

Sistem Kendali Pintu Air Otomatis Menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*

Muhammad Syafei Gozali^{1*}, Aditya Gautama¹, Adlian Jefiza¹, Diono¹, Vika Rahmaini¹, dan Juhrial Amri¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: syafei@polibatam.ac.id

Abstrak—Penelitian yang dilakukan mengembangkan sistem kontrol pintu air irigasi berbasis *Fuzzy Mamdani*. Prototipe yang dibangun terdiri dari saluran irigasi yang dibatasi dengan pintu air. Pada rangkaian elektronika, ESP32 digunakan sebagai kontroler yang dilengkapi dengan sensor ultrasonic untuk mendeteksi level air yang masing masing terpasang pada sisi suplai dan saluran irigasi. Pintu air digerakkan dengan menggunakan motor DC. Input *Fuzzy* terdiri dari ketinggian level air suplai dan level air saluran irigasi serta waktu tanam atau panen dengan kombinasi *rule fuzzy* sebanyak 18 *rule*. Hasil pengujian sensor level dilakukan pada empat target ketinggian dengan 80 kali percobaan, diperoleh rata-rata persentase eror masing masing sensor sebesar 0.3% dan 0.2% dengan akurasi 99.7% dan 99.8%. Hasil pengujian pintu air dengan sistem fuzzy memiliki kesesuaian 100% kondisi pintu air membuka dan menutup terhadap level dan waktu tanam dan panen.

Kata Kunci: ESP32, *Fuzzy Mamdani*, Saluran irigasi, Sensor Ultrasonik

Abstract— The research carried out developed a *Fuzzy Mamdani*-based irrigation sluice control system. The prototype built consists of an irrigation canal which is limited by a sluice gate. In the electronic circuit, ESP32 is used as a controller which is equipped with an ultrasonic sensor to detect the water level which is installed on the supply side and irrigation channel respectively. The sluice gate is moved using a DC motor. *Fuzzy* input consists of the height of the supply water level and irrigation channel water level as well as planting or harvest time, with a combination of 18 fuzzy rules. The results of level sensor testing carried out on four height targets with 80 trials, obtained an average percentage error for each sensor of 0.3% and 0.2% with an accuracy of 99.7% and 99.8%. The results of testing the sluice gate with a fuzzy system have 100% conformity with the condition of the water gate opening and closing with the level and time of planting and harvesting.

Keywords: ESP32, *Fuzzy mamdani*, Irrigation channels, Ultrasonic Sensor

I. PENDAHULUAN

BANYAK hal pada sistem sawah pertanian yang masih perlu diperhatikan agar mendapatkan hasil yang baik seperti pengolahan tanah, pengaturan air yang masuk ke dalam lahan pertanian, pemberian pupuk, penyemprotan hama, dan lain-lain. Menurut petani yang berada di daerah Desa Sei Jawi-Jawi, Kecamatan Panai Hulu, Kabupaten Labuhan Batu, Sumatera Utara, hampir merata mengalami permasalahan yang sama yaitu kekurangan air yang masuk ke lahan pertanian hingga menyebabkan para petani hanya bisa melakukan panen satu kali dalam setahun. Permasalahan yang dialami terjadi karena air irigasi dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Akibat pasang surut air laut, maka seringkali sistem irigasi kekurangan atau kelebihan air. Pada saat ini, sistem irigasi yang dilakukan pada pertanian masih secara manual, sehingga masukan air irigasi sering terlambat dialirkan atau ditutup. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dikembangkan sistem kendali buka tutup pintu air irigasi.

Penelitian mengenai pengendalian pintu air irigasi secara otomatis dapat menggunakan mikrokontroler Arduino UNO [1], [2], akan tetapi Arduino hanya digunakan untuk mengontrol pintu air, kemudian terdapat sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air [3], serta *monitoring* data sensor menggunakan LCD yang terletak pada pintu air [4]. Adanya perubahan teknologi yang semakin maju, pekerjaan menjadi lebih mudah dan efisien waktu dengan sistem yang dapat mengendalikan dan memantau alat dari jarak jauh secara *real-time* [5], [6], [7]. Dengan teknologi saat ini, *monitoring* dapat menggunakan ThingSpeak [8]. Namun, data yang dipantau melalui ThingSpeak tidak bisa melihat data sebelumnya yang sudah dikirim. Jenis kontroler yang dapat mengirim data menggunakan sistem jaringan WiFi yaitu NodeMcu ESP32 [9] [10] yang akan bekerja pada jarak tertentu.

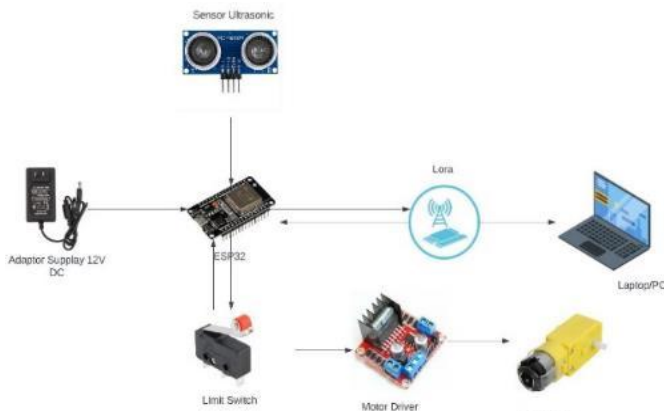
Berdasarkan dari permasalahan yang ada di daerah tersebut dan berdasarkan pemaparan yang telah dilakukan, maka penulis membuat sistem kendali pintu air irigasi yang dapat dikendalikan secara otomatis dengan menerapkan sistem IoT, sehingga menjadi lebih mudah dalam pengendalian dan pemantauan yang akan ditampilkan pada *website*, dengan

menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai alat pengendali dibantu oleh LoRa yang mengirimkan data menggunakan sinyal radio, metode *fuzzy* untuk pengelompokan data, serta *Internet of Things* (IoT) sebagai *monitoring* data sensor dan sistem kendali pintu air.

II. METODE

A. Topologi Sistem

Berdasarkan topologi rangkaian pada Gambar 1, masing-masing komponen memiliki fungsi sebagai berikut: Adaptor supply 12V DC digunakan sebagai suplai tegangan pada sistem. ESP32 berfungsi sebagai kontroler untuk semua komponen, baik *input* maupun *output*. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur ketinggian air, sementara *limit switch* digunakan untuk mendeteksi apakah pintu air tertutup atau terbuka. *Driver* motor digunakan untuk mengendalikan dan menggerakkan motor DC, yang berfungsi sebagai penggerak pintu air irigasi. LoRa digunakan sebagai komunikasi jaringan antara ESP32 dan laptop/PC, yang terakhir digunakan untuk memantau data sensor dari alat yang dibuat. Perancangan alat ini melibatkan beberapa tahap, termasuk pembuatan desain *prototype*, *electrical wiring*, perancangan program, perancangan *fuzzy* Mamdani, dan perancangan sistem *database* untuk *monitoring*.



Gambar. 1. Topologi Sistem

B. Wiring Diagram

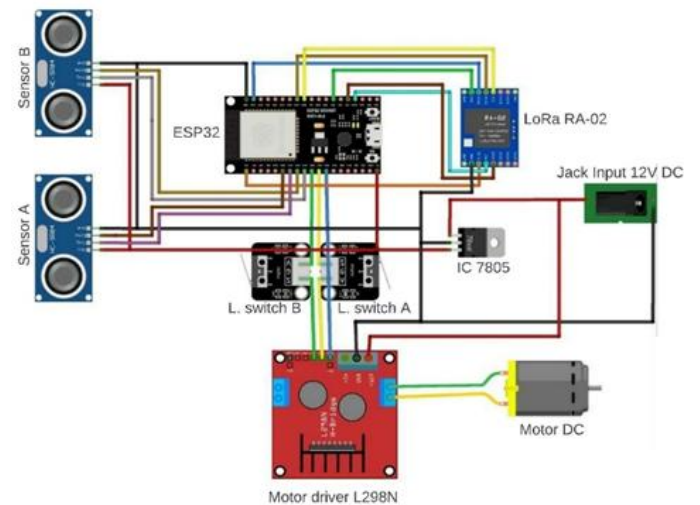
Desain elektrik dapat dilihat pada Gambar 2. Rangkaian menggunakan dua sensor ultrasonik yaitu sensor A dan sensor B sebagai *input* yang dihubungkan ke ESP32. Kemudian dari ESP32 yang dihubungkan ke *driver* motor untuk menggerakkan motor DC yang dilengkapi dengan pemutus *input* dari *driver* motor yaitu *limit switch* A dan *limit switch* B, yang masing-masing berfungsi untuk limit atas dan bawah

Rangkaian juga menggunakan *LoRa* yang digunakan untuk mengirim data yang sudah diolah ESP32. *LoRa* menerima perintah dari *system database*. Adaptor 12V akan mensuplai tegangan ke *driver* motor, dari terminal *input* juga akan dihubungkan ke IC regulator 7805 untuk menurunkan tegangan

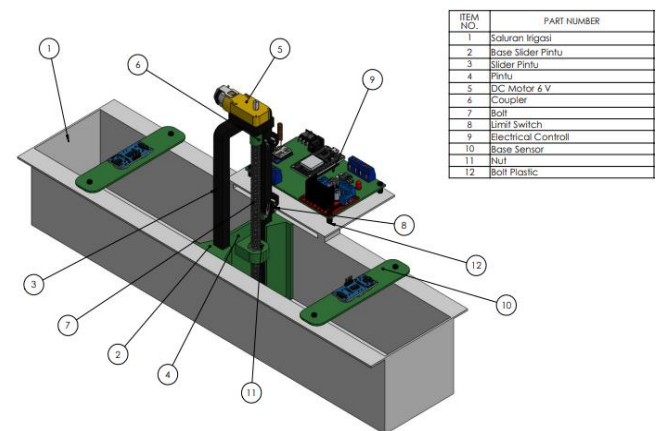
menjadi 5V dan digunakan untuk menyuplai tegangan ke ESP32 dan sensor.

C. Prototype Saluran Air

Prototype saluran air (gambar 3) dibangun dengan menggunakan akrilik yang terdiri dari 3 bagian utama yaitu sisi suplai air (air masuk), pintu air, dan sisi saluran ke sisi irigasi (air keluar). Pada *prototype* yang dibuat ketinggian air dibaca menggunakan sensor ultrasonik yang diletakkan sebelum pintu ke saluran irigasi dan diletakkan juga sesudah pintu air untuk mendeteksi ketinggian air yang masuk ke saluran irigasi. Aktuator atau penggerak yang digunakan adalah motor yang akan menggerakkan pintu secara linear yang diletakkan di atas pintu.



Gambar. 2. Wiring Diagram



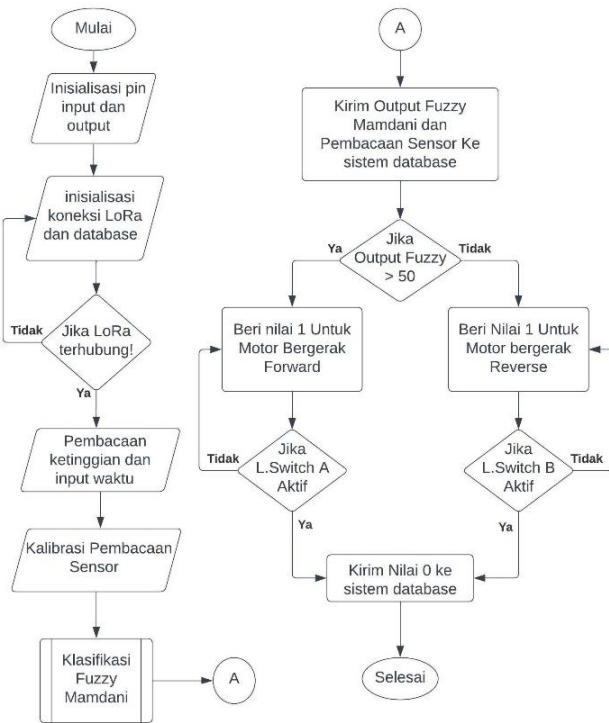
Gambar. 3. Desain Mekanikal

D. Flowchart Proses Kerja Sistem

Perancangan program pada flowchart gambar 4, dimulai dengan inialisasi pin *input* dan *output* yang akan digunakan harus sesuai dengan *wiring*, setelah itu melakukan inialisasi koneksi antar *LoRa*, jika tidak berhasil terhubung maka akan

melakukan koneksi ulang dan jika berhasil maka akan melanjutkan perintah pembacaan *input* sensor dan *input* waktu, pada pembacaan sensor akan dilakukan kalibrasi agar dapat mencapai target atau mendekati target.

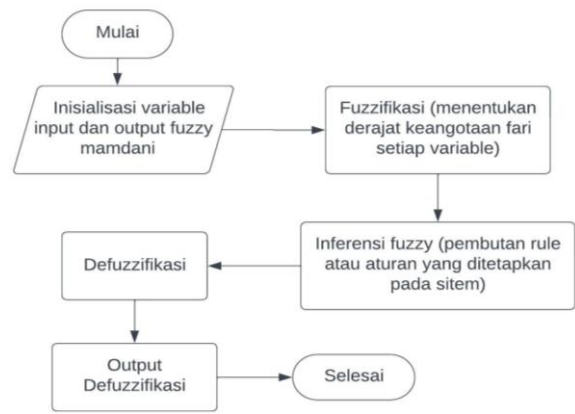
Pembacaan input waktu dan pembacaan dari sensor yang sudah dikalibrasi akan dilakukan pengolahan data yang masuk pada bagian sub-klasifikasi *fuzzy* Mamdani hasil dari klasifikasi akan dikirim ke sistem *database* dan jika hasil klasifikasi *fuzzy* Mamdani lebih besar dari 50 maka perintah selanjutnya akan memberikan nilai 1 untuk menggerakkan pintu naik dan motor akan bergerak *forward*, jika *limit switch* A aktif maka akan mengirimkan nilai 0 ke *database* dan jika tidak maka akan melakukan perintah sebelumnya. Hasil klasifikasi *fuzzy* Mamdani lebih kecil dari 50 maka akan memberi nilai 1 untuk menutup pintu dan motor akan bergerak *reverse*, jika *limit switch* B aktif maka akan memberikan nilai 0 ke *database* dan jika tidak maka akan melakukan perintah sebelumnya, dan program akan bekerja secara *continue*.



Gambar. 4. Flowchart Proses Kerja Sistem

E. Sistem Klasifikasi Fuzzy

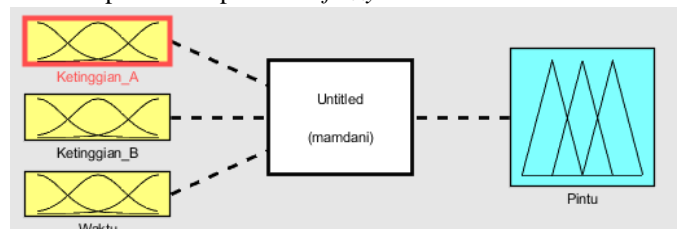
Dalam perancangan klasifikasi *fuzzy* Mamdani (gambar 5) terlebih dahulu menentukan variabel *input* dan *output* fuzzy, langkah selanjutnya proses menentukan derajat keanggotaan setiap variabel, kemudian akan dilakukan proses pembuatan *rule* atau aturan yang akan diterapkan pada sistem, dari rule yang sudah dibuat langkah terakhir adalah defuzzifikasi yaitu mengkonversi setiap hasil dari inferensi yang diekspresikan dalam bentuk *fuzzy* set ke suatu bilangan riil dan hasil *output* defuzzifikasi akan digunakan untuk menggerakkan pintu air.



Gambar. 5. Flowchart Klasifikasi Fuzzy Mamdani

Berdasarkan hasil survei dan wawancara dengan petani di daerah Desa Sei Jawi-Jawi, pengoperasian pintu air irigasi dilakukan dengan melihat tiga variabel yaitu tinggi permukaan air masuk dan keluar dari pintu air; serta masa tanam. Maka sistem klasifikasi *fuzzy* Mamdani (gambar 6) yang dirancang memiliki 3 *input* yaitu ketinggian A, ketinggian B, dan waktu pengolahan tanaman padi, *output* dari *fuzzy* yaitu menggerakkan pintu air.

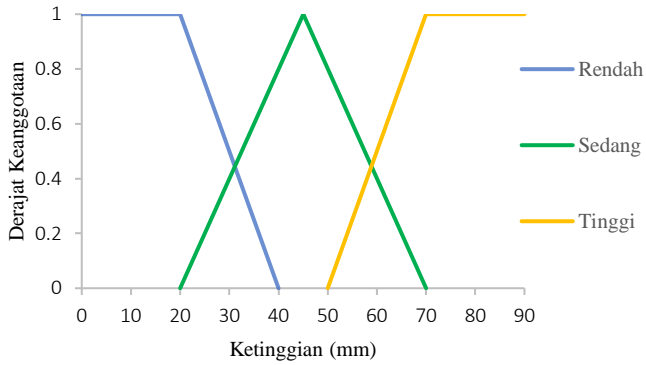
Ketinggian A menandakan kondisi air suplai yang diartikan sebagai kemampuan saluran mengirimkan air, dan ketinggian B menandakan kondisi air menuju sawah. Dengan memperhatikan kedua kondisi air tersebut maka pintu air akan bergerak membuka dan menutup sesuai dengan kondisi air, hal ini dilakukan untuk menjaga sawah tidak kelebihan air ataupun kekurangan. Masa tanam mempengaruhi akan kebutuhan air yang cukup banyak, saat mendekati panen kebutuhan air semakin sedikit, dan masa panen tidak membutuhkan air. Kaitan tinggi rendahnya air masuk dan air keluar serta masa tanam dapat dilihat pada rule *fuzzy* Table 1



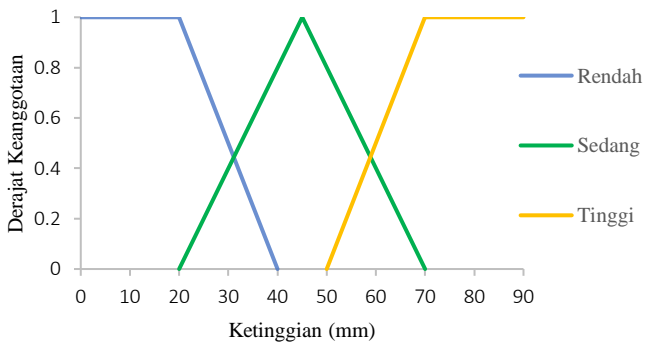
Gambar. 6. Diagram Sistem Klasifikasi Fuzzy

F. Derajat Keanggotaan

Derajat Keanggotaan untuk Ketinggian A (Gambar 7) dan ketinggian B (Gambar 8), dinyatakan dengan nilai 0-90 mm yang akan dibagi menjadi 3 kelompok yaitu nilai 0-40 mm termasuk ke dalam variabel rendah, 20-70 mm termasuk dalam variabel sedang, dan 50-90 mm termasuk dalam variabel tinggi, Pengelompokan variabel berdasarkan desain simulator yang telah dibuat yang mana ketinggian maksimalnya adalah 90 mm kemudian dibagi menjadi 3 variabel $\mu_{Rendah}(x)$, $\mu_{Sedang}(x)$, $\mu_{Tinggi}(x)$ pada persamaan 1-3 untuk masing masing ketinggian air



Gambar 7. Grafik Input Ketinggian A



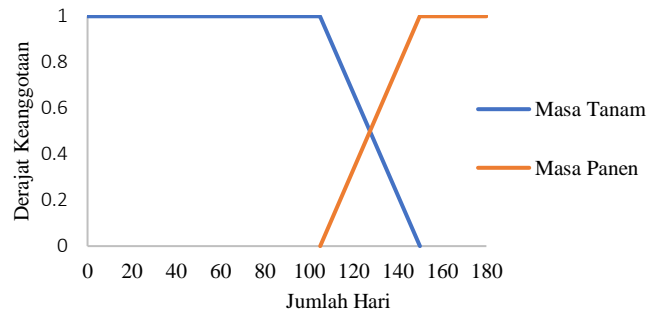
Gambar 8. Grafik Input Ketinggian B

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} x \leq 20 & 1 \\ 20 \leq x \leq 40 & \frac{(40-x)}{(40-20)} \\ x \geq 40 & 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} x \leq 20 & 0 \\ 20 < x < 45 & \frac{(45-x)}{(45-20)} \\ x = 45 & 1 \\ 45 < x < 70 & \frac{(x-45)}{(70-45)} \\ x \geq 70 & 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} x \leq 50 & 0 \\ 50 \leq x \leq 70 & \frac{(x-50)}{(70-50)} \\ x \geq 70 & 1 \end{cases} \quad (3)$$

Derajat keanggotaan waktu proses pengolahan sawah dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu jangka waktu 0-105 hari termasuk ke dalam variabel masa tanam $\mu_{Tanam}(x)$ (Persamaan 4), 105-180 hari termasuk ke dalam variabel masa panen $\mu_{Panen}(x)$ (Persamaan 5).

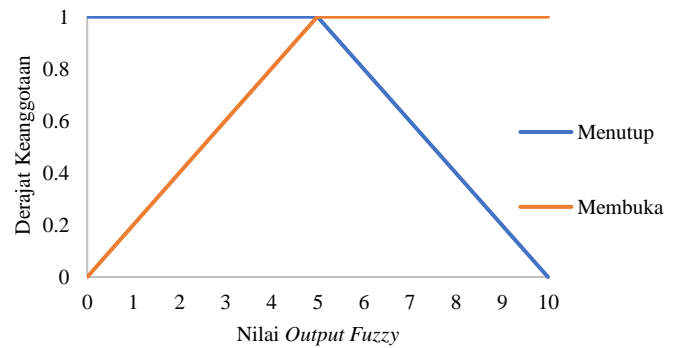


Gambar 9. Grafik Input Waktu Pengolahan Sawah

$$\mu_{Tanam}(x) = \begin{cases} x \leq 105 & 1 \\ 105 \leq x \leq 150 & \frac{(150-x)}{(150-105)} \\ x \geq 150 & 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{Panen}(x) = \begin{cases} x \leq 105 & 0 \\ 105 \leq x \leq 150 & \frac{(x-105)}{(150-105)} \\ x \geq 150 & 1 \end{cases} \quad (5)$$

Untuk derajat keanggotaan *output* dari *fuzzy* berupa kondisi pintu air yang dikelompokkan menjadi dua yaitu kondisi menutup dengan variabel $\mu_{Menutup}(x)$ pada rentang 5-10 dan kondisi membuka dengan variabel $\mu_{Membuka}(x)$ pada rentang 0-5. Nilai rentang ini akan mempengaruhi pergerakan motor yaitu CW untuk pergerakan menutup dan CCW untuk pergerakan membuka. Masing-masing variabel disajikan pada persamaan 6 dan 7.



Gambar 10. Grafik Output Fuzzy

$$\mu_{Menutup}(x) = \begin{cases} x \leq 5 & 1 \\ 5 \leq x \leq 10 & \frac{(10-x)}{(10-5)} \\ x \geq 10 & 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{Membuka}(x) = \begin{cases} x \leq 0 & 0 \\ 0 \leq x \leq 5 & \frac{(x-0)}{(5-0)} \\ x \geq 5 & 1 \end{cases} \quad (7)$$

Berdasarkan pengelompokan yang telah ditetapkan pada sistem maka diperoleh 18 *rule* yang akan terjadi pada sistem yang tersaji pada Table 1. Dengan memperhatikan kondisi ketinggian air tinggi, sedang dan rendah, baik pada sisi air masuk (Ketinggian A) maupun pada ketinggian air pada sisi keluar (Ketinggian B) serta waktu proses tanam dan proses panen. *Output* dari sistem *fuzzy* berupa pergerakan menutup atau membukanya pintu air.

TABEL I.
FUZZY RULE

Rule	Ketinggian A	Ketinggian B	Waktu	Pintu
1	Sedang	Rendah	Tanam	Membuka
2	Tinggi	Rendah	Tanam	Membuka
3	Tinggi	Sedang	Tanam	Membuka
4	Rendah	Rendah	Tanam	Menutup
5	Rendah	Sedang	Tanam	Menutup
6	Sedang	Sedang	Tanam	Menutup
7	Sedang	Tinggi	Tanam	Menutup
8	Rendah	Tinggi	Tanam	Menutup
9	Tinggi	Tinggi	Tanam	Menutup
10	Rendah	Tinggi	Panen	Membuka
11	Sedang	Tinggi	Panen	Membuka
12	Rendah	Sedang	Panen	Membuka
13	Rendah	Rendah	Panen	Menutup
14	Sedang	Rendah	Panen	Menutup
15	Tinggi	Rendah	Panen	Menutup
16	Tinggi	Sedang	Panen	Menutup
17	Tinggi	Tinggi	Panen	Menutup
18	Sedang	Sedang	Panen	Menutup

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan sepuluh kali, dengan jarak waktu sepuluh detik satu kali ke percobaan berikutnya. Target yang diukur pada jarak 20 mm, 40 mm, 60 mm, dan 80 mm digunakan sebagai alat pembanding.

TABEL II.
DATA PENGUJIAN SENSOR A ULTRASONIK

Pembacaan Sensor Ultrasonik A	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm
Percobaan 1	20.01	39.93	60.56	79.94
Percobaan 2	20.18	39.93	60.56	79.94
Percobaan 3	20.01	39.93	60.56	79.94
Percobaan 4	20.01	39.93	60.56	79.94
Percobaan 5	20.01	40.10	60.56	79.94
Percobaan 6	20.01	40.10	60.56	79.94
Percobaan 7	20.01	40.10	60.56	79.94
Percobaan 8	20.01	39.93	60.56	79.94
Percobaan 9	20.01	40.10	60.56	79.94
Percobaan 10	20.18	39.93	60.56	79.94
Rata-Rata	20.04	39.99	60.56	79.94
%error	0.22%	0.03%	0.93%	0.08%
Rata – rata %error		0.31%		
Akurasi		99.7%		

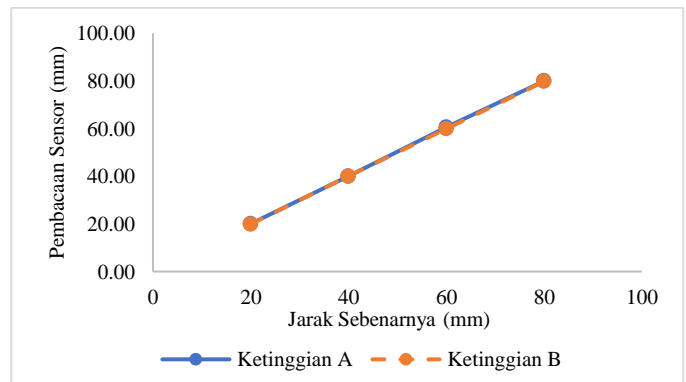
Hasil pengujian sensor ultrasonik menunjukkan bahwa sensor A dan B mampu memberikan nilai pengukuran yang akurat pada setiap percobaan dan mencapai target, sehingga

mendapatkan tingkat persentase *error* masing masing 0.3% dan 0.2% yang tertera pada Table 2 dan Table 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat diandalkan untuk mengukur jarak dengan tepat. Dapat dilihat pada grafik rata-rata pembacaan dari kedua sensor ultrasonik.

TABEL III.
DATA PENGUJIAN SENSOR B ULTRASONIK

Pembacaan Sensor Ultrasonik B	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm
Percobaan 1	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 2	19.79	39.99	59.97	79.73
Percobaan 3	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 4	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 5	19.79	39.99	59.97	79.73
Percobaan 6	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 7	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 8	19.96	39.99	59.97	79.73
Percobaan 9	19.79	39.99	59.97	79.73
Percobaan 10	19.96	39.99	59.97	79.73
Rata-Rata	19.90	39.99	59.97	79.73
%error	0.45%	0.025%	0.05%	0.33%
Rata – rata %error			0.21%	
Akurasi			99.8%	

Penggunaan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air secara keberfungsianannya cukup diandalkan dimana dari hasil pengujian error yang dihasilkan cukup rendah dan memiliki perubahan sifat yang linier seperti yang tersaji pada grafik Gambar 11 untuk setiap perubahan jarak sebenarnya dan jarak yang terbaca oleh sensor.



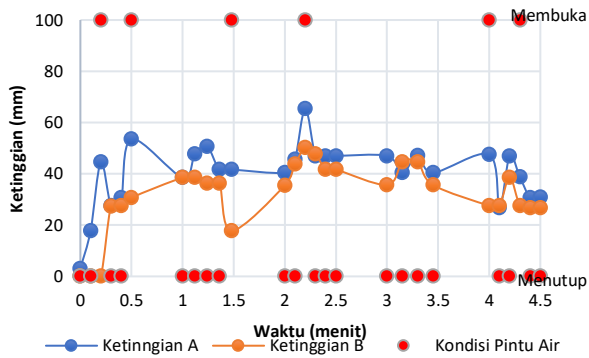
Gambar 11. Grafik Sensor Ultrasonik A dan B

Pengujian Sistem kontrol *fuzzy* Mamdani pada pengendalian pintu air dilakukan secara kontinu dengan 38 kombinasi. Untuk mendapatkan data secara kontinu pada proses pengujiannya, masa tanam dan masa panen disimulasikan dalam menit selama 7 menit. Dimana masa tanam pada pengujian pada nomor 1 s.d 27 selama 6 menit dan masa panen pada pengujian pada nomor 28-37 selama 1 menit.

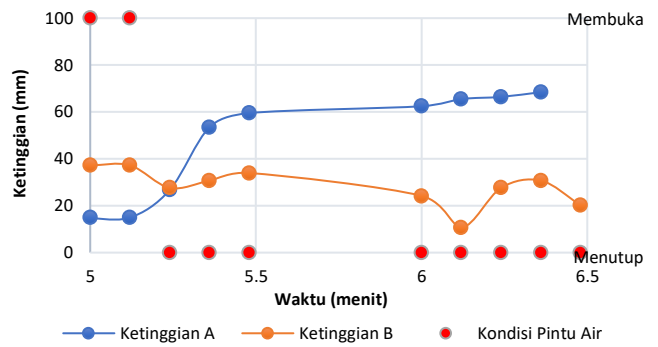
Data hasil pengujian sistem secara keseluruhan yang tersaji pada Table 4 dan digambarkan pada grafik Gambar 13 dan 14 menunjukkan bahwa pintu air membuka dan menutup sesuai kondisi level air serta kondisi masa tanam dan panen dengan kesesuaian kerja motor penggerak pintu air sebesar 100% terhadap rule *fuzzy* yang dibangun.

TABLE IV.
DATA ANALISA FUZZY MAMDANI

No	Ketinggian A (mm)	Status Ketinggian A	Ketinggian B (mm)	Status Ketinggian B	Waktu (menit)	Status Masa	Status Pintu	Nilai Output Fuzzy	Rule
1	3.09	Rendah	0.17	Rendah	0	Tanam	Menutup	3.83	4
2	17.84	Rendah	0.18	Rendah	0.10	Tanam	Menutup	3.83	4
3	44.59	Sedang	0.18	Rendah	0.20	Tanam	Membuka	6.16	1
4	27.62	Rendah	27.44	Rendah	0.30	Tanam	Menutup	4.21	4
5	30.60	Rendah	27.62	Rendah	0.40	Tanam	Menutup	4.22	4
6	53.51	Sedang	30.70	Rendah	0.50	Tanam	Membuka	5.07	1
7	38.59	Sedang	38.54	Sedang	1.00	Tanam	Menutup	4.18	6
8	47.68	Sedang	38.49	Sedang	1.12	Tanam	Menutup	4.36	6
9	50.67	Sedang	36.37	Sedang	1.24	Tanam	Menutup	4.32	6
10	41.67	Sedang	36.28	Sedang	1.36	Tanam	Menutup	4.04	6
11	41.67	Sedang	17.84	Rendah	1.48	Tanam	Membuka	6.04	1
12	40.48	Sedang	35.49	Sedang	2.00	Tanam	Menutup	4.35	6
13	45.75	Sedang	43.74	Sedang	2.10	Tanam	Menutup	4.17	6
14	65.51	Tinggi	50.25	Sedang	2.20	Tanam	Membuka	5.87	3
15	46.99	Sedang	47.68	Sedang	2.30	Tanam	Menutup	3.93	6
16	46.99	Sedang	41.67	Sedang	2.40	Tanam	Menutup	4.04	6
18	46.99	Sedang	41.67	Sedang	2.50	Tanam	Menutup	3.96	6
18	46.99	Sedang	35.67	Sedang	3.00	Tanam	Menutup	4.21	6
19	40.48	Sedang	44.59	Sedang	3.15	Tanam	Menutup	4.01	6
20	47.17	Sedang	44.59	Sedang	3.30	Tanam	Menutup	3.91	6
21	40.48	Sedang	35.67	Sedang	3.45	Tanam	Menutup	4.21	6
22	47.51	Sedang	27.59	Rendah	4.00	Tanam	Membuka	6.08	1
23	26.75	Sedang	27.59	Sedang	4.10	Tanam	Menutup	4.17	6
24	46.99	Sedang	38.59	Sedang	4.20	Tanam	Menutup	4.09	6
25	38.76	Sedang	27.62	Rendah	4.30	Tanam	Membuka	5.53	1
26	30.75	Rendah	26.75	Rendah	4.40	Tanam	Menutup	4.17	4
27	30.87	Rendah	26.75	Rendah	4.50	Tanam	Menutup	4.65	4
28	26.75	Rendah	37.22	Sedang	5.00	Panen	Membuka	5.64	12
29	14.92	Rendah	37.22	Sedang	5.12	Panen	Membuka	5.80	12
30	14.92	Rendah	27.62	Rendah	5.24	Panen	Menutup	4.47	13
31	26.75	Rendah	30.70	Rendah	5.36	Panen	Menutup	4.93	13
32	53.51	Sedang	33.96	Rendah	5.48	Panen	Menutup	4.29	14
33	59.51	Sedang	24.19	Rendah	6.00	Panen	Menutup	4.39	14
34	62.43	Tinggi	10.64	Rendah	6.12	Panen	Menutup	4.22	15
35	65.51	Tinggi	27.62	Rendah	6.24	Panen	Menutup	4.22	15
36	66.42	Tinggi	30.70	Rendah	6.36	Panen	Menutup	4.40	15
37	68.43	Tinggi	20.17	Rendah	6.48	Panen	Menutup	3.90	15



Gambar. 12. Grafik Masa Tanam



Gambar. 13. Grafik Masa Panen

Hasil pengujian sistem *fuzzy* Mamdani menunjukkan bahwa sistem mampu menggerakkan motor sebagai *output* yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan, yang memperhatikan kondisi ketinggian air dan masa tanam atau masa panen. Sistem dapat membuat keputusan yang tepat tentang status pintu berdasarkan pembacaan waktu dan sensor ketinggian air A dan B. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem *fuzzy* Mamdani yang digunakan telah efektif sebagai sistem kendali otomatis untuk pengaturan pintu air irigasi pada persawahan padi.

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali pintu air otomatis menggunakan logika *fuzzy* Mamdani telah diimplementasikan dengan membuat minatur simulasi pintu air irigasi persawahan. Hasil pengujian penggunaan sensor ultrasonik sebagai pengukur ketinggian air memiliki tingkat keakurasian sebesar 99.8%. Pengujian *fuzzy* Mamdani menunjukkan bahwa, sistem *fuzzy* Mamdani mampu menghasilkan keputusan kontrol yang relevan dan responsif terhadap kondisi *input* dari sensor ultrasonik dan waktu. Keputusan sistem kontrol terhadap pergerakan motor sebagai penggerak pintu air sesuai dengan rule yang telah ditetapkan. Sistem Logika *Fuzzy* yang dirancang dapat dioperasikan pada skala prototipe, sehingga sistem ini juga layak untuk diterapkan pada skala sebenarnya. Akan tetapi perlu mempertimbangkan pemilihan sensor ultrasonik dengan memperhatikan *ingres protection* (IP), pemilihan motor penggerak beserta sistem kemudinya, dan juga melakukan pengujian dan pengukuran kinerja keandalan sistem untuk aplikasi berbasis IoT yang memperhatikan sinyal komunikasi LoRa.

REFERENSI

- [1] R. D. Pratama, S. Samsugi, and J. P. Sembiring, "Alat Deteksi Ketinggian Air Menggunakan Sensor Ultrasonik dengan Database," *J. Tek. Dan Sist. Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 45–55, Sep. 2022, doi: 10.33365/jtikom.v3i1.1878.
- [2] A. A. Winata, J. Afroni, and B. Minto, "Prototipe Kendali Irigasi Terhadap Volume Air Menggunakan LoRA SX1278 berbasis Arduino UNO R3," *SCIENCE ELEKTRO*, vol. 15, no. 1, pp. 1–5, 2022, Accessed: Oct. 09, 2024. [Online]. Available: <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jte/article/view/17484>
- [3] R. C. W. Pratama, F. T. Syifa, and N. A. Zen, "Pengujian Sistem Dan Parameter QoS Pada Perancangan Prototipe Pintu Air Irigasi Sawah Menggunakan Aplikasi Blynk," *J. Telecommun. Electron. Control Eng. JTECE*, vol. 5, no. 1, pp. 50–62, Jan. 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.827.
- [4] R. Rais and Y. F. Sabanise, "Sistem Monitoring Pintu Air Bendungan Menggunakan Mikrokontroler Wemos D1 R1 Berbasis Website," *J. Innov. Inf. Technol. Appl. JINITA*, vol. 1, no. 01, pp. 51–60, Dec. 2019, doi: 10.35970/jinita.v1i01.85.
- [5] A. S. Putra, H. Sukri, and K. Zuhri, "Sistem Monitoring Realtime Jaringan Irigasi Desa (JIDES) Dengan Konsep Jaringan Sensor Nirkabel," *IJEIS Indones. J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 8, no. 2, p. 221, Oct. 2018, doi: 10.22146/ijeis.39783.
- [6] I Putu Ardi WahyuWidyatmika, Ni Putu Ayu Widyanata Indrawati, I Wayan Wahyu AdiPrastya, I KetutDarminta, I Gde Nyoman Sangka, and Anak Agung NgurahGde Saptaka, "Perbandingan Kinerja Arduino UNO dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan," *J. Otomasi Kontrol Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 37–45, 2021.
- [7] L. Rakhmawati, P. D. Widayaka, and M. S. Zuhrie, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Monitoring Pintu Air Otomatis Pengendali Banjir Berbasis Internet of Things Rizki Dwi Windiasmoro," *J. Tek. Elektro*, vol. 13, 2024.
- [8] A. E. Wijaya and F. R. Ishaq, "Sistem Monitoring Pengendalian Pengairan Sawah Menggunakan Metode Decision Tree pada Platform Thingspeak Berbasis Internet Of Things (IOT)," *J. Teknol. Inf. Dan Komun.*, vol. 14, no. 2, pp. 50–65, Apr. 2022, doi: 10.47561/a.v14i2.208.
- [9] M. Syarif, K. Ardiyanto, and R. M. Akbar, "Prototipe Monitoring Level Ketinggian Air Pada Bendungan Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 2, no. 3, 2024.
- [10] D. Unsulbar, "Prototipe Of Automatic Watergate Monitoring System In Dams Based on The Internet Of Things," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3635.