



Rancang Bangun Prototipe *Smart Flood Gate* Berbasis Fuzzy Mamdani dan Multi Sensor

Annisa Siti Farikha Ramlan^{*1}, Trisiani dewi Hendrawati²

Email: ¹annisafarikha91@gmail.com, ²trisiani.dewi@nusaputra.ac.id

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Komputer, dan Desain, Universitas Nusa Putra.

Diterima: 21 Juli 2026 | Direvisi: - | Disetujui: 17 Agustus 2026
©2020 Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Muhammadiyah Riau, Indonesia

6

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem tanggul adaptif otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani menggunakan multi-sensor sebagai bagian dari mata kuliah *Capstone Design*. Sistem memanfaatkan sensor ultrasonik untuk ketinggian air, sensor hujan, dan sensor suhu sebagai input, serta motor servo sebagai aktuator penggerak *gate*. Metode fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan kondisi tanggul berdasarkan tiga kategori, yaitu aman, waspada, dan bahaya. Hasil pengujian prototipe menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki rata-rata galat pengukuran sebesar $\pm 1,2$ cm dibandingkan pengukuran manual. Sistem mampu merespons perubahan ketinggian air dengan waktu respons rata-rata 1,8 detik. *Gate* berhasil bergerak sesuai aturan fuzzy dengan tingkat keberhasilan 100% pada 15 skenario pengujian. Selain itu, sistem mampu mengklasifikasikan kondisi banjir dengan akurasi keputusan sebesar 93,3%. Sistem juga dapat dimonitoring menggunakan aplikasi Blynk secara *realtime*. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa prototipe sistem tanggul adaptif berbasis logika fuzzy Mamdani ini mampu bekerja dengan baik sebagai sistem pengendalian *gate* skala laboratorium dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi nyata.

Kata kunci: *Tanggul adaptif, flood gate otomatis, logika fuzzy Mamdani, multi-sensor, prototipe*

Design and Development of a Smart Flood Gate Prototype Based on Mamdani Fuzzy Logic and Multiple Sensors

Abstract

This study aims to design and implement a prototype of an adaptive automatic flood gate system based on Mamdani fuzzy logic using multi-sensor input, developed as part of a *Capstone Design* course. The system employs an ultrasonic sensor to measure water level, a rain sensor, and a temperature sensor as inputs, while a servo motor acts as the gate actuator. Mamdani fuzzy logic is applied to determine gate conditions classified into safe, alert, and danger levels. Experimental results show that the ultrasonic sensor achieves an average measurement error of ± 1.2 cm compared to manual measurements. The system responds to water level changes with an average response time of 1.8 seconds. The flood gate operates correctly according to fuzzy rules with a 100% success rate across 15 test scenarios. Furthermore, the system demonstrates a decision accuracy of 93.3% in classifying flood conditions. The system can also be monitored in real time using the Blynk application. These results indicate that the proposed prototype performs effectively as a laboratory-scale flood gate control system and has potential for further development toward real-world implementation.

Keywords: *Adaptive flood gate, automatic flood gate, Mamdani fuzzy logic, multi-sensor, prototype*

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrometeorologis dengan frekuensi kejadian tertinggi di Indonesia, terutama di kawasan permukiman bantaran sungai yang rentan terhadap luapan air secara mendadak [1]. Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa ribuan kejadian banjir terjadi setiap tahun dan menyebabkan kerusakan infrastruktur yang signifikan, gangguan aktivitas sosial dan ekonomi, serta korban jiwa akibat ketinggian air yang ekstrem [2]. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain intensitas curah hujan yang tinggi, perubahan pola iklim global, serta keterbatasan sistem drainase dan mitigasi struktural di tingkat lokal [3].

Upaya mitigasi banjir dalam satu dekade terakhir banyak difokuskan pada pengembangan sistem peringatan dini berbasis sensor dan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau ketinggian air secara *real-time* [4]. Beberapa penelitian di wilayah Binjai dan Malang berhasil mengimplementasikan NodeMCU ESP32 dengan sensor ultrasonik untuk memberikan notifikasi otomatis melalui aplikasi mobile, yang terbukti mampu meningkatkan kecepatan respons masyarakat hingga 40% [5]. Meskipun demikian, sistem tersebut umumnya bersifat reaktif dan hanya menyediakan informasi tanpa mekanisme proteksi fisik secara langsung, sehingga efektivitasnya masih sangat bergantung pada respons manusia [6].

Dalam praktiknya, respons terhadap peringatan banjir sering kali mengalami keterlambatan, khususnya pada kejadian banjir bandang di malam hari atau ketika masyarakat tidak berada dalam kondisi siaga. Hal ini berpotensi memperbesar kerugian material dan meningkatkan risiko keselamatan [7]. Beberapa penelitian telah mengembangkan prototipe penghalang air otomatis menggunakan aktuator servo, namun sebagian besar masih menerapkan kontrol biner berbasis satu parameter, yaitu ketinggian air. Pendekatan tersebut kurang adaptif terhadap dinamika lingkungan seperti intensitas hujan, fluktuasi suhu, dan ketidakpastian debit air, sehingga rentan menghasilkan kesalahan keputusan (*false positive* maupun *false negative*), terutama pada kondisi iklim tropis dengan curah hujan yang sangat variatif [8].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan prototipe sistem tanggul adaptif otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani dengan integrasi multi-sensor, yaitu sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, sensor hujan untuk mendeteksi intensitas presipitasi, serta sensor suhu DHT sebagai parameter lingkungan pendukung. Metode fuzzy Mamdani dipilih karena kemampuannya menangani ketidakpastian input melalui representasi linguistik (rendah, sedang, tinggi) dan aturan *if-then* yang menyerupai proses pengambilan keputusan manusia, sehingga lebih fleksibel dibandingkan metode kontrol konvensional.

Penelitian ini memiliki keterkaitan erat dengan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 11: *Sustainable Cities and Communities*, SDG 13: *Climate Action*, serta SDG 9: *Industry, Innovation and Infrastructure*. Pengembangan *Smart Flood Gate* yang mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan dan pengendalian pintu air secara adaptif merupakan salah satu bentuk pemanfaatan teknologi untuk mendukung upaya mitigasi risiko bencana banjir dan meningkatkan ketahanan kawasan permukiman terhadap bencana, sejalan dengan target SDG 11 dalam mewujudkan kota dan komunitas yang aman, tangguh, dan berkelanjutan. Selain itu, pemanfaatan data ketinggian air, intensitas hujan, dan suhu sebagai parameter pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy Mamdani mendukung SDG 13 melalui penerapan teknologi adaptasi terhadap dampak perubahan iklim dan peningkatan kesiapsiagaan terhadap bencana hidrometeorologi. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem kendali otomatis, multi-sensor, serta penggunaan sumber energi alternatif berupa panel surya juga berkaitan dengan SDG 9 melalui pengembangan inovasi teknologi dan infrastruktur cerdas yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem kendali dan otomasi, tetapi juga mendukung penerapan teknologi untuk meningkatkan ketahanan terhadap bencana dan pembangunan yang berkelanjutan.

Penelitian ini juga dikembangkan dalam konteks *capstone design* pada skala laboratorium, sehingga sistem yang dirancang berfungsi sebagai *proof of concept* dan bukan untuk implementasi langsung di sungai nyata. Fokus utama penelitian ini adalah memvalidasi desain sistem, metode pengendalian fuzzy, serta integrasi antara sensor, mikrokontroler ESP32, dan aktuator mekanik dalam satu kesatuan sistem yang responsif dan adaptif juga dilengkapi dengan aplikasi monitoring yang dapat dipantau secara *realtime*. Keterbaruan penelitian ini terletak pada penerapan multi-sensor sebagai parameter input, penggunaan logika fuzzy Mamdani sebagai metode pengambilan keputusan, serta integrasi langsung dengan aktuator untuk menghasilkan aksi fisik otomatis, sehingga sistem tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga bersifat adaptif dalam pengendalian tanggul.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan implementasi prototipe yang dikembangkan pada skala laboratorium sebagai bagian dari kegiatan *Capstone Design*. Sistem yang dirancang berupa *smart flood gate* atau tanggul otomatis yang mampu menyesuaikan posisi bukaan *gate* berdasarkan kondisi lingkungan secara adaptif menggunakan logika fuzzy Mamdani [9]. Perancangan sistem mencakup perancangan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), serta model pengambilan keputusan berbasis fuzzy.

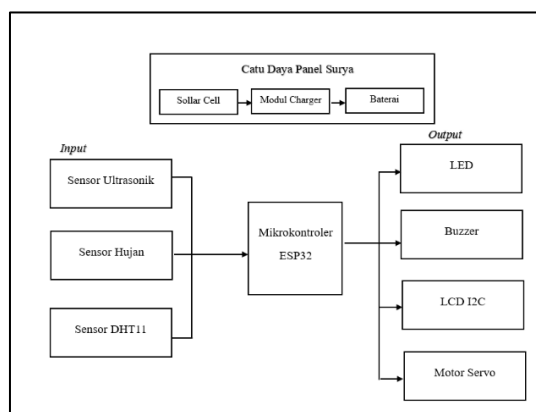
Posisi bukaan *gate* berdasarkan kondisi lingkungan secara adaptif menggunakan logika fuzzy Mamdani. Perancangan sistem mencakup perancangan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), serta model pengambilan keputusan berbasis fuzzy. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam pengembangan prototipe *smart flood gate* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras

Spesifikasi	Keterangan
Modul Mikrokontroler	ESP32 (Mikrokontroler berbasis IoT, mendukung komunikasi LoRa dan Wi-Fi)
Sensor	- Sensor ketinggian air (untuk mendeteksi level air) - Sensor hujan (untuk mendeteksi intensitas hujan) - Sensor suhu DHT11 (untuk membaca suhu lingkungan)
Aktuator	Motor Servo SG90 (sebagai penggerak tanggul otomatis)
Catu Daya	Panel Surya dengan baterai Lithium-Ion 3.7V, dilengkapi boost converter untuk meningkatkan tegangan menjadi 5V
Media Jaringan	Wi-Fi / Ethernet (untuk koneksi <i>gateway</i> ke <i>server</i> atau platform IoT)
Media Tampilan	LCD I2C 16x2 / 20x4 (untuk menampilkan status sistem dan data sensor secara lokal)
Kabel	- Jumper <i>Male to Male</i> - Jumper <i>Male to Female</i> - Jumper <i>Female to Female</i>
Bahan Tambahan	- Resistor - Modul <i>Charger</i> - Breadboard atau PCB

Tabel 1. menunjukkan bahwa sistem dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dan pengambilan keputusan. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian permukaan air, sensor hujan untuk mendeteksi intensitas presipitasi, dan sensor suhu DHT11 untuk membaca kondisi lingkungan pendukung. Data dari ketiga sensor ini menjadi input utama dalam sistem pengambilan keputusan berbasis fuzzy. Output sistem berupa motor servo yang menggerakkan *gate*/tanggul secara otomatis, disertai indikator LED dan buzzer sebagai penanda kondisi sistem.

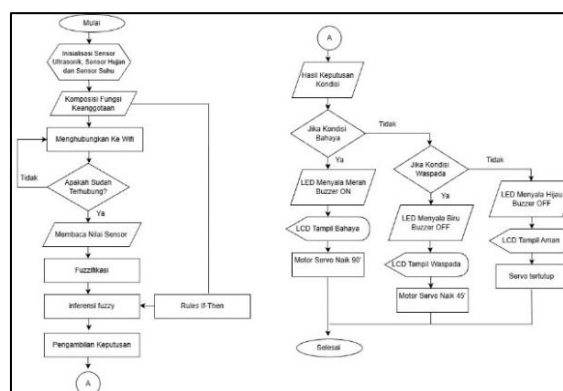
Berikut ini blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem *smart flood gate*. Pada diagram tersebut, sensor ultrasonik, sensor hujan, dan sensor suhu terhubung ke ESP32 sebagai unit pemrosesan utama. Data sensor diproses menggunakan algoritma logika fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kondisi banjir. Hasil keputusan fuzzy kemudian digunakan untuk mengendalikan posisi motor servo yang berfungsi sebagai aktuator pembuka dan penutup *gate*. Informasi status sistem juga ditampilkan pada LCD secara *real-time* untuk monitoring lokal.

Berikut ini diagram alir sistem dapat dilihat pada Gambar 2.

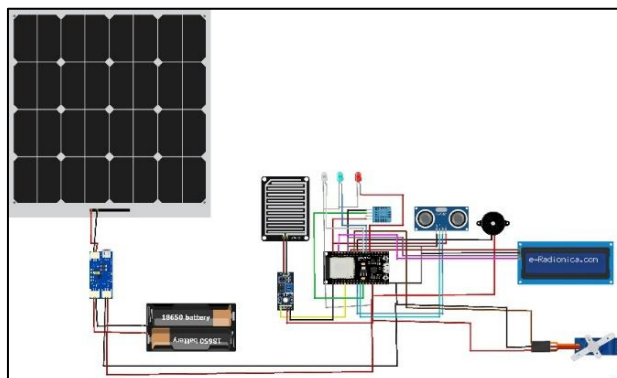


Gambar 2. Diagram Alir Sistem

Alur kerja sistem divisualisasikan melalui *flowchart* pada Gambar 2.2. Proses dimulai dengan inisialisasi seluruh sensor dan konfigurasi ESP32. Setelah sistem aktif, ESP32 membaca data dari sensor ultrasonik, hujan, dan suhu secara periodik. Data yang diperoleh selanjutnya diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai keputusan.

Berdasarkan hasil tersebut, sistem menentukan kondisi aman, waspada, atau bahaya, kemudian menyesuaikan sudut bukaan motor servo sebagai respon fisik terhadap kondisi yang terdeteksi. Proses ini berjalan secara berulang (*looping*) untuk memastikan sistem selalu adaptif terhadap perubahan lingkungan.

Berikut ini rangkaian elektronika keseluruhan (*wiring*) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Elektronika Keseluruhan

Rangkaian elektronik keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.3, yang menggambarkan hubungan fisik antar komponen sistem. Sensor-sensor dihubungkan ke pin input ESP32, sedangkan motor servo terhubung ke pin PWM sebagai output kendali. LCD dan indikator tambahan digunakan untuk memberikan informasi visual dan peringatan langsung di lokasi pengujian. Konfigurasi rangkaian ini memungkinkan integrasi sensor, pengolah data, dan aktuator dalam satu sistem kendali yang kompak dan efisien.

2.2 Model Logika Fuzzy

Model logika fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini adalah logika fuzzy Mamdani, yang dirancang untuk mengolah data multi-sensor dan menghasilkan keputusan kendali posisi gate secara adaptif [10]. Variabel input dalam sistem ini meliputi ketinggian air, intensitas hujan, dan suhu lingkungan, sedangkan variabel output merepresentasikan tingkat bukaan gate atau status kondisi banjir.

Setiap variabel input dan output direpresentasikan dalam bentuk himpunan linguistik dengan rentang nilai tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Himpunan Fuzzy

Parameter	Himpunan Fuzzy	Rentang Nilai
Ketinggian Air	Rendah	[0, 0, 4, 8]
	Sedang	[4, 8, 10, 14]
	Tinggi	[10, 14, 20, 20]
Intensitas Hujan	kering	[3000, 3000, 3500, 4095]
	Gerimis	[1800, 2200, 2800, 3200]
	Hujan	[0, 0, 1800, 2200]
Suhu (°C)	Dingin	[0, 0, 20, 25]
	Normal	[20, 25, 30, 35]
	Panas	[30, 35, 45, 50]
Output (<i>Gate</i>)	Aman	0°
	Waspada	45°
	Bahaya	90°

Fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk trapesium dan segitiga untuk mempermudah proses komputasi serta tetap merepresentasikan kondisi nyata secara akurat. Proses inferensi fuzzy menggunakan aturan IF–THEN Mamdani dengan total 27 aturan, yang merupakan kombinasi dari tiga variabel input. Hasil inferensi kemudian diproses menggunakan metode defuzzifikasi *Centroid of Area* (COA) untuk menghasilkan nilai tegas yang digunakan sebagai dasar pengendalian motor servo.

Model fuzzy ini memungkinkan sistem melakukan pengambilan keputusan secara adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, tidak hanya berdasarkan satu parameter, tetapi melalui kombinasi multi-sensor. Dengan demikian, sistem *smart flood gate* yang dirancang mampu memberikan respon kendali yang lebih fleksibel, stabil, dan menyerupai cara berpikir manusia dalam menghadapi ketidakpastian kondisi banjir.

Fungsi keanggotaan yang digunakan berbentuk trapesium dan segitiga untuk mempermudah proses komputasi serta tetap merepresentasikan kondisi nyata secara akurat. Proses inferensi fuzzy menggunakan aturan IF–THEN Mamdani dengan total 27 aturan, yang merupakan kombinasi dari tiga variabel input. Hasil inferensi kemudian diproses menggunakan metode defuzzifikasi *Centroid of Area* (COA) untuk menghasilkan nilai tegas yang digunakan sebagai dasar pengendalian motor servo.

Model fuzzy ini memungkinkan sistem melakukan pengambilan keputusan secara adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, tidak hanya berdasarkan satu parameter, tetapi melalui kombinasi multi-sensor. Dengan demikian, sistem smart flood gate yang dirancang mampu memberikan respon kendali yang lebih fleksibel, stabil, dan menyerupai cara berpikir manusia dalam menghadapi ketidakpastian kondisi banjir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem pada penelitian *Smart Flood Gate* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan logika fuzzy Mamdani bertujuan untuk mengevaluasi kinerja setiap komponen serta menilai kemampuan sistem dalam mengambil keputusan bukaan pintu air secara adaptif. Pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengujian sensor secara individual, pengujian aktuatur *flood gate*, pengujian sistem logika fuzzy, serta pengujian integrasi keseluruhan sistem.

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan visualisasi prototipe untuk memberikan gambaran yang objektif dan terukur terhadap performa sistem yang dikembangkan.

3.1. Pengujian Sensor Ultrasonik (Ketinggian Air)

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam mengukur ketinggian permukaan air sebagai parameter utama dalam pengendalian flood gate. Sensor bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu pantulan (echo) untuk menentukan jarak antara sensor dan permukaan air.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan mistar ukur pada beberapa variasi ketinggian air. Hasil pengujian sensor ultrasonik disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Jarak Referensi (cm)	Jarak Sensor (cm)	Selisih (°C)	Error (%)
1	10.0	10.2	0.2	2.00 %
2	15.0	15.1	0.1	0.67 %
3	20.0	20.3	0.3	1.50 %
4	25.0	24.8	0.2	0.80 %
5	30.0	30.1	0.1	0.33 %
Rata-rata				1.06 %

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, sensor ultrasonik menunjukkan selisih pengukuran yang relatif kecil dengan rata-rata error sebesar 2,73%, sehingga sensor dinilai cukup akurat dan stabil untuk digunakan sebagai input utama dalam sistem Smart Flood Gate.

3.2. Pengujian Sensor Hujan

Pengujian sensor hujan dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor dalam mendeteksi intensitas hujan sebagai salah satu variabel input logika fuzzy. Sensor hujan bekerja dengan mendeteksi perubahan resistansi akibat adanya air pada permukaan sensor.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi kondisi yang merepresentasikan hujan ringan hingga hujan lebat. Hasil pengujian sensor hujan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Hujan

No	Kondisi Lingkungan	Nilai Sensor (ADC)	Kategori
1	Kering	4095	Tidak Hujan
2	Ditetsi air	2126	Gerimis
3	Diguyur air	1569	Hujan Lebat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor hujan mampu membedakan intensitas hujan secara konsisten. Perubahan nilai sensor berbanding terbalik dengan peningkatan intensitas hujan, sehingga sensor ini layak digunakan sebagai parameter pendukung dalam sistem fuzzy.

3.3. Pengujian Sensor Suhu (DHT11)

Sensor DHT11 digunakan untuk memantau suhu lingkungan yang berpengaruh terhadap kondisi cuaca. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT11 terhadap termometer digital sebagai alat ukur referensi. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor DHT11

No	Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1	26.0	25.8	0.2	0.78 %
2	26.0	26.0	0.0	0.00 %

No	Suhu Sensor (°C)	Suhu Referensi (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
3	26.2	26.0	0.2	0.77 %
4	25.9	26.0	0.1	0.38 %
5	26.1	26.0	0.1	0.38 %
Rata-rata				0.46 %

Rata-rata *error* pengukuran sensor DHT11 sebesar 1,43%, menunjukkan bahwa sensor ini cukup akurat dan stabil untuk digunakan dalam sistem.

3.4. Pengujian Aktuator *Flood Gate*

Aktuator *flood gate* menggunakan motor servo yang dikendalikan oleh ESP32. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah sudut bukaan *gate* sesuai keluaran sistem fuzzy, yaitu 0°, 45°, dan 90°.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor servo mampu mencapai sudut bukaan yang diperintahkan dengan respons cepat dan tanpa penyimpangan signifikan. Hal ini membuktikan bahwa aktuator dapat bekerja secara presisi dalam mengendalikan mekanisme pintu air.

3.5. Pengujian Sistem Logika Fuzzy

Pengujian sistem fuzzy dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil keluaran antara simulasi MATLAB dan implementasi pada ESP32. Variabel input berupa ketinggian air, intensitas hujan, dan suhu, sedangkan output berupa sudut bukaan *flood gate*. Hasil pengujian sistem logika fuzzy dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Output Fuzzy MATLAB dan ESP32

No	Tinggi	Hujan	Suhu	Matlab	Servo	Status
1	25 cm	Kering	26 ⁰	5.2	0	Aman
2	55 cm	Gerimis	28 ⁰	46.8	45	Waspada
3	85 cm	Hujan	30 ⁰	88.5	90	Bahaya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran sistem fuzzy pada ESP32 memiliki kesesuaian yang tinggi dengan hasil simulasi MATLAB, dengan selisih sudut bukaan yang masih dalam batas toleransi.

3.6. Pengujian Integrasi Keseluruhan Sistem

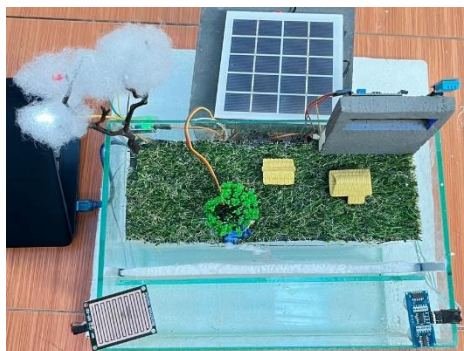
Pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem, mulai dari sensor, mikrokontroler, aktuator, hingga sistem monitoring IoT, bekerja secara terpadu. Sistem diuji pada beberapa skenario simulasi banjir dengan variasi input sensor.

Bentuk fisik prototipe *Smart Flood Gate* yang digunakan dalam pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar tersebut memperlihatkan susunan sensor, mekanisme gate, motor servo, serta unit kontrol ESP32 yang terintegrasi dalam satu sistem.



Gambar 4. Prototipe Sistem

Berikut ini tampilan prototipe sistem tampak atas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Prototipe Sistem Tampak Atas

Berikut ini tampilan LCD sudah berfungsi pada sistem dapat dilihat pada Gambar 6.

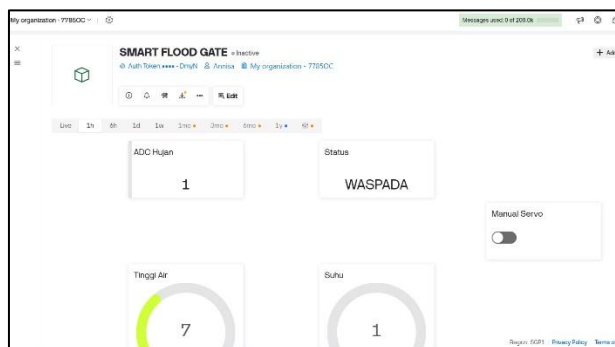


Gambar 6. Tampilan LCD

Hasil pengujian LCD 16×2 menunjukkan bahwa modul LCD berhasil menampilkan informasi yang dikirimkan oleh mikrokontroler dengan baik. Berdasarkan hasil pengujian, LCD mampu menampilkan nilai pembacaan sensor berupa kelembapan udara sebesar 25% pada baris pertama dengan keterangan "Air: 3 Su: 25", serta menampilkan status sistem "AMAN" pada baris kedua. Tampilan tersebut menunjukkan bahwa proses komunikasi antara mikrokontroler dan LCD berjalan normal, sehingga informasi hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan secara real-time. Status "AMAN" mengindikasikan bahwa kondisi yang terdeteksi oleh sistem masih berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sehingga tidak diperlukan tindakan pembukaan pintu air maupun aktivasi alarm. Dengan demikian, LCD berfungsi sebagai media antarmuka (*user interface*) yang efektif dalam menyampaikan informasi kondisi lingkungan dan status sistem kepada pengguna secara langsung.

3.7 Pengujian sistem aplikasi blynk secara *realtime*

Berikut ini Pengujian sistem aplikasi blynk secara *realtime* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Blynk

Pengujian aplikasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu menampilkan data sensor dan status sistem secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, dashboard berhasil menampilkan nilai ADC sensor hujan sebesar 1, nilai ketinggian air sebesar 7 cm, serta nilai suhu yang diterima dari sensor. Berdasarkan data tersebut, sistem memberikan keputusan berupa status "WASPADA", yang menunjukkan bahwa kondisi lingkungan telah memasuki tingkat kewaspadaan sesuai dengan aturan inferensi Fuzzy Mamdani yang diterapkan. Selain fungsi monitoring, aplikasi juga menyediakan fitur pengendalian manual servo yang dapat digunakan sebagai alternatif kontrol pintu air apabila dibutuhkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengiriman data dari mikrokontroler ke aplikasi berlangsung secara stabil, seluruh

parameter dapat ditampilkan dengan benar, dan fitur kendali manual berfungsi sesuai dengan rancangan sistem. Dengan demikian, aplikasi telah memenuhi fungsinya sebagai media monitoring dan pengendalian *Smart Flood Gate* berbasis IoT secara efektif.

3.8 Pembahasan Hasil

Berdasarkan seluruh tahapan pengujian, sistem *Smart Flood Gate* mampu bekerja secara adaptif dalam merespons perubahan kondisi lingkungan. Integrasi multi-sensor memberikan informasi yang lebih komprehensif sehingga keputusan pembukaan pintu air menjadi lebih akurat dibandingkan sistem berbasis ambang batas tunggal.

Penerapan logika fuzzy Mamdani memungkinkan sistem menangani ketidakpastian data lingkungan dan menghasilkan keputusan yang fleksibel. Dengan keluaran berupa sudut bukaan gate 0°, 45°, dan 90°, sistem dapat mengatur aliran air secara bertahap dan terkontrol.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prototipe *Smart Flood Gate* berbasis IoT telah berhasil diimplementasikan dengan baik sebagai *proof of concept* dalam konteks mata kuliah *Capstone Design* dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala lapangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *Smart Flood Gate berbasis Internet of Things* (IoT) dengan logika fuzzy Mamdani berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu mengintegrasikan sensor ultrasonik, sensor hujan, dan sensor suhu sebagai input untuk menentukan sudut bukaan pintu air secara adaptif melalui metode logika fuzzy.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa masing-masing sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai *error* yang relatif kecil, sehingga layak digunakan sebagai sumber data dalam pengambilan keputusan sistem. Aktuator *flood gate* berupa motor servo mampu merespons keluaran sistem fuzzy dengan presisi pada sudut bukaan 0°, 45°, dan 90°, sesuai dengan kondisi Aman, Waspada, dan Bahaya.

Pengujian sistem logika fuzzy menggunakan MATLAB dan implementasinya pada mikrokontroler ESP32 menunjukkan kesesuaian hasil keluaran yang tinggi, membuktikan bahwa model fuzzy Mamdani dapat diimplementasikan secara efektif pada perangkat keras. Integrasi keseluruhan sistem juga berjalan dengan baik, ditandai dengan kemampuan sistem dalam memproses data sensor dan mengendalikan *flood gate* secara otomatis.

Secara keseluruhan, prototipe yang dikembangkan sebagai bagian dari *Capstone Design* ini berhasil berfungsi sebagai pembuktian konsep (*proof of concept*) sistem pengendalian pintu air yang adaptif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim penelitian yang telah berkontribusi dalam perancangan, perakitan, pengujian, serta penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pengampu mata kuliah yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berarti selama proses penelitian dan penulisan. Selain itu, penulis mengapresiasi dukungan dari Program Studi Teknik Elektro dan Universitas Nusa Putra yang telah menyediakan fasilitas serta lingkungan akademik yang mendukung terlaksananya penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kridalukmana, D. Eridani, R. Septiana, and I. P. Windasari, "Enhancing River Flood Prediction in Early Warning Systems Using Fuzzy Logic-Based Learning," *Int. J. Eng. Technol. Innov.*, vol. 14, no. 4, pp. 434–450, 2024, doi: 10.46604/ijeti.2024.13426.
- [2] D. Fiorillo, Z. Kapelan, M. Xenochristou, F. De Paola, and M. Giugni, "Assessing the Impact of Climate Change on Future Water Demand using Weather Data," *Water Resour. Manag.*, vol. 35, no. 5, pp. 1449–1462, 2021, doi: 10.1007/s11269-021-02789-4.
- [3] W. Mustikaningsih and A. R. Ananda, "Politik Ketahanan Iklim: Analisis Tata Kelola Bencana Banjir dan Transformasi Kerentanan Sosial – Ekonomi Masyarakat Urban di Era Disrupsi Perubahan Iklim," *J. Ilm. Multidisipin*, vol. 3, no. 8, pp. 564–573, 2025, doi: 10.60126/jim.v3i8.1197.
- [4] Indra Dharmawan and Imelda Imelda, "Penerapan Internet of Things Sistem Deteksi Banjir Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Node MCU," *J. Ticom Technol. Inf. Commun.*, vol. 12, no. 3, pp. 97–101, 2024, doi: 10.70309/ticom.v12i3.128.
- [5] Alfie Syahri & Ramadhani Ulansari, "5662-14885-1-Pb," *J. Teknol. Inf.*, vol. Vol 10 No 2, no. 2, 2024.
- [6] I. H. Z. Firdaus Ridwan Sutarta1, Asri Widiatsih2, "RANCANGAN BANGUN SISTEM PENDETEKSI DINI BANJIR MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DAN ARDUINO UNO R3 BERBASIS TELEGRAM," vol. 1, no. 2, pp. 167–186, 2021.
- [7] Enggar Prastyo and S. Siswanto, "Penerapan Fuzzy Logic untuk Sistem Deteksi Banjir Menggunakan Mikrokontroler ESP32-CAM dan Notifikasi Telegram," *J. Ticom Technol. Inf. Commun.*, vol. 11, no. 2, pp. 75–80, 2023, doi: 10.70309/ticom.v11i2.85.
- [8] A. Khairani, P. Angin, D. V. Ramadhani, and M. Rusdi, "MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK PARALLAX BERBASIS IoT," *J. Tek. Ilmu Dan Apl.*, pp. 395–403, 2023.
- [9] S. Siti Olis, "ANALISIS PERANCANGAN SISTEM MONITORING PENYIRAMAN TANAMAN STROBERI OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI," in *ANALISIS PERANCANGAN SISTEM MONITORING PENYIRAMAN TANAMAN STROBERI OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY MAMDANI*, 2022, pp. 1–11. [Online]. Available: prosiding sismatik
- [10] C. D. A.A. Istri and Rizki Fadila, "Uji Validitas dan Reliabilitas Kuesioner Pengetahuan Masyarakat Tentang Program JKN," *J. Kesehat. Qamarul Huda*, vol. 11, no. 1, pp. 307–315, 2023, doi: 10.37824/jkqh.v11i1.2023.462.