagi operator untuk memantau kondisi pintu air sekaligus mengelola pengoperasiannya dari jarak jauh dengan cepat dan efisien. Dengan adanya teknologi *SCADA* berbasis IoT memungkinkan respons yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti ketinggian air, guna mencegah potensi risiko banjir secara *real-time*.

Penelitian dalam tugas akhir ini akan dilakukan di Pintu Air Jagir Wonokromo sebagai lokasi utama. Pintu air ini terletak di pertemuan antara Kalimas dan Kali Wonokromo, yang berada di Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya. Sebagai infrastruktur pengendali aliran sungai, Pintu Air Jagir Wonokromo memiliki peran penting dalam mengatur distribusi debit air, terutama saat terjadi peningkatan volume akibat curah hujan tinggi. Fungsi utama dari pintu air ini adalah untuk mengalihkan kelebihan air dari kali Surabaya menuju Kalimas guna mengurangi risiko banjir. Selain itu, pintu air ini juga berperan dalam penyediaan pasokan air bagi kebutuhan irigasi, keperluan industri, serta menjaga kestabilan tinggi muka air sungai. Dalam operasionalnya, Pintu Air Jagir Wonokromo menggunakan sistem pintu stop log berbahan baja, yang memungkinkan pengaturan aliran air secara efektif.

Berikut adalah data teknis yang ada pada sistem pintu air jagir wonokromo:

a. Waduk

Tabel 2. 2 Spesifikasi Waduk

Jenis	Kuantitas	
Debit Banjir	20	m ³ /det
Elevasi Muka Air Normal	3.00 – 3.30	M
Elevasi Muka Air Tinggi	3.38	M

b. Generator

Tabel 2. 3 Spesifikasi Generator

Jenis	Kuantitas	
<i>Rated Output</i>	20	kVA
<i>Rated Voltage</i>	380	V
<i>Rated Current</i>	30.4	A
Frekuensi	50	Hz

c. Pintu Air / *Sluice Gate*

Tabel 2. 4 Spesifikasi Pintu Air Roda Tetap

Jenis	Kuantitas	
Tipe	Pintu Baja Roda Tetap	
Elevasi Dasar	+0.50	m
Tinggi	3.38	m
Lebar	4.00	m
Motor	4	kVA, 3 phase
Kecepatan	2.00	m/menit (cepat)
	0.20 – 0.50	m/menit (lambat)

Berdasarkan data teknis yang tercantum dalam Tabel 2.2 hingga Tabel 2.4, diketahui bahwa ketinggian air dalam kondisi normal berada pada kisaran 3 hingga 3,30 meter. Namun, apabila elevasi air mencapai 3,38 meter, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai status siaga banjir. Tabel 2.4 yang memuat spesifikasi pintu air menunjukkan bahwa pergerakan pintu air dapat dioperasikan dalam dua mode, yakni mode lambat dengan kecepatan antara 0,20 hingga 0,5 meter per menit, dan mode cepat yang mampu mencapai 2 meter per menit. Penggunaan mode lambat umumnya diterapkan pada kondisi normal, sedangkan mode cepat digunakan saat air melampaui batas aman untuk mempercepat proses pengaliran menuju saluran pembuangan.

Pada musim kemarau, pengelolaan air dilakukan untuk memenuhi berbagai kebutuhan, seperti pasokan air industri, pemeliharaan kualitas sungai, serta irigasi pertanian. Oleh karena itu, berdasarkan spesifikasi waduk pada Tabel 2.2, elevasi air dijaga pada kisaran 3,00 hingga 3,30 meter agar aliran tetap stabil menuju Intake Ngagel. Sebaliknya, saat musim hujan dan ketinggian air melonjak hingga 3,38 meter, sistem pengendalian akan mengatur pintu air Tabel 2.4 dengan memperkecil bukaan atau menutup sepenuhnya, sehingga aliran air dapat dialihkan ke Kali Wonokromo untuk mengurangi risiko banjir. Pengoperasian sistem ini turut didukung oleh spesifikasi generator yang tercantum dalam Tabel 2.3 sebagai sumber tenaga penggerak utama.

Dalam penelitian ini, data mengenai ketinggian air akan diterapkan dalam perancangan sistem dengan menggunakan skala 1:10. Dengan skala ini memungkinkan simulasi dan pengujian pengaturan pintu air dalam skala lebih kecil

yang tetap merepresentasikan kondisi sebenarnya, sehingga dapat membantu dalam pengembangan sistem yang lebih efektif dan efisien.

2.2 Perangkat Lunak, Metode dan Protokol Komunikasi Yang Digunakan

Sub-bab pada Bab 2 berisikan penjelasan teori yang digunakan dalam penelitian, termasuk penjabaran mengenai objek penelitian, metode yang digunakan, perangkat lunak/keras yang digunakan.

2.2.1 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) merupakan protokol komunikasi ringan berbasis model *publish-subscribe* yang berjalan di atas protokol TCP/IP. Protokol ini dirancang untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya dan jaringan dengan *bandwidth* rendah, sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi *Internet of Things* (IoT) dan komunikasi *machine-to-machine*. MQTT memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan daya dan ukuran paket data yang kecil, sehingga ideal untuk sistem pemantauan dan kendali jarak jauh. Dalam penelitian ini, MQTT digunakan sebagai protokol pengiriman data dari sensor ke database dan website secara *real-time* (Achmad et al., 2023). Beberapa fitur utama dari MQTT antara lain:

1. *Publish/Subscribe* komunikasi untuk mendistribusikan data antar perangkat tanpa koneksi langsung.
2. Menggunakan TCP/IP sebagai konektivitas jaringan utama.
3. Menyediakan tiga tingkatan pengiriman pesan *Quality of Service* (QoS):
 1. “*At most once*” pesan dikirim satu kali tanpa konfirmasi.
 2. “*At least once*” pesan dijamin terkirim setidaknya satu kali.
 3. “*Exactly once*” pesan dijamin sampai tepat satu kali tanpa duplikasi.

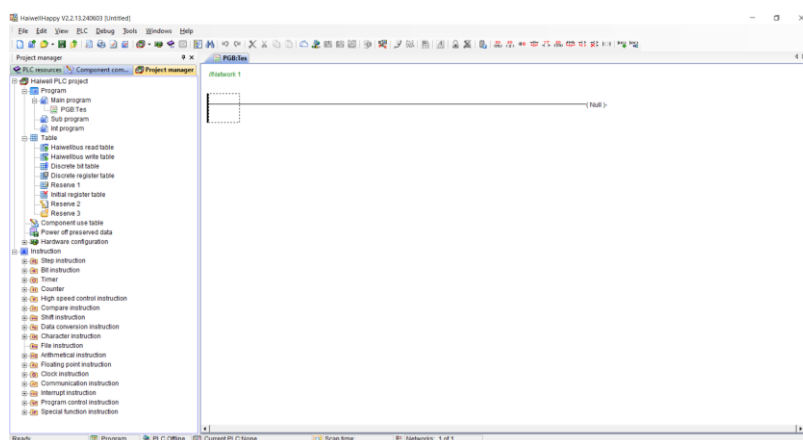
Gambar 2.1 menunjukkan MQTT pada penelitian ini digunakan sebagai protokol komunikasi yang akan mengirimkan data dari sensor menuju database dan *Website*.



Gambar 2. 1 MQTT
(Sumber:<https://www.google.com/MQTT>)

2.2.2 Haiwell Happy

Haiwell Happy adalah perangkat lunak untuk memprogram PLC Haiwell menggunakan bahasa ladder diagram, FBD, dan SFC. Software ini mendukung instruksi standar seperti *input* (X), *output* (Y), *timer* (T), *counter* (C), serta logika kontrol seperti *NO*, *NC*, *AND*, *OR*, *SET*, dan *RESET*. Selain fungsi dasar, Haiwell Happy juga mendukung pemrograman fitur lanjutan seperti komunikasi Modbus RTU dan TCP/IP, *High-Speed Counter* (HSC), Analog Input/Output, serta integrasi *SCADA* langsung dengan Haiwell Cloud. Hal ini memudahkan pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui jaringan internet (Saputra et al., 2024). Dengan tampilan antarmuka, software ini memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, menyimulasikan, dan mengunduh program langsung ke PLC Haiwell, seperti pada model Haiwell A8 atau A2S0AM, yang digunakan dalam penelitian ini untuk sistem kendali otomatis pintu air. Gambar 2.2 menunjukkan tampilan perangkat lunak Haiwell Happy, yang dipakai dalam proses pengembangan logika kontrol dan monitoring secara *real time*.



Gambar 2. 2 Haiwell Happy
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2.2.3 Advantech EdgeLink

Advantech EdgeLink Studio adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menghubungkan, mengelola, dan memproses data dari berbagai perangkat industri dalam sistem *Internet of Things* (IoT). Perangkat lunak ini berfungsi untuk mempermudah konfigurasi input dan output tag guna mengumpulkan data dari sensor dan perangkat lainnya. Setelah konfigurasi selesai, data akan diproses secara *real-time* melalui Advantech EdgeLink Runtime yang berjalan di perangkat.

(Kotab, 2023). Gambar 2.3 menunjukkan tampilan perangkat lunak Advantech EdgeLink Studio, yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengkonfigurasi dan mengelola komunikasi antara sensor, PLC, dan IoT *Gateway* (ECU-1051). Dengan perangkat lunak ini, data dari sistem kendali pintu air dapat dikonversi dan diteruskan ke sistem *SCADA* dan *cloud monitoring* secara *real-time*.



Gambar 2.3 Advantech EdgeLink
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2.2.4 Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak *open-source* yang digunakan untuk memprogram dan mengunggah kode ke mikrokontroler berbasis platform Arduino. Arduino IDE menyediakan pemrograman yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga cocok digunakan dalam bidang pendidikan, penelitian, maupun pengembangan sistem berbasis mikrokontroler seperti ESP32 dan Arduino Uno. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE berbasis C/C++. Salah satu fitur penting dalam Arduino IDE adalah kemampuannya untuk berkomunikasi dengan berbagai perangkat keras melalui port USB atau antarmuka serial, serta kemudahan dalam mengintegrasikan eksternal seperti Modbus dan WiFi. Dalam proyek sistem *SCADA* pintu air (Angga Aditya Permana, 2024). Gambar 2.4 menunjukkan logo Arduino IDE digunakan untuk memprogram pengaturan komunikasi data menggunakan protokol Modbus RTU, yang memungkinkan ESP32 bertindak sebagai *slave device* pembacaan sensor, seperti rotary encoder dan potensiometer, yang digunakan untuk mendeteksi posisi dan memberikan input analog terhadap sistem, dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke PLC (*Programmable Logic Controller*) sebagai Modbus master.



Gambar 2. 4 Arduino IDE
(Sumber: <https://www.google.com/ArduinoIDE>)

2.2.5 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang dapat berjalan di berbagai sistem operasi seperti Windows, MacOS, dan Linux, serta dikenal sebagai bahasa yang interpretatif, dinamis, dan mudah dipelajari. Python memungkinkan pengguna untuk menjalankan perintah secara multi-guna dan mendukung berbagai paradigma pemrograman, termasuk berorientasi objek, imperatif, dan fungsional. Sebagai bahasa interpretatif, Python tidak memerlukan compiler karena kode dapat langsung dijalankan oleh mesin. Python juga memiliki struktur bahasa yang sederhana dan terorganisir, sehingga memudahkan pengguna dalam membaca dan menulis kode. Selain itu, Python dilengkapi dengan koleksi pustaka yang luas dan modul siap pakai untuk berbagai kebutuhan pengembangan, seperti pengolahan data, pengembangan web, dan pembelajaran mesin (Teguh et al., 2024). Gambar 2.5 menunjukkan logo dan antarmuka Python, yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahasa pemrograman untuk pengolahan data sensor, komunikasi dengan PLC, serta integrasi sistem kendali pintu air melalui protokol MQTT dan Modbus TCP/IP. Python memudahkan dalam pemrosesan data *real-time*, membuat skrip otomatisasi, serta mendukung berbagai pustaka yang digunakan dalam pengembangan sistem *SCADA* berbasis IoT.



Gambar 2. 5 Python
(Sumber: <https://www.google.com/Python>)

2.2.6 PHP

PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*) adalah bahasa pemrograman server-side yang digunakan dalam pengembangan *Website* dan dapat disisipkan ke dalam dokumen HTML. PHP bersifat *open source* dan tidak memerlukan proses kompilasi saat digunakan. Bahasa ini kompatibel dengan berbagai web server, seperti Apache, IIS, Nginx, Lighttpd, hingga Xitami, dengan konfigurasi yang relatif mudah. PHP dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, termasuk Linux, Unix, macOS, dan Windows (Sahi, 2020). Gambar 2.6 menunjukkan logo PHP, yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahasa pemrograman backend untuk menangani pengolahan data sensor dan komunikasi dengan database. PHP berperan dalam menampilkan data sistem kendali pintu air di *Website* monitoring, memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi *real-time* yang diterima dari sensor melalui protokol MQTT dan Modbus TCP/IP.

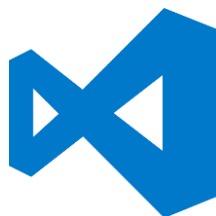


Gambar 2. 6 PHP
(Sumber: <https://www.google.com/PHP>)

2.2.7 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah software yang dikembangkan oleh Microsoft dengan berbagai fitur unggulan. Alat ini mendukung banyak bahasa pemrograman populer, seperti JavaScript, TypeScript, Node.js, Python, C/C++, dan Java. VS Code menawarkan fitur seperti penekanan sintaks, Intellisense (sugesti otomatis), debugging, serta integrasi Git, yang memudahkan pengembang dalam menulis, memeriksa, dan mengelola kode secara efisien. VS Code memiliki keunggulan dukungan ekosistem ekstensi yang luas, memungkinkan pengguna menambahkan pustaka atau fitur sesuai kebutuhan proyek (Ananda et al., 2024). Gambar 2.7 menunjukkan tampilan Visual Studio Code, yang digunakan dalam penelitian ini sebagai editor utama untuk menulis dan mengelola kode dalam pengembangan sistem kendali pintu air berbasis *SCADA*.

Dengan fitur yang lengkap dan dukungan ekstensi, VS Code digunakan untuk mengembangkan script dalam Python dan PHP, serta mengelola komunikasi data dengan MQTT dan Modbus TCP/IP secara *real-time*.



Gambar 2. 7 Visual Studio Code
(Sumber: <https://www.google.com/VsCode>)

2.2.8 XAMPP

XAMPP adalah paket perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan pengembangan aplikasi web, terutama yang menggunakan bahasa pemrograman PHP dan basis data MySQL. Dengan XAMPP, pengguna dapat menjalankan server web secara lokal (localhost) tanpa perlu mengonfigurasi server secara manual. Selain itu, XAMPP dilengkapi dengan phpMyAdmin, sebuah antarmuka berbasis web untuk mempermudah pengelolaan basis data MySQL, yang dapat diakses melalui alamat <http://localhost/phpmyadmin>. XAMPP juga dilengkapi dengan kontrol panel yang memungkinkan pengguna untuk mengelola layanan-layanan seperti Apache dan MySQL, termasuk memulai atau menghentikan layanan sesuai kebutuhan (Rahmawati & Ulum, 2022). Gambar 2.8 menunjukkan tampilan antarmuka XAMPP, yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengembangkan dan mengelola *Website* monitoring sistem kendali pintu air.

Dengan menggunakan XAMPP, server lokal dapat dijalankan untuk menampilkan data dari sensor dan PLC, yang dikirim melalui MQTT dan Modbus TCP/IP, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time*.



Gambar 2. 8 XAMPP
(Sumber: <https://www.google.com/XAMPP>)

2.2.9 MySQL Database

MySQL adalah sistem manajemen basis data relasional (RDBMS) yang bersifat open-source dan menggunakan Structured Query Language (SQL) untuk mengelola dan mengakses data. Dengan popularitas yang tinggi, MySQL banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi berbasis web, terutama yang memanfaatkan teknologi seperti PHP dan Apache. Selain itu, MySQL juga dikenal efisien dalam penggunaan sumber daya, seperti memori RAM, sehingga dapat berjalan dengan baik pada berbagai perangkat dengan spesifikasi rendah. Dalam hal keamanan, MySQL menyediakan perlindungan yang kuat dengan kontrol akses berdasarkan nama host dan subnet mask, memastikan data tetap terlindungi dengan baik (Mandiri et al., 2024). Gambar 2.9 menunjukkan tampilan MySQL, yang digunakan dalam penelitian ini sebagai sistem penyimpanan data untuk monitoring dan kendali pintu air. MySQL menyimpan data sensor ketinggian air, status aktuator, serta riwayat kontrol yang dikirimkan melalui MQTT dan Modbus TCP/IP. Dengan struktur database yang efisien, sistem mampu mengelola dan menampilkan informasi secara *real-time* melalui *Website* monitoring.



Gambar 2. 9 MySQL
(Sumber: <https://www.google.com/MySQL>)

2.2.10 AJAX

AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) adalah teknologi yang memungkinkan komunikasi dengan server secara berkelanjutan untuk meminta dan memperbarui informasi tanpa harus melakukan pemuatan ulang (reload) pada halaman browser. Dengan menggunakan AJAX, data pada halaman web dapat diperbarui secara dinamis dan ditampilkan dengan lebih cepat dibandingkan dengan situs web yang tidak memanfaatkan teknologi ini. Kemampuan AJAX dalam mempercepat proses pemuatan halaman web didukung oleh penggunaan objek JavaScript yang disebut XMLHttpRequest. Objek ini memungkinkan pengiriman permintaan (request) dan penerimaan balasan (response) dari server secara asynchronous, sehingga pengguna dapat berinteraksi dengan halaman web tanpa

gangguan akibat pemuatan ulang seluruh halaman. AJAX juga memanfaatkan DOM (Document Object Model), yaitu antarmuka pada browser yang digunakan untuk memanipulasi elemen-elemen HTML dan CSS.

Melalui DOM, AJAX dapat mengakses, mengubah, menambah, atau menghapus elemen pada halaman web secara langsung. Selain itu, elemen HTML dapat dimodifikasi berdasarkan aksi pengguna, seperti saat tombol ditekan atau ketika suatu peristiwa dipicu oleh pengguna (Mau et al., 2023). Gambar 2.10 menunjukkan ilustrasi konsep AJAX, yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperbarui data sensor dan status pintu air secara *real-time* pada *Website* monitoring. Dengan AJAX, data yang diterima dari PLC melalui MQTT dan Modbus TCP/IP dapat ditampilkan secara dinamis di antarmuka pengguna, tanpa harus me-refresh halaman, sehingga meningkatkan pengalaman pengguna (*user experience*) dalam memantau dan mengontrol sistem pintu air.



Gambar 2. 10 MySQL
(Sumber: <https://www.google.com/ AJAX>)

2.2.11 Mosquitto Broker

Mosquitto adalah salah satu broker MQTT *open-source* yang banyak digunakan dalam sistem *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung komunikasi berbasis mekanisme *publish-subscribe*. Dalam arsitektur ini, perangkat yang berperan sebagai MQTT client dapat mengirimkan (*publish*) atau menerima (*subscribe*) data melalui broker sebagai perantara komunikasi. Mosquitto bertugas mengelola distribusi pesan berdasarkan topik yang relevan antara *publisher* dan *subscriber*. Karena protokol MQTT tidak menyediakan sistem antrian bawaan, komunikasi data membutuhkan keaktifan kedua pihak, yakni *publisher* dan *subscriber*, secara bersamaan agar proses pertukaran data dapat berjalan dengan baik (Febriyani et al., 2019). Pada tugas akhir ini, protokol MQTT digunakan untuk mengirimkan data dari perangkat ECU-1051 ke sistem monitoring dan kontrol, sehingga proses pengiriman informasi dapat dilakukan secara efisien dan *real-time*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Mosquitto Broker
(Sumber: <https://www.google.com//Mosquitto>)

2.2.12 Metode K-NN (K-Neareast Neighbour)

K-Nearest Neighbor (KNN) adalah algoritma pembelajaran mesin yang digunakan untuk klasifikasi data dengan menganalisis kedekatan data uji dengan data latih berdasarkan jumlah tetangga terdekat (k). Dalam algoritma ini, objek diklasifikasikan berdasarkan kelas mayoritas yang ditemukan di antara tetangga terdekatnya, dengan nilai k yang ditentukan oleh pengguna. KNN terkenal karena kesederhanaannya dan sering diterapkan dalam berbagai bidang seperti pengolahan citra, pengenalan pola, dan data mining. Proses kerjanya melibatkan perhitungan jarak antara data uji dan data latih, umumnya menggunakan jarak Euclidean, yang menghitung panjang garis lurus antara dua titik dalam ruang dua dimensi. Objek baru akan dikelompokkan ke dalam kelas yang paling sering muncul di antara tetangga terdekat, dan jika nilai k adalah 1, objek tersebut akan mengikuti kelas tetangga yang paling dekat.

Metode ini juga sering digunakan untuk prediksi, di mana tujuan utamanya adalah memperkirakan nilai atau kategori berdasarkan data yang sudah ada. Dengan demikian, KNN memungkinkan pengelompokan dan klasifikasi objek yang efektif berdasarkan kesamaan dan kedekatan atributnya dengan data yang ada (Akbar, 2024).

2.3 Perangkat Keras Yang Digunakan

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, juga dibutuhkan beberapa perangkat keras (hardware) sebagai perancangan bentuk fisik dari alat dan sebagai penggerak mekanisme alat. Adapun perangkat keras (hardware) yang digunakan sebagai berikut:

2.3.1 PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR

PLC Haiwell A8 adalah perangkat kontrol otomatis yang digunakan untuk mengatur dan mengendalikan proses kerja mesin atau sistem secara terprogram.

PLC ini memiliki 8 input digital, serta dapat diperluas menggunakan modul ekstensi sesuai kebutuhan sistem. Dalam perancangan ini, PLC Haiwell A8 dikombinasikan dengan modul ekstensi A08DOR, yang berfungsi untuk menambah jumlah output relay, sehingga memungkinkan pengendalian lebih banyak perangkat seperti motor, pompa, atau aktuator lainnya. Kombinasi ini sangat cocok digunakan dalam aplikasi otomatisasi industri, termasuk sistem pengolahan air dan kendali pintu air otomatis. PLC Haiwell A8 mendukung berbagai protokol komunikasi seperti Modbus RTU dan Modbus TCP/IP, sehingga dapat terhubung langsung dengan perangkat *SCADA*, sensor, dan aktuator. Salah satu keunggulannya adalah kemampuan komunikasi jaringan yang stabil dan dukungan terhadap input/output analog melalui modul tambahan. Pemrograman PLC ini dilakukan menggunakan software Haiwell Happy, dengan dukungan bahasa pemrograman Ladder Diagram (LD) dan Function Block Diagram (FBD) (Setiady et al., 2024). Gambar 2.12 menunjukkan tampilan PLC Haiwell A8 yang dilengkapi dengan modul ekstensi A08DOR dan terdapat tabel 2.5 spesifikasi PLC, yang digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem otomatisasi pintu air. Dalam implementasinya, perangkat ini membaca data dari sensor, mengontrol aktuator melalui output tambahan, dan mengirimkan data ke sistem *SCADA* secara *real-time* melalui komunikasi TCP/IP untuk mendukung pemantauan dan kontrol jarak jauh.



Gambar 2. 12 PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 2. 5 Spesifikasi PLC Haiwell A8

Parameter	Spesifikasi
Model	PLC Haiwell A8
Ekstensi Tambahan	PLC Haiwell A08DOR
Tegangan	24 VDC

Parameter	Spesifikasi
Jumlah I/O	Input: 8 Output: 8
Arus Output Maksimal	5A
Kapasitas Program	48000
Perangkat Lunak Pemrograman	Haiwell Happy
Port Komunikasi	Modbus RTU, Modbus TCP/IP
Ekstensi	Support 15 Modul

2.3.2 ECU – 1051

ECU-1051 Advantech IoT Gateway adalah perangkat yang dirancang untuk menghubungkan perangkat industri dengan sistem berbasis Internet of Things (IoT). Gateway ini mampu mengumpulkan data dari berbagai perangkat, seperti sensor dan PLC, kemudian mengirimkannya ke platform cloud atau aplikasi monitoring menggunakan protokol komunikasi yang aman. ECU-1051 mendukung berbagai protokol, termasuk Modbus, salah satu fitur penting dari ECU-1051 adalah dukungannya terhadap komunikasi Modbus TCP/IP dan RS485, yang merupakan protokol komunikasi yang sering digunakan dalam lingkungan industri karena keandalannya dalam mentransmisikan data jarak jauh (Romadhona et al., 2024). Gambar 2.13 menunjukkan ECU-1051 yang berperan sebagai IoT Gateway. Perangkat ini memiliki fungsi utama sebagai penghubung antara PLC dan sistem monitoring berbasis cloud atau website. ECU-1051 menerima data dari PLC melalui protokol Modbus TCP dan membaca data dari sensor ultrasonik melalui komunikasi RS485, Spesifikasi dari perangkat ini dapat dilihat pada tabel 2.6.

Data yang dikirimkan tidak hanya ditampilkan secara visual untuk keperluan monitoring kondisi lapangan, seperti tinggi elevasi air dan status bukaan pintu air, tetapi juga disimpan ke dalam basis data (database) agar dapat digunakan dalam proses analisis historis, pelaporan, maupun prediksi berbasis data. Penyimpanan data ini menjadi penting memungkinkan sistem untuk mendukung metode pengolahan data.



Gambar 2. 13 ECU-1051

(Sumber: <https://www.google.com/ECU-1051>)

Tabel 2. 6 Spesifikasi ECU-1051

Parameter	Spesifikasi
Model	ECU-1051
Tegangan	10 W (24 VDC)
Port Serial	2x RS-232/485
Port LAN	2x 10/100 Mbps Ethernet (RJ45)
Protokol Komunikasi	SNMP, MQTT, ODBC, JDBC, OPCUA Client
Kapasitas Tag	2000 Tag MAX

2.3.3 Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang bekerja menggunakan arus searah untuk menghasilkan energi gerak melalui gaya elektromagnetik. Motor ini memiliki keunggulan dalam hal kontrol kecepatan yang luas, sistem kontrol yang sederhana, serta efisiensi biaya, sehingga banyak digunakan di industri. Motor DC terdiri dari tiga jenis utama: shunt, seri, dan kompon. Tipe shunt memiliki gulungan medan yang terhubung paralel dengan dinamo dan menawarkan kecepatan yang relatif konstan. Tipe seri, dengan gulungan medan dan dinamo yang terhubung seri, menghasilkan torsi awal yang tinggi dan cocok untuk beban berat (Esario & Yuhendri, 2020).

Gambar 2.14 menunjukkan ilustrasi Motor DC yang digunakan dalam penelitian ini sebagai aktuator untuk menggerakkan pintu air. Motor ini dikendalikan oleh PLC, dengan keputusan buka-tutup berdasarkan data dari sensor ketinggian air. Motor DC ini dikendalikan melalui sistem *SCADA*, dengan data sensor ketinggian air sebagai parameter utama untuk menentukan bukaan pintu, untuk spesifikasi dari Motor DC dapat dilihat pada tabel 2.7.



Gambar 2. 14 Motor DC

(Sumber: <https://www.google.com/MotorDC>)

Tabel 2. 7 Spesifikasi Motor DC

Parameter	Spesifikasi
Model	PG36
Tegangan	24 VDC
Speed	600rpm

2.3.4 Sensor Proximity

Sensor proximity adalah jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau halangan objek yang berada di sekitarnya tanpa perlu kontak langsung. Fungsinya adalah untuk mengidentifikasi jarak atau kedekatan objek terhadap sensor, sehingga dapat memberikan respons atau peringatan ketika objek terdeteksi dalam jangkauannya. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan seperti medan elektromagnetik, gelombang ultrasonik, atau cahaya inframerah, tergantung pada jenisnya. Misalnya, sensor proximity induktif mendeteksi objek logam, sementara sensor kapasitif dapat mendeteksi objek non-logam, dan sensor optik atau inframerah menggunakan cahaya untuk mendeteksi keberadaan objek (Kurniawan & Rahmawati, 2024). Gambar 2.15 menunjukkan Sensor Proximity, yang digunakan dalam sistem kontrol pintu air untuk mendeteksi posisi pintu air. Sensor ini memberikan informasi posisi yang penting untuk mengendalikan dalam membuka atau menutup pintu air sebagai safety agar tidak melewati batas secara otomatis, untuk spesifikasi dari Proximity sensor terdapat pada tabel 2.8.



Gambar 2. 15 Sensor Proximity

(Sumber: <https://www.google.com/ProximitySensor>)

Tabel 2. 8 Spesifikasi Proximity Sensor

Parameter	Spesifikasi
Jarak Deteksi	3-80 cm
Tegangan Kerja	5VDC
Arus	100mA
Resolusi	Mm
Waktu Respons	Kurang dari 2 ms

2.3.5 Ultrasonic Water Level Sensor

A02YY4W V2 RS485 *Waterproof Ultrasonic Water Level Sensor* adalah sensor ultrasonik yang dirancang untuk mengukur ketinggian air secara akurat dengan teknologi gelombang ultrasonik. Dukungan protokol RS485 memungkinkan sensor ini terhubung ke perangkat seperti PLC, IoT Gateway, atau SCADA untuk pengawasan dan kontrol otomatis dalam sistem pengendalian air. Sensor ini dapat digunakan di berbagai kondisi lingkungan, termasuk area yang basah atau terkena percikan air, seperti waduk, sungai, dan pintu air. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke permukaan air, lalu mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang tersebut untuk kembali, sehingga dapat menentukan jarak atau ketinggian air (Hudati et al., 2021). Gambar 2.16 menunjukkan *Ultrasonic Water Level Sensor* yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur ketinggian permukaan air pada bagian hulu dan hilir dari prototipe sistem pintu air. Pembacaan data sensor dilakukan secara langsung oleh perangkat ECU-1051 melalui komunikasi RS485. Data ketinggian air yang diperoleh kemudian digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam sistem kendali otomatis untuk menentukan posisi bukaan pintu air, yang dikontrol berdasarkan prediksi nilai debit air dan ketinggian air. untuk spesifikasi dari *Ultrasonic Water Level Sensor* terdapat pada tabel 2.9.



Gambar 2. 16 *Ultrasonic Water Level Sensor*
(Sumber: <https://www.google.com/A02YY4W V2 RS485>)

Tabel 2. 9 Spesifikasi Ultrasonic Water Level Sensor

Parameter	Spesifikasi
Jarak Deteksi	3-450 cm
Tegangan Kerja	5-24 V
Output	RS485
<i>Operating Temperature</i>	-15~60°C

2.3.6 Driver Motor DC BTS7960

Driver motor BTS-7960 adalah komponen elektronik yang dirancang untuk mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC dengan efisien, sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol motor berdaya tinggi.

Beroperasi pada rentang tegangan 5,5V hingga 27V DC dan mampu menangani arus hingga 43A, perangkat ini menggunakan rangkaian full H-bridge untuk memungkinkan pengaturan arah putaran motor secara fleksibel. Inti dari driver ini adalah IC BTS-7960 yang dapat mengelola arus tinggi dengan stabil. Selain itu, untuk melindungi perangkat dari kerusakan akibat arus berlebih, driver ini dilengkapi dengan proteksi suhu dan heatsink yang efektif dalam mendinginkan transistor, menjaga kinerja optimal meskipun arus yang mengalir besar. Driver motor ini terdiri dari empat transistor yang dikendalikan oleh sinyal dari mikrokontroler, memungkinkan pengaturan putaran motor DC dengan presisi (Unnazif & Almasri, 2022). Gambar 2.17 menunjukkan Driver Motor DC BTS-7960, yang digunakan dalam sistem pengendalian pintu air untuk mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC yang menggerakkan pintu air, dengan presisi yang diperlukan untuk membuka atau menutup pintu air secara otomatis sesuai dengan data yang diterima dari sensor ketinggian air.



Gambar 2. 17 Driver Motor DC BTS7960
(Sumber: <https://www.google.com/DriverBTS7960>)

2.3.7 Power Supply

Power supply, atau catu daya, adalah perangkat yang menyediakan energi listrik untuk berbagai perangkat elektronik yang memerlukannya. Fungsi utama dari power supply adalah untuk mengubah jenis arus, yakni mengonversi arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC), yang sering dibutuhkan oleh banyak perangkat elektronik. Power supply terdiri dari beberapa komponen utama, salah satunya adalah transformator, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari tingkat yang lebih tinggi menjadi lebih rendah sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, power supply juga dilengkapi dengan komponen lain seperti penyearah, filter, dan regulator, yang memastikan bahwa arus DC yang dihasilkan stabil dan bebas dari gangguan (Fajira, 2020).

Gambar 2.18 menunjukkan Power Supply, yang digunakan dalam sistem kendali pintu air untuk menyediakan power listrik bagi perangkat seperti PLC, sensor, dan motor driver, yang membutuhkan pasokan daya dari sebelumnya 220VAC menjadi 24VDC untuk memastikan kinerja sistem pengendalian pintu air berfungsi dengan baik.



Gambar 2. 18 Power Supply
(Sumber: <https://www.google.com/PowerSupply>)

2.3.8 Push Button

Push button atau saklar tombol tekan adalah saklar yang digunakan untuk membuka atau menutup rangkaian listrik dengan cara mengalirkan sinyal listrik. Saklar ini memiliki dua jenis kontak: NC (*normally closed*) dan NO (*normally open*). Saat tidak ditekan, kontak tetap tidak berubah, namun ketika ditekan, kontak NC berfungsi untuk menghentikan (stop) dan kontak NO untuk mengaktifkan (start).

Push button digunakan dalam sistem pengontrol motor untuk menghidupkan atau mematikan motor, serta untuk menyambung atau memisahkan bagian-bagian dalam sistem listrik. Ada beberapa jenis push button, termasuk *Normally Open* (NO) yang menutup saat ditekan dan membuka saat dilepas, dan *Normally Closed* (NC) yang bekerja sebaliknya (Ummah, 2019). Gambar 2.19 menunjukkan Push Button, yang digunakan sebagai input kontrol dalam sistem kendali pintu air, berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan operasi pintu air secara manual sesuai dengan kebutuhan pengguna.



Gambar 2. 19 Push Button
(Sumber: <https://www.google.com/PushButton>)

2.3.9 Pilot Lamp

Pilot lamp adalah komponen penting pada panel listrik yang berfungsi sebagai indikator adanya aliran listrik. Lampu ini menyala saat panel menerima tegangan (fase dan netral), menunjukkan bahwa sistem aktif dan siap digunakan. Keberadaan pilot lamp memudahkan pengguna dalam memantau kondisi panel tanpa perlu alat tambahan, serta membantu teknisi dalam mendeteksi masalah seperti gangguan pasokan listrik (Abdillah et al., 2024). Gambar 2.20 menunjukkan Pilot Lamp, yang digunakan sebagai indikator status sistem dalam pengendalian pintu air, memberikan informasi visual kepada pengguna mengenai keadaan operasional sistem apakah dalam kondisi aktif atau tidak.



Gambar 2. 20 Pilot Lamp
(Sumber: <https://www.google.com/PilotLamp>)

2.3.10 Rotary Encoder

Rotary encoder adalah komponen yang berfungsi untuk mendeteksi posisi sudut, kecepatan putaran, dan arah rotasi dari poros motor. Dalam sistem kontrol motor DC, rotary encoder digunakan sebagai sensor umpan balik untuk memastikan motor bergerak sesuai perintah. Encoder ini menghasilkan sinyal berupa pulsa yang menunjukkan posisi atau kecepatan putaran motor, kemudian sinyal tersebut dikirim ke pengendali seperti PLC atau mikrokontroler. Data dari rotary encoder memungkinkan sistem untuk memantau dan menyesuaikan kecepatan atau posisi motor agar sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, encoder ini juga mampu mendeteksi arah putaran motor, sehingga dapat digunakan untuk mengontrol pergerakan maju (*forward*) atau mundur (*reverse*) dengan presisi (Jurnal et al., 2024).

Gambar 2.21 menunjukkan rotary encoder, yang digunakan dalam sistem kontrol motor DC untuk memberikan umpan balik posisi dan kecepatan motor, membantu memastikan bahwa motor bergerak sesuai dengan parameter yang diinginkan, untuk spesifikasi dari rotary encoder dapat dilihat pada tabel 2.10.



Gambar 2. 21 Rotary Encoder
(Sumber: <https://core-electronics.com.au/>)

Tabel 2. 10 Spesifikasi Rotary Encoder

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Kerja	5-24 V
Resolusi pulsa/Rotasi	400P/R
Frekuensi respon	0 - 20KHz
Output	AB 2 phase

2.3.11 Relay LY2N

Relay merupakan komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar yang dikendalikan secara listrik. Prinsip kerjanya didasarkan pada medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan di dalam relay.

Medan magnet ini akan menarik tuas saklar, sehingga dapat menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik lainnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 (Sari et al., 2025). relay digunakan untuk mengendalikan aliran arus menuju motor DC berdasarkan sinyal dari sistem kontrol seperti mikrokontroler atau PLC. Ketika sinyal diberikan, kumparan akan aktif dan menarik kontak relay, sehingga motor DC dapat dinyalakan atau dihentikan secara otomatis sesuai dengan kondisi kontrol yang ditentukan.

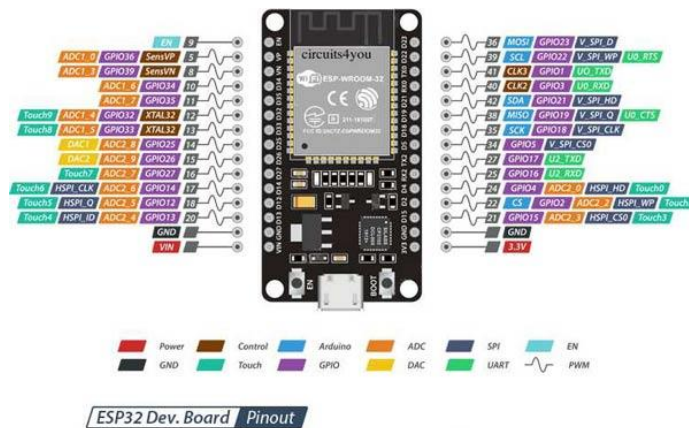


Gambar 2. 22 Relay LY2N
(Sumber: <https://www.google.com/RelayLY2N>)

2.3.12 ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler berbasis Wi-Fi dan Bluetooth yang memiliki performa tinggi serta mendukung multitasking, sehingga sangat populer dalam pengembangan aplikasi Internet of Things (IoT) dan sistem kendali otomatis. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.23. ESP32 memiliki berbagai fitur penting seperti ADC (Analog to Digital Converter), PWM (Pulse Width Modulation), serta mendukung komunikasi UART, I2C, dan SPI. Mikrokontroler ini juga memiliki banyak pin input/output digital yang dapat diprogram sesuai kebutuhan. Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam mengolah sinyal secara cepat dan efisien, menjadikannya ideal untuk aplikasi *real-time* seperti pembacaan sensor dan pengendalian motor (Nadhiroh et al., 2024). Pada Tugas Akhir ini, ESP32 digunakan untuk membantu membaca sinyal dari rotary encoder dan mengatur kecepatan motor melalui sinyal PWM, karena PLC yang digunakan tidak memiliki pin High-Speed Counter (HSC) untuk membaca pulsa encoder, maupun pin Analog Output untuk menghasilkan sinyal kendali kecepatan.

Dengan peran ini, ESP32 menjadi solusi yang menjembatani keterbatasan hardware pada PLC dalam sistem kontrol motor secara presisi dan *real-time*.



Gambar 2. 23 ESP32
(Sumber: <https://www.google.com/ESP32>)

2.3.13 Potensiometer

Potensiometer adalah komponen elektronik yang berfungsi sebagai pembagi tegangan variabel dan banyak digunakan untuk mengatur nilai analog, seperti kecepatan, volume, atau posisi. Dalam sistem kontrol motor DC, potensiometer digunakan sebagai perangkat input manual untuk mengatur kecepatan motor secara proporsional terhadap nilai resistansi yang diubah oleh pengguna. Ketika poros potensiometer diputar, resistansinya berubah, menghasilkan tegangan analog yang kemudian dibaca oleh mikrokontroler (seperti ESP32) melalui pin ADC (*Analog to Digital Converter*) (Adhi Imanda, 2014). Dalam tugas akhir ini, potensiometer pada Gambar 2.24 digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC. Nilai tegangan yang dihasilkan potensiometer dibaca oleh mikrokontroler ESP32, kemudian dikonversi menjadi nilai PWM (Pulse Width Modulation) yang digunakan untuk mengontrol kecepatan putaran motor.

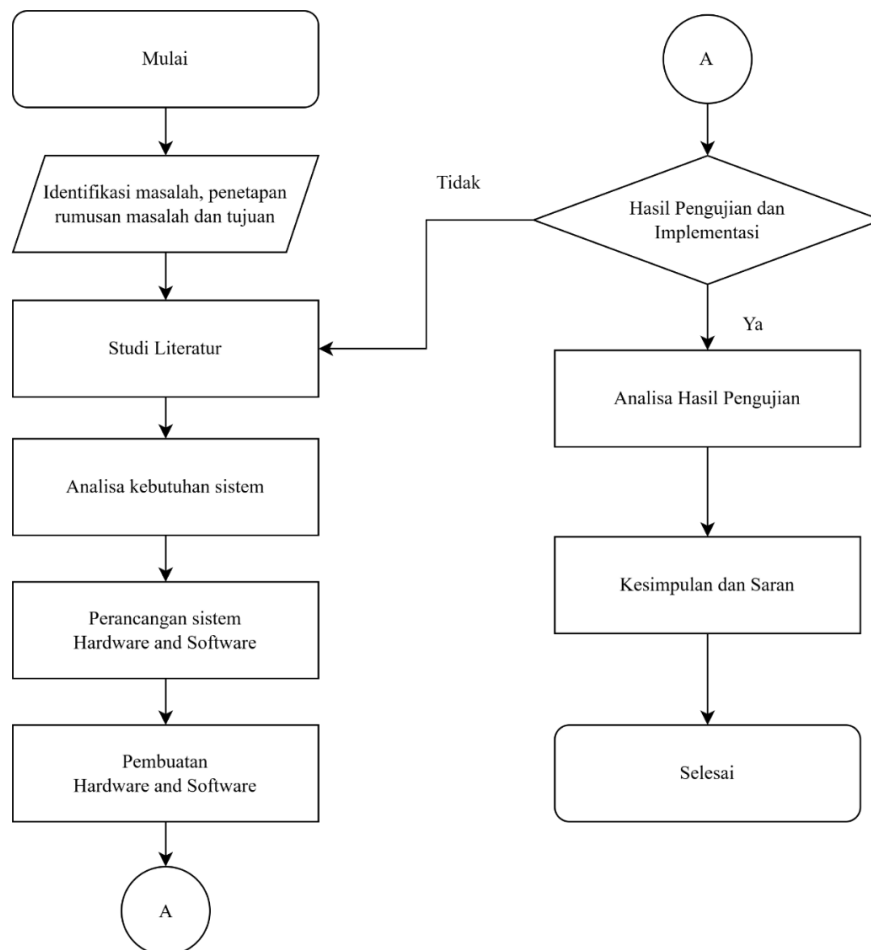


Gambar 2. 24 Potensiometer
(Sumber: <https://www.google.com/Potensiometer>)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas alur penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir, mulai dari identifikasi masalah hingga pelaporan hasil penelitian. Proses penelitian diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep dasar dan menentukan langkah yang akan diambil dalam perancangan sistem. Tahapan penelitian meliputi perancangan serta pembuatan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), diikuti dengan uji coba sistem untuk memastikan solusi yang diusulkan berjalan dengan baik. Setiap tahap dilakukan secara sistematis, mencakup pengumpulan data, analisis, implementasi, hingga evaluasi hasil penelitian untuk menghasilkan laporan akhir yang terstruktur.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal menjadi tahap pertama dalam pelaksanaan penelitian, sehingga dapat dilakukan identifikasi permasalahan serta tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini. Pada tahap awal ini terdiri dari beberapa langkah yaitu :

3.1.1 Identifikasi Awal

Tahap awal dalam pelaksanaan penelitian diawali dengan proses identifikasi untuk menentukan permasalahan yang ada serta merumuskan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Proses identifikasi ini dilakukan melalui beberapa langkah yaitu:

3.1.2 Penetapan Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dilakukan, terdapat rumusan masalah yang bisa dijadikan tujuan penelitian dalam pembuatan tugas akhir ini. Tujuan dari tugas akhir ini yaitu dapat membuat sistem *SCADA* pintu air dan *Website* untuk sistem monitoring dan kendali pada pintu air jagir wonokromo dengan menggunakan protokol Modbus TCP/IP dan protokol komunikasi RabbitMQ.

3.2 Studi Literatur

Tahap berikutnya adalah melakukan studi literatur, yaitu mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber informasi yang dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal ilmiah, serta artikel yang berhubungan dengan topik penelitian. Penulis mengumpulkan referensi sebanyak mungkin terkait perangkat seperti PLC Haiwell A8, ECU-1051 IoT Gateway, bahasa pemrograman Python, XAMPP, MQTT, dan lainnya. Pencarian informasi dilakukan melalui berbagai sumber, seperti jurnal penelitian, artikel di internet, dan sumber lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini.

3.3 Analisa Kebutuhan Sistem

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kebutuhan sistem yang diperlukan dalam pembuatan alat Tugas Akhir disajikan secara lengkap pada tabel 3.1. Proses mencakup pendataan komponen, antara lain:

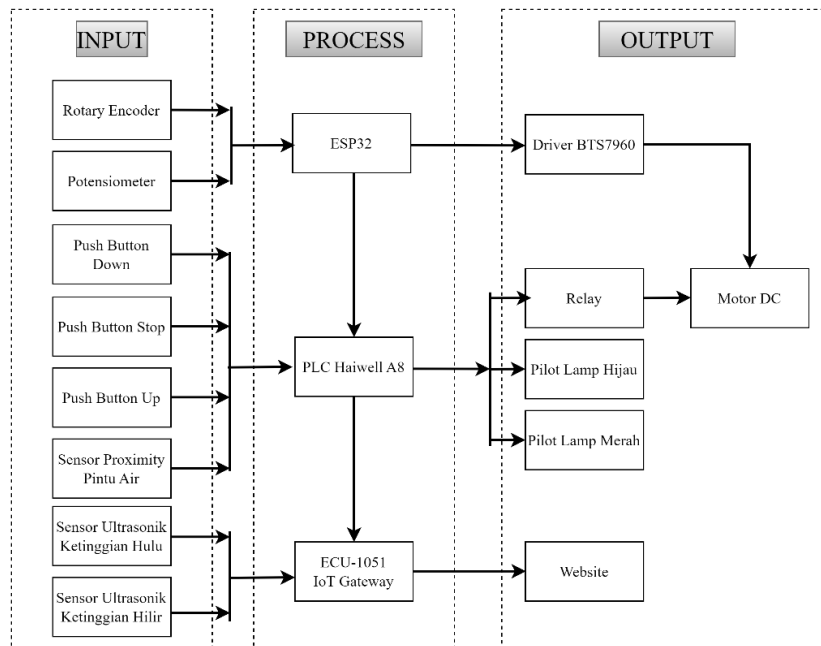
Tabel 3. 1 Analisa Kebutuhan Sistem

No.	Hardware	Software
1.	PLC Haiwell A8 dan Ekstensi A08DOR	Haiwell Happy
2.	ECU-1051	Advantech EdgeLink
3.	2 Ultrasonik Water Level Sensor	Visual Studio Code
4.	2 Proximity	XAMPP
5.	Power Supply	
6.	3 Tombol Manual untuk Turun	
7.	2 Pilot Lamp	
8.	2 Relay LY2N 8 Pin	
9.	Driver Bts7960	
10.	ESP32	
11.	LM2596	
12.	Motor DC	
13.	Rotary Encoder	
14.	Potensiometer	
15.	Panel Listrik	

3.4 Perancangan Sistem

Setelah memahami kebutuhan sistem serta dasar ilmu dan teknologi yang akan diterapkan, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan dan desain sistem yang akan dikembangkan. Perancangan ini mencakup penjelasan struktur sistem, mulai dari diagram blok hingga alur kerja sistem yang menggambarkan proses dari pendeteksian hingga pengiriman data ke tampilan *Website*. Selain itu, rancangan antarmuka tampilan situs *Website* dan aspek lainnya juga dijabarkan pada bagian ini. Perancangan sistem meliputi *hardware*, komponen listrik, serta mekanik yang akan dijelaskan secara terperinci. Bagian ini akan mencakup seluruh proses desain untuk memastikan sistem bekerja secara optimal sesuai tujuan yang diinginkan. Berikut ini merupakan komponen yang termasuk dalam perancangan sistem, antara lain:

3.4.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada Gambar 3.2 diagram blok di atas menggambarkan alur kerja sistem *SCADA* pintu air otomatis yang menggunakan PLC Haiwell sebagai pengendali utama dan ECU-1051 IoT Gateway sebagai penghubung ke sistem monitoring berbasis website. Sistem ini terbagi ke dalam tiga bagian utama, yaitu Input, Proses, dan Output. Pada bagian Input, terdapat beberapa komponen utama yang berfungsi sebagai sumber data dan kendali manual. Rotary encoder digunakan untuk membaca arah putaran motor, potensiometer untuk mengatur kecepatan motor, dua sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian air di sisi hulu dan hilir, dan sensor proximity berfungsi sebagai pengaman untuk mendeteksi batas pergerakan pintu air. Selain itu, terdapat tiga buah push button (Up, Down, dan Stop) yang digunakan untuk pengoperasian pintu air secara manual oleh operator.

Pada bagian Proses, ESP32 digunakan untuk membaca pulsa dari rotary encoder guna mengetahui posisi bukaan pintu air, serta membaca input potensiometer sebagai referensi pengaturan kecepatan motor. Berdasarkan input tersebut, ESP32 menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur motor, menggantikan fungsi High-Speed Counter dan analog output yang tidak tersedia pada PLC Haiwell.

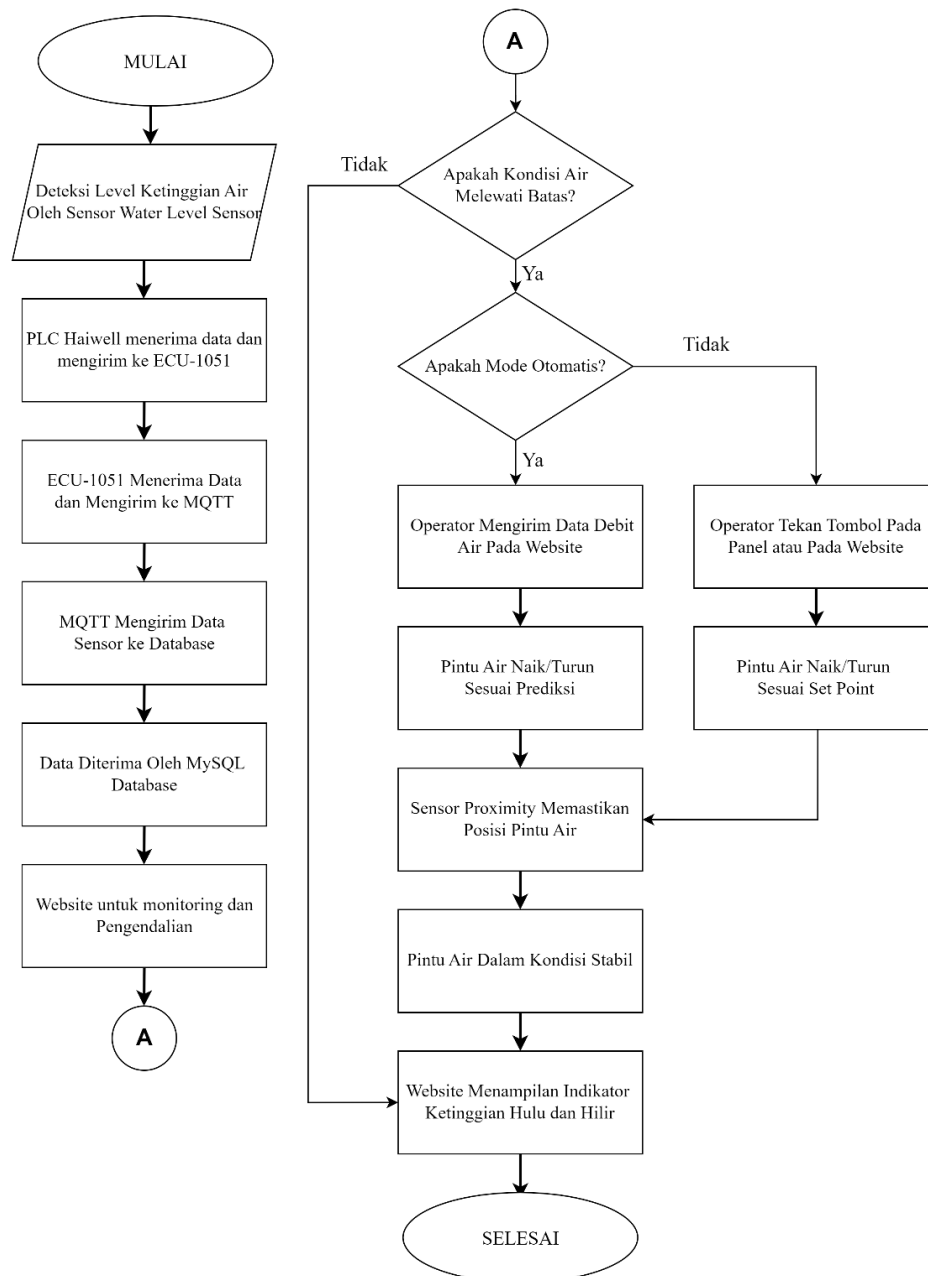
PLC Haiwell memproses data dari sensor dan push button, serta mengatur logika kontrol sistem sesuai dengan program yang telah ditentukan. PLC juga terhubung ke ECU-1051 IoT Gateway yang berfungsi mengirim data secara *real-time* ke website monitoring melalui jaringan berbasis protokol Modbus TCP/IP. Pada bagian Output, hasil pemrosesan dikirim ke beberapa perangkat. Driver motor BTS7960 menerima sinyal PWM dari ESP32 untuk mengatur kecepatan motor DC, sedangkan arah putaran motor dikendalikan oleh relay yang dikontrol oleh PLC. Motor DC ini digunakan untuk menggerakkan mekanisme buka dan tutup pintu air. Selain itu, terdapat dua pilot lamp sebagai indikator status sistem. Seluruh data dan status sistem juga dikirimkan ke website melalui ECU-1051, memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara daring oleh pengguna.

3.4.2 Flowchart Sistem

Flowchart pada Gambar 3.3 tersebut menggambarkan alur kerja sistem SCADA pintu air berbasis PLC yang terdapat mode otomatis dan manual dalam satu kesatuan sistem pemantauan dan pengendalian. Proses dimulai dengan deteksi ketinggian air oleh sensor water level yang dipasang di saluran hulu dan hilir. Data dari sensor ini diterima oleh PLC Haiwell yang kemudian meneruskan informasi tersebut ke gateway ECU-1051 melalui komunikasi Modbus TCP/IP. Selanjutnya, data dikirim ke protokol MQTT dan diteruskan ke database MySQL untuk disimpan dan ditampilkan pada website sebagai media monitoring dan kendali sistem.

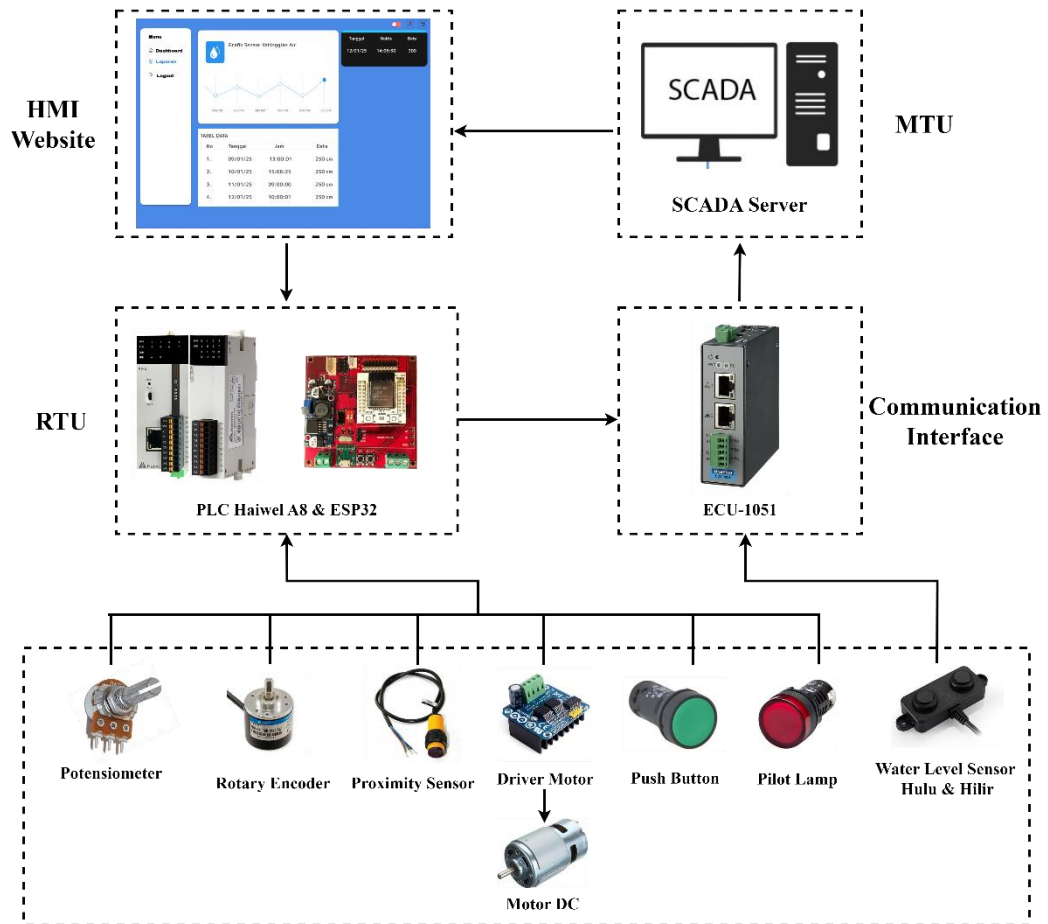
Setelah itu, sistem akan memeriksa apakah kondisi air telah melampaui ambang batas. Jika tidak, maka tidak ada perintah yang dilakukan. Namun jika batas terlampaui, operator akan memilih mode otomatis atau manual. Jika otomatis maka dapat memasukkan data debit air melalui website, lalu sistem akan menghitung prediksi bukaan pintu air menggunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN). Hasil prediksi tersebut digunakan untuk mengatur posisi pintu air secara otomatis. Sensor proximity kembali digunakan untuk memastikan posisi akhir, dan jika sesuai maka status pintu air akan dianggap stabil. Pada mode manual, operator dapat memberikan perintah naik atau turun pintu air melalui tombol pada panel atau melalui website. Kemudian akan diproses dan dijalankan oleh PLC, dan posisi akhir dari pintu air dipastikan menggunakan sensor proximity. Jika posisi telah sesuai, maka status pintu air akan dinyatakan stabil dan indikator ketinggian akan

ditampilkan di website. Seluruh proses ini menunjukkan sinergi antara sensor, PLC, komunikasi Modbus dan MQTT, serta sistem web yang membentuk arsitektur *SCADA* cerdas dan terintegrasi untuk mengontrol pintu air secara efisien dan *real-time*.



Gambar 3. 3 Flowchart system
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.4.3 Flowchart Sistem SCADA



Gambar 3. 4 Flowchart sistem SCADA

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sistem *SCADA* untuk pintu air pada Gambar 3.4 ini dirancang untuk memantau dan mengontrol proses pembukaan dan penutupan pintu air secara manual dan otomatis. Sistem ini dimulai dari field devices yang terdiri dari berbagai sensor dan aktuator, seperti potensiometer, rotary encoder, sensor ultrasonik water level sensor untuk mengukur ketinggian air hulu dan hilir, sensor proximity, push button, serta motor DC yang dikendalikan melalui driver motor. Potensiometer dan rotary encoder digunakan untuk mengetahui dan mengatur posisi bukaan pintu air. Sensor ketinggian air memastikan pengukuran level air di hulu dan hilir secara *real-time*, sementara proximity sensor dan push button berfungsi sebagai kontrol dan deteksi kondisi pintu air secara lokal. Lampu indikator (pilot lamp) juga digunakan untuk menunjukkan status sistem.

Seluruh data dari perangkat lapangan ini dikumpulkan dan diproses oleh perangkat RTU (Remote Terminal Unit) yang terdiri dari ESP32 dan PLC Haiwell A8. ESP32 bertugas membaca data dari rotary encoder dan potensiometer, lalu mengirimkannya ke PLC Haiwell A8 melalui komunikasi Modbus TCP/IP. PLC Haiwell A8 sendiri membaca data dari sensor lainnya dan menjalankan logika kontrol lokal. Setelah itu, data dari PLC diteruskan ke communication interface, yaitu ECU-1051, melalui Modbus TCP/IP. ECU-1051 menggunakan software Advantech Edgelink untuk komunikasi antara PLC dengan *SCADA* server. Sistem ini juga dapat menggunakan MQTT sebagai protokol komunikasi berbasis IoT untuk pengiriman data secara asynchronous. Selanjutnya, data dari ECU-1051 dikirimkan ke MTU (*Master Terminal Unit*) yaitu *SCADA* server, yang mengelola dan menyimpan data menggunakan MySQL database yang diatur melalui XAMPP. Server ini berfungsi sebagai pusat pemrosesan data *real-time* dan historis, yang sangat penting dalam mendukung pengambilan keputusan operasi sistem pintu air. Data yang telah disimpan dan diolah kemudian ditampilkan ke HMI (Human Machine Interface) dalam bentuk website *SCADA* yang dikembangkan menggunakan Visual Studio Code. *Website* ini memungkinkan operator untuk memantau status sistem secara *real-time*, seperti ketinggian air, posisi pintu air, serta status motor dan sensor lainnya. Selain itu, operator juga dapat memberikan perintah kontrol seperti membuka atau menutup pintu air secara manual maupun otomatis berdasarkan kondisi yang terukur.

Secara keseluruhan, sistem *SCADA* ini memberikan solusi pemantauan dan pengendalian pintu air yang terintegrasi dan adaptif. Dengan memanfaatkan kombinasi antara sensor, komunikasi berbasis Modbus dan MQTT, serta tampilan HMI yang interaktif, sistem ini mendukung pengelolaan pintu air secara optimal dalam menghadapi perubahan kondisi lingkungan dan kebutuhan operasional di lapangan.

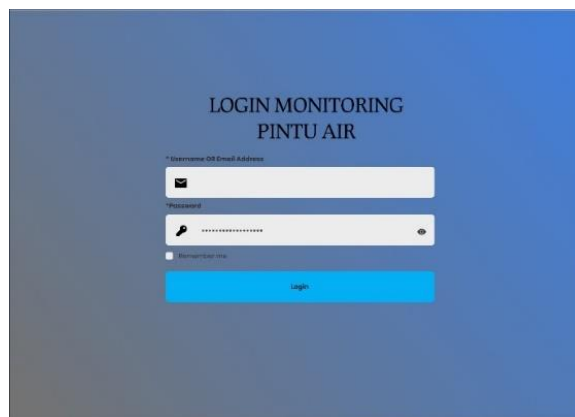
3.5 Perancangan *Software*

Pada proses perancangan *Software*, aplikasi dirancang untuk menampilkan beberapa elemen, seperti tampilan *Website* pada browser, desain database MySQL, diagram use case, serta protokol arsitektur *Website*.

3.5.1 Perancangan Tampilan *Website*

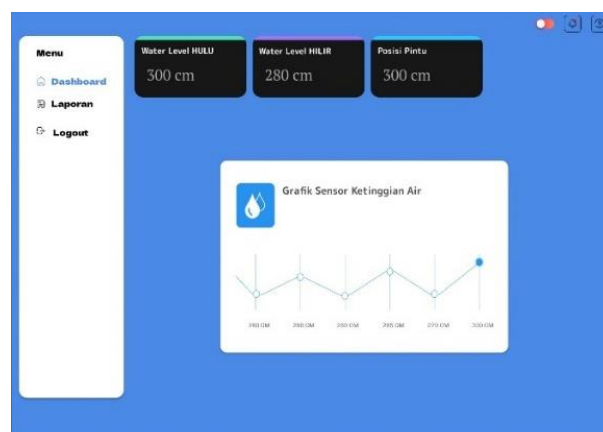
Tampilan pada *Website* terdiri tiga halaman utama, yaitu halaman login, *dashboard*, dan laporan. Gambar 3.5 menunjukkan desain halaman login, yang menampilkan kolom input bagi operator untuk memasukkan *username* dan *password* yang telah terdaftar.

Setelah proses login berhasil, operator akan diarahkan ke halaman *dashboard*, yang berfungsi sebagai tampilan awal setelah pengguna masuk ke dalam sistem.



Gambar 3. 5 Tampilan *Website Login*

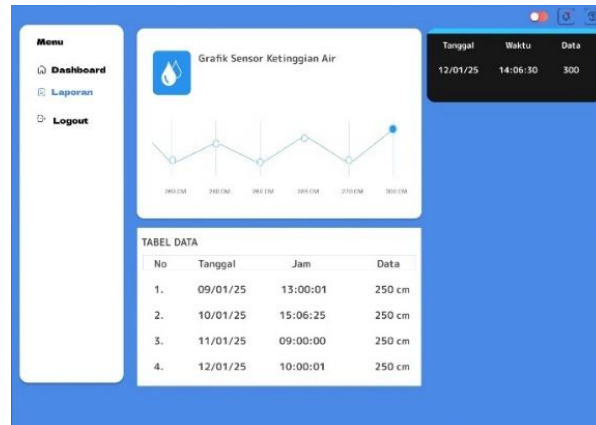
Tampilan halaman *dashboard* dapat dilihat pada pada Gambar 3.6 *Dashboard* monitoring menampilkan empat parameter utama, yaitu ketinggian air di bagian hulu dan hilir, posisi pintu air serta grafik yang menunjukkan perubahan ketinggian air di kedua bagian hulu dan hilir.



Gambar 3. 6 Tampilan *Website Dashboard*

Gambar 3.7 menampilkan halaman laporan pintu air. Pada halaman ini merupakan informasi mengenai ketinggian air di bagian hulu, ketinggian air di

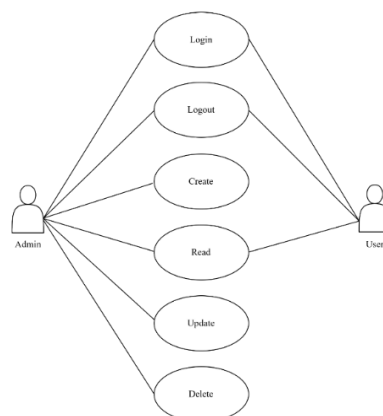
bagian hilir, serta posisi pintu air. Operator dapat memantau kondisi pintu air secara real-time dan dapat mengunduh laporan dalam format PDF. Laporan yang diunduh dapat digunakan sebagai referensi terkait ketinggian air di hulu, hilir, serta posisi pintu air yang tercatat pada sistem.



Gambar 3. 7 Tampilan *Website* Laporan

3.5.2 Use Case Diagram

Use Case pada Gambar 3.8 merupakan rangkaian langkah-langkah yang menjelaskan alur kerja sistem pada *Website*. Sistem ini memiliki dua tingkat pengguna, yaitu user biasa dan admin. User biasa memiliki akses monitoring dan pengendalian, mereka dapat melihat data terkait level ketinggian air, status pintu air, selain itu user biasa dapat melakukan pengendalian terhadap sistem. Sementara itu, admin memiliki hak akses lebih luas yaitu dapat memantau serta mengontrol sistem melalui *Website* dan memiliki kemampuan untuk menghapus, memperbaiki, serta menambahkan elemen atau tampilan baru pada *Website* sesuai kebutuhan.

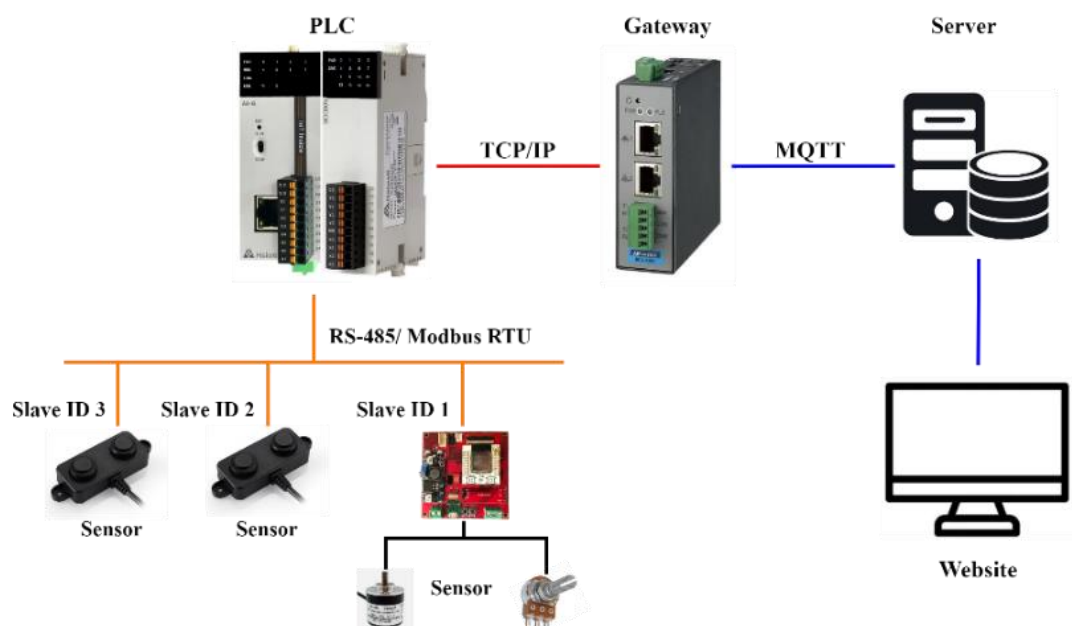


Gambar 3. 8 *Use Case Diagram*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.5.3 Arsitektur Protokol MODBUS

Arsitektur komunikasi sistem *SCADA* pintu air pada Gambar 3.9 yang memanfaatkan kombinasi protokol Modbus RTU dan Modbus TCP/IP dalam pengiriman data dari perangkat hingga ke sistem monitoring berbasis *website*. Pada sistem ini, dua sensor ultrasonik untuk pengukuran tinggi muka air hulu dan hilir terhubung langsung ke PLC Haiwell A8 menggunakan komunikasi RS-485 dengan protokol Modbus RTU. Selain itu, perangkat ESP32 digunakan untuk membaca data dari rotary encoder dan potensiometer, lalu mengirimkan datanya ke PLC melalui jalur komunikasi yang sama yaitu RS-485. PLC bertindak sebagai master Modbus RTU yang mengumpulkan data dari sensor-sensor tersebut. Data dari PLC kemudian dikirim ke ECU-1051 melalui protokol Modbus TCP/IP. ECU-1051 berfungsi sebagai gateway yang meneruskan data ke server *SCADA* melalui protokol MQTT, tempat data disimpan dalam database MySQL. Selanjutnya, data yang tersimpan di server dapat diakses melalui website HMI, yang memungkinkan operator melakukan monitoring dan kontrol secara *real-time*.

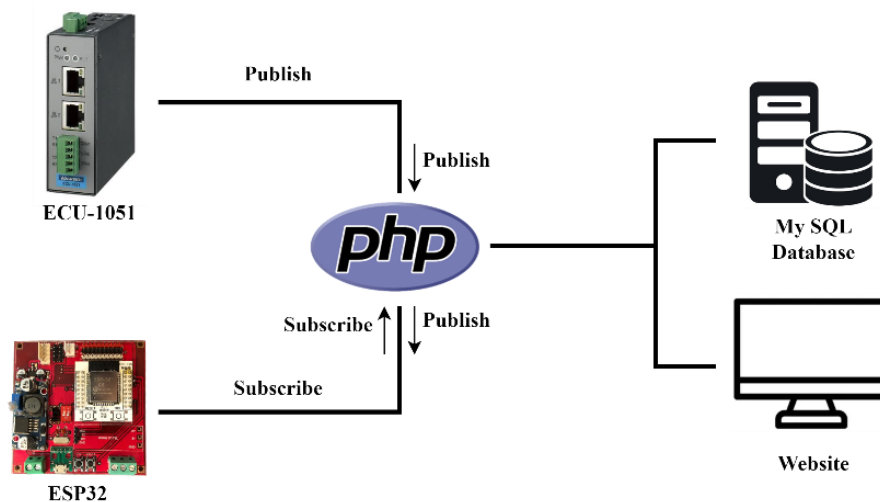


Gambar 3. 9 Arsitektur Protokol Modbus
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.5.4 Arsitektur Protokol Website

Arsitektur sistem pada gambar 3.10 menunjukkan bagaimana komunikasi data dilakukan antara perangkat-perangkat utama menggunakan protokol MQTT dalam sistem SCADA pintu air. Proses dimulai dari ESP32 dan ECU-1051 yang berfungsi sebagai pengirim data (*publisher*). ECU-1051 bertugas mengirimkan data hasil pembacaan sensor dari PLC ke broker PHP MQTT, sedangkan ESP32 menerima kontrol dari website untuk dikirimkan kembali ke PLC.

Data yang diterima oleh broker PHP ini kemudian diteruskan ke MySQL Database melalui proses *publish*, yang bertugas menyimpan informasi sensor untuk kebutuhan historis dan monitoring. Website berfungsi sebagai antarmuka pengguna (*client*) yang menampilkan data *real-time* dari database dan juga mengirimkan perintah kendali seperti "up", "down", atau "stop". Website ini juga bertindak sebagai *publisher* untuk mengirimkan kontrol ke broker PHP, yang selanjutnya di-*subscribe* oleh ESP32 untuk diteruskan ke PLC.



Gambar 3. 10 Arsitektur Protokol Website
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3.5.5 Proses Metode K-NN (K-Neareast Neighbour)

Pada penelitian ini menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN), dipilih untuk sistem prediksi bukaan pintu air karena kemampuannya dalam menangani data yang kompleks, seperti elevasi air hulu dan hilir, serta debit air, yang pada akhirnya menentukan keputusan bukaan pintu air. Dalam sistem ini membandingkan data baru dengan data latih berdasarkan jarak terdekat.

Selain itu, KNN memiliki kemampuan untuk menangkap pola non-linear yang kompleks, yang sering kali sulit diprediksi dengan metode berbasis fungsi seperti regresi linear, sehingga memberikan keunggulan dalam mengadaptasi kondisi data yang berubah-ubah. Di sisi lain, metode regresi linear memiliki hubungan linier antar variabel, yang dapat mengakibatkan ketidakakuratan prediksi ketika pola hubungan yang terjadi. Implementasi KNN pada pengendalian pintu air memiliki kelebihan dalam mengatasi data yang berisi noise atau gangguan, serta mampu bekerja secara efektif dengan dataset yang besar. Namun, algoritma ini memerlukan penentuan parameter k yang optimal agar dapat menghasilkan keputusan yang akurat. Dengan pendekatan ini, sistem pengendalian pintu air dapat lebih responsif dalam menghadapi kondisi yang berubah-ubah secara real-time, sehingga mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan pintu air di Jagir Wonokromo. Berikut rumus euclidean metode KNN :

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (p_i - q_i)^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

- d(p,q) = jarak euclidean antara dua titik data p dan q
- Pi = nilai fitur ke-i dari data uji (titik yang ingin di klasifikasikan)
- qi= nilai fitur ke-i dari data pelatihan (titik referensi)
- n = jumlah fitur (dimensi)

3.5.6 Contoh perhitungan metode K-Nearest Neighbor :

Tabel 3. 2 Tabel Data latih

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)
1	6	4.1	0.5
2	6.5	4.3	0.5
3	7	4.4	0.5
4	7.5	4.6	0.5
5	8	4.7	0.5
6	6	8.2	1
7	6.5	8.6	1
8	7	8.9	1
9	7.5	9.2	1
10	8	9.5	1

Data Uji:

Elevasi H1-H2 = 7.5 cm

Debit Air = 8.9 cm³/s

Tujuan: Prediksi apakah pintu air terbuka pada 0.5 cm atau 1 cm.

Rumus Jarak Euclidean

$$= \sqrt{(H1 - H2_i - H1 - H2_{test})^2 + (Q_i - Q_{test})^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$= \sqrt{(H_i - H2_{test})^2 + (Q_i - Q_{test})^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

Tabel 3. 3 Tabel Data Uji

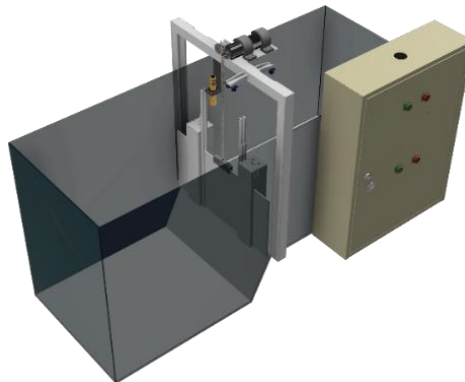
No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	6	4.1	0.5	$\sqrt{(6.0 - 7.5)^2 + (4.1 - 8.9)^2} = \sqrt{2.25 + 23.04} = 5.03$
2	6.5	4.3	0.5	$\sqrt{(6.5 - 7.5)^2 + (4.3 - 8.9)^2} = \sqrt{1.00 + 21.16} = 4.71$
3	7	4.4	0.5	$\sqrt{(7.0 - 7.5)^2 + (4.4 - 8.9)^2} = \sqrt{0.25 + 20.25} = 4.53$
4	7.5	4.6	0.5	$\sqrt{(7.5 - 7.5)^2 + (4.6 - 8.9)^2} = \sqrt{0 + 18.49} = 4.30$
5	8	4.7	0.5	$\sqrt{(8.0 - 7.5)^2 + (4.7 - 8.9)^2} = \sqrt{0.25 + 17.89} = 4.23$
6	6	8.2	1	$\sqrt{(6.0 - 7.5)^2 + (8.2 - 8.9)^2} = \sqrt{2.25 + 0.49} = 1.65$
7	6.5	8.6	1	$\sqrt{(6.5 - 7.5)^2 + (8.6 - 8.9)^2} = \sqrt{1.00 + 0.09} = 1.04$
8	7	8.9	1	$\sqrt{(7.0 - 7.5)^2 + (8.9 - 8.9)^2} = \sqrt{0.25} = 0.50$
9	7.5	9.2	1	$\sqrt{(7.5 - 7.5)^2 + (9.2 - 8.9)^2} = \sqrt{0.09} = 0.30$
10	8	9.5	1	$\sqrt{(8.0 - 7.5)^2 + (9.5 - 8.9)^2} = \sqrt{0.25 + 0.36} = 0.78$

Ambil K = 3 terdekat dan urutkan

1. Data ke 9 = 0.30 = 1 cm
2. Data ke 8 = 0.50 = 1 cm
3. Data ke 10 = 0.78 = 1 cm

Berdasarkan pada tabel 3.2 data latih dan hasil perhitungan pada tabel 3.3, metode K-Nearest Neighbor (KNN) digunakan untuk memprediksi bukaan pintu air berdasarkan dua parameter input, yaitu selisih elevasi antara hulu dan hilir (H1–H2) serta debit aliran air (Q). Dalam metode ini, digunakan nilai *K* sebesar 3, yang berarti sistem akan mencari tiga data pelatihan dengan jarak terdekat terhadap data input baru menggunakan rumus jarak Euclidean. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa data ke-9, ke-8, dan ke-10 merupakan tiga data dengan jarak terpendek terhadap data input, yang masing-masing memiliki nilai bukaan pintu air sebesar 1 cm. Karena ketiga data terdekat tersebut memiliki nilai pintu air yang sama, maka hasil prediksi KNN menyimpulkan bahwa pintu air akan terbuka sebesar 1 cm untuk kondisi input yang diberikan.

3.6 Tahap Perancangan Mekanik

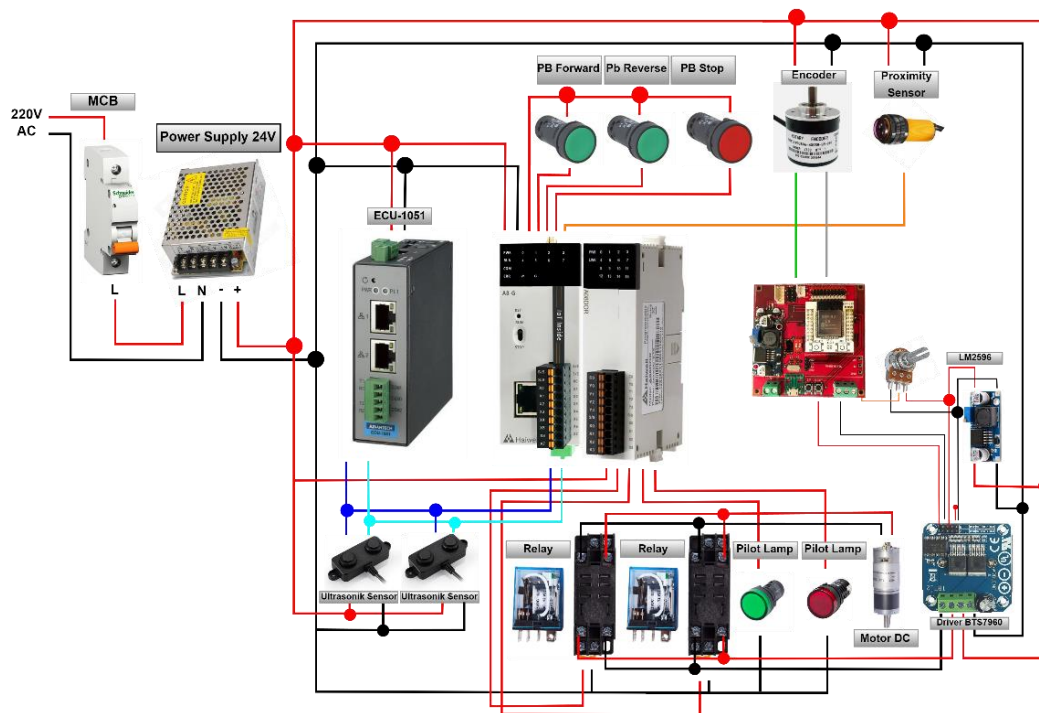


Gambar 3. 11 Desain Mekanik
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 3.11 menunjukkan desain sistem prototipe bendungan pintu air otomatis, Prototipe ini dirancang untuk merepresentasikan pengoperasian pintu air Jagir Wonokromo. Sistem ini dilengkapi dengan satu buah pintu air yang digerakkan oleh motor DC melalui mekanisme ulir. Motor tersebut dikopel dengan sebuah rotary encoder, yang berfungsi untuk menghitung jumlah putaran atau pergerakan motor guna menentukan posisi bukaan pintu air secara lebih akurat.

Untuk pengukuran ketinggian air, sistem dilengkapi dengan dua buah sensor ultrasonic water level, masing-masing dipasang di sisi hulu dan hilir bendungan. Data ketinggian air dari sensor ini digunakan sebagai acuan dalam proses pengambilan keputusan sistem, baik dalam mode manual maupun otomatis. Sebagai pengaman tambahan, terdapat dua sensor proximity yang dipasang pada batas atas dan batas bawah lintasan pintu air. Sensor ini berfungsi sebagai safety limit untuk mencegah pintu air bergerak melebihi batas fisik yang ditentukan, sehingga menghindari kerusakan pada sistem mekanik. Seluruh sistem dikendalikan melalui sebuah panel kontrol, yang berfungsi sebagai pusat pengoperasian dan pengendalian. Panel ini dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis dan menjadi antarmuka utama bagi operator untuk memantau status sistem atau menjalankan kontrol langsung terhadap gerakan pintu air. Desain ini mencerminkan integrasi antara sensor, aktuator, dan sistem kontrol dalam satu kesatuan sistem SCADA berbasis PLC yang bertujuan untuk efisiensi, keamanan, dan presisi dalam pengaturan pintu air.

3.7 Tahap Perancangan Wiring



Gambar 3. 12 Wiring Pada Panel
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 3. 4 Wiring Pada Panel

No.	Nama Komponen	Pin yang digunakan
1.	MCB 1 phase	- L disambungkan sumber 220V AC - L disambungkan power supply
2.	Power Supply 24V	- L disambungkan MCB - N disambungkan sumber 220V AC
3.	PLC Haiwell A8	- L disambungkan Pin V+ power supply - N disambungkan Pin V- power supply - Pin COM Output dengan V+ power supply
4.	ECU-1051	- L disambungkan Pin V+ power supply - N disambungkan Pin V- power supply
5.	<i>Rotary Encoder</i>	- Pin VCC dengan Pin V+ 5V - Pin GND dengan Pin V- 5V - Pin A <i>phase</i> dengan Pin 32 Esp32 - Pin B <i>phase</i> dengan Pin 25 Esp32
6.	Potensiometer	- Pin Vin dengan V+5V - Pin GND dengan Pin V- 5V - Pin A0 dengan Pin 34 Esp32
7.	<i>Push Button Forward</i>	- Pin X0 dengan Pin COM PLC - Pin X1 dengan Pin X0 PLC
8.	<i>Push Button Reverse</i>	- Pin X0 dengan Pin COM PLC - Pin X1 dengan Pin X1 PLC

Tabel 3.4 Wiring Pada Panel (Lanjutan)

No.	Nama Komponen	Pin yang digunakan
9.	<i>Push Button Stop</i>	- Pin X0 dengan Pin COM PLC - Pin X1 dengan Pin X2 PLC
10.	<i>Ultrasonik Water Level Sensor</i>	- Pin VCC dengan Pin V+ Power Supply - Pin GND dengan Pin V- Power Supply - Pin A+ dengan Pin TX ECU-1051 - Pin B- dengan Pin RX ECU-1051
11.	LM2596	- Pin IN + dengan Pin V+ Power Supply - Pin IN - dengan Pin V- Power Supply
12.	ESP32	- Pin VCC dengan Out + LM2596 - Pin GND dengan Out - LM2596 - Pin 32 dengan Pin R_PWM Driver - Pin 33 dengan Pin L_PWM Driver
13.	Driver BTS7960	- Pin R_EN dengan Pin Out + LM2596 - Pin L_EN dengan Pin Out + LM2596 - Pin VCC dengan Pin Out + LM2596 - Pin GND dengan Pin Out - LM2596 - Pin B+ dengan Pin V+ Power Supply - Pin B- dengan Pin V- Power Supply
14.	<i>Relay Forward</i>	- Pin 8 dengan Pin Y0 PLC - Pin 7 dengan V- Power Supply - Pin 5 dengan M+ Driver BTS7960 - Pin 6 dengan M- Driver BTS7960 - Pin 3 dengan VCC Motor DC - pin 4 dengan GND Motor DC
15.	<i>Relay Reverse</i>	- Pin 8 dengan Pin Y1 PLC - Pin 7 dengan V- Power Supply - Pin 5 dengan M- Driver BTS7960 - Pin 6 dengan M+ Driver BTS7960 - Pin 3 dengan VCC Motor DC - pin 4 dengan GND Motor DC
16.	Motor DC	- VCC dengan Pin 3 Relay <i>Forward</i> dan <i>Reverse</i> - GND dengan Pin 4 Relay <i>Forward</i> dan <i>Reverse</i>
17.	Pilot Lamp Merah	- Pin X0 dengan Pin Y2 PLC - Pin X1 dengan Pin V- Power Supply
18.	Pilot Lamp Hijau	- Pin X0 dengan Pin Y3 PLC - Pin X1 dengan Pin V- Power Supply
19.	Proximity Sensor 1	- Pin VCC dengan Pin V+ Power Supply - Pin GND dengan Pin V- Power Supply - Pin Data dengan Pin X3 PLC
20.	Proximity Sensor 2	- Pin VCC dengan Pin V+ Power Supply - Pin GND dengan Pin V- Power Supply - Pin Data dengan Pin X4 PLC

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dari pengujian tugas akhir beserta analisisnya. Pengujian dilakukan dalam beberapa bagian seperti pengujian hardware, pengujian Software, serta pengujian sistem. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa Seluruh sistem yang terdapat pada tugas akhir ini mampu berjalan dengan baik Sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

4.1 Hasil Perancangan Mekanik

Tahap perancangan mekanik pada gambar 4.1 bertujuan untuk merancang dan membangun struktur fisik dari sistem pintu air. Dalam penelitian ini, prototipe sistem dibuat menggunakan material kaca sebagai badan utama saluran air, dengan ukuran 70 cm x 35 cm x 36 cm. Dimensi ini dipilih agar dapat merepresentasikan kondisi nyata dari saluran hulu dan hilir bendungan dalam skala kecil. Kaca dipilih karena sifatnya yang transparan, sehingga memudahkan proses pemantauan visual terhadap pergerakan air maupun pintu air selama pengujian berlangsung. Pintu air sendiri dirancang menggunakan material akrilik yang ringan, tahan air, serta memiliki kekuatan struktural yang cukup untuk menahan tekanan air pada skala prototipe.

Sebagai sistem penggerak, digunakan motor DC yang dipasang secara vertikal dan dikopel dengan rotary encoder melalui pulley dan timing belt. Rotary encoder berfungsi untuk membaca jumlah rotasi poros motor secara akurat, yang kemudian digunakan untuk menentukan seberapa jauh posisi pintu air telah bergerak. Untuk mendapatkan data tinggi muka air secara real-time, digunakan dua sensor ultrasonik water level, masing-masing dipasang pada bagian hulu dan hilir. Sebagai fitur pengaman tambahan, sistem ini juga dilengkapi dengan dua proximity sensor yang dipasang pada batas atas dan batas bawah lintasan gerak pintu air. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan mekanik, mencegah pintu tertarik melebihi kapasitas struktur, serta memastikan sistem bekerja dalam batas yang aman.

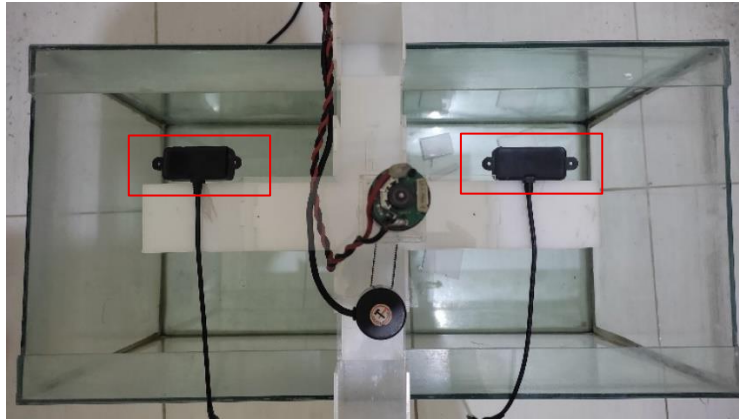
Seluruh sistem ini dikendalikan dan dimonitor melalui panel kontrol utama yang terintegrasi dengan sistem elektronik dan antarmuka pengguna berbasis SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), yang berfungsi sebagai pusat kendali operasional dan monitoring kondisi sistem secara menyeluruh.



Gambar 4. 1 Desain Bendungan Pintu Air
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.1.1 Penempatan Sensor Ultrasonik Water Level Sensor

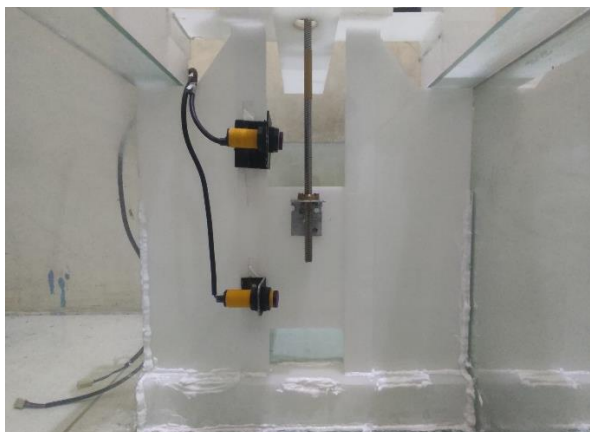
Sensor Ultrasonik Water Level digunakan untuk mengukur ketinggian muka air. Pada gambar 4.2 prototipe sistem ini, dua buah sensor ultrasonik dipasang masing-masing di bagian hulu dan hilir saluran air. Penempatan ini bertujuan untuk memperoleh data elevasi muka air secara akurat dari kedua sisi pintu air, yang kemudian akan digunakan sebagai parameter dalam pengambilan keputusan pembukaan atau penutupan pintu air. Sensor diletakkan pada posisi tetap di atas permukaan air, menghadap ke bawah (permukaan air) untuk mendeteksi jarak antara sensor dengan permukaan air. Jarak antara titik pemasangan sensor dengan titik deteksi di latar dasar adalah 39,5 cm. Jarak ini menjadi acuan kalibrasi sensor dalam mengonversi data jarak ke dalam bentuk ketinggian muka air secara real-time. Penempatan sensor yang tepat ini sangat penting untuk menjamin pembacaan yang stabil dan presisi, serta mencegah adanya gangguan dari percikan air atau objek lain di sekitar permukaan pengukuran.



Gambar 4. 2 Penempatan Sensor Ultrasonik
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.1.2 Penempatan Sensor Proximity

Sensor proximity digunakan sebagai sistem pengaman untuk membatasi pergerakan maksimum dan minimum dari pintu air gambar 4.3. Pada sistem ini, terdapat dua buah sensor proximity yang dipasang pada bagian batas atas dan batas bawah lintasan gerak pintu air. Sensor di bagian atas berfungsi untuk mendeteksi ketika pintu air telah mencapai posisi paling terbuka, sedangkan sensor di bagian bawah mendeteksi ketika pintu air telah tertutup sepenuhnya. Setiap sensor memiliki jarak deteksi sebesar 5 cm dari target yang terpasang pada mekanisme gerak pintu air. Penempatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya over atau pergerakan berlebihan yang dapat merusak aktuator atau mekanisme ulir. Ketika pintu air mencapai salah satu batas tersebut, sistem akan menghentikan motor secara otomatis sebagai tindakan pengamanan.

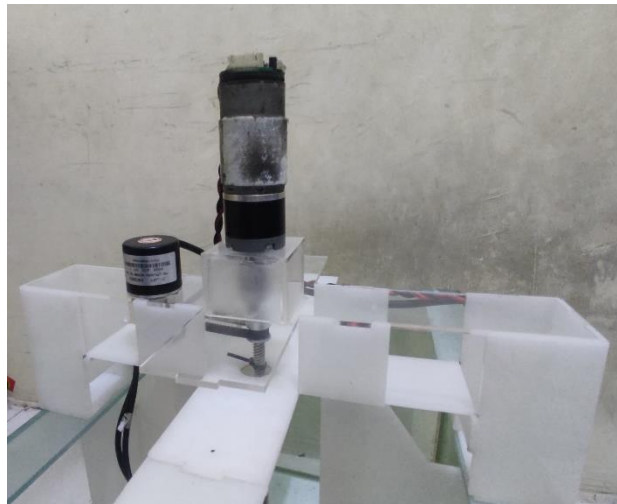


Gambar 4. 3 Penempatan Sensor Proximity
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.1.3 Penempatan Motor DC dan Rotary

Motor DC pada sistem ini digunakan sebagai aktuator utama untuk menggerakkan pintu air. Motor ini terhubung langsung dengan mekanisme *lead screw* berdiameter 8 mm dan panjang 30 cm, yang berfungsi untuk mengubah gerakan rotasi motor menjadi gerakan linier vertikal pada pintu air dapat dilihat pada gambar 4.4. Dengan menggunakan sistem *lead screw*, gerakan pintu air menjadi lebih stabil, presisi, dan kuat terhadap beban air.

Untuk memantau seberapa jauh pintu air bergerak, digunakan rotary encoder yang dihubungkan dengan motor DC. Hubungan antara motor dan rotary encoder dilakukan melalui pulley dan timing belt, sehingga putaran motor sama dengan rotary encoder. Konfigurasi ini memungkinkan sistem untuk menghitung jumlah rotasi dan mengkonversinya menjadi jarak bukaan pintu air, sehingga kontrol posisi dapat dilakukan secara akurat dan real-time.



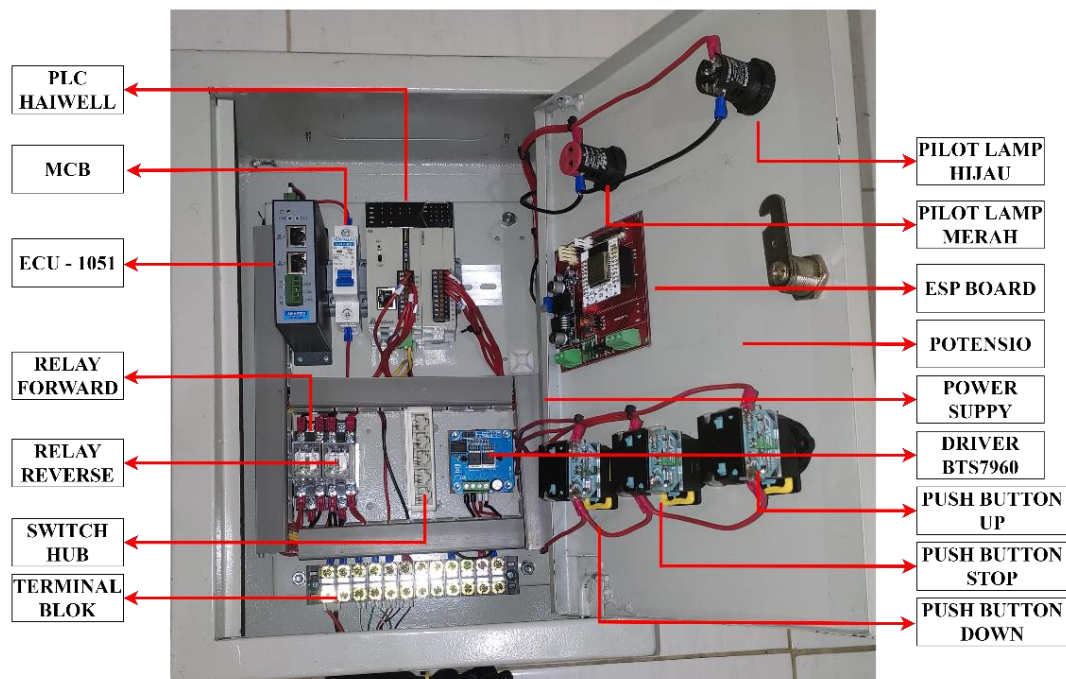
Gambar 4. 4 Penempatan Motor DC dan Rotary Encoder
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.2 Hasil Perancangan Panel

Pada tahap ini dilakukan pembuatan panel dengan dimensi 40x30x18 cm. Panel ini menjadi pusat pengendali sistem, dengan PLC Haiwell A8 sebagai kontrol utama yang ditempatkan di bagian tengah atas panel untuk mengatur seluruh logika kontrol, baik otomatis maupun manual. Pada gambar 4.5 di sebelah kiri PLC terdapat MCB (Miniature Circuit Breaker) yang berfungsi sebagai proteksi utama terhadap arus lebih atau hubung singkat.

Di sebelah kiri MCB terdapat ECU-1051 yang berfungsi sebagai gateway IoT, menghubungkan PLC ke jaringan internet atau LAN untuk keperluan monitoring dan kontrol jarak jauh melalui protokol komunikasi seperti Modbus atau MQTT. Di bagian bawah panel terdapat dua buah relay, yaitu relay forward dan relay reverse, yang digunakan untuk mengatur arah putaran motor DC berdasarkan sinyal dari PLC. Di kanan nya terdapat switch hub sebagai penghubung utama jaringan lokal LAN untuk memastikan komunikasi data antar perangkat. Switch hub ini menghubungkan PLC, ECU-1051, dan laptop dalam satu jaringan Ethernet. Untuk pengaturan kecepatan motor, digunakan driver BTS7960 yang terhubung langsung ke ESP32 dan menerima sinyal PWM dari mikrokontroler tersebut. Di bagian kanan bawah pintu panel terpasang tiga buah push button (forward, stop, dan reverse) yang memungkinkan pengendalian motor secara manual.

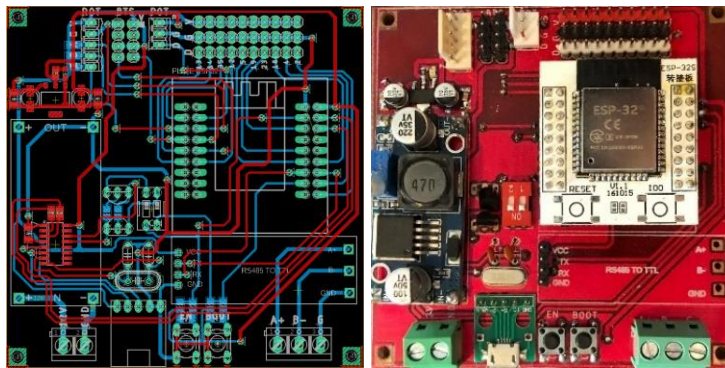
Di bagian tengah pintu terdapat ESP32 yang berfungsi untuk mengendalikan driver motor BTS7960 yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC pada pintu air, membaca data dari rotary encoder dan potensiometer. Selain itu, dua pilot lamp merah dan hijau dipasang di bagian atas pintu panel untuk memberikan indikasi status sistem, seperti sistem beroperasi atau berhenti.



Gambar 4. 5 Perancangan Panel
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.3 Hasil Perancangan Printed Circuit Board (PCB)

Hasil perancangan Printed Circuit Board (PCB) pada Gambar 4.6 ini dimulai dengan pembuatan skematik dan routing jalur menggunakan software Eagle, yang kemudian dicetak menjadi papan sirkuit fisik. PCB ini dirancang khusus untuk modul ESP32. Beberapa pin ESP32 digunakan untuk fungsi tertentu, yaitu Pin 16 (RX) dan Pin 17 (TX) digunakan untuk komunikasi Modbus RTU melalui protokol serial (UART). Pin RX (GPIO16) dan TX (GPIO17) merupakan pin UART standar pada ESP32 yang digunakan untuk menerima dan mengirim data ke perangkat eksternal seperti PLC Haiwell A8 atau ECU-1051. Pin 32 (A Phase) dan Pin 25 (B Phase) digunakan sebagai input dari rotary encoder, di mana GPIO32 dan GPIO25 merupakan pin input digital yang mendukung interrupt eksternal sehingga memungkinkan deteksi arah dan jumlah putaran encoder secara real-time. Pin 34 digunakan untuk membaca nilai dari potensiometer sebagai pengatur kecepatan motor DC. GPIO34 merupakan pin input analog (ADC) yang mampu membaca tegangan analog dari 0–3.3V. Selain itu, pin 26 dan 27 digunakan sebagai output PWM (Pulse Width Modulation), masing-masing sebagai R_PWM (GPIO26) dan L_PWM (GPIO27), yang mengatur arah kecepatan putaran motor melalui driver BTS7960.



Gambar 4. 6 Hasil Routing dan PCB Utama
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

4.4 Hasil Pengujian Sensor dan Aktuator

Pengujian hardware pada tahap ini mencakup pengujian kinerja sensor dan aktuator yang digunakan dalam Tugas Akhir. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dengan alat ukur pembanding untuk menilai tingkat akurasi pembacaan.

Selain itu, respon aktuator diamati secara langsung untuk memastikan apakah sudah beroperasi sesuai dengan fungsinya. Dari hasil pengujian ini, tingkat kesalahan atau error dapat dihitung, sehingga diperoleh nilai persentase error yang menjadi acuan dalam menilai keandalan sistem secara keseluruhan.

4.4.1 Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian Ultrasonik Water Level Sensor menggunakan tegangan 24 volt dan dengan PLC melalui pin A+ dan B- melalui komunikasi Modbus RTU. Output dari pengujian ini adalah deteksi ketinggian air. Berikut pada tabel 4.1 adalah hasil pembacaan pada Ultrasonik Water Level Sensor:

Tabel 4. 1 Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor

No.	Ketinggian Sebenarnya (cm)	Hasil Pengukuran Sensor (cm)	Error	Persentase Error %
1.	5	5.1	0.1	0.02
2.	6	6	0	0
3.	7	7.1	0.1	0.014
4.	8	8.2	0.2	0.025
5.	9	9.1	0.1	0.011
6.	10	10	0	0
7.	11	11.2	0.2	0.022
8.	12	12.1	0.1	0.083
9.	13	13.1	0.1	0.076
10.	14	14	0	0
11.	15	14.9	0.1	0.067
12.	16	16	0	0
13.	17	17.1	0.1	0.058
14.	18	18.1	0.1	0.056
15.	19	19.1	0.1	0.052
16.	20	20	0	0
17.	21	21.1	0.1	0.047
18.	22	22.1	0.1	0.045
19.	23	23.1	0.1	0.043
20.	24	24.9	0.1	0.041
21.	25	25	0	0
Rata-rata <i>error</i> %				0.044%



Gambar 4. 7 Pengujian Ultrasonik Water Level Sensor
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pengujian sensor ultrasonik untuk pengukuran ketinggian air dilakukan dengan rentang pengujian mulai dari 5 cm hingga 25 cm, sebanyak total 21 percobaan. Setiap pengukuran dibandingkan dengan nilai aktual untuk melihat akurasi sensor dalam mendeteksi jarak permukaan air. Dari hasil keseluruhan pengujian tersebut, diperoleh rata-rata error sebesar 0,044%. Nilai error yang kecil ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem pemantauan ketinggian air secara real-time.

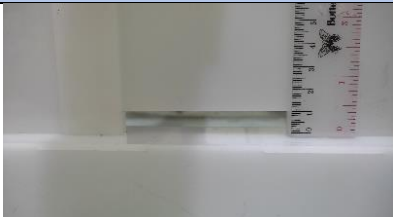
4.4.2 Pengujian Rotary Encoder

Pada tahap ini dilakukan pengujian rotary encoder yang digunakan memiliki spesifikasi 400 PPR (Pulse Per Revolution), yang berarti dalam satu kali putaran penuh poros encoder, akan dihasilkan 400 pulsa digital. Pulsa ini terbaca melalui dua kanal, yaitu channel A dan channel B, yang terhubung ke input digital X0 dan X1 pada PLC Haiwell 8. Berdasarkan hasil pengujian, satu kali putaran penuh encoder menghasilkan pergeseran linear sebesar 8 mm pada sistem mekanik pintu air. Hal ini menunjukkan bahwa untuk setiap 400 pulsa, sistem mengalami pergeseran 8 mm. Jika ditargetkan agar 1 cm (10 mm) menjadi satuan pengukuran dalam kontrol bukaan pintu air, maka perlu dilakukan konversi dari pulsa ke cm, yaitu:



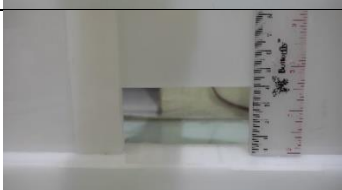

$$\text{Pulsa per mm} = \frac{400 \text{ pulsa}}{8 \text{ mm}} = 50 \text{ pulsa/mm} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\text{Pulsa per cm} = 50 \times 10 = 500 \text{ pulsa/cm} \dots\dots\dots(4.2)$$

Tabel 4. 2 Pengujian Rotary Encoder

No	Gambar (Pengujian)	Bukaan Pintu Air (cm)	Rotasi (Pulsa)	Jumlah Pulsa Terdeteksi	Error%
1.		1 cm	500	504	0.8

Tabel 4.2 Pengujian Rotary Encoder (Lanjutan)

No	Gambar (Pengujian)	Bukaan Pintu Air (cm)	Rotasi (Pulsa)	Jumlah Pulsa Terdeteksi	Error%
2.		2 cm	1000	1004	0.4
3.		3 cm	1500	1504	0.2
4.		4 cm	2000	2004	0.2
5.		5 cm	2500	2504	0.1
Rata-rata Error					0.34%

Pengujian rotary encoder untuk mengukur bukaan pintu air dilakukan dengan mengacu pada nilai konversi 1 cm setara dengan 500 pulsa. Pengujian pada tabel 4.2 dilakukan secara bertahap mulai dari bukaan 1 cm hingga 5 cm, dengan total sebanyak 5 percobaan, setiap hasil pembacaan dibandingkan dengan nilai bukaan sebenarnya untuk menghitung tingkat kesalahan. Dari keseluruhan percobaan, diperoleh rata-rata error sebesar 0,34%, yang menunjukkan bahwa rotary encoder mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup akurat dan stabil.

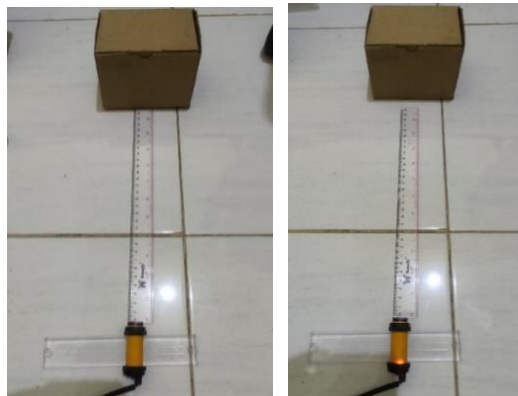
4.4.3 Pengujian Proximity Sensor

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap proximity sensor 24 VDC yang berperan sebagai pengaman dalam sistem kontrol pintu air otomatis. Tujuan dari pemasangan sensor ini adalah untuk mencegah agar motor penggerak tidak terus bergerak melebihi area yang telah ditentukan, sehingga dapat menghindari potensi kerusakan mekanis maupun kegagalan sistem. Dalam konfigurasi sistem kontrol

menggunakan PLC, sensor ini terhubung ke input digital X3 dan X4, dengan X3 dikonfigurasi sebagai input NO (*Normally Open*) dan X4 sebagai input NC (*Normally Closed*). Saat sensor mendeteksi keberadaan objek logam (pada titik batas pintu air), sensor akan mengirimkan sinyal logika ke PLC. PLC kemudian akan memproses input tersebut untuk menghentikan gerakan motor DC secara otomatis dan tepat waktu.. Berikut adalah hasil pengujian Proximity Sensor:

Tabel 4. 3 Pengujian Proximity Sensor

No.	Jarak Deteksi (cm)	Pengujian
1.	5 cm	Berhasil
2.	10 cm	Berhasil
3.	15 cm	Berhasil
4.	20 cm	Berhasil
5.	25 cm	Berhasil
6.	30 cm	Berhasil
7.	35 cm	Gagal
8.	40 cm	Gagal



Gambar 4. 8 Pengujian Proximity Sensor
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pengujian sensor proximity pada tabel 4.3 dilakukan untuk mengetahui jarak deteksi optimal terhadap objek logam, dengan rentang pengujian mulai dari 5 cm hingga 40 cm. Percobaan dilakukan sebanyak 8 kali dengan selisih jarak 5 cm di setiap tahap pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi objek secara konsisten hingga jarak 30 cm. Namun, pada jarak lebih dari 30 cm, sensor tidak lagi memberikan respons, menandakan batas maksimal jarak deteksi sensor tersebut.

4.4.4 Pengujian Push Button *Forward*, *Reverse* dan *Stop*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap push button manual yang terdiri dari tiga tombol yaitu *Forward*, *Reverse*, dan *Stop*. Ketiga tombol ini dihubungkan ke PLC melalui input digital dengan pin X1 untuk tombol *Forward*, X2 untuk tombol *Reverse*, dan X0 untuk tombol *Stop*. Push button ini berfungsi sebagai kontrol manual. Saat tombol ditekan, sinyal logika dikirim ke PLC melalui masing-masing pin input, dan PLC akan memberikan respon sesuai dengan perintah yang diterima. Berikut adalah hasil pengujian Push Button:

Tabel 4. 4 Pengujian Push Button

No.	Keterangan	Gambar Pengujian
1.	Push Button <i>Forward</i> ditekan	
2.	Push Button <i>Stop</i> ditekan	
3.	Push Button <i>Reverse</i> ditekan	

Hasil pengujian pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa push button mampu mengirimkan sinyal secara real-time tanpa delay, dan PLC memberikan respon yang cepat serta sesuai dengan logika kontrol yang telah diprogram. Tidak ditemukan kondisi error seperti pembacaan ganda atau input tertahan, yang menandakan push button bekerja stabil.

4.4.5 Pengujian *Pilot Lamp*

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap Pilot Lamp berwarna hijau gambar 4.9 dan merah gambar 4.10 yang berfungsi sebagai indikator status sistem.

Lampu hijau dihubungkan ke output PLC melalui pin Y2, sedangkan lampu merah melalui pin Y3.

Pilot lamp hijau menyala untuk menunjukkan bahwa sistem dalam kondisi normal atau aktif, sedangkan lampu merah menyala sebagai penanda adanya kondisi berhenti. PLC mengontrol nyala atau matinya lampu ini berdasarkan logika program dan status operasi yang sedang berlangsung. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sinyal output dari PLC dapat mengaktifkan indikator dengan benar, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara visual dengan mudah dan cepat. Berikut adalah hasil pengujian Pilot Lamp:



Gambar 4. 9 Pengujian Pilot Lamp Hijau
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

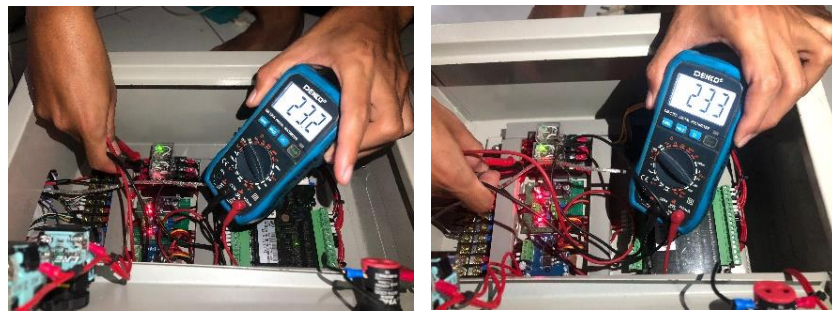


Gambar 4. 10 Pengujian Pilot Lamp Merah
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.4.6 Pengujian Relay

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap dua buah relay 24V dengan 8 kaki yang digunakan untuk mengatur arah putaran motor DC, yaitu *forward* dan *reverse*. Kedua relay ini dikendalikan oleh PLC melalui output digital, dengan pin Y0 untuk mengaktifkan putaran forward dan pin Y1 untuk putaran reverse.

Ketika PLC mengaktifkan pin Y0, relay pertama akan terhubung dan mengarahkan arus sehingga motor berputar maju. Sebaliknya, saat pin Y1 aktif, relay kedua akan mengubah arah arus sehingga motor berputar mundur. Penggunaan dua relay ini memungkinkan kontrol arah putaran motor secara otomatis melalui logika PLC. Pengujian pada gambar 4.11 ini bertujuan untuk memastikan bahwa relay dapat beroperasi dengan baik dan mampu mengubah arah putaran motor sesuai perintah dari sistem. Berikut adalah hasil pengujian Relay:



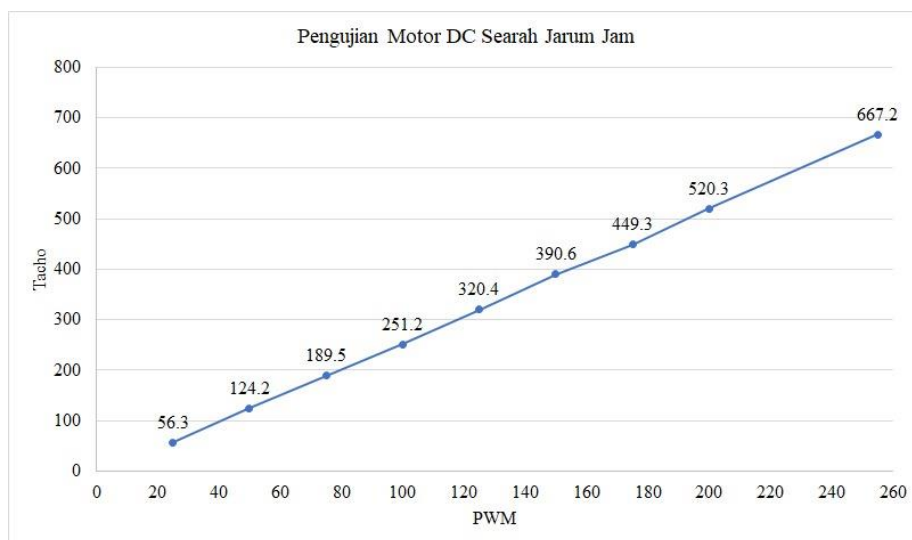
Gambar 4. 11 Pengujian Relay *Forward* dan *Reverse*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.4.7 Pengujian Motor DC

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap motor DC yang dikendalikan menggunakan driver BTS7960 untuk mengatur kecepatan. Dalam sistem ini, ESP32 berperan sebagai penghasil sinyal PWM untuk mengatur kecepatan motor. Nilai kecepatan ditentukan oleh program pada ESP32 dan dikirim sebagai sinyal PWM ke input driver BTS7960, yang kemudian mengatur besar arus dan tegangan ke motor DC sesuai duty cycle PWM yang diterima. Sementara itu, pengaturan arah putaran motor dikendalikan oleh PLC melalui dua output relay, masing-masing untuk arah kanan pada gambar 4.13 dan kiri pada gambar 4.15. Relay ini menghubungkan sinyal kontrol arah ke pin input driver BTS7960, sehingga arah rotasi motor bisa diubah sesuai dengan logika kontrol dari PLC. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa integrasi antara ESP32 sebagai pengatur kecepatan, driver BTS7960 sebagai aktuator motor, dan PLC sebagai pengendali arah dapat bekerja secara sinkron dan responsif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor DC dapat berputar dengan kecepatan yang stabil dan arah yang akurat sesuai dengan logika kendali yang diimplementasikan. Berikut adalah hasil pengujian Motor DC:

Tabel 4. 5 Pengujian Motor DC Searah Jarum Jam

No.	Input (VDC)	PWM	RPM	Arah	Output (VDC)
1.	24V	25	56.3	CW	2.1
2.	24V	50	124.2	CW	4.5
3.	24V	75	189.5	CW	6.8
4.	24V	100	251.2	CW	9.2
5.	24V	125	320.4	CW	11.3
6.	24V	150	390.6	CW	13.7
7.	24V	175	449.3	CW	16.0
8.	24V	200	520.3	CW	18.4
9.	24V	225	586.8	CW	20.4
10.	24V	255	667.2	CW	23.4



Gambar 4. 12 Grafik Pengujian Motor DC Searah Jarum Jam

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 13 Gambar Pengujian Motor searah jarum jam

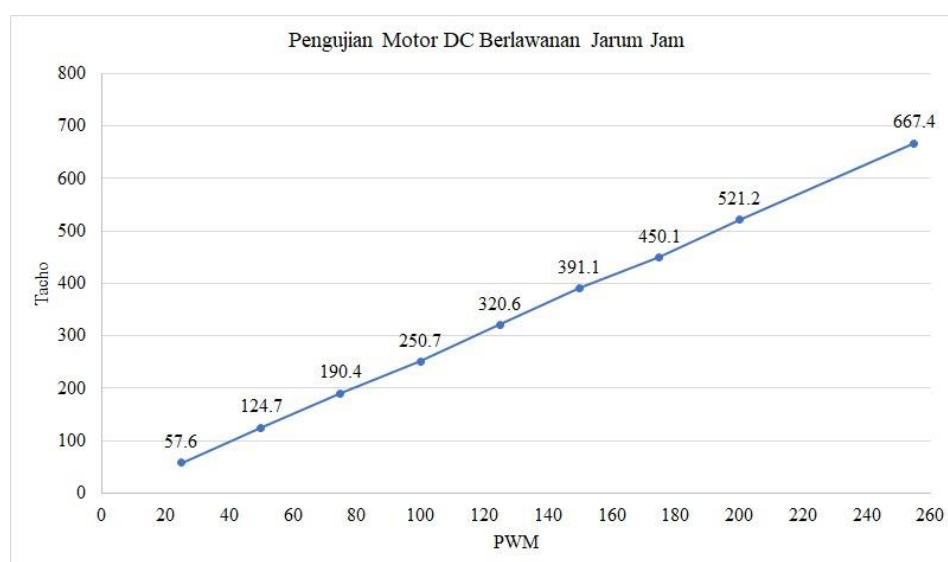
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Dalam pengujian ini, relay diaktifkan untuk menghasilkan arah putaran searah jarum jam. Kecepatan putaran motor diukur secara langsung menggunakan

tachometer digital untuk mendapatkan nilai RPM secara akurat. Selain itu, dilakukan pengukuran tegangan pada dua titik, yaitu pada input daya BTS7960 untuk memastikan suplai tegangan utama dalam kondisi stabil, serta pada output driver untuk mengetahui tegangan aktual yang diberikan ke motor sesuai dengan sinyal PWM. Hasil pengujian pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa motor DC mampu berputar secara stabil dengan kecepatan yang meningkat seiring naiknya PWM, dan tegangan output dari BTS7960 berbanding lurus terhadap perubahan PWM. Selain itu, pengaturan arah melalui relay PLC juga berjalan sesuai fungsinya.

Tabel 4. 6 Pengujian Motor DC Berlawanan Jarum Jam

No.	Input (VDC)	PWM	RPM	Arah	Output (VDC)
1.	24V	25	57.6	CCW	2.1
2.	24V	50	124.7	CCW	4.5
3.	24V	75	190.4	CCW	6.7
4.	24V	100	250.7	CCW	9.2
5.	24V	125	320.6	CCW	11.2
6.	24V	150	391.1	CCW	13.7
7.	24V	175	450.1	CCW	16.0
8.	24V	200	521.2	CCW	18.4
9.	24V	225	586.7	CCW	20.4
10.	24V	255	667.4	CCW	23.4



Gambar 4. 14 Grafik Pengujian Motor DC Berlawanan Jarum Jam
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 15 Gambar Pengujian Motor Berlawanan jarum jam
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Dalam pengujian pada tabel 4.6 ini, relay diaktifkan untuk menghasilkan arah putaran berlawanan arah jarum jam. Kecepatan putaran motor diukur secara langsung menggunakan tachometer digital untuk mendapatkan nilai RPM secara akurat. Selain itu, dilakukan pengukuran tegangan pada dua titik, yaitu pada input daya BTS7960 untuk memastikan suplai tegangan utama dalam kondisi stabil, serta pada output driver untuk mengetahui tegangan aktual yang diberikan ke motor sesuai dengan sinyal PWM. Hasil pengujian gambar 4.16 menunjukkan bahwa motor DC mampu berputar secara stabil dengan kecepatan yang meningkat seiring naiknya PWM, dan tegangan output dari BTS7960 berbanding lurus terhadap perubahan PWM. Selain itu, pengaturan arah melalui relay PLC juga berjalan sesuai fungsinya.

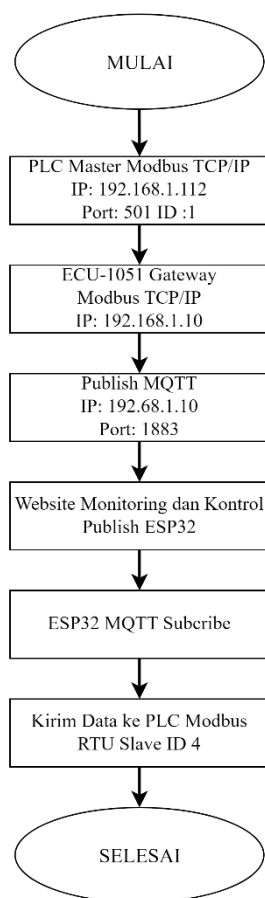


Gambar 4. 16 Pengujian Motor DC
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.5 Hasil Perancangan Software

Perancangan perangkat lunak pada gambar 4.17 sistem ini menggunakan Haiwell Happy dan Advantech EdgeLink Studio. Haiwell Happy digunakan untuk memprogram PLC Haiwell A8 dengan bahasa ladder diagram. Program ini mencakup logika pembacaan data sensor, serta pengendalian aktuator. Sementara itu, Advantech EdgeLink Studio digunakan untuk mengonfigurasi gateway ECU-1051 agar dapat membaca data dari PLC. Dalam EdgeLink, pengguna menentukan alamat register PLC yang akan dibaca dan mengatur protokol komunikasi Modbus TCP/IP. Data yang diambil kemudian dapat dikirim ke server atau platform monitoring berbasis web menggunakan protokol seperti MQTT. Integrasi kedua software ini memungkinkan sistem berjalan otomatis dan mendukung pemantauan jarak jauh secara real-time.

4.5.1 Hasil Perancangan Komunikasi Modbus TCP/IP dan ESP32

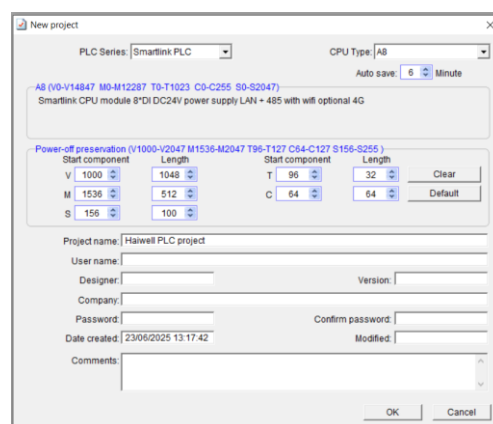


Gambar 4. 17 Komunikasi Modbus TCP/IP dan ESP32
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada perancangan sistem komunikasi ini, PLC Haiwell berperan sebagai master dengan konfigurasi IP 192.168.1.112 dan menggunakan port 501 serta ID perangkat Modbus 1. PLC terhubung ke ECU-1051 sebagai gateway untuk meneruskan komunikasi melalui protokol Modbus TCP/IP. Data yang dikirim oleh PLC diterima oleh ECU-1051, kemudian diteruskan melalui platform komunikasi berbasis MQTT menggunakan IP 192.168.1.10 dan port 1883. Data ini kemudian dipublikasikan ke server MQTT dan diterima oleh website pemantauan yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna. Selanjutnya, dari website, data kontrol seperti mode operasi atau nilai setpoint dipublikasikan kembali melalui protokol MQTT menggunakan broker HiveMQ. ESP32 yang telah berlangganan subscribe topik dari HiveMQ akan menerima data tersebut, kemudian melakukan proses kendali sesuai perintah. Setelah itu, ESP32 mengirimkan data status sensor, seperti nilai encoder dan potensiometer, kembali ke PLC melalui komunikasi Modbus RTU menggunakan jalur RS485. Dari hasil pengujian, sistem mampu mengintegrasikan kedua protokol ini secara efektif. Data sensor dari ESP32 dapat dikirim ke PLC dengan stabil melalui Modbus RTU, sementara data hasil proses kontrol di PLC dapat diteruskan ke ECU-1051 dan ditampilkan di sistem monitoring melalui Modbus TCP/IP.

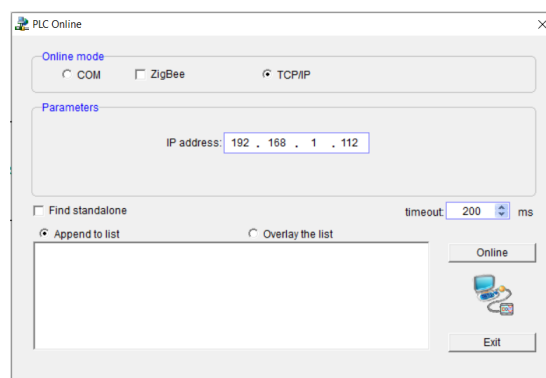
4.5.1 Hasil Perancangan Program PLC Haiwell A8

Untuk memulai pemrograman pada Haiwell Happy, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat New Project. Dengan menentukan jenis PLC yang akan digunakan dengan memilih Series dan Type yang sesuai seperti pada gambar 4.18



Gambar 4. 18 Membuat New Project
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Setelah membuat proyek baru di Haiwell Happy dan memilih tipe PLC yang sesuai, langkah selanjutnya adalah melakukan pengaturan komunikasi TCP/IP agar perangkat lunak dapat terhubung dengan PLC seperti pada gambar 4.19. Setelah pengaturan selesai, klik tombol Online Test untuk memastikan koneksi antara Haiwell Happy dan PLC berhasil. Jika konfigurasi sudah benar, akan muncul notifikasi bahwa koneksi berhasil. Langkah ini penting untuk memastikan komunikasi stabil antara software dan hardware sebelum melakukan download atau monitoring program.



Gambar 4. 19 Serial Setting
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

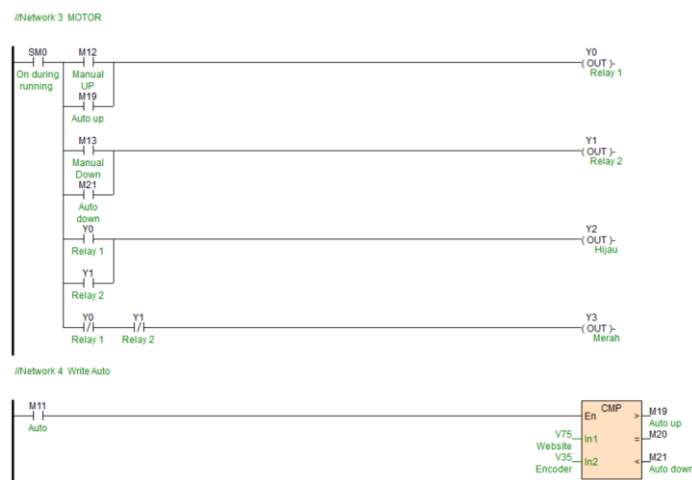
Komunikasi Modbus dari ESP32 menuju PLC digunakan untuk membaca sejumlah data penting yang dibutuhkan dalam sistem kendali pintu air otomatis. Salah satu data utama yang dibaca adalah nilai dari rotary encoder, yang mencerminkan posisi bukaan pintu air berdasarkan jumlah pulsa yang telah dihitung oleh PLC. Data ini penting untuk menentukan posisi aktual pintu dalam mode manual maupun otomatis. Selain itu, ESP32 juga membaca status mode manual dan mode otomatis yang digunakan untuk memilih metode pengoperasian sistem. Pada mode otomatis, ESP32 akan membandingkan posisi encoder dengan nilai prediksi bukaan untuk menghentikan motor pada posisi yang tepat, sedangkan pada mode manual, pengguna dapat mengontrol gerakan motor secara langsung. Untuk mendukung kontrol dari website, tersedia juga register untuk perintah Stop, Up, dan Down yang masing-masing dibaca oleh ESP32 sebagai sinyal kendali untuk menghentikan, menaikkan, atau menurunkan pintu air sesuai perintah pengguna. Terakhir, nilai dari potensiometer juga dibaca oleh ESP32 untuk mengetahui seberapa besar kecepatan motor yang diatur secara manual melalui

putaran potensiometer. Seluruh komunikasi ini dilakukan menggunakan protokol Modbus RTU dengan ESP32 sebagai slave dan PLC sebagai master. Berikut pada tabel 4.7 merupakan address yang digunakan pada PLC:

Tabel 4. 7 Address Modbus Read PLC

Nama	Modbus Address	ID	Tipe Data	Alamat Register
Rotary Encoder	40001	4	Integer	40547
Mode Manual	40002	4	Integer	40557
Mode Auto	40003	4	Integer	40567
Kontrol Stop	40004	4	Integer	40577
Read Prediksi	40005	4	Integer	40587
Kontrol Up	40006	4	Integer	40582
Kontrol Down	40007	4	Integer	40597
Potensiometer	40008	4	Integer	40607

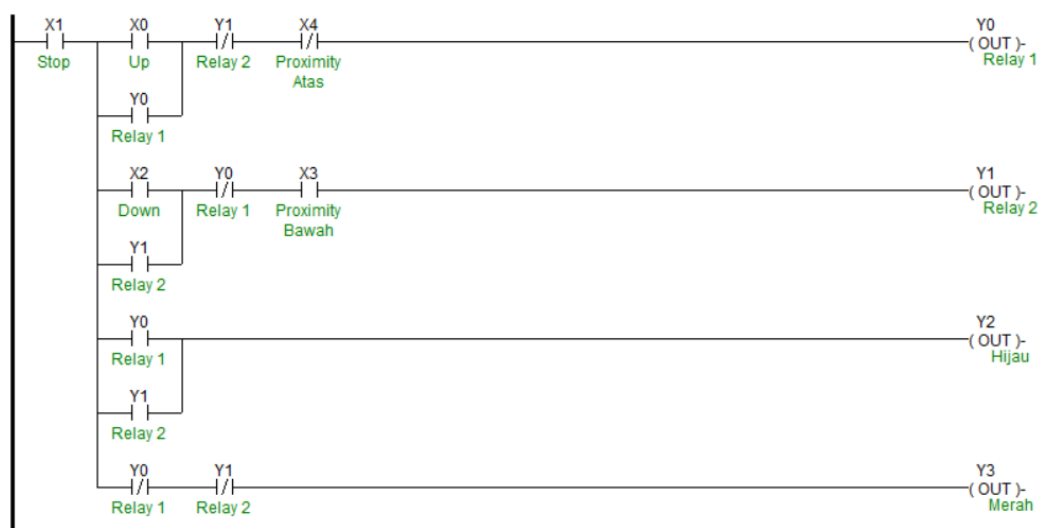
Program PLC pada gambar 4.20 ini mengatur sistem kendali motor dalam dua mode, yaitu manual dan otomatis, yang dapat dikontrol melalui antarmuka website. Pada mode manual, pengguna dapat menggerakkan motor ke arah naik atau turun secara langsung sesuai tombol perintah yang dikirim dari website, dan motor hanya akan bergerak ke salah satu arah dalam satu waktu. Sementara itu, pada mode otomatis, sistem akan membandingkan nilai prediksi bukaan pintu air yang dikirim dari website dengan nilai aktual dari rotary encoder menggunakan fungsi pembanding. Jika nilai prediksi lebih besar dari nilai encoder, motor akan bergerak naik secara otomatis, dan jika lebih kecil, motor akan turun hingga posisi sesuai tercapai. Ketika kedua nilai tersebut sama, motor akan berhenti karena posisi bukaan pintu air telah sesuai dengan target.



Gambar 4. 20 Program PLC Website
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Program manual pada gambar 4.21 ini dirancang untuk mengontrol pergerakan naik dan turun motor melalui tombol pada panel, dengan tambahan pengaman menggunakan sensor proximity. Saat tombol naik diaktifkan, sistem akan menjalankan motor ke arah atas, jika ingin mengubah arah gerak ke bawah, operator wajib terlebih dahulu menekan tombol stop untuk menghentikan sistem, barulah tombol turun dapat berfungsi. Selain itu, sensor proximity atas dan bawah berfungsi sebagai fitur pengaman tambahan yang memutus pergerakan motor secara otomatis jika posisi batas atas atau bawah telah tercapai, sehingga dapat mencegah kerusakan mekanis akibat pergerakan berlebih. Sensor ini juga berguna sebagai proteksi jika terjadi kesalahan atau gangguan sistem, karena begitu sensor mendeteksi batas, arus akan terputus untuk menghentikan motor secara otomatis.

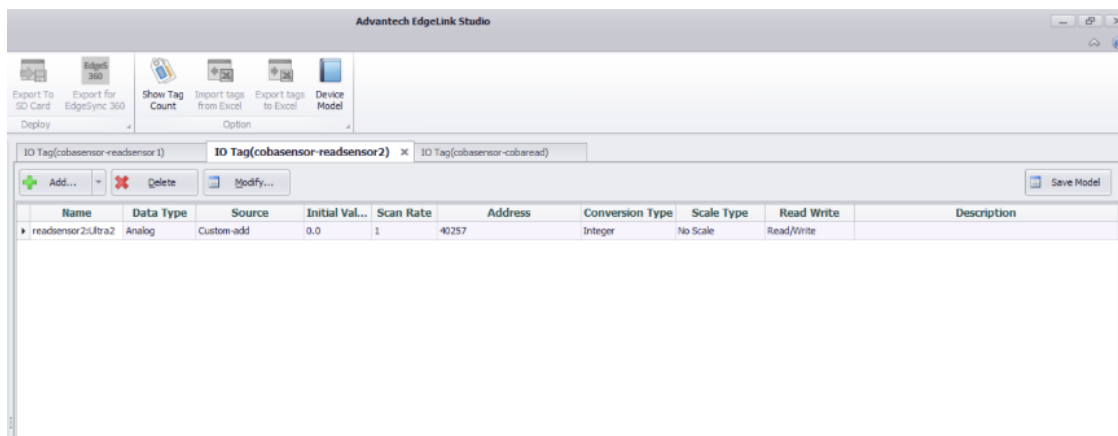
//Network 1 KONTROL MANUAL PANEL



Gambar 4. 21 Program Manual
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

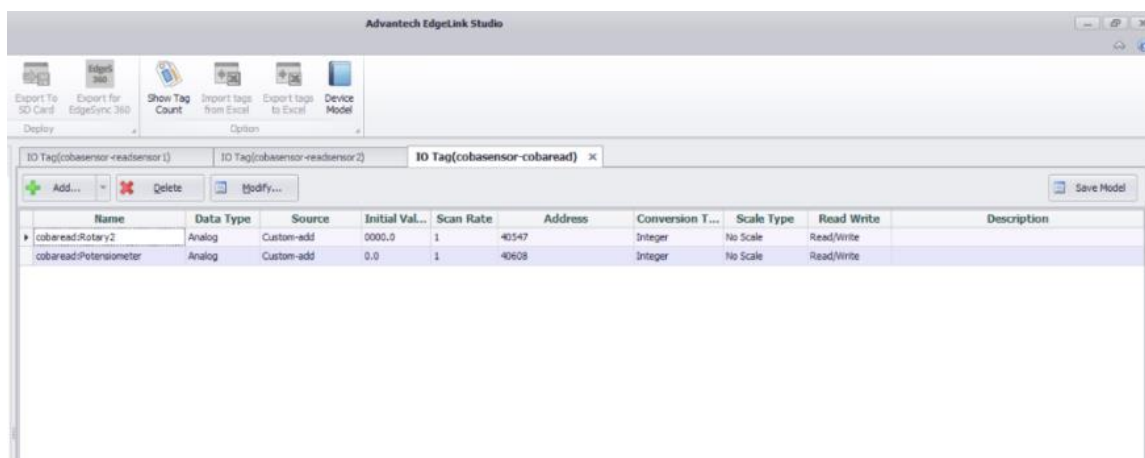
4.5.2 Hasil Perancangan ECU-1051

Gambar 4.22 menunjukkan hasil perancangan konfigurasi pembacaan empat sensor pada ECU-1051 menggunakan software Advantech EdgeLink Studio. Dalam konfigurasi ini, dua sensor ultrasonik dibaca langsung oleh ECU-1051 melalui komunikasi Modbus RTU, di mana masing-masing sensor dikonfigurasi pada IO Tag dengan ID yang berbeda namun menggunakan alamat register yang sama, yaitu 40257. Hal ini dimungkinkan karena setiap sensor terhubung ke saluran komunikasi terpisah, sehingga ID perangkat menjadi pembeda utama.



Gambar 4. 22 Konfigurasi Sensor Ultrasonik
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sementara itu, pada gambar 4.23 sensor rotary encoder dan potensiometer dibaca melalui komunikasi Modbus TCP/IP dari PLC dengan ID slave 1. Rotary encoder dikonfigurasi pada alamat 40547, sedangkan potensiometer dikonfigurasi pada alamat 40608. Konfigurasi ini memungkinkan ECU-1051 untuk membaca semua data sensor secara akurat dan real-time, yang sangat penting untuk mendukung sistem monitoring dan kontrol dalam aplikasi SCADA.



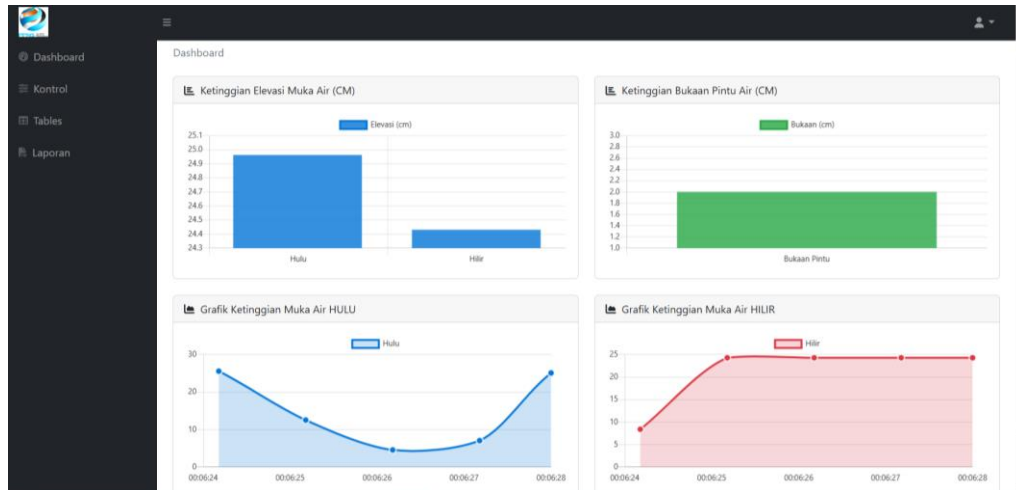
Gambar 4. 23 Konfigurasi Edge Link Studio
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.5.3 Hasil Perancangan Website

Hasil perancangan website pada dashboard utama menampilkan antarmuka monitoring yang dirancang untuk memberikan informasi secara real-time terkait kondisi sistem pengendalian pintu air.

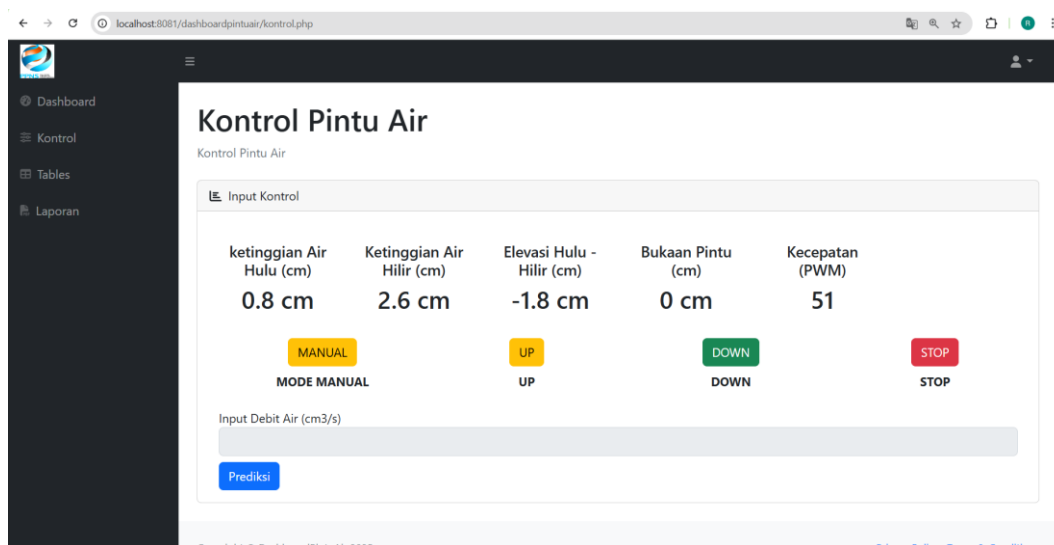
Pada tampilan dashboard ini, operator dapat melihat monitoring ketinggian elevasi air hulu dan hilir, informasi ketinggian bukaan pintu air, yang

merepresentasikan seberapa besar pintu air terbuka berdasarkan pembacaan dari rotary encoder. Pada Gambar 4.24 dashboard ini juga dilengkapi dengan grafik ketinggian air hulu dan grafik ketinggian air hilir. sehingga memudahkan analisis dan pengambilan keputusan oleh operator.



Gambar 4. 24 Tampilan Dashboard
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

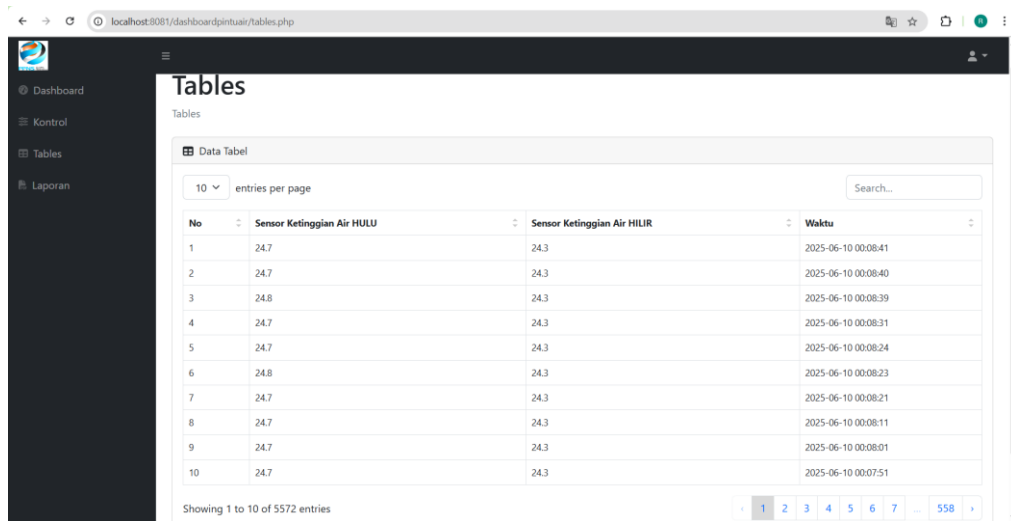
Gambar 4.25 menunjukkan hasil perancangan website pada menu kontrol Pintu Air yang berfungsi sebagai pusat monitoring dan pengendalian sistem secara real-time. Tampilan ini memberikan informasi penting seperti ketinggian air di sisi hulu dan hilir yang dibaca oleh dua sensor ultrasonik, lengkap dengan selisih elevasi antara keduanya. Selain itu, tampilan juga memperlihatkan bukaan pintu air dalam satuan cm yang dihitung dari pembacaan rotary encoder, serta nilai kecepatan motor yang ditampilkan dalam bentuk nilai PWM yang disesuaikan melalui potensiometer. Sistem kontrol memiliki dua mode operasi, yaitu mode manual dan mode auto, yang dapat dipilih melalui tombol mode manual atau otomatis. Jika pengguna memilih mode manual, maka hanya tombol up,down dan stop yang aktif, memungkinkan kontrol langsung terhadap naik atau turunnya pintu air, sementara input debit air dan fungsi prediksi dinonaktifkan. Sebaliknya, jika mode auto dipilih, maka kontrol manual up, down, stop akan dinonaktifkan, dan pengguna hanya dapat memasukkan nilai debit air untuk kemudian dilakukan prediksi bukaan pintu secara otomatis berdasarkan perhitungan sistem.



Gambar 4. 25 Tampilan Kontrol
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.26 memperlihatkan hasil perancangan antarmuka web pada menu tabel yang berfungsi untuk menampilkan data historis pembacaan sensor ketinggian air secara sistematis dan real-time. Pada tampilan ini, informasi disajikan dalam bentuk tabel yang terdiri dari tiga kolom utama, yaitu Sensor Ketinggian hulu, Sensor Ketinggian hilir, dan Waktu. Kolom pertama menampilkan hasil pembacaan ketinggian air dari sensor ultrasonik yang dipasang di sisi hulu saluran, sedangkan kolom kedua menunjukkan ketinggian air yang terdeteksi di sisi hilir. Kedua data ini ditampilkan dalam satuan sentimeter (cm) dan terus diperbarui secara berkala. Kolom ketiga mencatat waktu pembacaan dalam format tanggal dan jam, yang disusun secara kronologis dari yang terbaru ke yang terlama.

Tampilan ini juga dilengkapi dengan fitur pencarian data, navigasi antar halaman, serta pengaturan jumlah entri yang ingin ditampilkan per halaman. Fitur-fitur ini memudahkan operator dalam menelusuri ribuan data historis yang tersimpan dalam sistem. Selain itu, terdapat fungsi *sorting* untuk mengurutkan data berdasarkan nilai ketinggian atau waktu tertentu, sehingga pencarian data spesifik menjadi lebih cepat. Penyajian data dalam bentuk tabel ini memungkinkan proses pemantauan kondisi air dilakukan secara akurat dan efisien. Data historis yang tersimpan juga dapat diunduh dalam format tertentu untuk keperluan dokumentasi, evaluasi kinerja pintu air, maupun analisis tren perubahan ketinggian air dari waktu ke waktu.



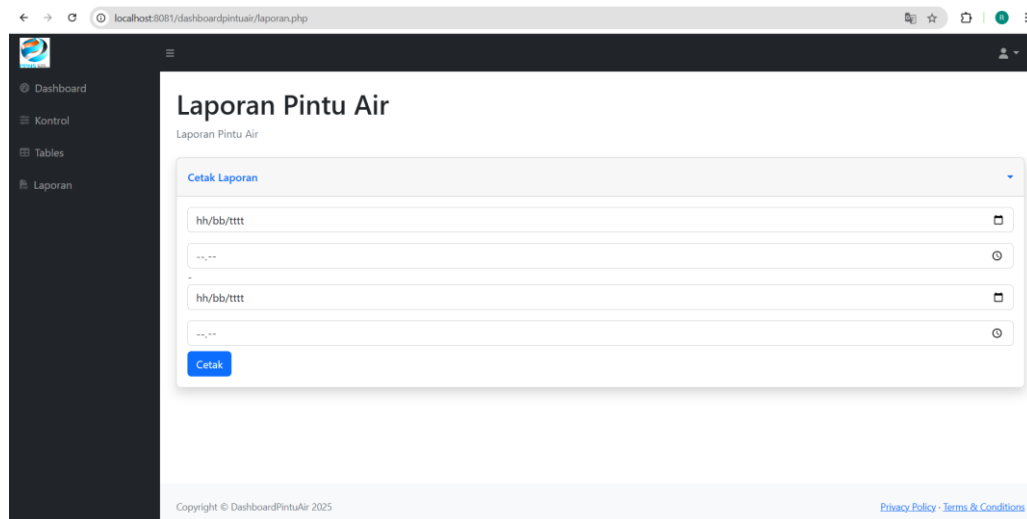
The screenshot shows a web application interface with a sidebar menu containing 'Dashboard', 'Kontrol', 'Tables', and 'Laporan'. The main content area is titled 'Tables' and displays a table with the following data:

No	Sensor Ketinggian Air HULU	Sensor Ketinggian Air HILIR	Waktu
1	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:41
2	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:40
3	24.8	24.3	2025-06-10 00:08:39
4	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:31
5	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:24
6	24.8	24.3	2025-06-10 00:08:23
7	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:21
8	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:11
9	24.7	24.3	2025-06-10 00:08:01
10	24.7	24.3	2025-06-10 00:07:51

Below the table, it indicates 'Showing 1 to 10 of 5572 entries' and includes pagination controls for pages 1 through 7, with a total of 558 entries.

Gambar 4. 26 Tampilan Tabel
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hasil perancangan website pada gambar 4.27 tampilan cetak laporan PDF memungkinkan operator untuk menghasilkan dokumen laporan data sensor dalam format PDF. Fitur ini untuk mempermudah proses dokumentasi dan pelaporan dengan menyusun data ketinggian air dari sisi hulu dan hilir beserta informasi waktu pencatatannya dalam bentuk tabel yang terstruktur. Laporan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai arsip.



The screenshot shows a web application interface with a sidebar menu containing 'Dashboard', 'Kontrol', 'Tables', and 'Laporan'. The main content area is titled 'Laporan Pintu Air' and displays a form for generating a PDF report. The form includes the following fields:

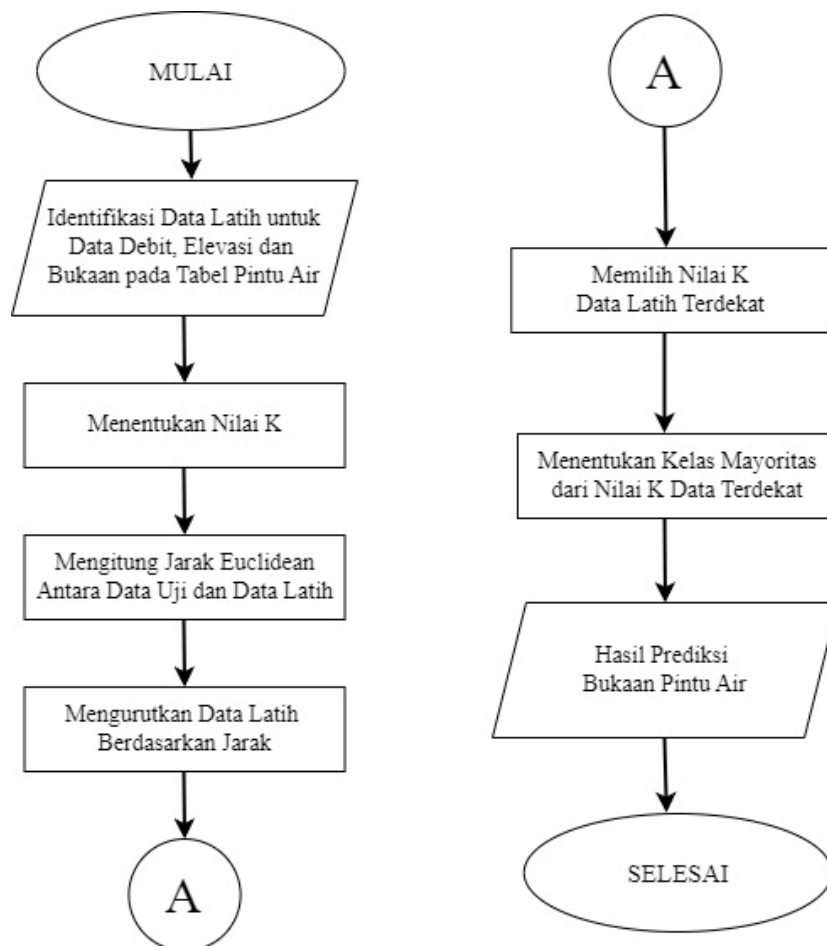
- Cetak Laporan**: A dropdown menu.
- hh/bb/tttt**: A text input field.
- hh/bb/tttt**: A text input field.
- hh/bb/tttt**: A text input field.
- hh/bb/tttt**: A text input field.
- Cetak**: A blue button.

At the bottom of the page, there is a footer with the text 'Copyright © DashboardPintuAir 2025' and a link to 'Privacy Policy - Terms & Conditions'.

Gambar 4. 27 Tampilan Cetak Laporan
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik untuk keperluan pemantauan dan pengendalian. Grafik pada dashboard mampu menampilkan data sensor secara real-time dan konsisten. Sementara pada sisi kontrol, seluruh perintah dari website dapat diteruskan ke PLC dan direspons oleh sistem secara normal. Namun, ditemukan adanya delay sekitar 2–3 detik saat melakukan peralihan antara mode manual dan otomatis, maupun saat menekan tombol kontrol manual Up/Down/Stop. Delay ini disebabkan oleh proses komunikasi serial melalui Modbus RTU, yang bergantung pada kecepatan respon PLC serta kestabilan koneksi antara website.

4.5.4 Hasil Perancangan Simulasi Metode KNN



Gambar 4. 28 *Flowchart* proses *K-Nearest Neighbors* (KNN)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.28 menggambarkan alur proses secara sistematis dalam penerapan metode *K-Nearest Neighbors (KNN)* yang digunakan untuk memprediksi nilai bukaan pintu air berdasarkan parameter debit dan elevasi. Flowchart ini dimulai dari tahapan awal yaitu identifikasi data latih yang bersumber dari Tabel 4.8, yang berisi data historis debit air, elevasi permukaan air, serta nilai bukaan pintu air. Data ini digunakan sebagai acuan utama dalam proses pembelajaran algoritma KNN. Tabel tersebut mencakup total 380 kombinasi data, yang terdiri dari 19 nilai elevasi dan 20 nilai bukaan yang berbeda, sehingga menghasilkan keragaman data yang cukup untuk mendukung akurasi prediksi. Setelah data latih diperoleh, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai K , yaitu jumlah tetangga terdekat yang akan dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan. Pemilihan nilai K ini bersifat penting, karena nilai yang terlalu kecil dapat menyebabkan hasil prediksi menjadi terlalu sensitif terhadap noise, sedangkan nilai yang terlalu besar dapat menyebabkan generalisasi yang berlebihan.

Kemudian dilakukan proses perhitungan jarak antara data uji (input terbaru dari sensor) dengan seluruh data latih menggunakan rumus Euclidean Distance. Jarak ini mengukur seberapa mirip atau dekat data uji dengan masing-masing data latih. Setelah seluruh jarak dihitung, data latih akan diurutkan berdasarkan nilai jaraknya dari yang paling kecil ke paling besar. Langkah berikutnya adalah memilih K data latih terdekat dari hasil pengurutan tersebut. Data-data inilah yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai prediksi, yaitu nilai bukaan pintu air yang sesuai dengan kondisi debit dan elevasi saat itu. Pemilihan nilai prediksi dapat dilakukan dengan mengambil rata-rata (*regresi*) atau berdasarkan suara terbanyak (*klasifikasi mayoritas*), tergantung pendekatan KNN yang digunakan.

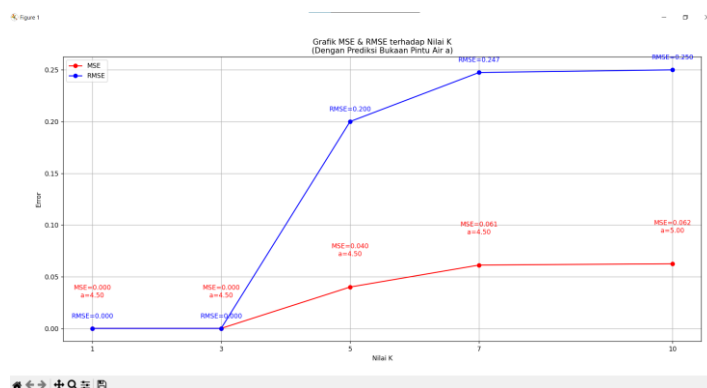
Flowchart ini memberikan visualisasi yang jelas mengenai tahapan-tahapan dalam proses prediksi, dimulai dari akuisisi data hingga pengambilan keputusan akhir berupa hasil prediksi bukaan pintu air. Dengan adanya diagram alur ini, pembaca dapat memahami dengan mudah cara kerja metode KNN dalam konteks pengendalian sistem pintu air berbasis data historis yang telah dihimpun sebelumnya.

Tabel 4. 8 Tabel *Sluice Gate* Pintu Air Jagir Wonokromo

No	H1-H2 (cm)	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15
	a(cm)	Q(cm ³ /det)																		
1.	0.5	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7	4.9	5.0	5.2	5.3	5.4	5.6	5.7	5.8	5.9	6.1	6.1	6.2	6.4	6.5
2.	1.0	8.2	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9	11.1	11.4	11.6	11.9	12.1	12.3	12.5	12.8	13
3.	1.5	12.3	12.8	13.3	13.8	14.2	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.4	17.8	18.2	18.5	18.8	19.2	19.5
4.	2.0	16.5	17.1	17.8	18.4	19.0	19.6	20.2	20.7	21.2	21.8	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.7	25.1	25.6	26.0
5.	2.5	20.6	21.4	22.2	23.0	23.7	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.4	29.0	29.7	30.3	30.9	31.4	32.0	32.5
6.	3.0	24.7	25.7	26.7	27.6	28.5	29.4	30.2	31.1	31.8	32.7	33.4	34.2	34.9	35.6	36.3	37.0	37.7	38.4	39.0
7.	3.5	28.8	30.0	31.1	32.2	33.2	34.3	35.3	36.2	37.1	38.1	39.0	39.9	40.7	41.6	42.4	43.2	44.0	44.8	45.5
8.	4.0	32.9	34.3	35.6	36.8	38.0	39.2	40.3	41.4	42.5	43.6	44.6	45.6	46.5	47.5	48.5	49.3	50.2	51.2	52.1
9.	4.5	37.1	38.5	40.0	41.4	42.7	44.1	45.4	46.6	47.8	49.0	50.1	51.2	52.3	53.4	54.5	55.5	56.5	57.6	58.6
10.	5.0	41.2	42.8	44.4	46.0	47.5	49.0	50.4	51.8	53.1	54.4	55.7	56.9	58.1	59.4	60.6	61.7	62.8	64.0	65.1
11.	5.5	45.3	47.1	48.9	50.6	52.2	53.9	55.4	57.0	58.4	59.9	61.3	62.7	64.0	65.3	66.6	67.9	69.1	70.4	71.6
12.	6.0	49.4	51.4	53.3	55.2	57.0	58.8	60.5	62.1	64.1	65.3	66.9	68.4	69.8	71.3	72.7	74.1	75.4	76.8	78.1
13.	6.5	53.5	55.7	57.8	59.8	61.7	63.7	65.5	67.3	69.3	70.8	72.4	74.0	75.6	77.2	78.7	80.2	81.7	83.2	84.6
14.	7.0	57.6	59.9	62.2	64.4	66.5	68.6	70.6	72.5	74.3	76.2	78.0	79.7	81.4	83.2	84.5	86.4	88.0	89.6	91.1
15.	7.5	61.8	64.2	66.7	69.0	71.2	73.5	75.6	77.6	79.6	81.7	83.6	85.4	87.2	89.1	90.9	92.6	94.2	96.0	97.6
16.	8.0	65.9	68.5	71.1	73.6	76.0	78.4	80.6	82.8	85.0	87.1	89.2	91.2	93.1	95.0	96.9	98.7	100.5	102.4	104.1
17.	8.5	70.0	72.8	75.6	78.2	80.7	83.3	85.7	88.0	90.3	92.5	94.7	96.8	98.9	101.0	103.0	104.9	106.8	108.8	110.6
18.	9.0	74.1	77.1	80.0	82.8	85.5	88.2	90.7	93.2	95.6	98.0	100.3	102.5	104.7	106.9	109.0	111.1	113.1	115.2	117.1
19.	9.5	78.2	81.4	84.5	87.4	90.2	93.1	95.8	98.4	100.9	103.4	105.9	108.2	110.5	112.9	115.1	117.3	119.4	121.5	123.6
20.	10	82.3	85.7	88.9	92.0	95.0	98.0	100.8	103.6	106.2	108.8	111.4	113.9	116.3	118.7	121.1	123.5	125.7	127.9	130.1

Tahap simulasi dalam sistem pengendalian pintu air ini dimulai dengan pengumpulan dan pengolahan data dari Tabel Sluice Gate Pintu Air Jagir Wonokromo seperti pada tabel 4.8, yang merupakan data acuan di lapangan. Tabel ini berisi total 380 data debit air (Q) yang dihasilkan dari kombinasi antara 19 nilai elevasi ketinggian air (H_1-H_2) dan 20 variasi bukaan pintu air (a). Nilai elevasi memiliki perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir yang berkisar dari 6,0 cm hingga 15,0 cm, sementara bukaan pintu air berkisar dari 0,5 cm hingga 10,0 cm, keduanya disusun secara bertahap dengan interval tetap. Setiap pasangan nilai (H_1-H_2 , a) dalam tabel menghasilkan nilai debit tertentu, sehingga membentuk sebuah dataset yang menggambarkan hubungan linier antara elevasi, bukaan pintu air, dan debit air yang dihasilkan. Dataset ini kemudian digunakan sebagai data latih untuk diterapkan dalam algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), yang bertujuan untuk memprediksi besarnya bukaan pintu air berdasarkan masukan nilai elevasi dan debit aktual yang terdeteksi oleh sensor.

Gambar 4.29 menunjukkan hasil simulasi grafik metode K-Nearest Neighbor (KNN) yang membandingkan nilai error terhadap variasi jumlah tetangga terdekat (K) dalam prediksi bukaan pintu air. Grafik menampilkan nilai MSE dan RMSE untuk $K = 1, 3, 5, 7$, dan 10 . Hasilnya, MSE dan RMSE bernilai nol pada $K = 1$ dan 3 , menandakan prediksi sangat akurat karena sesuai dengan data latih terdekat. Namun, error meningkat seiring bertambahnya K , dengan nilai tertinggi pada $K = 10$ ($MSE = 0.062$ dan $RMSE = 0.250$). Ini menunjukkan bahwa nilai K yang terlalu besar dapat menurunkan akurasi prediksi. Grafik ini berguna untuk menentukan nilai K optimal agar prediksi bukaan pintu air lebih akurat dan efisien.



Gambar 4. 29 Hasil Grafik Error Simulasi
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.5.5 Hasil Perhitungan Manual Metode KNN

Perhitungan manual jarak Euclidean dalam metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) dilakukan untuk menentukan seberapa dekat data uji terhadap setiap data dalam dataset. Pada simulasi ini, nilai input elevasi ketinggian air hulu dan hilir (H1-H2) sebesar 14,5 cm dan debit air (Q) sebesar 57,6 cm³/s digunakan sebagai data uji. Untuk setiap nilai K yang diuji (K=1, 3, 5, 7, dan 10), langkah pertama adalah menghitung jarak Euclidean antara data uji dengan seluruh data latih dalam dataset menggunakan rumus:

$$= \sqrt{(H1 - H2_i - H1 - H2_{test})^2 + (Q_i - Q_{test})^2} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$= \sqrt{(H_i - H2_{test})^2 + (Q_i - Q_{test})^2} \dots\dots\dots(4.4)$$

Setelah semua jarak dihitung, data-data latih diurutkan berdasarkan nilai jaraknya dari yang terkecil hingga terbesar. Dari urutan tersebut, diambil K data terdekat (tetangga terdekat) untuk digunakan dalam proses prediksi nilai keluaran. Semakin besar nilai K, semakin banyak tetangga yang dipertimbangkan, sehingga perhitungan jarak Euclidean menjadi dasar utama dalam pemilihan data yang paling relevan dengan data uji. Proses ini dilakukan secara bertahap untuk masing-masing nilai K guna mengamati pengaruh jumlah tetangga terhadap hasil prediksi.

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Manual K=1

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	14.5	57.6	4.5	$\sqrt{(14.5 - 14.5)^2 + (57.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0 + 0} = 0.00$

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Manual K=3

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	14.5	57.6	4.5	$\sqrt{(14.5 - 14.5)^2 + (57.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0 + 0} = 0.00$
2	15.0	58.6	4.5	$\sqrt{(15.0 - 14.5)^2 + (58.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.00} = 1.11$
3	14.0	56.5	4.5	$\sqrt{(14.0 - 14.5)^2 + (56.5 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.21} = 1.20$

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Manual K=5

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	14.5	57.6	4.5	$\sqrt{(14.5 - 14.5)^2 + (57.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0 + 0} = 0.00$
2	15.0	58.6	4.5	$\sqrt{(15.0 - 14.5)^2 + (58.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.00} = 1.11$
3	14.0	56.5	4.5	$\sqrt{(14.0 - 14.5)^2 + (56.5 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.21} = 1.20$
4	13.5	55.5	4.5	$\sqrt{(13.5 - 14.5)^2 + (55.5 - 57.6)^2} = \sqrt{1.00 + 4.41} = 2.32$
5	12.0	58.1	5.0	$\sqrt{(12.0 - 14.5)^2 + (58.1 - 57.6)^2} = \sqrt{6.25 + 0.25} = 2.54$

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Manual K=7

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	14.5	57.6	4.5	$\sqrt{(14.5 - 14.5)^2 + (57.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0 + 0} = 0.00$
2	15.0	58.6	4.5	$\sqrt{(15.0 - 14.5)^2 + (58.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.00} = 1.11$
3	14.0	56.5	4.5	$\sqrt{(14.0 - 14.5)^2 + (56.5 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.21} = 1.20$
4	13.5	55.5	4.5	$\sqrt{(13.5 - 14.5)^2 + (55.5 - 57.6)^2} = \sqrt{1.00 + 4.41} = 2.32$
5	12.0	58.1	5.0	$\sqrt{(12.0 - 14.5)^2 + (58.1 - 57.6)^2} = \sqrt{6.25 + 0.25} = 2.54$
6	12.5	59.4	5.0	$\sqrt{(12.5 - 14.5)^2 + (59.4 - 57.6)^2} = \sqrt{4.00 + 3.24} = 2.69$
7	11.5	56.9	5.0	$\sqrt{(11.5 - 14.5)^2 + (56.9 - 57.6)^2} = \sqrt{9.00 + 0.49} = 3.08$

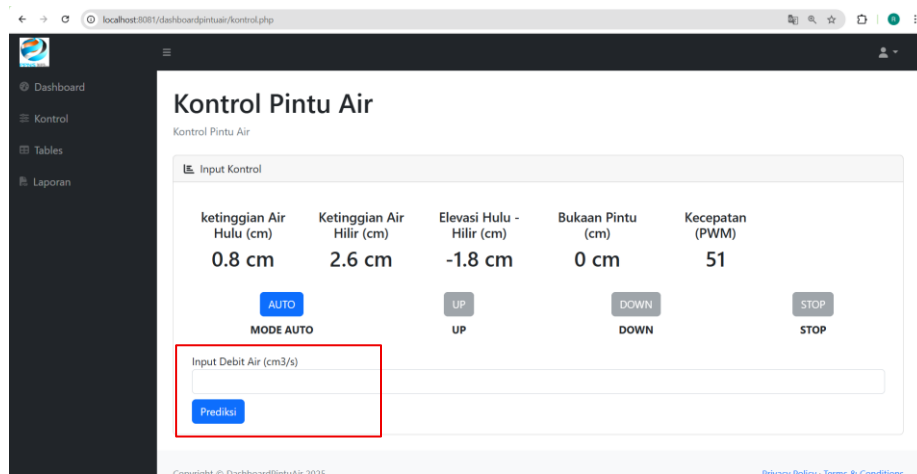
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Manual K=10

No.	H1-H2 (cm)	Debit (cm ³ /s)	Pintu Air (cm)	Jarak Euclidean
1	14.5	57.6	4.5	$\sqrt{(14.5 - 14.5)^2 + (57.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0 + 0} = 0.00$
2	15.0	58.6	4.5	$\sqrt{(15.0 - 14.5)^2 + (58.6 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.00} = 1.11$
3	14.0	56.5	4.5	$\sqrt{(14.0 - 14.5)^2 + (56.5 - 57.6)^2} = \sqrt{0.25 + 1.21} = 1.20$
4	13.5	55.5	4.5	$\sqrt{(13.5 - 14.5)^2 + (55.5 - 57.6)^2} = \sqrt{1.00 + 4.41} = 2.32$
5	12.0	58.1	5.0	$\sqrt{(12.0 - 14.5)^2 + (58.1 - 57.6)^2} = \sqrt{6.25 + 0.25} = 2.54$
6	12.5	59.4	5.0	$\sqrt{(12.5 - 14.5)^2 + (59.4 - 57.6)^2} = \sqrt{4.00 + 3.24} = 2.69$
7	11.5	56.9	5.0	$\sqrt{(11.5 - 14.5)^2 + (56.9 - 57.6)^2} = \sqrt{9.00 + 0.49} = 3.08$
8	13.0	60.6	5.0	$\sqrt{(13.0 - 14.5)^2 + (60.6 - 57.6)^2} = \sqrt{2.25 + 9.00} = 3.35$
9	13.0	54.5	4.5	$\sqrt{(13.0 - 14.5)^2 + (54.5 - 57.6)^2} = \sqrt{2.25 + 9.61} = 3.44$
10	11.0	55.7	5.0	$\sqrt{(11.0 - 14.5)^2 + (55.7 - 57.6)^2} = \sqrt{12.25 + 3.61} = 3.9$

4.5.6 Hasil Pengujian Prediksi K-Nearest Neighbor (KNN) pada Website

Tahap pengujian prediksi dengan metode K-Nearest Neighbor (KNN) pada gambar 4.30 dilakukan menggunakan bahasa pemrograman PHP yang diimplementasikan pada website sistem monitoring pintu air. Dalam sistem ini, nilai elevasi atau selisih ketinggian antara hulu dan hilir (H1-H2) diperoleh secara real-time dari sensor ultrasonik yang terpasang pada kedua sisi aliran air. Sementara itu, nilai debit air (Q) diambil berdasarkan data referensi dari tabel pintu air Jagir Wonokromo. Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai input pada algoritma KNN yang dijalankan di sisi server website, dengan parameter input berupa H1-H2 sebagai elevasi dan Q sebagai debit air. Output dari proses prediksi adalah nilai bukaan pintu air yang dinotasikan sebagai a . Algoritma KNN yang digunakan pada website memiliki rumus dan logika yang sama dengan yang sebelumnya diuji menggunakan Python, namun pada implementasi di website ditetapkan nilai $k = 1$ untuk memperoleh hasil prediksi yang lebih presisi dan cepat merespons terhadap

perubahan kondisi elevasi dan debit air. Output nilai bukaan ini selanjutnya digunakan sebagai referensi dalam pengendalian otomatis pintu air.



Gambar 4. 30 Prediksi Metode KNN pada Website
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.14 menampilkan hasil pengujian pemodelan prediksi bukaan pintu air menggunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN) dengan parameter selisih elevasi air antara hulu dan hilir sebesar 0,5 cm serta nilai PWM yang dijaga tetap sebesar 25. Elevasi hulu dipertahankan secara konstan pada nilai 38,5 cm, sedangkan nilai hilir diturunkan secara bertahap mulai dari 32,5 cm hingga 23,5 cm, sehingga menghasilkan variasi selisih dari 6,0 cm hingga 15,0 cm. Variasi selisih elevasi tersebut memengaruhi debit aliran air, yang meningkat secara proporsional dari 4,1 cm³/detik hingga mencapai 123,6 cm³/detik. Metode KNN digunakan untuk memprediksi nilai bukaan pintu air berdasarkan parameter debit dan selisih elevasi, yang kemudian dibandingkan dengan nilai bukaan aktual (real) yang terukur secara langsung. Dengan nilai error terkecil sebesar 0 mm dan terbesar sebesar 0,5 mm. Nilai error diperoleh dari selisih antara hasil prediksi dan real dalam satuan milimeter, yang menunjukkan ketelitian sistem dalam melakukan estimasi bukaan. Pada percobaan ke-20, meskipun metode KNN berhasil memprediksi nilai bukaan sebesar 10 cm, namun nilai bukaan aktual tidak dapat terbaca karena sistem mekanis telah mencapai batas maksimum bukaan real sebesar 10 cm. Oleh karena itu, percobaan ke-20 tidak dimasukkan dalam perhitungan akurasi karena tidak terdapat data pembanding. Dari hasil pengujian tersebut, sistem prediksi dengan metode KNN menunjukkan performa yang cukup baik dalam memprediksi nilai bukaan pintu air. Hal ini ditunjukkan oleh nilai persentase error yang rendah, yaitu sebesar 0,043.

Tabel 4. 14 Percobaan KNN Selisih 0.5 cm dan PWM 25

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi KNN (cm)	Aktual (cm)	
1.	38.5	32.5	6	4.1	0.5	0.5	0

2.	38.5	32	6.5	8.6	1.0	1.0	0
3.	38.5	31.5	7	13.3	1.5	1.6	0.06
4.	38.5	31	7.5	18.4	2.0	2.1	0.05
5.	38.5	30.5	8	23.7	2.5	2.6	0.04
6.	38.5	30	8.5	29.4	3.0	3.2	0.06
7.	38.5	29.5	9	35.3	3.5	3.7	0.05
8.	38.5	29	9.5	41.4	4.0	4.2	0.05
9.	38.5	28.5	10	47.8	4.5	4.7	0.04
10.	38.5	28	10.5	54.4	5.0	5.2	0.04
11.	38.5	27.5	11	61.3	5.5	5.8	0.05
12.	38.5	27	11.5	68.4	6.0	6.3	0.05
13.	38.5	26.5	12	75.6	6.5	6.8	0.04
14.	38.5	26	12.5	83.2	7.0	7.3	0.04
15.	38.5	25.5	13	90.9	7.5	7.8	0.04
16.	38.5	25	13.5	98.7	8.0	8.4	0.05
17.	38.5	24.5	14	106.8	8.5	8.9	0.04
18.	38.5	24	14.5	115.2	9.0	9.5	0.05
19.	38.5	23.5	15	123.6	9.5	10.0	0.05
20.	38.5	32.5	6	82.3	10	-	-
Rata-rata Error (%)							0.043

Tabel 4.15 menunjukkan hasil pengujian sistem prediksi bukaan pintu air menggunakan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN), dengan variasi selisih elevasi antara muka air hulu dan hilir sebesar 0,5 cm. Pada pengujian ini, nilai hulu dikondisikan tetap sebesar 38,5 cm, sedangkan nilai hilir diturunkan secara bertahap dari 32,5 cm hingga 23,5 cm. Variasi ini menghasilkan rentang selisih elevasi dari 6,0 cm hingga 15,0 cm. Pengujian dilakukan dengan menjaga nilai PWM tetap pada angka 50, guna memastikan bahwa aktuator pintu air beroperasi dalam kondisi yang stabil dan konsisten selama proses pengambilan data. Langkah ini penting agar akurasi hasil prediksi lebih terfokus pada pengaruh parameter elevasi dan debit, bukan karena variasi sinyal kendali motor.

Setiap perubahan selisih elevasi tersebut menyebabkan kenaikan debit aliran, dari 4,1 cm³/det pada selisih 6,0 cm hingga mencapai 123,6 cm³/det pada selisih 15,0 cm. Sistem menggunakan metode KNN untuk memprediksi nilai bukaan pintu air berdasarkan data debit dan selisih elevasi. Hasil prediksi kemudian dibandingkan dengan nilai bukaan aktual (*real*) yang diperoleh dari pembacaan

sensor atau perangkat aktuator. Nilai error ditampilkan dalam satuan milimeter sebagai selisih antara prediksi dan real. Pada pengujian ini, nilai error berada dalam kisaran 0 hingga 0,2 mm, yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi yang baik. Error terkecil sebesar 0 mm ditemukan pada sebagian besar percobaan awal 1–9, sementara error terbesar sebesar 0,2 mm ditemukan pada percobaan ke-17 hingga ke-19. Percobaan ke-20 menggunakan data debit sebesar 82,3 cm³/det yang sebelumnya telah diuji pada percobaan pertama, yaitu dengan selisih elevasi 6,0 cm. Namun, karena nilai prediksi telah mencapai batas maksimal bukaan pintu air yaitu 10,0 cm (real), tidak terjadi perubahan nilai aktual, sehingga percobaan ini hanya menunjukkan bahwa sistem telah berada pada kapasitas maksimal. Dengan demikian, data percobaan ke-20 tidak dapat digunakan sebagai bahan perbandingan untuk menghitung akurasi atau error. Dari hasil pengujian tersebut, sistem prediksi dengan metode KNN menunjukkan performa yang cukup baik dalam memprediksi nilai bukaan pintu air. Hal ini ditunjukkan oleh nilai persentase error yang rendah, yaitu sebesar 0,017.

Tabel 4. 15 Percobaan KNN Selisih 0.5 cm dan PWM 50

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
1.	38.5	32.5	6	4.1	0.5	0.5	0
2.	38.5	32	6.5	8.6	1.0	1.0	0
3.	38.5	31.5	7	13.3	1.5	1.5	0
4.	38.5	31	7.5	18.4	2.0	2.0	0
5.	38.5	30.5	8	23.7	2.5	2.5	0
6.	38.5	30	8.5	29.4	3.0	3.0	0
7.	38.5	29.5	9	35.3	3.5	3.5	0
8.	38.5	29	9.5	41.4	4.0	4.0	0
9.	38.5	28.5	10	47.8	4.5	4.5	0
10.	38.5	28	10.5	54.4	5.0	5.1	0.02
11.	38.5	27.5	11	61.3	5.5	5.6	0.018
12.	38.5	27	11.5	68.4	6.0	6.1	0.016

Tabel 4.15 Percobaan KNN Selisih 0.5 cm dan PWM 50 (Lanjutan)

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
13.	38.5	26.5	12	75.6	6.5	6.6	0.015
14.	38.5	26	12.5	83.2	7.0	7.1	0.014
15.	38.5	25.5	13	90.9	7.5	7.6	0.013

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
16.	38.5	25	13.5	98.7	8.0	8.1	0.012
17.	38.5	24.5	14	106.8	8.5	8.7	0.023
18.	38.5	24	14.5	115.2	9.0	9.2	0.022
19.	38.5	23.5	15	123.6	9.5	9.7	0.021
20.	38.5	32.5	6	82.3	10	10.0	0.02
Rata-rata Error (%)							0.017

Tabel 4.16 menampilkan hasil pengujian sistem prediksi bukaan pintu air menggunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN) dengan variasi selisih elevasi sebesar 1 cm dan nilai PWM konstan sebesar 25. Dalam pengujian ini, nilai elevasi muka air hulu dikondisikan tetap sebesar 38,5 cm, sedangkan elevasi hilir diturunkan secara bertahap dari 32,5 cm hingga 23,5 cm, sehingga menghasilkan selisih elevasi antara 6 cm hingga 15 cm. Setiap kenaikan selisih elevasi menyebabkan peningkatan debit aliran, dari 8,2 cm³/det pada selisih 6 cm hingga mencapai 117,1 cm³/det pada selisih 15 cm. Berdasarkan nilai debit dan selisih tersebut, sistem memprediksi nilai bukaan pintu air menggunakan algoritma KNN. Hasil prediksi dibandingkan dengan bukaan aktual yang dicapai oleh sistem. Dari 20 percobaan yang dilakukan, sebagian besar menghasilkan nilai error sebesar 0 mm, menandakan bahwa sistem prediksi sangat akurat. Nilai error maksimum tercatat sebesar 0,2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat sedikit deviasi antara hasil prediksi dan real, deviasi tersebut masih berada dalam batas toleransi yang sangat kecil dan dapat diterima secara praktis dalam sistem kontrol otomatisasi. Percobaan ke-20 menunjukkan debit yang lebih tinggi, yaitu 130,1 cm³/det, namun tidak menghasilkan perubahan nilai bukaan aktual karena sistem telah mencapai batas maksimal bukaan pintu air sebesar 10 cm. Dengan demikian, nilai real tetap pada 10 cm dan tidak dapat bertambah meskipun debit meningkat. Oleh karena itu, percobaan ke-20 tidak digunakan dalam analisis error karena tidak mencerminkan perubahan pada sistem. Secara keseluruhan, data pada Tabel 4.16 menunjukkan bahwa metode KNN mampu melakukan prediksi bukaan pintu air dengan akurasi yang tinggi meskipun terdapat variasi debit dan selisih elevasi. Dari hasil pengujian tersebut, sistem prediksi dengan metode KNN menunjukkan

performa yang cukup baik dalam memprediksi nilai bukaan pintu air. Hal ini ditunjukkan oleh nilai persentase error yang rendah, yaitu sebesar 0,015.

Tabel 4. 16 Percobaan KNN Selisih 1 cm dan PWM 25

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
1.	38.5	32.5	6	8.2	1.0	1.0	0
2.	38.5	32	6.5	17.1	2.0	2.0	0
3.	38.5	31.5	7	26.7	3.0	3.0	0
4.	38.5	31	7.5	36.8	4.0	4.0	0
5.	38.5	30.5	8	47.5	5.0	5.1	0.02
6.	38.5	30	8.5	58.5	6.0	6.1	0.01
7.	38.5	29.5	9	70.6	7.0	7.1	0.01
8.	38.5	29	9.5	82.8	8.0	8.2	0.02
9.	38.5	28.5	10	95.6	9.0	9.2	0.02
10.	38.5	28	10.5	108.8	10	10.0	0
11.	38.5	27.5	11	111.1	1.0	1.0	0
12.	38.5	27	11.5	22.8	2.0	2.0	0
13.	38.5	26.5	12	34.9	3.0	3.0	0
14.	38.5	26	12.5	47.5	4.0	4.0	0
15.	38.5	25.5	13	60.6	5.0	5.1	0.01
16.	38.5	25	13.5	74.1	6.0	6.1	0.01
17.	38.5	24.5	14	88.0	7.0	7.1	0.01
18.	38.5	24	14.5	102.4	8.0	8.2	0.02
19.	38.5	23.5	15	117.1	9.0	9.2	0.02
20.	38.5	23.5	15	130.1	10	10.0	0
Rata-rata Error (%)							0.015

Tabel 4.17 memperlihatkan hasil pengujian sistem prediksi bukaan pintu air menggunakan metode *K-Nearest Neighbor (KNN)* pada kondisi selisih elevasi yang meningkat secara konstan sebesar 1 cm, dengan PWM motor yang ditetapkan sebesar 50. Dalam percobaan ini, nilai elevasi hulu (H1) dipertahankan tetap pada 38,5 cm, sementara elevasi hilir (H2) diturunkan dari 32,5 cm hingga mencapai 23,5 cm. Sebanyak 20 percobaan dilakukan, menghasilkan rentang debit mulai dari 8,2 cm³/det hingga 130,1 cm³/det.

Prediksi bukaan pintu air oleh sistem KNN menunjukkan performa yang sangat baik. Nilai prediksi dan real secara umum berada pada level yang hampir identik, dengan selisih error yang kecil. Sementara itu, mayoritas percobaan

menunjukkan error 0 mm, menandakan prediksi KNN sangat akurat dalam mengestimasi nilai bukaan berdasarkan debit dan selisih elevasi. Menariknya, sistem juga diuji untuk mendeteksi perubahan debit yang menurun setelah mencapai nilai maksimal bukaan pintu air, yaitu 10 cm. Pada percobaan ke-10 hingga ke-20, meskipun debit meningkat secara signifikan, nilai bukaan aktual tetap tidak dapat melebihi batas maksimum 10 cm. Hal ini ditunjukkan secara konsisten pada percobaan ke-20, di mana debit tertinggi 130,1 cm³/det tetap menghasilkan bukaan real 10 cm. Ini menunjukkan bahwa sistem fisik telah mencapai limit mekanisnya dan tidak dapat membuka lebih lebar dari batas yang telah ditentukan. Secara keseluruhan, data pada Tabel 4.17 menegaskan kapabilitas metode KNN dalam memberikan prediksi yang presisi dan dapat diandalkan untuk sistem kontrol otomatis pintu air. Meski terdapat sedikit deviasi pada beberapa titik, akurasi sistem tetap berada dalam batas toleransi yang kecil. Dari hasil pengujian tersebut, sistem prediksi dengan metode KNN menunjukkan performa yang cukup baik dalam memprediksi nilai bukaan pintu air. Hal ini ditunjukkan oleh nilai persentase error yang rendah, yaitu sebesar 0,017.

Tabel 4. 17 Percobaan KNN Selisih 1 cm dan PWM 50

No	Ketinggian Air			Set Point Debit (cm ³ /det)	Ketinggian Buka Pintu Air		Error (%)
	Hulu (cm)	Hilir (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
1.	38.5	32.5	6	8.2	1.0	1.0	0
2.	38.5	32	6.5	17.1	2.0	2.0	0
3.	38.5	31.5	7	26.7	3.0	3.0	0
4.	38.5	31	7.5	36.8	4.0	4.0	0
5.	38.5	30.5	8	47.5	5.0	5.1	0.02
6.	38.5	30	8.5	58.5	6.0	6.1	0.01
7.	38.5	29.5	9	70.6	7.0	7.1	0.01
8.	38.5	29	9.5	82.8	8.0	8.2	0.01
9.	38.5	28.5	10	95.6	9.0	9.2	0.01
10.	38.5	28	10.5	108.8	10	10.0	0
11.	38.5	27.5	11	111.1	1.0	1.0	0
12.	38.5	27	11.5	22.8	2.0	2.0	0

Tabel 4.17 Percobaan KNN Selisih 1 cm dan PWM 50

No	Elevasi			Set Point Debit (cm ³ /det)	Hasil KNN (Bukaan)		Error (%)
	H1 (cm)	H2 (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
13.	38.5	26.5	12	34.9	3.0	3.0	0

No	Elevasi			Set Point Debit (cm ³ /det)	Hasil KNN (Bukaan)		Error (%)
	H1 (cm)	H2 (cm)	Selisih (cm)		Prediksi (cm)	Aktual (cm)	
14.	38.5	26	12.5	47.5	4.0	4.0	0
15.	38.5	25.5	13	60.6	5.0	5.1	0.02
16.	38.5	25	13.5	74.1	6.0	6.1	0.01
17.	38.5	24.5	14	88.0	7.0	7.1	0.01
18.	38.5	24	14.5	102.4	8.0	8.2	0.01
19.	38.5	23.5	15	117.1	9.0	9.2	0.01
20.	38.5	23.5	15	130.1	10	10.0	0
Rata-rata Error%							0.021

Tabel 4.18 menunjukkan hasil pengujian waktu yang dibutuhkan sistem untuk membuka pintu air dari posisi awal 0 cm menuju posisi target secara bertahap, dengan pengaturan sinyal PWM sebesar 25. Nilai target bukaan meningkat secara berkala dari 0,5 cm hingga 10 cm, dengan kenaikan 0,5 cm setiap langkahnya. Seluruh percobaan dilakukan sebanyak 20 kali. Berdasarkan data pada tabel, dapat diamati bahwa semakin besar nilai target bukaan, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya juga semakin bertambah. Sebagai contoh, pada percobaan pertama, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai bukaan sebesar 0,5 cm adalah 0,8 detik. Sedangkan pada percobaan ke-20, waktu yang diperlukan untuk mencapai bukaan 10 cm adalah 15,8 detik. Fenomena ini mencerminkan karakteristik dinamika sistem mekanis yang digunakan. Pada awal pergerakan, beban yang dihadapi aktuator relatif lebih ringan sehingga waktu respon lebih singkat. Namun, seiring bertambahnya nilai target bukaan, beban mekanis dan hambatan gesekan cenderung meningkat, yang menyebabkan laju pembukaan menjadi lebih lambat. Hal ini dapat mempengaruhi efisiensi kontrol dalam sistem kendali otomatis, khususnya ketika dibutuhkan perubahan bukaan yang besar dalam waktu singkat. Perlu dicatat bahwa pada percobaan ke-20 sistem telah mencapai nilai maksimum bukaan fisik yaitu 10 cm, sehingga tidak dimungkinkan untuk dilakukan percobaan lanjutan di atas nilai tersebut. Oleh karena itu, nilai waktu yang tercatat pada percobaan ke-20 merupakan batas atas kemampuan sistem dalam membuka pintu air secara penuh dengan PWM 25.

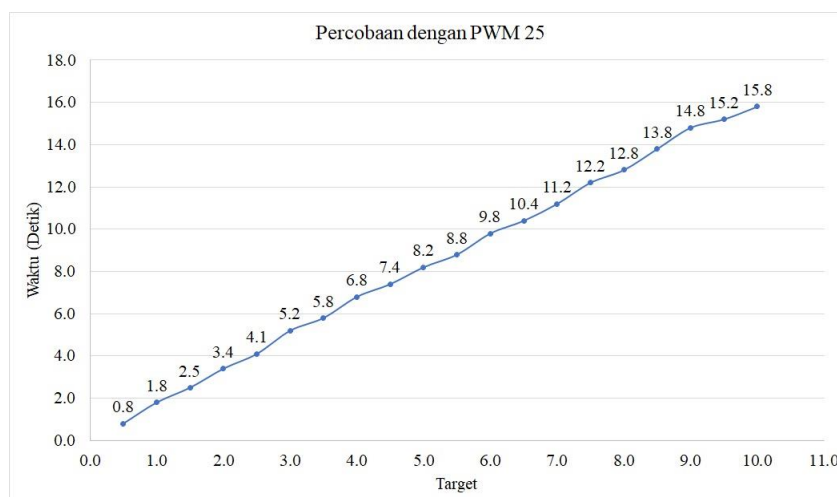
Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) dengan dua skenario perbedaan data latih, yaitu selisih 0.5 cm dan 1 cm, pada kecepatan motor PWM 25, diperoleh bahwa performa KNN dalam pengendalian posisi bukaan pintu air tergolong baik. Pada pengujian dengan selisih data 0.5 cm, prediksi bukaan memiliki error berkisar antara 0 hingga 0.5 cm, dengan sebagian besar nilai error di bawah 0.3 cm. Meskipun terdapat error kecil, model KNN tetap mampu memprediksi bukaan secara stabil dan linier sesuai peningkatan debit dan selisih elevasi. Sementara pada pengujian dengan selisih data 1 cm, akurasi meningkat, dengan 75% data memiliki error 0 mm dan sisanya hanya menunjukkan error maksimal 0.2 cm.

Tabel 4. 18 Waktu Bukaan Pintu Air PWM 25

No	Posisi saat ini (cm)	Target (cm)	Waktu (detik)
1.	0	0.5	0.8
2.	0	1.0	1.8
3.	0	1.5	2.5
4.	0	2.0	3.4
5.	0	2.5	4.1
6.	0	3.0	5.2
7.	0	3.5	5.8
8.	0	4.0	6.8
9.	0	4.5	7.4
10.	0	5.0	8.2
11.	0	5.5	8.8
12.	0	6.0	9.8
13.	0	6.5	10.4
14.	0	7.0	11.2
15.	0	7.5	12.2
16.	0	8.0	12.8
17.	0	8.5	13.8
18.	0	9.0	14.8
19.	0	9.5	15.2
20.	0	10	15.8

Gambar 4.31 menunjukkan hubungan antara nilai target bukaan pintu air dalam cm dengan waktu pencapaian target dalam detik pada kondisi PWM 25. Grafik memperlihatkan bahwa semakin besar nilai target bukaan, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapainya juga semakin lama. Pola grafik menunjukkan kenaikan yang hampir linier, yang mengindikasikan bahwa kecepatan pergerakan

aktuator konstan pada level PWM rendah. Hal ini menunjukkan sistem kontrol berjalan stabil dan responsif meskipun menggunakan kecepatan motor yang rendah. Data ini juga mendukung bahwa sistem mampu melakukan kontrol posisi secara bertahap dan presisi sesuai nilai target yang diberikan.



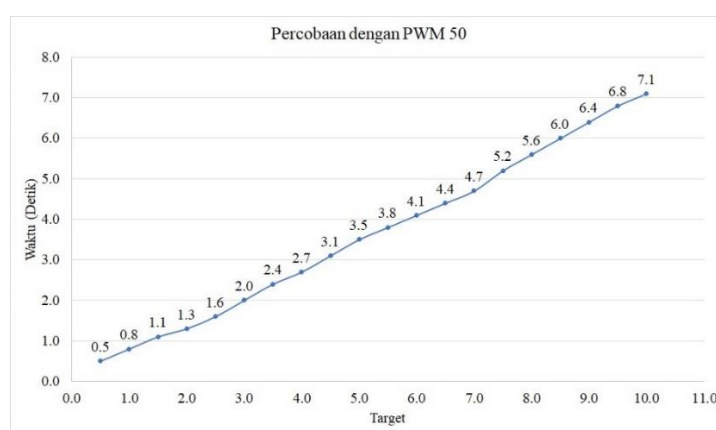
Gambar 4. 31 Grafik Percobaan PWM 25
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.19 menyajikan data hasil pengujian waktu yang diperlukan sistem untuk membuka pintu air dari posisi awal 0 cm menuju berbagai nilai target bukaan, dengan menggunakan sinyal PWM sebesar 50. Percobaan dilakukan sebanyak 20 kali dengan kenaikan target bukaan sebesar 0,5 cm pada setiap langkah, hingga mencapai nilai maksimum sebesar 10 cm. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa waktu pembukaan secara umum meningkat seiring bertambahnya nilai target bukaan. Sebagai contoh, untuk mencapai target bukaan 0,5 cm, sistem hanya memerlukan waktu 0,5 detik. Namun, ketika target bukaan meningkat menjadi 10 cm pada percobaan ke-20, waktu yang diperlukan bertambah menjadi 7,1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara bertahap dan waktu yang dibutuhkan proporsional terhadap jarak bukaan yang dicapai. Jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya (PWM 25), penggunaan nilai PWM 50 memperlihatkan peningkatan efisiensi dalam hal kecepatan pembukaan. Sebagai contoh, pada target bukaan 5 cm, waktu yang dibutuhkan hanya 3,5 detik, sedangkan pada PWM 25 membutuhkan waktu 8,1 detik. Ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai PWM memberikan energi yang lebih besar ke aktuator, sehingga mempercepat respons sistem dalam membuka pintu air. Hasil pengujian ini

memberikan gambaran performa sistem kendali pintu air dengan PWM 50, yang dapat dijadikan acuan dalam pemilihan parameter kendali untuk mencapai efisiensi waktu pembukaan yang optimal dalam sistem otomasi pintu air.

Tabel 4. 19 Waktu Bukaan Pintu Air PWM 50

No	Posisi saat ini (cm)	Target (cm)	Waktu (detik)
1.	0	0.5	0.5
2.	0	1.0	0.8
3.	0	1.5	1.1
4.	0	2.0	1.3
5.	0	2.5	1.6
6.	0	3.0	2.0
7.	0	3.5	2.4
8.	0	4.0	2.7
9.	0	4.5	3.1
10.	0	5.0	3.5
11.	0	5.5	3.8
12.	0	6.0	4.1
13.	0	6.5	4.4
14.	0	7.0	4.7
15.	0	7.5	5.2
16.	0	8.0	5.6
17.	0	8.5	6.0
18.	0	9.0	6.4
19.	0	9.5	6.8
20.	0	10	7.1



Gambar 4. 32 Grafik Percobaan PWM 50

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.32 memperlihatkan hasil percobaan pergerakan bukaan pintu air terhadap waktu dengan nilai PWM 50. Terlihat bahwa waktu pencapaian target

bukaan lebih cepat dibandingkan PWM 25. Misalnya, untuk target bukaan 10 cm, waktu yang dibutuhkan hanya sekitar 7.1 detik, menunjukkan peningkatan kecepatan aktuator. Pola kenaikan tetap teratur namun tidak sepenuhnya linier, karena terdapat beberapa variasi kecil pada interval waktu antar target. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun respons sistem meningkat pada PWM lebih tinggi, kestabilan gerak mulai sedikit berkurang, terutama pada nilai target menengah ke atas. Meskipun begitu, sistem masih menunjukkan performa yang efisien dan responsif dalam mencapai target posisi.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian dengan metode K-Nearest Neighbors (KNN) menggunakan dua data latih (selisih 0.5 cm dan 1 cm) pada kecepatan motor PWM 25, diperoleh bahwa model KNN mampu memprediksi bukaan pintu air secara akurat dan stabil. Error prediksi rata-rata kecil, menunjukkan bahwa KNN dapat digunakan secara efektif dalam sistem pengendalian posisi pintu air berbasis data sensor.
2. Sistem telah berhasil mengintegrasikan komunikasi data antara ESP32, PLC, dan gateway ECU-1051 menggunakan kombinasi protokol Modbus RTU dan Modbus TCP/IP. Data sensor dari ESP32 dapat dikirim ke PLC secara stabil melalui Modbus RTU, dan hasil kendali dari PLC dapat diteruskan ke sistem monitoring melalui Modbus TCP/IP secara sinkron dan andal.
3. Sistem monitoring dan kontrol pintu air berbasis website berfungsi dengan baik dan mampu mengirim serta menampilkan data secara real-time. Namun, terdapat delay 2–3 detik saat menjalankan perintah kontrol, terutama saat beralih antara mode manual dan otomatis maupun saat mengoperasikan kontrol manual. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan respon komunikasi Modbus RTU dan kondisi jaringan yang digunakan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, disarankan agar sistem pengendalian posisi pintu air menggunakan metode K-Nearest Neighbors (KNN) terus dikembangkan dengan melakukan pengujian terhadap variasi parameter K dan data latih yang lebih luas. Dari sisi komunikasi data, disarankan untuk mempertimbangkan penerapan Modbus TCP/IP secara langsung dari ESP32 ke PLC, guna mengurangi delay komunikasi yang saat ini masih terjadi akibat

penggunaan Modbus RTU melalui gateway. Penggunaan protokol yang lebih cepat akan meningkatkan efisiensi dan respon sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A., Abrianto, H., & Sidik, A. D. (2024). Perancangan Penerangan Rumah Tangga Menggunakan Panel Surya Untuk Alternatif Penerangan Disaat Pemadaman Listrik. *Jurnal Cahaya Mandalika ISSN 2721-4796*, 3(3)(April), 2419–2433.
- Achmad, V., Khumaidi, A., Adhitya, R. Y., Riananda, D. P., & Sutrisno, I. (2023). Analisa QoS pada MQTT untuk website monitoring dan pengendalian pintu air. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(3), 379–386. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i3.3865>
- Adhi Imanda, S. (2014). *Perancangan dan Pembuatan PLC-MIKRO untuk Model Flap dengan Feedback Potensiometer Berbasis Microcontroller PIC16F877A*. 2(3), 199–210. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaelkomika/article/view/619/830>
- Aditya, L., & Suryantoro, W. (2023). Rancang Bangun Sistem Kendali Semi Otomatis Pintu Air Bendungan Dengan Mini Hoist Pa200 Berbasis Plc Omron CplE-E20Sdr-a. *Jurnal Elektro*, 12(2), 199–213.
- Akbar, F. M. N. (2024). Metode KNN (K-Nearest Neighbor) untuk Menentukan Kualitas Air. *Jurnal Tekno Kompak*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.33365/jtk.v18i1.3241>
- Ananda, P. L., Wardhani, N. I., & Nurhayati, E. (2024). *Kohesi : Jurnal Multidisiplin Saintek Volume 5 No 9 Tahun 2024 PEMANFAATAN BAHASA PEMOGRAMAN WEB UNTUK MENINGKATKAN PEMAHAMAN TEKNOLOGI INFORMASI: STUDI KASUS PENGGUNAAN VISUAL STUDIO CODE DI PROGRAM STUDI INFORMATIKA UPN VETERAN JAWA TIMUR Universitas P. 5(9)*, 1–11.
- Angga Aditya Permana, M. F. R. (2024). G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 186–195. <https://ejournal.uniramalang.ac.id/index.php/g-tech/article/view/1823/1229>
- Article, R. (2024). *HUBUNGAN PENGALAMAN BENCANA SEBELUMNYA DENGAN MITIGASI BENCANA BANJIR DI KELURAHAN PUCANGSAWIT Lina Khomariah, Tri Susilowati 1,2*. 2(4), 746–756.

- Esario, M. I., & Yuhendri, M. (2020). Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan DC Chopper Satu Kuadran Berbasis Kontroller PI. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(1), 296. <https://doi.org/10.24036/jtev.v6i1.108005>
- Fajira, E. (2020). Pengembangan Alat Kunci Pintu Selenoid Menggunakan Rangkaian Penurun Arus. *GRAVITASI Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 3(2), 11–19. <https://ejurnalunsam.id/index.php/JPFS>
- Febriyani, F., Pramukantoro, E. S., & Bachtiar, F. A. (2019). Perbandingan Kinerja Redis, Mosquitto, dan MongoDB sebagai Message Broker pada IoT Middleware | Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. *J-Ptiik.Ub.Ac.Id*, 03(07), 6816–6823.
- Hudati, I., Kusuma, D. Y., Permatasari, N. B., & Pebriani, R. R. (2021). Sensor Ultrasonik Waterproof A02YYUW Berbasis Arduino Uno pada Sistem Pengukuran Jarak. *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 2(2), 14–19. <https://doi.org/10.22146/juliet.v2i2.71146>
- Jurnal, K. :, Saintek, M., Bayu, M., Maulana, R., Dewatama, D., & Fauziyah, M. (2024). Kontrol Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 Pada Lift 4 Lantai. 2(6), 71–80. <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- Kotab, B. C. D. (2023). *MASARYK Flexible communication gateway for industrial protocols MASARYK Flexible communication gateway for industrial protocols*.
- Kurniawan, A. A., & Rahmawati, S. (2024). *Jurnal KomtekInfo Smart Tong Sampah Pendeteksi Otomatis Sampah Organik & . 11(3)*, 163–172. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v11i3.564.163>
- Mandiri, U. N., Bina, U., & Informatika, S. (2024). *Perancangan Sistem Adminisatrasi Penjualan pada PT SurMoRin dengan Menggunakan PHP dan MYSQL. 13*, 1641–1650.
- Mau, W. B., Wibowo, A., & Delima, R. (2023). Implementasi JQuery AJAX Untuk Fitur Pendataan Petani pada Website Dutatani. *Jurnal Terapan Teknologi Informasi*, 7(2), 99–105. <https://doi.org/10.21460/jutei.2023.72.270>
- Quthbirrobbaani, H., Suyanto, S., & Sukarna, E. (2021). Sistem Pemantauan Ketinggian Air Dan Curah Hujan Serta Kontrol Pintu Air Pada Simulasi

- Bendungan Berbasis Iot Dengan Hmi Scada. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 23(2), 181. <https://doi.org/10.24912/tesla.v23i2.13234>
- Rahmawati, O., & Ulum, F. (2022). *RANCANG BANGUN APLIKASI E-AGRIBISNIS UNTUK*. 3(3), 354–365.
- Romadhona, S., Hanni Pradana, Z., Larasati, S., & Br Perangin-angin, S. L. (2024). Prtotype Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Budidaya Kelinci Dengan Komunikasi Modbus Pada Sensor Xy-Md02. *Jurnal SINTA: Sistem Informasi Dan Teknologi Komputasi*, 1(3), 118–128. <https://doi.org/10.61124/sinta.v1i3.21>
- Sahi, A. (2020). Aplikasi Test Potensi Akademik Seleksi Saringan Masuk LP3I Berbasis Web Online menggunakan Framework Codeigniter. *Tematik*, 7(1), 120–129. <https://doi.org/10.38204/tematik.v7i1.386>
- Saputra, R. D., Santoso, G. B., & Mardianto, I. (2024). *Application of IOT Technology in The Control of Organic Waste Processing Machines with PT100 Sensors and Heaters for Fertilizer Healing and Animal Feeding*. 4(2), 74–79.
- Setiady, W., Nugroho, O. A., Susanto, J., Aditty, E., Hadiani, S., & Karimayanti, A. (2024). *Perancangan Dan Pembuatan Alat Monitoring Getaran Dan Suhu Mesin Nirkabel Untuk Mempermudah Pekerjaan Maintenance di PT . Tata Metal Lestari*.
- Teguh, J., Kaeng, S., Fakhri, M., Yusaf, A., Asabela, F. H., Azzahra, N., Khoirudin, M. I., & Angraeni, N. D. (2024). *JURNAL LOCUS : Penelitian & Pengabdian BAHASA PEMROGRAMAN PYTHON*. 3(12), 1018–1031. <https://doi.org/10.58344/locus.v3i12.3663>
- Ummah, M. S. (2019). Analisis Struktur Kovarians Terkait Indikator Kesehatan pada Lansia yang Tinggal di Rumah dengan Fokus pada Persepsi Subjektif terhadap Kesehatan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Unnazif, D., & Almasri, A. (2022). Perancangan dan Pembuatan Sistem Kontrol

Alat Tanam Benih Jagung Berbasis Arduino Uno. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 10(3), 73.
<https://doi.org/10.24036/voteteknika.v10i3.118695>

LAMPIRAN

BIODATA MAHASISWA



1. Nama : Ruzzi Rasydhan Faiz
2. NRP : 0921040029
3. Program Studi : D4 – Teknik Otomasi
4. Agama : Islam
5. Status : Belum Menikah
6. Alamat Asal : Jl. Lebak Jaya Utara 4 Rawasan No.15
7. Nomor Telepon : 085732458366
8. Jenis Kelamin : Laki-laki
9. Email : ruzzyrasydhan@student.ppns.ac.id
10. Tempat, Tanggal Lahir : Surabaya, 21 Juni 2002
11. Nama Orang Tua/Wali : Mohamad Faiz
12. Alamat Orang Tua/Wali : Jl. Lebak Jaya Utara 4 Rawasan No.15
13. Telepon Orang Tua/Wali : 081216506518
14. Riwayat Pendidikan :

PENDIDIKAN FORMAL			
Pendidikan	Tahun	Tempat Pendidikan	Jurusan
Diploma 4	2021 – 2025	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya	D4 Teknik Otomasi
SMK	2017 – 2021	SMKN 5 Surabaya	Teknik Tenaga Listrik
SMP	2014 – 2017	SMPN 29 Surabaya	-
SD	2008 – 2014	SDN Pacar Keling 1 Surabaya	-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)