

Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Berbasis Kontroler Logika Fuzzy Mamdani

Fahmi Akbar Rafsanjani^{1*}, Ari Eko Wardoyo¹, Habibatul Azizah Al Faruq¹

¹ Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Jl. Karimata no 49, Jember 68121, Indonesia
E-mail: fahmiakbarrafsanjai@gmail.com

Naskah Masuk: 27 Desember 2024; Diterima: 20 Maret 2025; Terbit: 31 Maret 2025

ABSTRAK

Abstrak - Pintu air adalah komponen penting dalam sistem pengelolaan sumber daya air, terutama untuk pengaturan aliran air di saluran irigasi, waduk, dan bendungan. Penggunaan teknologi otomatisasi dalam pengoperasian pintu air dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengelolaan air. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan pintu air otomatis berbasis kontroler logika fuzzy Mamdani. Sistem ini menggunakan sensor untuk mendeteksi level air dan mengirimkan data tersebut ke kontroler logika fuzzy yang akan memproses informasi tersebut untuk menentukan posisi buka/tutup pintu air secara otomatis. Dengan menggunakan metode Mamdani, sistem ini diharapkan mampu mengatasi ketidakpastian dalam pengukuran dan pengambilan keputusan, sehingga menghasilkan pengaturan aliran air yang lebih optimal. Pengujian sistem dilakukan melalui simulasi dan implementasi prototipe pada skala kecil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pintu air otomatis ini dapat beroperasi dengan akurat dan responsif terhadap perubahan level air, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan air.

Kata kunci: Pintu Air Otomatis, Kontroler Logika Fuzzy, Metode Mamdani, Pengelolaan Air, Otomatisasi, Sensor Level

ABSTRACT

Abstract - Water gates are critical components in water resource management systems, especially for regulating water flow in irrigation channels, reservoirs, and dams. The use of automation technology in the operation of water gates can enhance efficiency and accuracy in water management. This research aims to design and develop an automatic water gate based on a Mamdani fuzzy logic controller. The system uses sensors to detect water levels and sends this data to the fuzzy logic controller, which processes the information to determine the open/close position of the water gate automatically. By using the Mamdani method, this system is expected to handle uncertainties in measurements and decision-making, resulting in more optimal water flow regulation. The system was tested through simulations and small-scale prototipe implementations. The test results show that this automatic water gate system can operate accurately and responsively to changes in water levels, thereby improving efficiency in water management.

Keywords: Automatic Water Gate, Fuzzy Logic Controller, Mamdani Method, Water Management, Automation, Water Level Sensor.

Copyright © 2025 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air yang efisien dan responsif sangat penting, terutama di wilayah rawan banjir, karena pengoperasian manual pintu air pada bendungan sering kali lambat dalam merespons perubahan cuaca yang tiba-tiba [1]. Solusi yang diusulkan adalah sistem otomatis untuk mengatur buka-tutup pintu air secara dinamis. Pintu air digunakan untuk mengatur aliran atau ketinggian air di bendungan atau saluran, dan dengan perkembangan teknologi, katup otomatis dapat membantu mengendalikan volume air yang berubah-ubah [2].

Dalam sistem ini, logika fuzzy berbasis metode Mamdani menawarkan pengendalian adaptif yang efektif dengan mempertimbangkan variabel lingkungan yang tidak pasti seperti ketinggian air, laju aliran, dan kondisi lingkungan [3]. Logika fuzzy Mamdani menggunakan variabel linguistik seperti "rendah," "sedang," dan "tinggi" untuk mengatur perilaku sistem dalam simulasi pintu air. Penelitian sebelumnya oleh [3], "Pintu Air Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Logika Fuzzy," menggunakan sensor HC-SR04, Arduino Uno, dan LCD sebagai komponen utama. Dalam penelitian ini, akan digunakan logika fuzzy

Mamdani dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk ketinggian air, sensor waterflow YF-S21 untuk mengukur kecepatan aliran, dan Smartphone untuk pemantauan.

Komponen kontrol logika fuzzy, seperti sensor ultrasonik HC-SR04, memantau ketinggian air di bendungan dan melakukan penyesuaian pintu air secara real-time berdasarkan level air rendah, sedang, dan tinggi [4]. Penelitian ini mengintegrasikan konsep Internet of Things (IoT), memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem dari jarak jauh melalui perangkat yang terhubung ke internet, untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan air. Sistem ini memastikan pengendalian pintu air yang tepat dan otomatis untuk pengelolaan air yang efisien dan upaya pencegahan banjir.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pintu Air

Pintu air atau bendungan adalah struktur yang berfungsi menahan dan mengontrol aliran air, dan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik serta memenuhi berbagai kebutuhan terkait air [5]. Pintu air bisa dioperasikan secara manual atau otomatis dan membantu menjaga keseimbangan antara pasokan dan kebutuhan air serta mencegah kerusakan akibat aliran yang tidak terkendali.

2.2. Fuzzy

Metode fuzzy Mamdani adalah teknik kontrol berbasis aturan if-then yang menangani data ambigu menjadi lebih terstruktur[6]. Diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada 1975, metode ini menggunakan variabel linguistik dan fungsi keanggotaan untuk mendefinisikan input dan *output* [7]. Tahapan metode fuzzy mamdani :

- Pembentukan himpunan Fuzzy mengonversi input crisp menjadi variabel linguistik dengan fungsi keanggotaan, seperti segitiga dan trapesium:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{jika } x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; \text{jika } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; \text{jika } a \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

- Bentuk dasar dari aturan yang diterapkan dalam fungsi implikasi adalah "JIKA x adalah A, MAKA y adalah B." Di mana x dan y merupakan skalar, sedangkan A dan B adalah himpunan fuzzy. Berikut adalah penerapan pada rumus :

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (2)$$

- Komponen aturan adalah mengombinasikan aturan menggunakan operator maksimum:

$$\mu_B(y) = \max(\mu_{B_1}(y), \mu_{B_2}(y), \dots, \mu_{B_n}(y)) \quad (3)$$

- Defuzzifikasi adalah mengubah *output* fuzzy menjadi nilai crisp dengan metode *centroid* :

$$z^* = \frac{\int z \mu_{output}(z) dz}{\int \mu_{output}(z) dz} \quad (4)$$

2.3 Internet of Things

Internet of Things (IoT) memungkinkan perangkat seperti sensor dan alat rumah tangga untuk berkomunikasi otomatis melalui internet tanpa interaksi manusia [8]. Dengan pengumpulan data real-time, IoT meningkatkan efisiensi di bidang seperti rumah pintar dan pertanian, menciptakan lingkungan yang lebih terhubung dan responsif.

2.4 Arduino IDE

Arduino IDE adalah editor teks untuk membuat, mengedit, memvalidasi, dan mengunggah kode ke papan Arduino [9]. Dengan antarmuka ramah pengguna, mendukung bahasa C dan C++, IDE ini menyediakan fitur seperti editor kode, compiler, uploader, dan serial monitor. Dirancang untuk pemula dan profesional, Arduino IDE populer untuk pengembangan mikrokontroler dan sistem tertanam.

2.5 Kodular

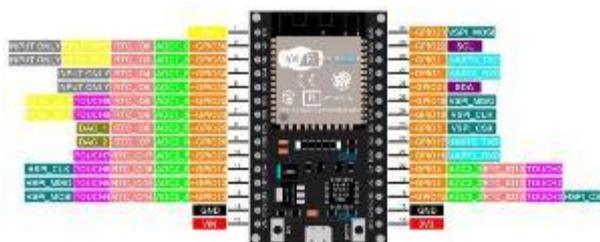
Kodular adalah *platform online* untuk membuat aplikasi smartphone dengan pemrograman berbasis blok, mirip dengan MIT App Inventor [10]. Kodular menawarkan fitur unggulan seperti *Extension IDE* untuk pembuatan blok program khusus dan Kodular Store untuk distribusi aplikasi, membuat pengembangan dan penyebaran aplikasi lebih efisien.

2.6 Firebase

Firestore adalah platform Google untuk pengembangan aplikasi yang menyediakan berbagai layanan backend seperti autentikasi, analitik, penyimpanan, hosting, dan basis data real-time, terutama untuk aplikasi mobile dan web [11]. Dengan basis data cloud berbentuk JSON yang dapat disinkronkan secara real-time, Firestore memudahkan pengembang membangun dan mengelola aplikasi tanpa memulai dari nol, dan sebagian besar layanan ini disediakan gratis oleh Google.

2.7 Mikrokontroler ESP 32

ESP32, dikembangkan oleh Espressif Systems, adalah mikrokontroler populer untuk IoT berkat integrasi Wi-Fi dan Bluetooth [12]. Tersedia dalam varian 30 dan 36 GPIO, ESP32 versi 30 GPIO lebih umum digunakan karena memiliki dua pin GND yang mempermudah pengaturan. Dengan antarmuka USB to UART dan kompatibilitas dengan Arduino IDE dan PlatformIO, ESP32 memudahkan pengembang dalam pemrograman dan pengujian [13].



Gambar 1. Mikrokontroler ESP 32

2.9 Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

HC-SR04 adalah sensor ultrasonik yang mengukur jarak dengan mengirim dan menerima gelombang pantul, bekerja pada tegangan 5V dan arus 15mA, dengan akurasi ± 3 mm serta jarak deteksi 2-400 cm [14]. Pin-pinnya meliputi: VCC (5V input), Trig (pemicu gelombang), Echo (penerima gelombang pantul), dan GND (ground). Sensor ini umum digunakan dalam robotika, sistem keamanan, dan otomatisasi industri.



Gambar 2. Sensor ultrasonik (HC-SR04)

2.10 Motor Servo MG996R

Motor servo adalah motor dengan kontrol loop tertutup untuk mengatur posisi sudut porosnya, dikendalikan melalui pulse width modulation (PWM) yang menentukan sudut putaran [15]. MG995R, tipe yang digunakan, memiliki keunggulan dalam presisi tinggi, respons cepat, torsi kuat, dan kemampuan mempertahankan posisi stabil, menjadikannya ideal untuk aplikasi robotika dan sistem kontrol presisi.



Gambar 3. Motor servo MG996R

2.11 Alarm Buzzer

Alarm buzzer adalah perangkat elektronik yang menghasilkan suara untuk memberikan peringatan ketika kondisi tertentu terjadi. Cara kerjanya mirip dengan loudspeaker, di mana kumparan yang terpasang pada diafragma bergerak akibat arus listrik, menghasilkan getaran udara dan suara [16]. Buzzer terdiri dari komponen utama seperti piezoelektrik sebagai sumber bunyi, serta dua kaki pin: kaki negatif (GND) dan kaki positif (3V3).

2.12 Waterflow Sensor YF-S201

Waterflow sensor adalah perangkat yang mengukur laju aliran air dengan prinsip rotasi dan efek Hall. Sensor ini menghasilkan pulsa digital on-off berdasarkan kecepatan putaran rotor yang dipicu oleh aliran air. Contoh spesifikasi water flow sensor YF-S201 mencakup diameter pipa 1/2 inci, tegangan operasi 5 Vdc, rentang ukur 1-30 L/min, dan tekanan air 1.75 Mpa[17].



Gambar 4. Waterflow sensor YF-S201

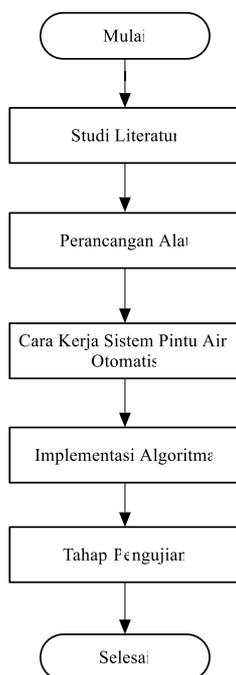
2.13 Pompa Air

Pompa air 5V adalah perangkat kecil yang memompa air dengan tegangan kerja 5 volt, mengubah energi mekanik dari motor menjadi aliran air. Dengan demikian, energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk memberikan tekanan dan mengatasi hambatan yang ada pada saluran yang dilalui oleh cairan [18]. Pompa ini efisien, beroperasi pada DC 3V, 4.5V, atau 5V dengan arus maksimum 0.18 A dan daya 0.91W. Dengan laju aliran maksimum 100 L/H, pompa ini cocok untuk aplikasi skala kecil seperti pendinginan elektronik dan irigasi mini, ideal untuk proyek yang memerlukan konsumsi daya rendah.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Metodologi penelitian

Tahap penelitian pada permasalahan ini dilakukan dengan tujuan untuk mendukung dan memaksimalkan penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, pada model penelitian ini terdapat tahap langkah penelitian sebagai berikut :



Gambar 5. Alur metodologi penelitian

Diagram alur metodologi penelitian dirancang untuk menentukan langkah-langkah yang akan diambil selama penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai. Tahap penelitian “Rancang bangun pintu air otomatis berbasis kontroler logika *fuzzy* Mamdani” antara lain :

3.1 Contoh Penerapan Algoritma

Pengujian prototipe pintu air otomatis menggunakan data sensor ultrasonik dan waterflow. Ketinggian air 35 mm (kategori sedang) dan aliran air 35 ml/detik (kategori cepat) menghasilkan keputusan pintu

air terbuka penuh berdasarkan aturan fuzzy. Berikut adalah contoh penerapan algoritma fuzzy mamdani pada pintu air otomatis :

1. Fungsi Keanggotaan

Deskripsi himpunan *input* (Ketinggian Air) :

Himpunan *Fuzzy* "Rendah" :

$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 20 \\ \frac{30-x}{10} & 20 < x \leq 30 \\ 0 & x > 30 \end{cases}$$

Himpunan *Fuzzy* "Sedang" :

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{10} & 30 < x \leq 40 \\ \frac{50-x}{10} & 40 < x \leq 50 \\ 0 & x > 50 \end{cases}$$

Himpunan *Fuzzy* "Tinggi" :

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{10} & 50 < x \leq 60 \\ 1 & x > 60 \end{cases}$$

Deskripsi himpunan *input* (Kecepatan Air) :

Himpunan *Fuzzy* "Lambat" :

$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 10 \\ \frac{30-x}{20} & 10 < x \leq 30 \\ 0 & x > 30 \end{cases}$$

Himpunan *Fuzzy* "Sedang" :

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \\ \frac{x-20}{10} & 20 < x \leq 30 \\ \frac{40-x}{10} & 30 < x \leq 40 \\ 0 & x > 40 \end{cases}$$

Himpunan *Fuzzy* "Cepat" :

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{10} & 30 < x \leq 40 \\ 1 & x > 40 \end{cases}$$

Output Posisi Pintu Air :

- Tertutup (Close): Domain: 0%
- Separuh (Half): Domain: 50%
- Terbuka (Open): Domain: 100%

2. Fuzzifikasi

Misalkan *input* jarak dari sensor *ultrasonik* yang didapatkan adalah 35 cm.

Keanggotaan rendah :

$$\mu_{\text{Rendah}}(35) = 0 \text{ (Karena } 35 > 0 \text{)}$$

Keanggotaan sedang :

$$\mu_{\text{Sedang}}(35) = \frac{35-30}{10} = 0,5$$

Keanggotaan tinggi :

$$\mu_{\text{Tinggi}}(35) = 0 \text{ (Karena } 35 < 50 \text{)}$$

Misalkan *input* kecepatan air dari sensor *waterflow* yang didapatkan adalah 35 ml/detik.

Keanggotaan lambat :

$$\mu_{\text{Lambat}}(35) = 0 \text{ (Karena } 35 > 30 \text{)}$$

Keanggotaan sedang :

$$\mu_{\text{Sedang}}(35) = \frac{40-35}{10} = 0,5$$

Keanggotaan cepat :

$$\mu_{Cepat} (35) = 0 \text{ (Karena } 35 \leq 30)$$

3. Komponen aturan fuzzy

[R1] Jarak **Rendah** dan *waterflow* lambat, Pintu **Tertutup** (0%)

[R2] Jarak **Sedang** dan *waterflow* sedang, Pintu **Separuh Terbuka** (50%)

[R3] Jarak **Tinggi** *waterflow* cepat, Pintu **Terbuka** (100%)

4. Inferensi

Menggunakan operator min untuk setiap aturan :

Dari hasil fuzzifikasi adalah :

[R1] $\mu_{Rendah} (35) \wedge \mu_{Lambat} (35) = \text{Min} (0,0) = 0$ (Tidak aktif)

[R2] $\mu_{Sedang} (35) \wedge \mu_{Sedang} (35) = \text{Min} (0.5,0.5) = 0.5$ (Aktif)

[R3] $\mu_{Tinggi} (35) \wedge \mu_{Cepat} (35) = \text{Min} (0,0) = 0$ (Tidak aktif)

5. Agregasi

Menggunakan operator *max* untuk mengambil nilai dari hasil inferensi. Aturan yang aktif hanya [R2], sehingga fungsi *output* fuzzy hanya memiliki keanggotaan Separuh terbuka (50%) dengan derajat keanggotaan 0,5.

6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi menggunakan rumus *centroid* :

$$Output = \frac{\sum(\mu_i \times z_i)}{\sum\mu_i}$$

Keterangan :

- μ_i adalah nilai keanggotaan dari setiap aturan yang berlaku
- z_i adalah nilai *output crisp* untuk setiap aturan.

Substitusi nilai :

$\mu_{Rendah} = 0$, $z_{Rendah} = 0$

$\mu_{Sedang} = 0,5$, $z_{Sedang} = 50$

$\mu_{Tinggi} = 0$, $z_{Tinggi} = 100$

Maka :

$$Output = \frac{(0 \times 0) + (0,5 \times 50) + (0 \times 100)}{0 + 0,5 + 0} = \frac{25}{0,5} = 50$$

7. Interpretasi Hasil

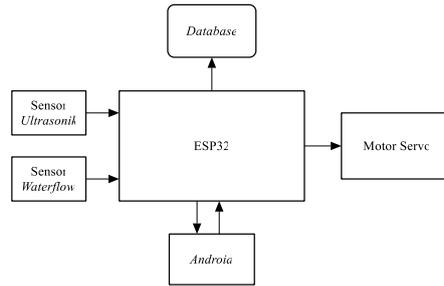
Output crisp adalah **50%**, yang berarti pintu air harus berada pada posisi **Separuh Terbuka**. Dapat disimpulkan dengan nilai *input* jarak 35 cm dan kecepatan air 35 ml/detik, logika fuzzy menunjukkan bahwa pintu air harus **Separuh Terbuka**.

3.3 Perancangan Alat

Setelah melakukan studi literatur tahapan berikutnya adalah menyusun sistem perangkat yang mencakup komponen-komponen fisik seperti sensor, aktuator, dan modul komunikasi. Selanjutnya, dilakukan perancangan prototipe yang melibatkan pengaturan posisi dan integrasi semua komponen untuk memastikan fungsionalitas dan efektivitas alat.

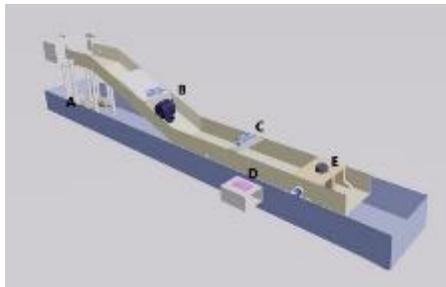
3.3.1 Perancangan Perangkat keras

Perancangan alat ini meliputi dua tahap utama: perangkat keras dan kontrol otomatis pintu air. Pada tahap perangkat keras, sistem menggunakan sensor ultrasonik dan *waterflow* untuk mengukur ketinggian dan kecepatan air. Ketika nilai sensor melebihi ambang batas, mikrokontroler mengirim sinyal PWM ke motor servo untuk menyesuaikan sudut bukaan pintu air, memastikan ketinggian air tetap dalam batas aman melalui penyesuaian otomatis yang berkelanjutan



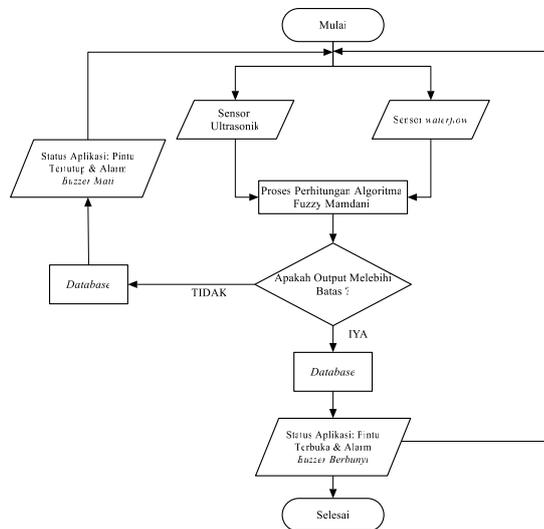
Gambar 6. Diagram blok perangkat keras

Prototipe bendungan ini terdiri dari talang air besar sebagai penampung dan talang kecil sebagai saluran, dengan aliran air digerakkan oleh motor DC. Sistem otomatisnya mendeteksi ketinggian dan kecepatan air melalui sensor ultrasonik dan waterflow. Data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan logika fuzzy Mamdani untuk menentukan sudut bukaan pintu air. Motor servo mengatur pintu air sesuai sinyal PWM yang diterima, memastikan ketinggian air tetap aman.



Gambar 7. Prototipe pintu air

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 8. Alur sistem perangkat lunak

Proses dimulai dengan membaca data dari sensor ultrasonik dan aliran air, lalu diproses menggunakan algoritma fuzzy Mamdani. Hasil perhitungan dikirim ke database dan perangkat lunak untuk memeriksa status. Jika nilai *output* melebihi batas, pintu terbuka dan alarm berbunyi; jika tidak, pintu tetap tertutup dan alarm mati. Status disimpan dalam database dan ditampilkan pada aplikasi. Berikut adalah tampilan aplikasi yang akan digunakan untuk sistem monitoring.



Gambar 9. Tampilan aplikasi android

Untuk membantu pemantauan dan kontrol melalui perangkat *Smartphone*, maka dibuat aplikasi menggunakan kodular dengan tampilan yang dirancang sedemikian rupa. Pertama, terdapat indikator visual yang menunjukkan hasil perhitungan dari sensor *ultrasonik* dan *flowrate*. Indikator ini berupa lingkaran dengan warna hijau untuk menunjukkan pintu tertutup, warna kuning untuk pintu yang setengah terbuka, dan warna merah untuk pintu yang terbuka sepenuhnya. Di bawah indikator warna ini, terdapat tombol saklar on/off yang berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan mode pembukaan pintu air otomatis. Di bagian bawah, terdapat area kontrol manual di mana terdapat alamat IP yang akan terlihat otomatis jika sudah terkoneksi pada jaringan yang sama, kemudian pengguna memilih derajat pembukaan pintu air atau menutupnya secara manual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Skenario Pada Perangkat keras

Dari hasil pengujian menggunakan metode Black Box, sebanyak 9 skenario telah dilakukan untuk menguji respon sistem terhadap kondisi ketinggian air dan kecepatan aliran. Hasil menunjukkan bahwa setiap skenario menghasilkan *output* sesuai dengan aturan *fuzzy Mamdani* yang diterapkan. Tabel 1 menunjukkan bahwa keseluruhan skenario berhasil tanpa adanya kegagalan. Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan status pintu air dengan akurat sesuai kondisi ketinggian air dan laju aliran. Semakin tinggi ketinggian air dan semakin cepat kecepatan aliran, maka pintu air semakin terbuka, sementara dalam kondisi air rendah dan aliran lambat, pintu tetap tertutup.

Tabel 1. Pengujian *black box*

No	Skenario	Output Pintu Air	Keterangan
1	Jika ketinggian air = rendah dan kecepatan air = lambat maka pintu = tertutup.	Tertutup	Berhasil
2	Jika ketinggian air = rendah dan kecepatan air = sedang maka pintu = tertutup	Tertutup	Berhasil
3	Jika ketinggian air = rendah dan kecepatan air = cepat maka pintu = separuh terbuka	Separuh terbuka	Berhasil
4	Jika ketinggian air = sedang dan kecepatan air = lambat maka pintu = tertutup	Tertutup	Berhasil
5	Jika ketinggian air = sedang dan kecepatan air = sedang maka pintu = separuh terbuka	Separuh terbuka	Berhasil
6	Jika ketinggian air = sedang dan kecepatan air = cepat maka pintu = terbuka	Terbuka	Berhasil
7	Jika ketinggian air = tinggi dan kecepatan air = lambat maka pintu = separuh terbuka	Separuh terbuka	Berhasil
8	Jika ketinggian air = tinggi dan kecepatan air = sedang maka pintu = terbuka	Terbuka	Berhasil

No	Skenario	Output Pintu Air	Keterangan
9	Jika ketinggian air = tinggi dan kecepatan air = cepat maka pintu = terbuka.	Terbuka	Berhasil
Berhasil :		9	
Gagal :		0	

4.2 Hasil Pengujian Perangkat Lunak

Hasil pengujian perangkat lunak menggunakan metode *White Box* menunjukkan bahwa data yang diterima oleh sensor ultrasonik dan *waterflow* sesuai dengan *output* yang ditampilkan dalam sistem. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai yang ditampilkan di *Arduino IDE*, *Firestore (database cloud)*, dan aplikasi *smartphone*.

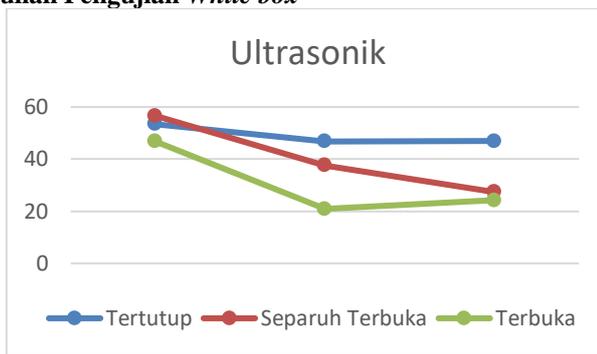
Tabel 4.6 menunjukkan bahwa status pintu air yang dihasilkan sistem selalu sesuai dengan rentang nilai yang telah ditentukan dalam kode pemrograman, menandakan bahwa sistem bekerja secara terintegrasi dengan baik antara sensor, platform *cloud*, dan aplikasi pemantauan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fluktuasi ketinggian air dan kecepatan aliran berpengaruh terhadap perubahan kondisi pintu air, sebagaimana ditampilkan dalam Grafik Hasil Pengujian. Pada kondisi pintu tertutup, ketinggian air stabil di atas 50 mm dengan aliran rendah. Sementara pada kondisi terbuka penuh, aliran meningkat signifikan dan fluktuasi lebih sering terjadi. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat menyesuaikan kondisi air secara *real-time*.

Tabel 2. Pengujian White box

No	Skenario	Sensor Ultrasonik	Sensor Waterflow	Status Pintu Air
1	R1	53,38 mm	3,60 L/m	Tertutup
2	R2	46,75 mm	3,46 L/m	Tertutup
3	R3	56,61 mm	9,01 L/m	Separuh Terbuka
4	R4	46,92 mm	3,60 L/m	Tertutup
5	R5	37,06 mm	7,20 L/m	Separuh Terbuka
6	R6	46,75 mm	10,93 L/m	Terbuka
7	R7	27,37 mm	3,33 L/m	Separuh Terbuka
8	R8	20,91 mm	6,40 L/m	Terbuka
9	R9	24,14 mm	9,60 L/m	Terbuka

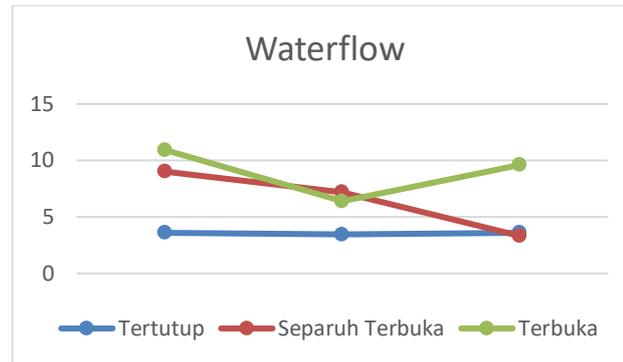
Tabel hasil menunjukkan bahwa nilai *output* dari sensor ultrasonik dan *waterflow* menghasilkan status pintu air yang sesuai dengan rentang yang diterapkan dalam kode pemrograman. Selain itu, nilai *output* yang ditampilkan pada database konsisten dengan nilai *output* pada *Arduino IDE*, dan nilai yang ditampilkan pada aplikasi *smartphone* juga sesuai dengan data pada database, menunjukkan kesesuaian di seluruh sistem.

4.3 Grafik Hasil Keseluruhan Pengujian White box



Gambar 10. Grafik hasil pengujian sensor ultrasonik

Pada kondisi tertutup (biru), nilai sensor ultrasonik stabil sedikit di atas 50 mm, menunjukkan ketinggian air yang rendah tanpa banyak perubahan. Pada kondisi separuh terbuka (merah), nilai hampir mencapai 60 mm dan ketinggian air meningkat hingga 37 mm sebelum turun ke 27 mm, mengindikasikan pintu air yang mungkin terbuka meskipun volume air menurun akibat pengaruh kecepatan air. Di kondisi terbuka (hijau), nilai mulai pada 46 mm dan meningkat drastis hingga 20 mm di titik kedua, meskipun terjadi penurunan sedikit mendekati 30 mm di akhir, mencerminkan fluktuasi nilai pengukuran akibat faktor kecepatan air saat pintu air terbuka penuh.



Gambar 11. Grafik hasil pengujian sensor *waterflow*

Pada kondisi tertutup (biru), laju aliran air stabil di sekitar 4 L/m, menunjukkan aliran yang sangat rendah. Di kondisi separuh terbuka (oranye), laju aliran mulai dari 9 L/m dan menurun bertahap menjadi 4 L/m, mencerminkan bahwa pintu air yang separuh terbuka tetap menyebabkan penurunan laju aliran air meskipun dipengaruhi faktor ketinggian air. Dalam kondisi terbuka (abu-abu), laju aliran dimulai dari 11 L/m, menunjukkan aliran tinggi saat pintu terbuka penuh, sebelum turun ke 6 L/m dan kembali meningkat ke 9 L/m. Ini menunjukkan bahwa meskipun aliran awalnya tinggi, fluktuasi tetap terjadi saat pintu air terbuka penuh.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah yang diidentifikasi, sistem kontrol otomatis pada pintu air bendungan berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem ini memantau ketinggian dan laju aliran air secara real-time menggunakan sensor ultrasonik dan flow sensor, dengan data yang dikirim ke platform cloud Firebase untuk pengawasan jarak jauh. Kontrol pintu air dilakukan secara otomatis melalui aktuator servo yang menyesuaikan posisi buka-tutup pintu sesuai kondisi air. Selain itu, metode fuzzy Mamdani diterapkan untuk memproses data guna menentukan status bukaan pintu secara otomatis, dengan kemampuan untuk menangani ketidakpastian dan memberikan respons fleksibel terhadap perubahan kondisi, seperti banjir atau fluktuasi volume air. Prototipe ini telah berhasil diuji dengan menjalankan 9 skenario berbeda, dengan setiap skenario menghasilkan *output* yang sesuai dengan kondisi yang diharapkan, menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan akurat dan efisien. Dengan prototipe ini petugas pintu air diharapkan dapat memprediksi ketinggian air dan mengatur pintu air secara otomatis melalui aplikasi yang telah tersedia.

REFERENSI

- [1] M. Riski, A. Fathana, dan R. Mukhaiyar, "Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Berbasis Arduino dan Monitoring menggunakan Android," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 5, no. 1, hlm. 81–89, 2024.
- [2] H. Wigung Nugroho, M. Syarifuddin Zuhrie, dan N. Kholis, "Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Berbasis Kontroller Logika Fuzzy," *Jurnal Teknik Elektro*, 2021.
- [3] D. Kurniawan dan S. Doni Ramdan, "Pintu Air Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal Rapoteknologi*, vol. 2, no. 2, hlm. 1, 2022.
- [4] S. B. Sudaryoto dan S. Zuhrie, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Ketinggian Air Bendungan Berbasis Fuzzy Logic Controller," *Jurnal Teknik Elektro*, 2019.
- [5] F. M. Rizaldi dan A. Sujjada, "Prototype Sistem Buka Tutup Pintu Air Otomatis Menggunakan Prakiraan Cuaca," 2022.
- [6] M. F. Rahman dan F. Yanti, "Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Optimisasi Produksi Mebel Menggunakan Metode Mamdani," *Jurnal Informatika MULTI*, vol. 1, no. 3, 2023.
- [7] B. Khuri, A. Alfari, T. Hastono, dan W. N. Aziza, "Penentuan Bonus Karyawan Menggunakan Fuzzy Mamdani (Studi Kasus PT. ABC)," *Mars : Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 2, 2024.
- [8] E. Barus dan Sahputra, "Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Berbasis Internet of Things," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIKOMSI)*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–8, 2023.
- [9] B. Aji dan M. Kelviandy, "Pemanfaatan RFID dalam Sistem Keamanan Motor Berbasis Arduino (Radio Frequency Identification)," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 2023.

-
- [10] I. K. C. Arta, A. Febriyanto, I. B. M. H. A. Nugraha, I. G. S. Widharma, dan I. B. I. Purnama, "Animal Tracking Berbasis Internet of Things," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 1, hlm. 7, Jul 2022.
- [11] P. Prasetyawan, S. Samsugi, dan R. Prabowo, "Internet of Thing Menggunakan Firebase dan Nodemcu untuk Helm Pintar," *Jurnal ELTIKOM*, vol. 5, no. 1, hlm. 32–39, Mar 2021.
- [12] B. Kusumo dan T. Ardiansyah, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler ESP32," 2024.
- [13] M. F. Azhar dan L. Nurpulaela, "Implementasi Penggunaan ESP32 Sebagai IoT Pada Project Smart Charger di PT. Pasifik Satelit Nusantara Bekasi," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, Agu 2024.
- [14] R. W. Pradana, G. Febriyani Pratiwi, dan T. N. Arifin, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Ketinggian Air Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik (HC-SR04) Berbasis Arduino UNO Dengan Antarmuka Komputer Berbasis Microsoft Visual Basic 6.0," *JTS*, vol. 3, no. 1, 2024.
- [15] W. Angga, W. Kusuma, dan S. Santoso, "Analisa Performa Motor Hy-2750b, Motor Mg995, Motor Ds3225mg, dan Motor 24h2a4428 sebagai Penggerak Portable Continuous Passive Motion (CPM)," *Elektrika*, vol. 15, no. 1, hlm. 49–54, 2023.
- [16] Y. Darnita, A. Disrise, dan R. Toyib, "Prototype_Alut_Pendeksi_Kebakaran_Menggunakan_Arduino," *Jurnal Informatika Upgris*, Jun 2021.
- [17] S. Ardhi, T. Gunawan, S. Tjandra, dan G. L. Dewi, "Penerapan Metode Regresi Linear dalam Pengembangan Pengukuran Aliran Air pada Sensor YF-S201," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 26, no. 1, hlm. 10–21, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://univ45sby.ac.id/ejournal/index.php/industri/index>
- [18] Y. M. Djaksana dan K. Gunawan, "Perancangan Sistem Monitoring dan Kontroling Pompa Air Berbasis Android," *Science and Technology (SINTECH Journal)*, 2021.