

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL POMPA AIR DC 12V OTOMATIS DENGAN LOGIKA FUZZY BERBASIS ESP32

Anggit Yuga Kusuma¹, Imadudin Harjanto¹ , Sigit Ristanto ¹

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang¹
Gedung Pusat Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang*

E-mail : anggityuga@gmail.com

Abstrak

Pengendalian ketinggian air tandon secara manual memiliki keterbatasan dalam menjaga kestabilan volume air dan berpotensi menyebabkan pemborosan energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol pompa air otomatis menggunakan logika fuzzy Mamdani berbasis ESP32. Sistem memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendekripsi ketinggian air, yang kemudian diproses oleh pengendali fuzzy untuk menentukan nilai Pulse Width Modulation (PWM) pada motor DC pompa air. Variabel input berupa ketinggian air dibagi menjadi lima himpunan keanggotaan, yaitu sangat rendah, rendah, standar, tinggi, dan sangat tinggi, sedangkan output berupa kecepatan pompa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengatur kecepatan pompa secara adaptif sesuai perubahan ketinggian air dan bekerja stabil pada batas ketinggian maksimum 20 cm. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengisian air dan memperpanjang umur pompa.

Kata Kunci: logika fuzzy, ESP32, ketinggian air, PWM, pompa air

I. PENDAHULUAN

Air menjadi sebuah kebutuhan pokok pada sektor industri ataupun pada rumah tangga (Muizz & Suprianto, 2019). Masalah yang seringkali muncul adalah tidak diketahuinya tangki penampung cairan tersebut kosong atau sudah penuh (Insantama & Suprianto, 2019). Ketika tingkat cairan dalam tangki penyimpanan tidak diketahui, tumpahan atau penguapan dapat terjadi jika tangki tidak terus dipantau (Nugroho Hadi et al., 2013). Dalam hal ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti ketergantungan pada pengawasan manual yaitu manusia, risiko tandon meluap ketika pompa terlambat dimatikan yang menyebabkan pembuangan dan pemborosan air, serta kondisi tandon kosong akibat pompa lupa dihidupkan.

Permasalahan tersebut tidak hanya menyebabkan pemborosan air, tetapi juga berdampak pada konsumsi energi listrik yang tidak efisien serta dapat mempercepat kerusakan pompa akibat seringnya pompa bekerja pada kondisi tidak ideal melalui pada permasalahan tersebut.

Dalam pengendalian level air digunakan suatu pengendali dengan jenis fuzzy logic yang merupakan pengendali kontinu. Untuk itu pengendali fuzzy logic digunakan agar dapat mengendalikan atau menjaga agar ketinggian air tersebut tetap stabil. Sedangkan dalam pengendalian dengan sistem konvensional dapat menyebabkan kekurangan persediaan air saat proses produksi dilakukan dalam jumlah besar (Insantama & Suprianto, 2019).

Sistem yang dirancang sebagai pengendali ketinggian air pada tangki dengan mengacu pada nilai setpoint (referensi) yang telah ditentukan. Seiring dengan perkembangan teknologi mengalami

peningkatan kompleksitas, terutama pada plant yang memiliki banyak variabel dan subsistem. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian yang terintegrasi dengan pusat monitoring yang andal, baik dari segi kecepatan transmisi data maupun tingkat akurasi data yang diterima dan dikirim, sehingga proses pengendalian level air dapat berjalan secara optimal dan efisien.

II. METODOLOGI PENELITIAN

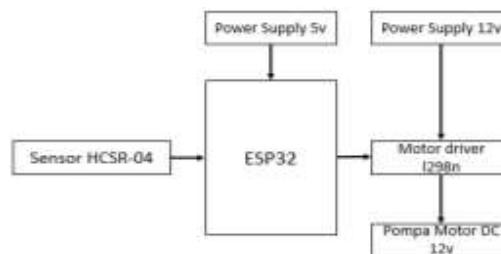
1. Metodologi Penelitian

Sistem pengisian tangki air otomatis yang dikembangkan pada penelitian ini terdapat mencakup beberapa komponen utama, yaitu sensor ultrasonik HC-SR04, motor driver L298N, pompa air DC 12V, serta mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama. Sensor ultrasonik HC-SR04 Sensor HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Prinsip kerja sensor ini mirip dengan radar ultrasonik. Gelombang ultrasonik di pancarkan kemudian diterima balik oleh receiver ultrasonik. Jarak antara waktu puncak dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek (Wahyono & Rusimamto, 2019), yang kemudian dikonversi menjadi informasi ketinggian air di dalam tangki. Data ketinggian air tersebut diproses oleh pengendali logika fuzzy Mamdani yang diimplementasikan pada ESP32 untuk menentukan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) yang diberikan ke pompa air melalui driver L298N, sehingga proses pengisian air dapat berlangsung secara otomatis dan adaptif sesuai kondisi ketinggian air.

a. Desain Sistem

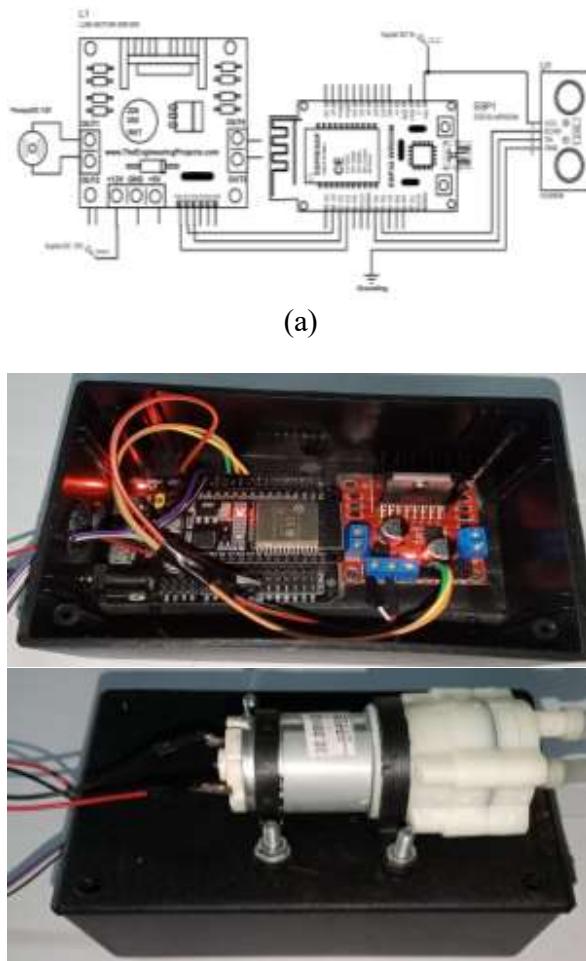
Perancangan sistem meliputi perancangan diagram blok pada gambar 1, perangkat keras dan lunak dalam gambar 2 , pengendali logika fuzzy disertakan pada gambar 3, serta model simulasi sistem tandon air yang dapat dilihat pada gambar 4.

Sistem pengendalian ketinggian air tandon bekerja dengan membaca jarak permukaan air menggunakan sensor ultrasonik. Data ketinggian air tersebut diproses oleh ESP32 sebagai input pengendali logika fuzzy Mamdani untuk menghasilkan sinyal kendali berupa nilai *Pulse Width Modulation* (PWM). Nilai PWM selanjutnya digunakan untuk mengatur kecepatan pompa air dalam proses pengisian tandon.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pengendalian Ketinggian Air Tandon

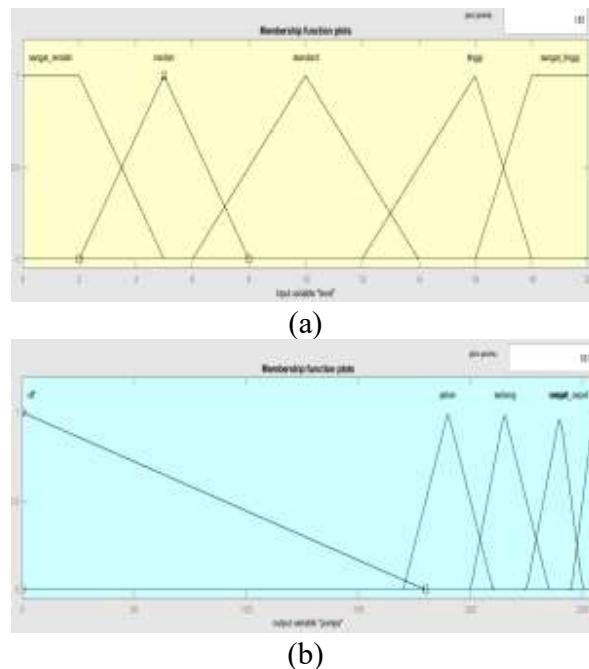
Perangkat keras sistem terdiri dari ESP32 sebagai unit pemroses utama, sensor ultrasonik sebagai pendekripsi ketinggian air, driver motor sebagai penguat sinyal, serta pompa air DC sebagai aktuator. Seluruh komponen dirangkai membentuk sistem tandon air otomatis yang mampu bekerja secara mandiri tanpa manual dari pengguna.



Gambar 2. Rangkaian Kontrol Pompa Otomatis
 (a) Desain simulasi *Software Proteus*, (b) Desain Komponen Perangkat Keras

Langkah pertama dalam memproses logika Fuzzy mengandung transformasi domain yang dinamakan fuzzifikasi. Masukan crisp ditransformasikan kedalam masukan Fuzzy. Untuk mengubahnya, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, fuzzifikasi mengambil nilai masukan secara realtime, dan membandingkannya dengan informasi fungsi keanggotaan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan (Insantama & Suprianto, 2019).

Pengendali logika fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Mamdani. Variabel input berupa ketinggian air dalam satuan sentimeter dengan rentang 0–20 cm, sedangkan variabel output berupa nilai PWM dengan rentang 0–255. Himpunan keanggotaan dan aturan fuzzy dirancang untuk menghasilkan respon pengisian air yang adaptif, sehingga kecepatan putaran pompa meningkat ketika jarak level air dalam tangki semakin rendah. Ini menunjukkan bahwa semakin mendekati level minimum air, sistem merespons dengan meningkatkan kecepatan putaran pompa untuk mengisi tangki dengan lebih cepat (Rindra et al, 2022).



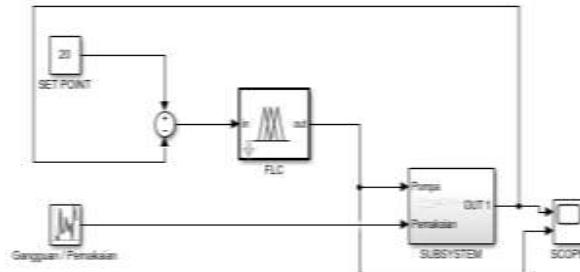
Gambar 3. Rangkaian Kontrol Pompa Otomatis
(a) Fungsi Keanggotaan Input, (b) Fungsi Keanggotaan Output

Sistem keanggotaan fuzzy ini terdiri dari lima fungsi dengan bentuk segitiga yang meliputi dimensi sangat rendah, rendah, standar, tinggi dan sangat tinggi. Sementara itu, fungsi keanggotaan keluaran untuk kecepatan pompa 5V DC juga terdiri dari lima bagian. Tabel 1 menampilkan basis aturan yang dirancang pada masukan dan keluaran yang telah ditentukan dalam *membership* pada fuzzy.

Tabel 1. Basis aturan fuzzy

Rule	Jarak (cm)	Kondisi PWM
1.	0	255
2.	5	235
3	10	215
4.	15	195
5.	20	0

Untuk memodelkan perilaku sistem sebelum diimplementasikan pada perangkat keras, dibuat model simulasi menggunakan MATLAB Simulink. Model simulasi pada gambar 4 ini merepresentasikan proses pengisian tandon air berdasarkan sinyal kendali dari aturan fuzzy dan digunakan untuk mengamati respon sistem terhadap perubahan ketinggian air.



Gambar 4. Model Simulasi Sistem Pengendalian Ketinggian Air pada MATLAB Simulink

Untuk memperjelas konfigurasi dan batasan kerja sistem yang dikembangkan, diperlukan penjabaran parameter-parameter utama yang digunakan pada perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Parameter sistem tersebut meliputi spesifikasi tangki air, sensor, pengendali, serta batasan variabel pada logika fuzzy. Seluruh parameter yang digunakan dalam penelitian ini disajikan secara ringkas pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Sistem Pengisian Tangki Air

Parameter	Nilai	Satuan
Tinggi tandon	23	cm
Diameter tandon	28	cm
Jari-jari tandon	14	cm
Tinggi maksimum air	20	cm
Luas penampang tandon	615,44	cm ₂
Tegangan pompa	12	V
Metode fuzzy	Mamdani	-

Parameter-parameter pada Tabel 2 digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan simulasi pada MATLAB Simulink dan implementasi sistem pada perangkat keras, sehingga hasil simulasi dan pengujian dapat dibandingkan secara konsisten.

6. Persamaan Matematika

Bagian ini menjelaskan model matematis yang digunakan dalam perancangan dan analisis sistem pengendalian ketinggian air tandon berbasis logika fuzzy. Persamaan matematika digunakan untuk merepresentasikan proses pengukuran ketinggian air, pengendalian pompa, serta dinamika perubahan tinggi air pada tandon.

1. Model Pengukuran Ketinggian Air

Pengukuran ketinggian air dilakukan menggunakan sensor ultrasonik. Sensor bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan menerima pantulan dari permukaan air. Jarak antara sensor dan permukaan air dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

- d = jarak sensor ke permukaan air (cm)
- v = kecepatan rambat gelombang ultrasonik (cm/s)
- t = waktu tempuh gelombang ultrasonik pulang - pergi (s)
- 2 = konstanta

Di mana adalah jarak sensor ke permukaan air (cm), adalah kecepatan rambat gelombang suara di udara (0,034 cm/μs), dan adalah waktu tempuh gelombang ultrasonik (μs).

Ketinggian air di dalam tandon diperoleh dari selisih antara tinggi pemasangan sensor terhadap dasar tandon dengan jarak yang terukur, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$h = H_s - d \quad (2)$$

Ket

eran

gan:

- h = ketinggian air (cm)
- H_s = jarak tetap sensor kedasar tandon air (cm)
- d = jarak sensor ke permukaan air (cm)

di mana merupakan ketinggian air dalam tandon dan adalah jarak sensor ke dasar tandon (cm).

2. Model Pengendalian Pompa Air

Pengendalian pompa air dilakukan dengan mengatur sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada motor DC. Nilai PWM dinyatakan dalam bentuk persentase *duty cycle*, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$\text{PWM} = \frac{D}{255} \times 100\% \quad (3)$$

Ket

eran

gan:

PW

M = nilai sinyal Pulse With Modulation (%)

D = nilai digital PWM (0 – 255)

di mana adalah nilai *duty cycle* PWM dengan rentang 0 hingga 255.

Nilai PWM diperoleh dari hasil defuzzifikasi pengendali logika fuzzy Mamdani menggunakan metode centroid. Metode ini menghitung nilai keluaran crisp berdasarkan pusat massa dari himpunan fuzzy keluaran, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$Z_* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(z_i) \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)} \quad (4)$$

K

eter

angan:

Z_* = nilai sinyal Pulse With Modulation (%)

$\mu(z_i)$ = derajat keanggotaan pada aturan ke- i

Z_i = nilai keluaran pada aturan ke- i

n = jumlah aturan fuzzy

Σ = operator penjumlahan

di mana adalah nilai keluaran defuzzifikasi, adalah derajat keanggotaan keluaran, adalah nilai domain keluaran, dan adalah jumlah titik diskritisasi.

3. Model Dinamika Tandon Air

Perubahan ketinggian air pada tandon dipengaruhi oleh debit air yang masuk dan keluar. Hubungan antara debit air dan perubahan tinggi air terhadap waktu dapat dimodelkan menggunakan persamaan kontinuitas, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{[Q_{\text{in}}(t) - Q_{\text{out}}(t)]}{A} \quad (5)$$

Ket

erangan:

$h(t)$ = ketinggian air sebagai fungsi waktu (cm)

t = waktu (s)

$Q_{\text{in}}(t)$ = debit aliran masuk (cm^3/s)

$Q_{\text{out}}(t)$ = debit aliran keluar (cm^3/s)

A = luas penampang tangki (cm^2)

di mana adalah ketinggian air terhadap waktu (cm), adalah debit air masuk (cm^3/s), adalah debit air keluar (cm^3/s), dan adalah luas penampang tandon (cm^2). Luas penampang tandon berbentuk silinder dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$A = \pi r^2 \quad (6)$$

Ket

eran

gan:

A = luas penampang tangki (cm^2)

r = jari-jari tangki (cm)

π = konstanta pi (3,14)

di mana adalah jari-jari tandon (cm).

4. Keterkaitan Model Matematika dengan Simulasi dan Implementasi

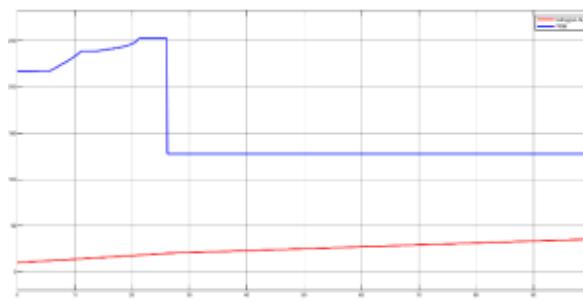
Persamaan (1) hingga (6) digunakan sebagai dasar dalam pemodelan sistem pada perangkat lunak MATLAB atau Simulink serta sebagai acuan dalam implementasi sistem kontrol pada perangkat keras berbasis ESP32. Model ini memungkinkan analisis perilaku sistem pengisian tandon air serta evaluasi kinerja pengendali logika fuzzy Mamdani dalam menjaga ketinggian air sesuai dengan setpoint yang ditentukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem pengendalian ketinggian air tandon berbasis logika fuzzy Mamdani yang diperoleh dari simulasi MATLAB atau Simulink dan pengujian perangkat keras. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengatur ketinggian air secara otomatis.

1. Hasil Pengujian dan Analisis Respon Sistem

Pengujian simulasi dilakukan untuk mengamati respon sistem pengendalian terhadap perubahan ketinggian air serta keluaran sinyal kendali berupa Pulse Width Modulation (PWM) pompa. Simulasi dijalankan dengan kondisi awal ketinggian air rendah dan setpoint ketinggian maksimum sebesar 20 cm.



Gambar 5. Respon Sistem Simulasi Pengendalian Ketinggian Air

Keterangan gambar:

- Gelombang bewarna merah menunjukkan perubahan ketinggian air (cm)
- Gelombang bewarna biru menunjukkan nilai PWM pompa

Pada Gambar 5 ditunjukkan dua sinyal utama, yaitu ketinggian air (cm) dan nilai PWM pompa terhadap waktu. Pada kondisi awal simulasi, ketinggian air berada pada nilai rendah, sehingga pengendali logika fuzzy menghasilkan nilai PWM yang tinggi. Kondisi ini menyebabkan pompa bekerja pada kecepatan maksimum untuk mempercepat proses pengisian tandon.

Seiring bertambahnya waktu, ketinggian air meningkat secara bertahap dan diikuti oleh penurunan nilai PWM. Penurunan PWM terjadi secara halus dan kontinu, yang menunjukkan bahwa sistem tidak menggunakan metode pengendalian ON atau OFF, melainkan pengendalian bertingkat berdasarkan aturan fuzzy Mamdani yang telah dirancang.

Ketika ketinggian air mendekati setpoint 20 cm, nilai PWM turun secara signifikan hingga berada pada nilai rendah dan cenderung stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi kecepatan pompa saat ketinggian air mendekati batas maksimum, sehingga risiko terjadinya luapan air dapat diminimalkan.

Respon sistem menunjukkan transisi yang halus tanpa lonjakan mendadak, yang menandakan bahwa pengendali logika fuzzy mampu mengatur kecepatan pompa secara adaptif sesuai kondisi ketinggian air.

2. Hasil Pengujian Pada Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi dengan kondisi nyata. Sistem diuji menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendekripsi ketinggian air, serta pompa DC sebagai aktuator. Data ketinggian air dan nilai PWM pompa diperoleh melalui pembacaan Serial Monitor, kemudian dicatat dan diolah menggunakan Microsoft Excel.

Hasil pengujian perangkat keras ditampilkan dalam bentuk tabel untuk menunjukkan hubungan antara ketinggian air, nilai PWM, dan kondisi kerja pompa.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Sistem Pengisian Tandon Air

Ketinggian air (cm)	PWM Pompa	Kondisi Pompa
0	255	Sangat cepat
5	235	Cepat
10	215	Sedang
15	195	Pelan
20	0	Mati

Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa pada ketinggian air 0 cm, nilai PWM berada pada nilai maksimum (255) yang menunjukkan pompa bekerja dengan kecepatan sangat cepat. Pada ketinggian 5–10 cm, nilai PWM mulai menurun, yang menandakan pompa bekerja pada kecepatan sedang. Ketika ketinggian air mencapai 15 cm, nilai PWM semakin kecil sehingga pompa bekerja lebih pelan. Pada ketinggian maksimum 20 cm, nilai PWM bernilai nol yang menandakan pompa berhenti secara otomatis.

Pompa air akan mengisi tangki sampai level air mencapai batas maksimum yang telah ditentukan. Kecepatan putaran pompa akan diatur maksimal jika kondisi level air rendah dan akan mulai menurunkan kecepatannya jika kondisi level air hamper mencapai batas maksimum. Kecepatan putaran pompa meningkat ketika jarak level air dalam tangki semakin rendah. Ini menunjukkan bahwa semakin mendekati level minimum air, sistem merespons dengan meningkatkan kecepatan putaran pompa untuk mengisi tangki dengan lebih cepat (Nurwicaksana et al, 2024).

3. Analisa Hasil Sistem Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian simulasi dan perangkat keras, dapat dianalisis bahwa sistem pengendalian ketinggian air tandon berbasis logika fuzzy Mamdani menunjukkan karakteristik respon yang stabil dan adaptif. Pola penurunan nilai PWM yang mengikuti kenaikan ketinggian air membuktikan bahwa aturan fuzzy bekerja sesuai dengan perancangan.

Jika dibandingkan, hasil simulasi MATLAB atau Simulink dan hasil pengujian perangkat keras menunjukkan kecenderungan respon yang serupa. Pada kedua pengujian, nilai PWM tinggi saat ketinggian air rendah dan menurun secara bertahap seiring bertambahnya ketinggian air. Hal ini menunjukkan bahwa model simulasi mampu merepresentasikan perilaku sistem nyata dengan baik.

Selain itu, tidak ditemukan lonjakan PWM yang signifikan maupun osilasi berlebihan pada respon sistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengendali logika fuzzy Mamdani mampu menghasilkan transisi yang halus dalam pengaturan kecepatan pompa. Dengan demikian, sistem dapat menghindari kondisi pompa bekerja terus-menerus pada kecepatan tinggi, yang berpotensi menyebabkan pemborosan energi dan memperpendek umur pompa.

Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa penerapan logika fuzzy Mamdani efektif digunakan dalam sistem pengisian tandon air otomatis untuk menjaga kestabilan ketinggian air hingga batas maksimum 20 cm.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, dan pengujian sistem pengisian tandon air otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang mampu mengatasi keterbatasan pengawasan manual pada pengisian tandon air dengan memanfaatkan sensor ultrasonik sebagai pendekripsi ketinggian air secara real-time. Dengan demikian, kondisi ketinggian air dalam tandon dapat diketahui tanpa ketergantungan pada pengamatan manusia secara langsung.
2. Sistem juga mampu mencegah kondisi tandon kosong akibat pompa lupa dihidupkan, karena proses pengisian dikendalikan secara otomatis hingga mencapai set point ketinggian air yang telah ditentukan, yaitu 20 cm.
3. Hasil simulasi menggunakan MATLAB pada Simulink menunjukkan respons sistem yang stabil, di mana perubahan nilai PWM sejalan dengan perubahan ketinggian air. Hasil ini selaras dengan data pengujian pada perangkat keras.
4. Secara keseluruhan, sistem pengisian tandon air otomatis berbasis logika fuzzy Mamdani ini mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi potensi pemborosan akibat tumpahan, serta

berpotensi memperpanjang umur pompa karena pengoperasian dilakukan secara bertahap dan tidak bersifat ON atau OFF.

VI. REFERENSI

- [1] Amelia Alawiah, Al Tahtawi, Adnan Rafi (2017). "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik". Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer. Vol. 1 (1):25-30.
- [2] Asaad Ahmed, Mohammedahmed Eltaieb, Zhang Jian Min. (2015). "Automatic Water Level Control System." International Journal of Science and Research. Vol. 4. (12):1505–1509.
- [3] Dimas Dewanto Putra, Rahmat Hidayat. (2023). "Sistem Pengisian Toren Otomatis Dengan Sensor Ultrasonik". Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan. Vol 9 (13):186-194.
- [4] Dinda Arif Insantama, Bambang Suprianto. (2019). "Rancang Bangun Kendali Level Air Otomatis Pada Tangki Dengan Servo Valve Berbasis Fuzzy Logic Controller Menggunakan Arduino". Jurnal Teknik Elektro. Vol. 8 (1):143-151.
- [5] Ditya Satria Nugroho Hadi, Aris Triwiyatno, Budi Setiyono. (2013). "Pengendalian Level Air Pada Plan Tangki Penampungan Sistem Pengolahan Air Limbah Menggunakan Metode Kontrol PI". Transmisi, Vol. 15 (1): 29.
- [6] Hendrawan Wahyono, Puput Wanarti Rusimamto.(2019). "Rancang Bangun Sistem Kontrol ketinggian Air Bendungan Menggunakan Metode PID". Jurnal Teknik Elektro. Vol. 8 (2):341-348
- [7] Muchammad Nur Fatah Muizz, Bambang Suprianto. (2019). "Rancang Bangun Pengendalian Level Air Otomatis pada Tangki dengan Servo Valve Berbasis PID Controller". Jurnal Teknik Elektro. Vol. 8 (2): 155-162.
- [8] Rindra, A. K., Widodo, A., Baskoro, F., & Kholis, N. (2022). "Sistem Monitoring Level Ketinggian Air Pada Tandon Rumah Tangga Berbasis IoT (Internet of Things)". Jurnal Teknik Elektro, Vol. 11 (1):17–22.
- [9] Timothy J. Ross.(2010). "Fuzzy Logic With Engineering Applications". In: Ross. T.J Fuzzy Logic with Engineering Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons. Pp. 438-500.
- [10] Wahyu Aulia Nurwicaksana , Septiana Riskitasari , Dinda Ayu Permatasari , Fitri , Wahyu Tri Wahono. (2024). "Optimisasi Sistem Pengisian Tangki Air Otomatis Menggunakan Kontrol PID untuk Menjaga Kestabilan Ketinggian Air". Jurnal Elkolind. Vol. 11 (1):246-252.