

Rancang Bangun Prototype Smart Tank Dengan Motorized Valve Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

Muhammad Dwi Prasetyo¹, Fina Supergina¹

¹Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta
dwiprasetio85@gmail.com

Abstrak— Ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengendalian level air pada sistem industri, khususnya di sektor manufaktur energi, seringkali menyebabkan ketidakefisienan distribusi dan ketidakstabilan operasi. Tantangan utama terletak pada kebutuhan presisi adaptif dalam pengaturan aliran cairan, yang tidak dapat diatasi secara optimal oleh mekanisme katup manual atau konvensional. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini merancang sebuah prototipe smart tank yang mengintegrasikan motorized valve dengan metode Fuzzy Mamdani. Sistem ini memanfaatkan kecerdasan buatan berbasis logika fuzzy untuk menerjemahkan variabel ambigu menjadi aksi kontrol yang presisi dan berkelanjutan. Komponen utama prototipe meliputi ESP32, sensor ultrasonik HC-SR04, motorized valve, pompa air, dan HMI Nextion untuk antarmuka pengguna. Pengujian dilakukan secara kuantitatif melalui eksperimen skala miniatur, dengan fokus pada respons aktuasi motorized valve, akurasi sensor, serta evaluasi kestabilan dan efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan level cairan pada kisaran optimal 69-73% dengan error sensor rata-rata hanya 0,05-0,13%. Selain itu, metode Fuzzy Mamdani terbukti efektif mengurangi fluktuasi dan siklus ON/OFF pompa yang tidak perlu, serta menghasilkan kontrol yang presisi dan adaptif. Dengan demikian, prototipe ini menawarkan solusi yang stabil dan efisien untuk pengendalian level air dalam aplikasi industri.

Kata Kunci— Efisiensi, Fuzzy Logic Mamdani, Kestabilan Kontrol Level Air, Motorized Valve

DOI: 10.22441/jte.2026.v17i1.009

I. PENDAHULUAN

Pengendalian level air dalam sistem industri, khususnya di sektor manufaktur energi, merupakan aspek kritis yang memengaruhi efisiensi operasional dan kualitas produk. Namun, ketidakpastian dinamika fluida dan keterbatasan sistem kontrol konvensional seringkali menyebabkan ineffisiensi distribusi (kerugian 15-20%) dan ketidakstabilan operasi (30% lebih sering terjadi downtime) [1]. Penggunaan katup manual atau kontrol on-off tradisional tidak mampu memberikan respons adaptif terhadap variasi beban, sehingga mengakibatkan fluktuasi level yang signifikan [2]. Hal ini diperparah oleh kompleksitas lingkungan industri modern, di mana presisi dan keandalan sistem kontrol menjadi faktor penentu produktivitas.

Penelitian sebelumnya mengembangkan model hibrida untuk meningkatkan akurasi respons katup, tetapi solusi tersebut masih terbatas pada aplikasi tertentu dan belum sepenuhnya mengatasi masalah adaptabilitas [3]. Di sisi lain, terdapat penelitian mengusulkan pemeliharaan prediktif berbasis sensor

untuk solenoid valve, namun pendekatan ini belum mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk optimasi kontrol real-time [4]. Adapun penelitian yang menerapkan logika fuzzy pada sistem kontrol level air, tetapi dengan aktuator konvensional yang kurang fleksibel [5]. Dengan demikian, terdapat kesenjangan antara kebutuhan industri akan sistem kontrol yang presisi, adaptif, dan efisien dengan solusi yang tersedia saat ini.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini mengusulkan integrasi motorized valve dengan metode Fuzzy Mamdani sebagai solusi inovatif. Motorized valve dipilih karena kemampuannya memberikan kontrol aliran secara gradual, sementara logika fuzzy Mamdani dipilih karena kemampuannya mengolah input ambigu menjadi output kontrol yang stabil [6]. Kombinasi ini diharapkan mampu mengatasi keterbatasan sistem konvensional dengan menyediakan kontrol yang lebih responsif dan hemat energi. Prototipe yang dikembangkan menggunakan ESP32, sensor ultrasonik, dan HMI Nextion untuk memastikan akurasi dan kemudahan operasional. Dengan pendekatan ini, penelitian ini bertujuan tidak hanya menyelesaikan masalah teknis tetapi juga memberikan kontribusi praktis bagi industri manufaktur energi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

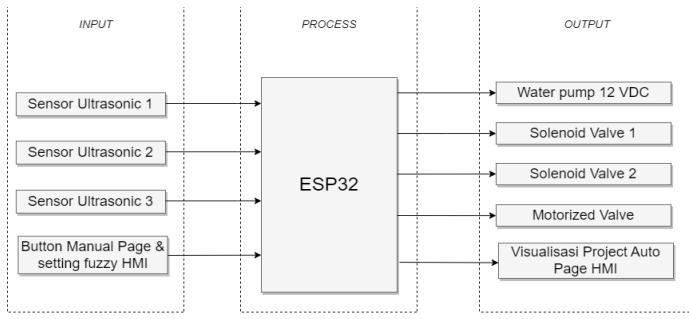
Penelitian ini membahas Rancang Bangun *Prototype Smart Tank* dengan Motorized Valve Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. Untuk merealisasikan alat ini, diperlukan pendekatan eksperimental dengan metode research and development (R&D) untuk merancang dan menguji *prototype smart tank*. Desain penelitian bersifat kuantitatif, mengukur parameter seperti akurasi sensor, respons sistem, dan efisiensi kontrol berbasis Fuzzy Mamdani. Penelitian ini diperlukan metodologi yang matang agar perancangan dan perencanaan rancang bangun alat lebih terstruktur sehingga dapat memudahkan dalam proses pengerjaan. Maka dari itu pada bagian ini mencakup deskripsi alat, diagram blok, diagram alir, spesifikasi alat, input/output list, dan wiring diagram.

A. Diagram Block

Diagram blok pada bab ini bertujuan untuk menjelaskan hubungan komponen utama pada alat ini. Pada gambar 1 merupakan diagram blok dari sistem rancang bangun alat ini.

Alat ini memiliki klasifikasi sistem dalam perancangan, antar lain terdapat sistem *Input*, Proses, *Output*. Sistem Input sendiri terdiri dari tiga buah sensor ultrasonik dimana berfungsi mengirim data pembacaan level air dari tangki, sistem proses menggunakan ESP32 berfungsi sebagai penerima input dari

sensor dan juga sebagai pusat pengelolaan suatu rangkaian penelitian ini, dan terakhir terdapat sistem output yang terdiri dari *water pump*, solenoid valve, motorized valve. Ketiga sistem ini memiliki proses kerja yang pertama sensor ultrasonik membaca data ketinggian air pada tangki utama kemudian mengirim signal ke ESP32 dimana data tersebut dikelola dengan baik yang menghasilkan output berupa buka tutup *water pump* dan solenoid valve kemudian yang terakhir yaitu pengaturan pembukaan motorized valve secara fleksibel.



Gambar 1. Diagram Blok

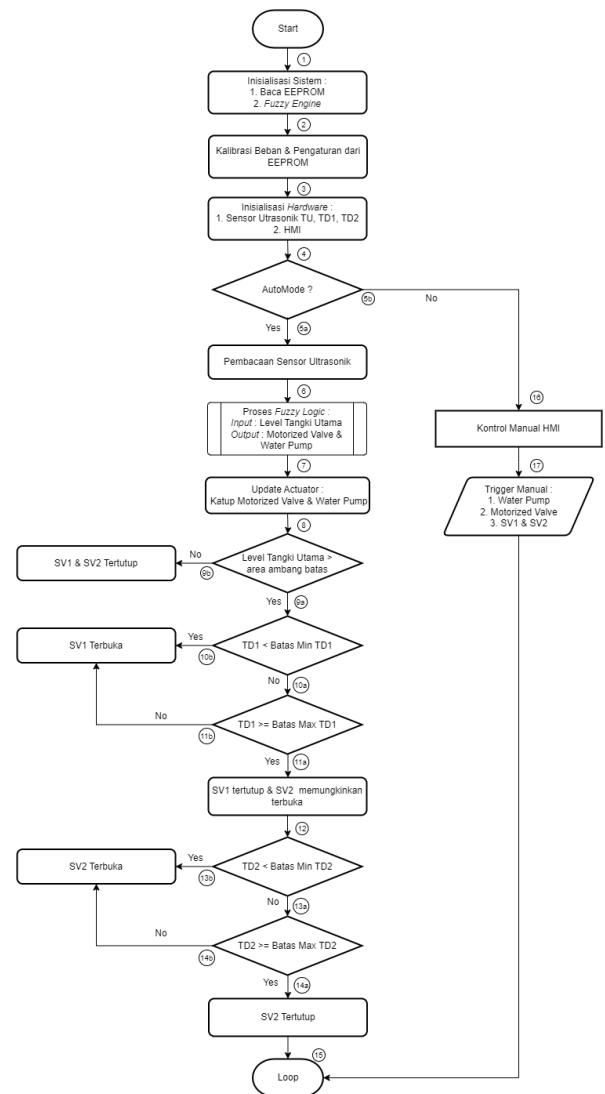
B. Flowchart

Flowchart digunakan untuk menggambarkan secara visual alur proses penelitian dan implementasi sistem. *Flowchart* memberikan representasi grafis dari tahapan-tahapan kerja, mulai dari identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, hingga tahap pengujian dan evaluasi.

- *Flowchart Sistem Alat*

Flowchart sistem alat menggambarkan cara kerja sistem alat ini sesuai urutannya. Gambar 2 merupakan *flowchart* sistem alat alat ini.

Tahapan pertama yang dilakukan adalah mengisi isi wadah dengan air kemudian menghidupkan alat dengan cara menghubungkan steker dan naikkan MCB *power ON*. Lalu kalibrasi tangki dengan menekan perintah *load* di halaman *calib*. HMI, kemudian lakukan pengaturan fuzzy dengan input nilai keanggotaan dan aturan batas minimum dan maksimum dari tangki yang dibutuhkan di halaman *setting HMI*. Lalu pergi ke halaman auto dan tekan start untuk memulai pengoperasian sistem tersebut.

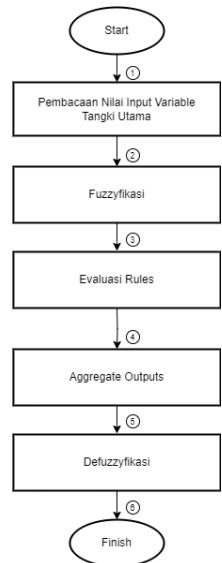


Gambar 2. *flowchart* sistem alat

- *Perancangan Sistem Fuzzy*

Perancangan sistem *fuzzy* menggambarkan cara kerja logika *fuzzy* mamdani yang digunakan di dalam sistem alat ini sesuai urutannya. Gambar 3 di bawah merupakan *flowchart* perancangan sistem *fuzzy* alat ini.

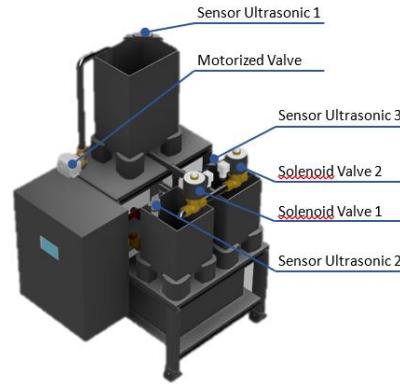
Tahapan pertama proses kerja sistem *fuzzy* dimulai dengan pembacaan nilai input variabel dari tangki utama, yaitu level ketinggian cairan yang diperoleh dari sensor. Nilai input ini kemudian melalui tahap fuzzifikasi, dimana nilai crisp (tepat) dari sensor diubah menjadi derajat keanggotaan *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan. Setelah itu, sistem melakukan evaluasi rule (penilaian aturan) dimana semua aturan *fuzzy* IF-THEN yang telah didefinisikan diaplikasikan terhadap input yang telah difuzzifikasi yang telah ditentukan pada tabel 1.



Gambar 3. Proses Sistem Fuzzy

C. Perancangan Mekanikal

Perancangan mekanikal merupakan desain alat yang merepresentasikan bentuk fisik mekanikal secara visual dari perancangan alat Rancang Bangun *Prototype Smart Tank* dengan Motorized Valve Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. Berikut pada gambar 5 merupakan perancangan mekanik alat tersebut

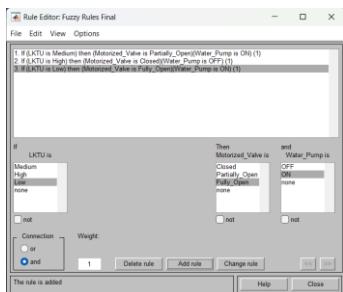


Gambar 5. Desain Alat

Tabel 1. Aturan Fuzzy

Tangki Utama	<i>Motorized valve</i>	<i>Water pump</i>
Low	<i>Fully Open</i>	Open
Medium	<i>Partial Open</i>	Open
High	<i>Close</i>	Close

Aturan yang terdapat pada tabel 1. dapat divisualisasikan kedalam matlab. Gambar 4 merupakan aturan fuzzy yang dituangkan dalam matlab

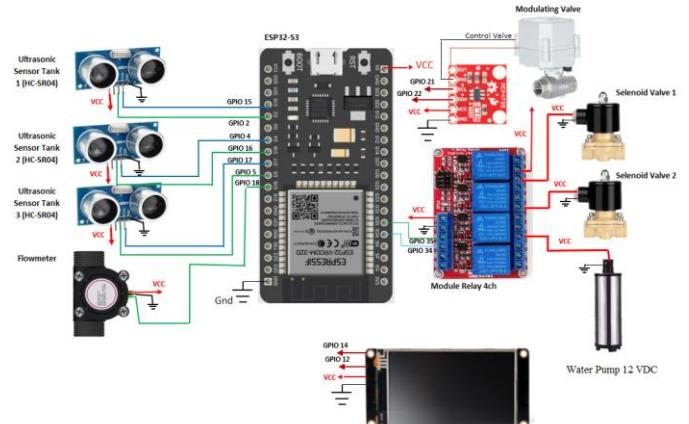


Gambar 4. Aturan Fuzzy

Tahapan berikutnya dari hasil evaluasi rule kemudian digabungkan dalam tahap agregasi output untuk menghasilkan himpunan fuzzy output. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, dimana himpunan fuzzy output diubah kembali menjadi nilai crisp yang dapat digunakan untuk mengontrol motorized valve. Proses ini berjalan secara kontinyu dari *start* hingga *finish*, membentuk sistem *loop* tertutup yang menjaga level cairan dalam tangki utama tetap stabil.

D. Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal merupakan representasi visual yang menunjukkan hubungan dan jalur pengkabelan antara komponen listrik atau elektronik dalam suatu sistem kelistrikan. Berikut ini pada gambar 6 yang merupakan perancangan elektrikal Rancang Bangun *Prototype Smart Tank* dengan Motorized Valve Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani.



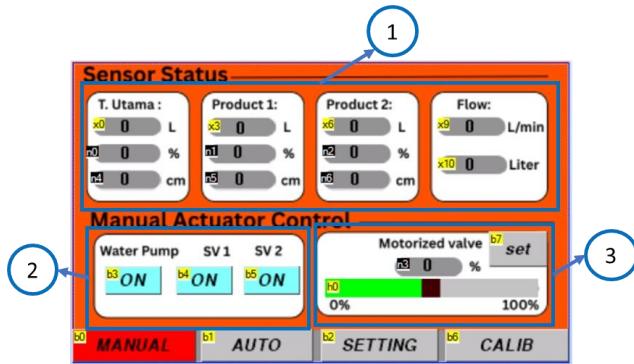
Gambar 6. Rangkaian Wiring Elektrikal

E. Perancangan HMI

Perancangan tampilan HMI pada Nextion Editor melibatkan pembuatan antarmuka pengguna untuk menjalankan perintah terhadap alat tersebut. Penempatan tombol kontrol dan beberapa halaman yang berisikan menu setting untuk melakukan initialisasi sistem fuzzy dan melakukan kalibrasi pembacaan level ketinggian air terhadap tangki. Berikutnya dilakukan perancangan halaman manual untuk pengoperasian masing-masing komponen dan terdapat halaman auto dimana berfungsi sebagai halaman utama untuk pengoperasian sistem secara otomatis.

- Desain HMI Manual Page

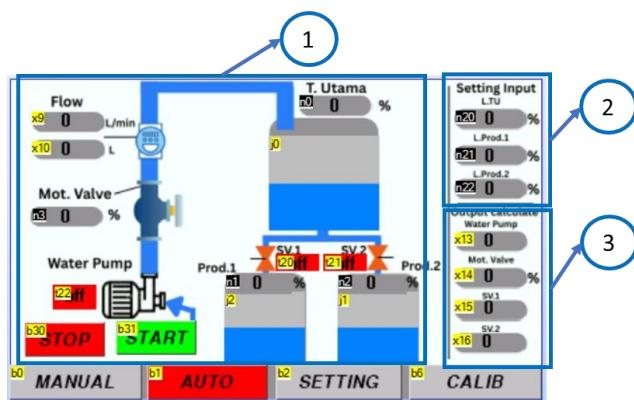
Pada gambar 7 merupakan tampilan halaman manual yang menampilkan tombol, slider, serta tampilan status variable angka. Tampilan ini berfungsi untuk pengujian masing – masing komponen yang digunakan yang mana diikuti dengan tampilan kondisi status pengujian. Tombol berfungsi untuk mengaktifkan suatu fungsi komponen dan slide berfungsi menaikan atau menurunkan nilai pembukaan yang mana dikalkulasikan dengan menggunakan bentuk persentase



Gambar 7. Desain HMI Manual Page

• Desain HMI Auto Page

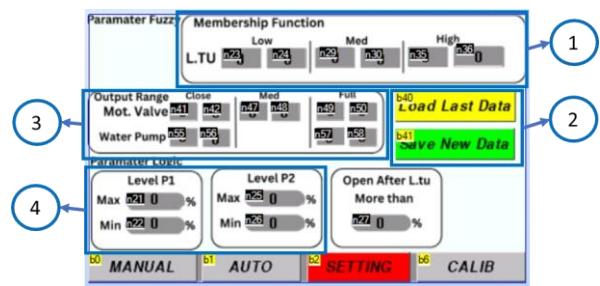
Pada gambar 8 merupakan tampilan halaman auto yang menampilkan tombol, tampilan status variable angka, serta tampilan prototype secara singkat. Tampilan ini berfungsi untuk pengujian secara keseluruhan baik alat ataupun program setting fuzzy logic itu sendiri. Tombol START berfungsi untuk mengaktifkan proses kerja alat agar dapat berjalan, tombol STOP berfungsi untuk memberhentikan proses kerja secara keseluruhan



Gambar 8. Desain HMI Auto Page

• Desain HMI Setting Page

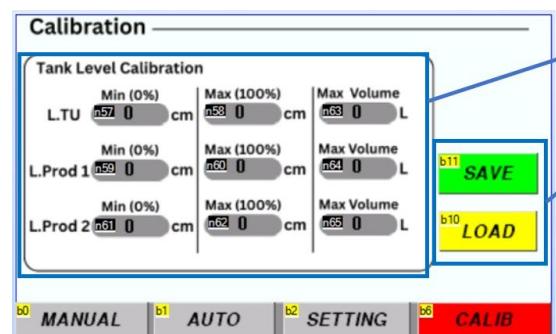
Pada gambar 9 merupakan tampilan halaman pengaturan yang menampilkan tombol, dan tampilan status variable angka. Tampilan ini berfungsi untuk melakukan pengaturan ketika ingin memulai produksi. Tombol “save new data” berfungsi untuk menyimpan pengaturan yang sudah dibuat, sedangkan tombol “load last data” berfungsi untuk menampilkan pengaturan yang sudah disimpan sebelumnya



Gambar 9. Desain HMI Setting Page

• Desain HMI Calib Page

Pada gambar 10 merupakan tampilan halaman kalibrasi yang menampilkan tampilan status variable angka. Tampilan ini berfungsi untuk melakukan kalibrasi ketinggian level air serta volume air pada masing – masing tangki



Gambar 10. Desain HMI Calib Page

III. HASIL DAN ANALISA

Bagian ini menjelaskan hasil pengujian serta analisa hasil pengujian tersebut. Terdapat beberapa pengujian, antara lain: pengujian sensor ultrasonik, pengujian motorized valve, pengujian fuzzy nilai bersimpangan, pengujian fuzzy nilai tidak bersimpangan dan pengujian response waktu motorized valve.

A. Pengujian Sensor Ultrasonik

Hasil pengujian sensor ultrasonik fokus terhadap perbandingan nilai teori dengan hasil aktual yang telah dilakukan pengujian. Pengujian fungsi dan respon pembacaan dari sensor ultrasonik terhadap air yang berada di dalam tangki dimana bertujuan untuk mengetahui akurasi pembacaan dari sensor ultrasonik apakah dapat membaca kedua air di dalam tangki secara akurat atau tidak, selain itu juga untuk mengetahui seberapa besar perbedaan kapasitas air yang ada di dalam tangki akibat dari pembacaan sensor ultrasonik itu sendiri. Pengujian ini dilakukan dengan tiga kondisi tangki yang berbeda, pertama dilakukan pengujian di tangki utama (TU) untuk sensor ultrasonik 1, kemudian tangki distribusi 1 (TD1) untuk sensor ultrasonik 2 dan tangki distribusi 2 (TD2) untuk sensor ultrasonik 3.

Berikut pada gambar 11 sampai gambar 13 merupakan data hasil pengujian sensor ultrasonik sistem Rancang Bangun Prototype Smart Tank dengan Motorized Valve Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani

No	Teori Level (%)	Nilai Sebenarnya (mL)	Pembacaan Level (%)	Actual Kapasitas (mL)	Error Level (%)	Error Pengukuran mL (%)
1	10%	800	11%	820	10,00	2,50
2	20%	1600	23%	1650	15,00	3,13
3	30%	2400	30%	2500	0,00	4,17
4	40%	3200	42%	3200	5,00	0,00
5	50%	4000	53%	4050	6,00	1,25
6	60%	4800	61%	4910	1,67	2,29
7	70%	5600	73%	5700	4,29	1,79
8	80%	6400	84%	6370	5,00	0,47
9	90%	7200	92%	7200	2,22	0,00
10	100%	8000	100%	7900	0,00	1,25
Rata – Rata Error				4,92	1,68	

Gambar 11. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04 TU

No	Teori Level (%)	Nilai Sebenarnya (mL)	Pembacaan Level (%)	Actual Kapasitas (mL)	Error Level (%)	Error Pengukuran mL (%)
1	10%	300	15%	210	50,00	30,00
2	20%	600	23%	810	15,00	35,00
3	30%	900	38%	1200	26,67	33,33
4	40%	1200	46%	1420	15,00	18,33
5	50%	1500	53%	1700	6,00	13,33
6	60%	1800	61%	1900	1,67	5,56
7	70%	2100	76%	2100	8,57	0,00
8	80%	2400	84%	2200	5,00	8,33
9	90%	2700	92%	2470	2,22	8,52
10	100%	3000	100%	2680	0,00	10,67
Rata – Rata Error				13,01	16,31	

Gambar 12. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04 TD1

Berdasarkan analisis data hasil pengujian pertama yaitu sistem pengukuran level tangki utama, bahwa sistem secara umum menunjukkan kinerja yang memadai dengan tingkat akurasi yang dapat diterima. Sistem ini mampu mengukur level cairan dengan error rata-rata 4,92% untuk persentase level dan 1,68% untuk pengukuran kapasitas dalam mililiter, yang menunjukkan ketepatan pengukuran yang cukup baik. Namun, terlihat adanya variasi dalam tingkat akurasi yang bergantung pada level pengukuran. Pada level rendah (10-20%), sistem menunjukkan error yang relatif besar mencapai 10-15%, sementara pada level menengah hingga tinggi (30-100%) error cenderung lebih kecil di bawah 6%. Hasil pengukuran paling akurat terjadi pada level 30%, 90%, dan 100% dimana error mencapai 0%, menunjukkan konsistensi yang baik pada level-level tertentu.

No	Teori Level (%)	Nilai Sebenarnya (mL)	Pembacaan Level (%)	Actual Kapasitas (mL)	Error Level (%)	Error Pengukuran mL (%)
1	10%	300	14%	300	40,00	0,00
2	20%	600	21%	500	5,00	16,67
3	30%	900	35%	1200	16,67	33,33
4	40%	1200	42%	1450	5,00	20,83
5	50%	1500	50%	1570	0,00	4,67
6	60%	1800	64%	1880	6,67	4,44
7	70%	2100	71%	2080	1,43	0,95
8	80%	2400	85%	2360	6,25	1,67
9	90%	2700	92%	2680	2,22	0,74
10	100%	3000	100%	2790	0,00	7,00
Rata – Rata Error				8,32	9,03	

Gambar 13. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04 TD2

Pada pengujian berikutnya, sistem pengukuran level tangki menunjukkan ketidakakuratan signifikan dengan rata-rata error 13,01% untuk level dan 16,31% untuk volume. Error tertinggi terjadi pada level rendah (10-30%) dengan error mencapai 50%, sementara level tinggi (70-100%) menunjukkan hasil lebih baik meski masih ada ketidaksesuaian. Sistem ini membutuhkan perbaikan kalibrasi sensor dan penyempurnaan algoritma konversi, terutama untuk range pengukuran rendah hingga menengah, agar mencapai akurasi yang memadai.

Pengujian ketiga, sistem pengukuran level tangki menunjukkan akurasi yang tidak konsisten. Error rata-rata mencapai 8,32% untuk level dan 9,03% untuk volume. Performa terburuk terjadi pada level 10% dengan error level 40%, meskipun error volumenya 0%. Pada level menengah (30%), error volume melonjak hingga 33,33%. Namun, sistem menunjukkan peningkatan akurasi di level tinggi (70-100%) dengan error level di bawah 6,67% dan error volume maksimal 7%. Titik terbaik ada di level 50% dengan error level 0% dan error volume 4,67%. Temuan ini mengindikasikan perlunya perbaikan kalibrasi khususnya untuk level rendah dan menengah, serta penyesuaian algoritma konversi level ke volume untuk meningkatkan akurasi secara menyeluruh.

B. Pengujian Motorized Valve

Hasil pengujian *motorized valve* fokus terhadap pembukaan katup valve terhadap settingan yang diberikan oleh input HMI Nextion. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kinerja dari motorized valve yang sudah dipadukan oleh program yang sudah dirancang apakah berhasil atau tidak, serta mengetahui pembukaan valve yang fleksibel dimana ini merupakan suatu kelebihan dari komponen tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada slider di manual page HMI dengan nilai variabel yang berbeda dan dilakukan pengecekan terhadap status pembukaan katup valve di bagian komponen tersebut. Gambar 14 merupakan hasil pengujian manual *motorized valve*

No	Nilai Pembukaan (%)	Posisi Slider	Pembukaan Katup Valve	Status (°)	Konversi (%)
1	10%			± 9°	10%
2	20%			± 18°	20%
3	30%			± 27°	30%
4	40%			± 36°	40%
5	50%			± 45°	50%
6	60%			± 54°	60%
7	70%			± 63°	70%
8	80%			± 72°	80%
9	90%			± 81°	90%

Gambar 15. Pengujian Motorized Valve

C. Pengujian Fuzzy

Pengujian fuzzy ini memiliki dua metode pengujian. Pertama, pengujian yang dimana menggunakan membership function yang memiliki persimpangan nilai antara low – medium dan medium – high. Kedua, pengujian dimana membership function yang tidak memiliki persimpangan nilai antara low – medium dan medium – high.

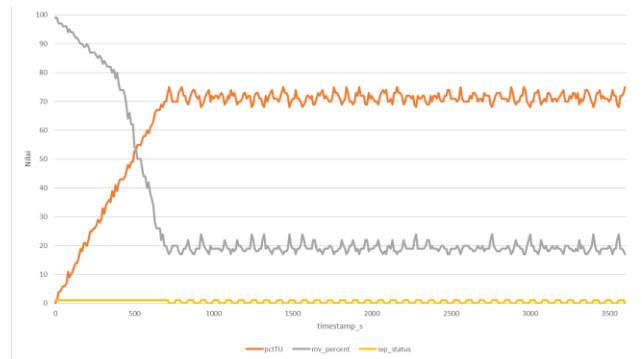
- *Pengujian Fuzzy Nilai Bersimpangan*

Hasil pengujian fuzzy ini fokus terhadap nilai pembukaan motorized valve, kerja dari water pump, serta kondisi level air pada tangki TU dengan setting *membership function*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem kontrol *fuzzy logic* dalam mengatur level air secara otomatis pada tangki utama. Fungsi keanggotaan fuzzy meliputi seperti yang ada pada tabel 2 di bawah ini

Tabel 2. Aturan Fuzzy

Parameter	Rentang Nilai	Keterangan
<i>Membership Function Level Air TU</i>		
<i>Low</i>	0 – 40%	Level Rendah
<i>Medium</i>	30 – 70%	Level Sedang
<i>High</i>	60 – 99%	Level Tinggi
<i>Output Motorized valve</i>		
<i>Close</i>	0 – 20%	Valve Tertutup
<i>Medium</i>	20 – 80%	Valve Terbuka Sebagian
<i>Full Open</i>	80 – 99%	Valve Terbuka Penuh

Dari fungsi keanggotaan yang terdapat pada tabel 2, didapat hasil pengujian yang divisualisasikan kedalam bentuk grafik. Gambar 14 merupakan hasil pengujian fuzzy nilai bersimpangan.



Gambar 15. Grafik Pengujian 1 Fuzzy Auto: Level, Valve, dan Pompa

Dari hasil pengujian sistem kontrol *fuzzy* dengan nilai bersimpangan selama satu jam dengan interval sampling 10 detik, memperlihatkan dinamika level air (garis oranye), bukaan motorized valve (garis abu-abu), dan status pompa (garis kuning). Sistem bekerja dengan mengisi air hingga level 73% sebelum mematikan pompa, kemudian mengaktifkannya kembali saat level turun di bawah 70%, menjaga kestabilan rata-rata di 71,15%. Motorized valve menyesuaikan bukaannya secara dinamis berdasarkan level air - membuka penuh saat level low dan menutup minimal saat level high, dengan titik persilangan di level 50% (bukaan valve 45°). Grafik ini menunjukkan efektivitas kontrol *fuzzy* dalam mengatur siklus pengisian dan menjaga level air dalam rentang 70-73% melalui respon valve dan pompa yang terkoordinasi.

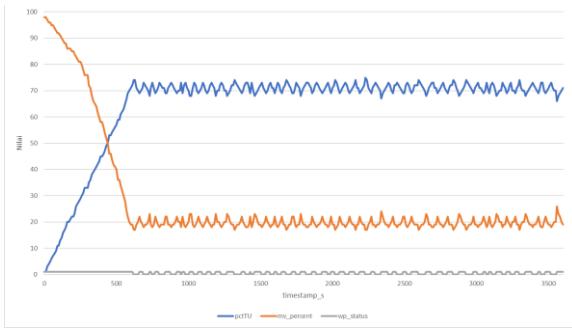
- *Pengujian Fuzzy Nilai Tidak Bersimpangan*

Hasil pengujian fuzzy ini fokus terhadap nilai pembukaan motorized valve, kerja dari water pump, serta kondisi level air pada tangki TU dengan setting *membership function*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem kontrol *fuzzy logic* dalam mengatur level air secara otomatis pada tangki utama. Fungsi keanggotaan fuzzy meliputi seperti yang ada pada tabel 3.

Tabel 3. Aturan Fuzzy

Parameter	Rentang Nilai	Keterangan
<i>Membership Function Level Air TU</i>		
Low	0 – 30%	Level Rendah
Medium	30 – 70%	Level Sedang
High	70 – 99%	Level Tinggi
<i>Output Motorized valve</i>		
Close	0 – 20%	Valve Tertutup
Medium	20 – 80%	Valve Terbuka Sebagian
Full Open	80 – 99%	Valve Terbuka Penuh

Dari fungsi keanggotaan yang terdapat pada tabel 3, didapat hasil pengujian yang divisualisasikan kedalam bentuk grafik. Gambar 16 merupakan hasil pengujian fuzzy nilai tidak bersimpangan.



Gambar 16. Grafik Pengujian 2 Fuzzy Auto: Level, Valve, dan Pompa

Dari hasil pengujian sistem kontrol *fuzzy* dengan *membership function* yang tidak bersinggungan, menampilkan dinamika level air (garis biru), bukaan valve (garis oranye), dan status pompa (garis abu-abu) selama satu jam pengujian. Sistem beroperasi dengan siklus pengisian hingga 73%, kemudian mematikan pompa dan mengaktifkannya kembali saat level turun di bawah 70%, mempertahankan level air rata-rata pada 70,97%. Motorized valve menyesuaikan bukaan secara proporsional - membuka penuh saat level rendah dan menutup minimal saat level tinggi, dengan titik keseimbangan pada level 50% (bukaan valve 45°). Hasil ini menunjukkan kemampuan sistem fuzzy dalam menjaga kestabilan level air dalam rentang 70-73% melalui koordinasi antara valve dan pompa.

D. Pengujian Response Time Motorized Valve

Dari sisi sistem fuzzy, nilai dari level air tangki utama akan dikalkulasikan untuk membentuk sebuah output yang ditentukan berdasarkan rules yang telah dibuat sebelumnya, dimana untuk hasilnya berupa pengontrolan level air di angka 69% - 73%. Berikut merupakan hasil beberapa percobaan yang dilakukan pada sistem secara keseluruhan.

- Pengujian Kondisi 1

Hasil pengujian di bawah ini merupakan hasil pengujian alat keseluruhan dengan delay rata-rata yang didapat setelah sistem mulai menjaga level air pada tangki utama

dengan kondisi pertama SV1 open dan SV2 close yaitu sebesar 1,097 detik.

No	Input			Output Valve	Keterangan	Waktu Respon (s)
	Ultrasonik 1	Ultrasonik 2	Ultrasonik 3			
1	69 %	7 %	0 %	10 %	Open	1,53
2	74 %	7 %	0 %	0 %	Closed	1,13
3	69 %	7 %	0 %	10 %	Open	0,8
4	73 %	7 %	0 %	0 %	Closed	0,62
5	69 %	7 %	0 %	10 %	Open	1,12
6	74 %	7 %	0 %	0 %	Closed	0,99
7	69 %	7 %	0 %	10 %	Open	1,1
8	73 %	15 %	0 %	0 %	Closed	1,06
9	69 %	15 %	0 %	10 %	Open	1,52
10	73 %	15 %	0 %	0 %	Closed	1,1
Rata-Rata Respon						1,097

Gambar 17. Pengujian Kondisi 1

- Pengujian Kondisi 2

Percobaan berikutnya meliputi delay rata-rata yang didapat setelah sistem mulai menjaga level air pada tangki utama dengan kondisi pertama SV1 close dan SV2 open yaitu sebesar 1,181detik. Berikut ini hasil percobaan kedua yang dapat dilihat pada gambar 18

No	Input			Output Valve	Keterangan	Waktu Respon (s)
	Ultrasonik 1	Ultrasonik 2	Ultrasonik 3			
1	69 %	0 %	7 %	10 %	Open	1,42
2	74 %	0 %	7 %	0 %	Closed	1,02
3	69 %	0 %	7 %	10 %	Open	1,51
4	73 %	0 %	7 %	0 %	Closed	1,42
5	69 %	0 %	7 %	10 %	Open	0,9
6	74 %	0 %	7 %	0 %	Closed	0,88
7	69 %	0 %	7 %	10 %	Open	1,37
8	73 %	0 %	15 %	0 %	Closed	0,97
9	69 %	0 %	15 %	10 %	Open	1,21
10	73 %	0 %	15 %	0 %	Closed	1,11
Rata-Rata Respon						1,181

Gambar 18. Pengujian Kondisi 2

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi alat, pengujian, dan analisis dari hasil pengujian alat ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil dari pengujian fuzzy logic menggunakan esp32 didapatkan rata – rata penjagaan level air di pengujian pertama sebesar 71,15 % dan penjagaan level air di pengujian kedua sebesar 70,97 %. Terjadi perbedaan karena kedua pengujian dilakukan dengan perbedaan membership function pada level air tangki utama.
- Motorized valve dapat melakukan pembukaan secara fleksibel dengan interval pembukaan 10% (0% - 100%) didapat pembukaan aktual dengan interval 9° (0° - 90°), jika di konversikan nilai 9° adalah 10% dan seterusnya.
- Dari hasil pengujian akhir alat, didapatkan rata – rata waktu response untuk pembukaan / penutupan katup motorized valve dengan dua kondisi, dimana pada kondisi pertama yaitu sebesar 1,097 detik dan untuk kondisi kedua yaitu sebesar 1,181 detik.
- Dari hasil pengujian semua sensor ultrasonik, untuk sensor pertama (tangki utama) memiliki rata – rata error sebesar 4,92%, sensor kedua (tangki distribusi 1) memiliki rata –

rata error sebesar 13,01%, dan sensor ketiga (tangki distribusi 2) memiliki rata – rata error sebesar 8,32%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aviv et al., "Water Level Control Sistem Otomatis Sederhana pada Tandon Air di Kawasan Perumahan," *Performa* Vol. 15, No.2: 130-136, 2016.
- [2] Afifuddin, A. A. "Penerapan Metode Fuzzy Untuk Monitoring Penggunaan Air Rumah Tangga Berbasis Arduino," *JATI* Vol. 3 No. 1, 31-38, 2019.
- [3] Prajwal BN et al., "PreMa: Predictive Maintenance of Solenoid Valve in Real-Time at Embedded Edge-Level," 1-13, 2022.
- [4] Yuan Chi et al., "Hybrid Modeling Application in Control Valve," *Control Engineering Practice*, 95, 12-24, China, 2020.
- [5] Khaireudin et al., "Design of automatic water level control system using fuzzy logic," *Journal of Physics: Conference Series*, 2156, 145-152, 2022.
- [6] Jiang, W. "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank," *Journal Of Software*, VOL. 6, NO. 6, 1082-1088, 2011.