

Sistem Kendali Fuzzy Mamdani Berbasis IoT untuk Optimalisasi Tangki Air

Lukman Medriavin Silalahi^{*1}, Imelda Uli Vistalina Simanjuntak², Muthia Maharani³, Ranti Aulia Putri Ramdani⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Indonesia
Email: ¹lukman.medriavin@mercubuana.ac.id, ²imelda.simanjuntak@mercubuana.ac.id

Abstrak

Masalah riset ini mengacu pada manajemen air yang tidak efisien, mengakibatkan pemborosan sumber daya. Air merupakan hal yang dibutuhkan oleh seluruh makhluk hidup yang seiring waktu bertambahnya populasi, juga meningkatnya permintaan air. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem berbasis pada platform Thingspeak untuk memantau dan mengendalikannya menggunakan Arduino menggunakan metode Fuzzy Mamdani. Riset ini dibangun atas sensor HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian air, kemudian sensor TDS untuk mendeteksi kepadatan partikel air yang terkandung, selanjutnya sensor tegangan untuk memantau kondisi genset yang dikendalikan menggunakan mikrokontroler ESP32. Riset ini mengembangkan sistem kendali berbasis IoT dengan metode Fuzzy Mamdani sehingga sistem ini menunjukkan akurasi tinggi dengan error sensor TDS 0,062% dan pengolahan data real-time di Thingspeak. Hal ini berpotensi peningkatan efisiensi penggunaan air dan mendukung pengelolaan sumber daya berkelanjutan.

Kata kunci: *arduino, ESP32, fuzzy mamdani, IoT, MATLAB, TDS*

IoT-Based Fuzzy Mamdani Control System for Water Tank Optimization

Abstract

The problem of this research is the control and monitoring of water reservoirs, this is because the management of water availability must always be available. Water is something needed by all living things which over time increases in population, also increases the demand for water. The purpose of this research is to design a control and monitoring system using Arduino that can be monitored using the Thingspeak platform which is already based on IoT technology. This research plans to use an ESP32 microcontroller with HC-SR04 sensor input to detect water levels and a TDS sensor to detect the density of water particles contained, then processed using the fuzzy mamdani method so that the defuzzification value of the method will be output in the form of when the pump is on. then ESP32 will send data so that it can be monitored using Internet of Things (IoT)-based Thingspeak.

Keywords: *arduino, ESP32, fuzzy mamdani, IoT, MATLAB, TDS*

1. PENDAHULUAN

Air merupakan hal yang dibutuhkan oleh semua kalangan baik individu, rumah tangga maupun industri. Seiring dengan bertambahnya populasi, permintaan air juga semakin meningkat [1], [2]. Maka ketersediaan air harus selalu ada baik di rumah tangga, tempat umum maupun industry. Peran penampung air menjadi sangat penting sehingga memerlukan suatu mekanisme pengendalian ketersediaan air. Mekanisme distribusi air masih menggunakan cara manual. Kondisi penampung air yang tidak dapat dilihat secara langsung, mengakibatkan air terbuang setelah penampung air penuh dan begitu sebaliknya apabila penampungan air dalam keadaan kosong [3].

Hasil observasi menunjukkan sudah memiliki sistem irigasi yang dioperasikan secara manual, namun mengalami kendala pada pelampung yang mengakibatkan air pada tangki penampung kosong. Selanjutnya, penelitian serupa sudah ada upaya riset berskala laboratorium/eksperimental dalam rangka perancangan sistem kendali penampung air otomatis, namun pada usulan penelitian ini memberikan kontribusi menghadirkan sistem yang diimplementasikan ke lokasi riset. Riset ini mengulas tentang pemantauan tingkat ketinggian air pada platform Thingspeak. Penggunaan platform Thingspeak sudah ada upaya pada riset sebelumnya, hanya saja pada riset ini mencoba untuk memberikan metode fuzzy mamdani sebagai keunggulan didalam riset ini, sehingga Thingspeak yang berfungsi sebagai penampil keadaan berbasis internet yang berskala WAN (Wide Area

Network) [4]–[6] dapat memberitahukan kondisi/status yang dikendalikan oleh metode Fuzzy Mamdani [7]–[9] agar petugas yang bertanggung jawab menangani sistem irigasi dimudahkan dan setiap gejala/potensi kerusakan dapat dipantau berkala dan tersimpan sebagai bagian dari manajemen risiko di lokasi penelitian ini.

Dari permasalahan diatas, maka diperlukan perancangan pemantauan dan kendali otomatis. Sistem kendali menggunakan kombinasi Arduino dan sensor WLC (Water Level Control) dengan asumsi pompa air menyala secara otomatis. Apabila saat pengisian air sudah penuh atau sensor WLC batas atas mendeteksi maka Arduino akan memberikan perintah untuk pompa air mati. Pengukuran ketinggian air menggunakan sensor ultrasonik, kemudian diolah oleh Arduino. Data yang diterima kemudian dianalisis menggunakan metode Fuzzy Mamdani.[10]–[12]

Riset ini fokus pada perancangan sistem menggunakan IoT (Internet of Things) dikarenakan pengguna zaman modern untuk mengintegrasikan teknologi ke dalam kehidupan sehari-hari [13]–[15]. Pada riset ini, Arduino mengirimkan data melalui ESP32, selanjutnya hasil keluaran data tersebut ditampilkan pada aplikasi thingspeak sebagai platform IoT. Hal ini didukung berdasarkan riset yang dilakukan oleh [16]–[18] yang mengemukakan mekanisme pengukuran air pada wadah penampung air. Pengoptimalan Arduino Wemos D1 ESP8266, sensor ultrasonic, relay, LCD dan komponen pendukung lainnya menjadikan sistem beroperasi saat ketinggian air berada pada ambang bawah dan atas dan apabila pengguna menggunakan air pada tangki. Selanjutnya, oleh [19] mengemukakan tentang pengaturan motor pompa tandon air yang digerakkan oleh driver yang diberi sinyal PWM (Pulse Wave Modulation) dari Arduino Mega 2560 menggunakan Fuzzy dalam upaya mengelola tandon air dan dihubungkan ke ESP8266 sehingga mengirimkan data ke database firebase untuk kemudian ditampilkan disisi pengguna.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka riset ini bertujuan merancang sistem kendali penampung air otomatis menggunakan Arduino dan Thingspeak yang dikendalikan menggunakan metode Fuzzy Mamdani berbasis IoT.

2. METODE PENELITIAN

Isi dari metode penelitian adalah memformulasikan permasalahan yang diteliti dengan lebih rinci (sedapat mungkin ditulis secara matematis) dan menjelaskan metode yang diusulkan. Apabila menggunakan sebuah

2.1. Metode Fuzzy Mamdani

Fuzzy Mamdani dioptimalkan untuk menganalisis ketinggian air, kekeruhan air, daya dan tegangan yang dijelaskan sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi dan Inferensi

- 1) Pembentukan derajat keanggotaan masukan: sensor ultrasonic

Tabel 1 merupakan derajat keanggotaan sensor ultrasonic yang terdiri dari tinggi, normal rendah.

Tabel 1. Derajat keanggotaan masukan: sensor ultrasonik

No	Kondisi Ketinggian	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Tinggi	(30 ; 45 ; 60)	$\mu_{Tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x < 30 \\ \frac{x-30}{45-30} & ; 30 \leq x \leq 45 \\ \frac{60-x}{60-45} & ; 45 \leq x \leq 60 \\ 0 & ; x > 60 \end{cases}$
2	Normal	(45 ; 60 ; 75)	$\mu_{Normal} = \begin{cases} 0 & ; x < 45 \\ \frac{x-45}{60-45} & ; 45 \leq x \leq 60 \\ \frac{75-x}{75-60} & ; 60 \leq x \leq 75 \\ 0 & ; x > 75 \end{cases}$
3	Rendah	(60 ; 75 ; 90)	$\mu_{Rendah} = \begin{cases} 0 & ; x < 60 \\ \frac{x-60}{75-60} & ; 60 \leq x \leq 75 \\ \frac{90-x}{90-75} & ; 75 \leq x \leq 90 \\ 0 & ; x > 90 \end{cases}$

- 2) Pembentukan derajat keanggotaan masukan: sensor TDS

Tabel 2 merupakan derajat keanggotaan sensor TDS yang terdiri dari jernih, normal, dan keruh.

Tabel 2. Derajat keanggotaan masukan: sensor TDS

No	Kondisi Air	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Jernih	(0 ; 200 ; 400)	$\mu_{Jernih} = \begin{cases} 0 & ; x < 0 \\ \frac{x}{200} & ; 0 \leq x \leq 200 \\ \frac{400-x}{400-200} & ; 200 \leq x \leq 400 \\ 0 & ; x > 400 \end{cases}$
2	Normal	(200 ; 400 ; 600)	$\mu_{Normal} = \begin{cases} 0 & ; x < 200 \\ \frac{x-200}{400-200} & ; 200 \leq x \leq 400 \\ \frac{600-x}{600-400} & ; 400 \leq x \leq 600 \\ 0 & ; x > 600 \end{cases}$
3	Keruh	(400 ; 600 ; 800)	$\mu_{Keruh} = \begin{cases} 0 & ; x < 400 \\ \frac{x-400}{600-400} & ; 400 \leq x \leq 600 \\ \frac{800-x}{800-600} & ; 600 \leq x \leq 800 \\ 0 & ; x > 800 \end{cases}$

3) Pembentukan derajat keanggotaan masukan: tegangan PLN

Tabel 3 merupakan derajat keanggotaan tegangan PLN yang terdiri dari undervoltage, normal, dan overvoltage.

Tabel 3. Derajat keanggotaan masukan: tegangan PLN

No	Tegangan PLN	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Undervoltage	(280 ; 320 ; 360)	$\mu_{Undervoltage} = \begin{cases} 0 & ; x < 280 \text{ atau } x > 360 \\ \frac{x-280}{320-280} & ; 280 \leq x \leq 320 \\ \frac{360-x}{360-320} & ; 320 \leq x \leq 360 \end{cases}$
2	Normal	(360 ; 400 ; 440)	$\mu_{Normal} = \begin{cases} 0 & ; x < 360 \text{ atau } x > 440 \\ \frac{x-360}{400-360} & ; 360 \leq x \leq 400 \\ \frac{440-x}{440-400} & ; 400 \leq x \leq 440 \end{cases}$
3	Overvoltage	(440 ; 480 ; 520)	$\mu_{Overvoltage} = \begin{cases} 0 & ; x < 440 \text{ atau } x > 520 \\ \frac{x-440}{480-440} & ; 440 \leq x \leq 480 \\ \frac{520-x}{520-480} & ; 480 \leq x \leq 520 \end{cases}$

4) Pembentukan derajat keanggotaan masukan: daya terpakai

Tabel 4 merupakan derajat keanggotaan daya terpakai yang terdiri dari daya terpakai $\leq 60\%$, dan daya terpakai $> 60\%$.

Tabel 4. Derajat keanggotaan masukan: daya terpakai

No	Daya Terpakai	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Daya terpakai $\leq 60\%$ Genset 1 ON	(280 ; 320 ; 360)	$\mu_{Daya \leq 60\%} = \begin{cases} 0 & ; x < 0 \\ \frac{x}{750} & ; 0 \leq x \leq 750 \\ \frac{1500-x}{1500-750} & ; 750 \leq x \leq 1500 \\ 0 & ; x > 1500 \end{cases}$

2	Daya terpakai > 60% Genset 1 & 2 ON	(360 ; 400 ; 440)	$\mu_{Daya} > 60\%$ $= \begin{cases} 0 & ; x < 0 \\ \frac{x-0}{200} & ; 0 \leq x \leq 200 \\ \frac{400-x}{400-200} & ; 200 \leq x \leq 400 \end{cases}$
---	--	-------------------	---

- 5) Pembentukan derajat keanggotaan masukan: tegangan baterai genes
Tabel 5 merupakan derajat keanggotaan tegangan baterai genset yang terdiri dari low, normal.

Tabel 5. Derajat keanggotaan masukan: tegangan baterai genset

No	Tegangan Baterai Genset	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Rendah	(20,5 ; 22,5 ; 24)	$\mu_{Rendah} = \begin{cases} 0 & ; x < 20,5 \\ \frac{x-22,5}{22,5-20,5} & ; 20,5 \leq x \leq 22,5 \\ \frac{24-x}{24-22,5} & ; 22,5 \leq x \leq 24 \end{cases}$
2	Normal	(23,5 ; 25,25 ; 27)	$\mu_{Normal} = \begin{cases} 0 & ; x < 23,5 \\ \frac{x-25,25}{25,25-23,5} & ; 23,5 \leq x \leq 25,25 \\ \frac{27-x}{27-25,25} & ; 25,25 \leq x \leq 27 \end{cases}$

- 6) Pembentukan derajat keanggotaan keluaran: kondisi genset
Tabel 6 merupakan derajat keanggotaan kondisi genset 2 yang terdiri dari genset off, genset 1 on, genset 2 on, genset 1 dan genset 2 on.

Tabel 6. Derajat keanggotaan keluaran: kondisi genset

No	Kondisi Genset	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Genset off	(0 ; 15 ; 30)	$\mu_{Genset\ Off} = \begin{cases} 0 & ; x < 0 \\ \frac{x}{15} & ; 0 \leq x \leq 15 \\ \frac{30-x}{30-15} & ; 15 \leq x \leq 30 \end{cases}$
2	Genset 1 on	(25 ; 38,75 ; 52,25)	$\mu_{Genset\ 1\ On} = \begin{cases} 0 & ; x < 25 \\ \frac{x-25}{38,75-25} & ; 25 \leq x \leq 38,75 \\ \frac{52,25-x}{52,25-38,75} & ; 38,75 \leq x \leq 52,25 \end{cases}$
3	Genset 2 on	(47,5 ; 61,25 ; 75)	$\mu_{Genset\ 2\ On} = \begin{cases} 0 & ; x < 47,5 \\ \frac{x-47,5}{61,25-47,5} & ; 47,5 \leq x \leq 61,25 \\ \frac{75-x}{75-61,25} & ; 61,25 \leq x \leq 75 \end{cases}$
4	Genset 1 dan Genset 2 on	(70 ; 85 ; 100)	$\mu_{Genset\ 1\ dan\ Genset\ 2\ On} = \begin{cases} 0 & ; x < 70 \\ \frac{x-70}{85-70} & ; 70 \leq x \leq 85 \\ \frac{100-x}{100-85} & ; 85 \leq x \leq 100 \end{cases}$

7) Pembentukan derajat keanggotaan keluaran: durasi pompa

Tabel 7 merupakan derajat keanggotaan durasi pompa yang terdiri dari pompa 1, pompa 2, dan off. Pompa off mendefinisikan kondisi tangki air pada keadaan penuh, namun ketika Pompa 1, menyatakan untuk mengisi roof tank-1, juga pompa 2 menyatakan untuk mengisi roof tank-2.

Tabel 7. Derajat keanggotaan keluaran: durasi pompa

No	Pompa	Derajat Keanggotaan	Inferensi Himpunan Keanggotaan
1	Off	(0)	$\mu_{Off} = 0$
2	Pompa 1	(0 ; 6 ; 12)	$\mu_{Pompa 1} = \begin{cases} 0 & ; x < 0 \\ \frac{x-6}{6} & ; 0 \leq x \leq 6 \\ \frac{12-x}{12-6} & ; 6 \leq x \leq 12 \\ 0 & ; x < 6 \end{cases}$
3	Pompa 2	(6 ; 14 ; 21)	$\mu_{Pompa 2} = \begin{cases} 0 & ; x < 6 \\ \frac{x-14}{14-6} & ; 6 \leq x \leq 14 \\ \frac{21-x}{21-14} & ; 14 \leq x \leq 21 \end{cases}$

b. Fungsi Implikasi

Pada tahap ini, aturan fuzzy diterapkan untuk menentukan keluaran berdasarkan variabel masukan yang ditunjukkan pada tabel 8 untuk kondisi tangki air dan tabel 9 untuk kondisi genset.

Tabel 8. Fungsi implikasi aturan Fuzzy kondisi tangki air

Rules	Ketinggian	Kondisi Air	Pompa 1	Pompa 2	Deskripsi
1	Tinggi	Jernih	Off	Off	Air Tersedia dan Air Bersih
2	Tinggi	Normal	Off	Off	Air Tersedia dan Air Bersih
3	Tinggi	Keruh	Off	Off	Air Tersedia dan Air Kotor
4	Normal	Jernih	On	Off	Air Sedang dan Air Bersih
5	Normal	Normal	On	Off	Air Sedang dan Air Bersih
6	Normal	Keruh	Off	Off	Air Sedang dan Air Kotor
7	Rendah	Jernih	Off	On	Air Kosong dan Air Bersih
8	Rendah	Normal	Off	On	Air Kosong dan Air Bersih
9	Rendah	Keruh	Off	Off	Air Kosong dan Air Kotor

Tabel 9. Fungsi implikasi aturan Fuzzy kondisi genset

Aturan	Tegangan Keluaran PLN	Daya Terpakai	Tegangan Baterai 1	Tegangan Baterai 2	Genset 1	Genset 2	Deskripsi
1	Overvoltage	>60%	Normal	Normal	On	On	Genset 1 dan Genset 2 On
2	Overvoltage	>60%	Normal	Rendah	On	Off	Genset 1 On
3	Overvoltage	>60%	Rendah	Normal	Off	On	Genset 2 On
4	Overvoltage	>60%	Rendah	Rendah	Off	Off	Padam
5	Normal	>60%	Normal	Normal	Off	Off	Padam
6	Normal	>60%	Normal	Rendah	Off	Off	Padam
7	Normal	>60%	Rendah	Normal	Off	Off	Padam
8	Undervoltage	>60%	Normal	Normal	On	On	Genset 1 dan Genset 2 On
9	Undervoltage	>60%	Normal	Rendah	On	Off	Genset 1 On
10	Undervoltage	>60%	Rendah	Normal	Off	On	Genset 2 On
11	Undervoltage	>60%	Rendah	Rendah	Off	Off	Padam
12	Undervoltage	≤60%	Normal	Normal	On	Off	Genset 1 On
13	Undervoltage	≤60%	Rendah	Normal	Off	On	Genset 2 On
14	Undervoltage	≤60%	Rendah	Rendah	Off	Off	Padam
15	Normal	≤60%	Normal	Normal	Off	Off	Padam
16	Normal	≤60%	Normal	Rendah	Off	Off	Padam
17	Normal	≤60%	Rendah	Normal	Off	Off	Padam

18	Overvoltage	$\leq 60\%$	Normal	Normal	On	Off	Genset 1 On
19	Overvoltage	$\leq 60\%$	Rendah	Normal	Off	On	Genset 2 On
20	Overvoltage	$\leq 60\%$	Rendah	Rendah	Off	Off	Padam

1. Kondisi Tangki Air

Berdasarkan aturan pada tabel 8, maka hasil fungsi implikasi dari tiap aturan *fuzzy*, digunakan metode *MAX* untuk melakukan komposisi antar semua aturan *fuzzy*.

a) Pompa Off

$$\text{Pompa OFF} = \text{MAX}(\text{aturan 1, 4, 7, 8, 9}) \\ = \text{MAX}(0, 0.196, 0.196, 0.6, 0) = 0.196$$

b) Pompa 1 On

$$\text{Pompa 1 ON} = \text{MAX}(\text{aturan 5, 6}) \\ = \text{MAX}(0.3, 0) = 0.3$$

c) Pompa 2 On

$$\text{Pompa 2 ON} = \text{MAX}(\text{aturan 2, 3}) \\ = \text{MAX}(0, 0) = 0$$

Dengan demikian, fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi tangki air adalah:

$$\mu[Z] = \begin{cases} 0.196 & ; z \leq 8.98 \\ \frac{z-8}{13-8} & ; 8.98 \leq z \leq 9.5 \\ 0.3 & ; 9.5 \leq z \leq 16.5 \\ \frac{18-z}{18-13} & ; 16.5 \leq z \leq 18 \end{cases}$$

d) Hasil Pengolahan Defuzzifikasi Tangki Air

Setelah memperoleh nilai komposisi, maka menghitung momen dan luas pada daerah hasil komposisi menggunakan metode centroid.

1) Perhitungan momen 1 (M1)

$$M1 = \int_0^{8.98} 0.196 z dz = \left(0.196 \times \frac{8.98^2}{2}\right) - \left(0.196 \times \frac{0}{2}\right) = 7.9$$

2) Perhitungan momen 2 (M2)

$$M1 = \int_{8.98}^{9.5} \frac{z-8}{13-8} z dz = \int_{8.98}^{9.5} \frac{z-8}{5} z dz = \int_{8.98}^{9.5} \frac{z^2}{5} - \frac{8z}{5} dz = \left[\frac{1}{15} z^3 - \frac{4z^2}{5}\right]_{8.98}^{9.5} \\ = \left(\frac{9.5^3}{15} - \frac{4 \times 9.5^2}{5}\right) - \left(\frac{8.98^3}{15} - \frac{4 \times 8.98^2}{5}\right) = 1.19$$

3) Perhitungan momen 3 (M3)

$$M3 = \int_{9.5}^{16.5} 0.3 z dz = \left(0.3 \times \frac{16.5^2}{2}\right) - \left(0.3 \times \frac{9.5^2}{2}\right) = 27.3$$

4) Perhitungan momen 4 (M4)

$$M4 = \int_{16.5}^{18} \frac{18-z}{18-13} z dz = \int_{16.5}^{18} \frac{18-z}{5} z dz = \int_{16.5}^{18} \frac{18z}{5} - \frac{z^2}{5} dz \\ = \left[\frac{9z^2}{5} - \frac{1}{15} z^3\right]_{16.5}^{18} = \left(\frac{9 \times 18^2}{5} - \frac{18^3}{15}\right) - \left(\frac{9 \times 16.5^2}{5} - \frac{16.5^3}{15}\right) = 3.825$$

Setelah mendapatkan nilai momen, selanjutnya menghitung luas setiap daerah:

1) Perhitungan Luas 1 (A1) = $8.98 \times 0.196 = 1.76$

2) Perhitungan Luas 2 (A2) = $\frac{(0.196 + 0.3) \times 0.52}{2} = 0.128$

3) Perhitungan Luas 3 (A3) = $(7 \times 0.3) = 2.1$

4) Perhitungan Luas 4 (A4) = $\frac{1.5 \times 0.3}{2} = 0.22$

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai defuzzifikasi. Titik pusat dapat diperoleh dari:

$$Z = \frac{7.9 + 1.19 + 27.3 + 3.825}{1.76 + 0.128 + 2.1 + 0.22} = \frac{40.215}{4.208} = 9.557$$

2. Kondisi Genset

Berdasarkan aturan pada tabel 9, maka hasil fungsi implikasi dari tiap aturan *fuzzy*, digunakan metode *MAX* untuk melakukan komposisi antar semua aturan *fuzzy*.

a) Genset Off

$$\text{Genset OFF} = \text{MAX}(\text{aturan 4, 5, 6, 7, 11, 14, 15, 16, 17, 20})$$

- $= \text{MAX} (0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0) = 0$
- b) Genset 1 On
Genset 1 ON = MAX (aturan 2, 9, 12, 18)
 $= \text{MAX} (0 ; 0 ; 0 ; 0,053) = 0,053$
- c) Genset 2 On
Genset 2 ON = MAX (aturan 3, 10, 13, 19)
 $= \text{MAX} (0,11; 0; 0; 0,053) = 0,11$
- d) Genset 1 dan Genset 2 On
Genset 1 dan Genset 2 ON = MAX (aturan 1, 8)
 $= \text{MAX} (0,11; 0) = 0,11$
- Dengan demikian, fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi genset adalah:

$$\mu[Z] = \begin{cases} 0 & ; Z \leq 48,22 \frac{Z-47,5}{61,25-47,5} \\ 0,053 & ; 48,22 \leq Z \leq 49,01 \quad 0,11 \\ 0,11 & ; 49,01 \leq Z \leq 96,7 \frac{100-Z}{100-70} \\ 0,11 & ; 96,7 \leq Z \leq 100 \end{cases}$$

- e) Hasil Pengolahan Defuzzifikasi Genset
Selanjutnya menghitung momen dan luas daerah hasil komposisi menggunakan metode centroid.

- 1) Perhitungan momen 1 (M1)

$$M1 = \int_0^{48,22} 0,05 z \, dz = (0,05 \times \frac{z^2}{2}) \Big|_0^{48,22} = \left(0,05 \times \frac{48,22^2}{2}\right) - \left(0,05 \times \frac{0^2}{2}\right) = 58,12$$

- 2) Perhitungan momen 2 (M2)

$$M2 = \int_{48,22}^{49,01} \frac{z-47,5}{61,25-47,5} z \, dz = \int_{48,22}^{49,01} \frac{z^2}{13,75} - \frac{47,5z}{13,75} \, dz = \frac{z^3}{41,25} - \frac{47,5z^2}{27,5} \Big|_{48,22}^{49,01} \\ = \left(\frac{49,01^3}{41,25} - \frac{47,5 \times (49,01)^2}{27,5}\right) - \left(\frac{48,22^3}{41,25} - \frac{47,5 \times (48,22)^2}{27,5}\right) \\ = -1295,03 - (-1298,14) = 3,11$$

- 3) Perhitungan momen 3 (M3)

$$M3 = \int_{49,01}^{96,7} 0,11 z \, dz = (0,11 \times \frac{z^2}{2}) \Big|_{49,01}^{96,7} = \left(0,11 \times \frac{96,7^2}{2}\right) - \left(0,11 \times \frac{49,01^2}{2}\right) \\ = 514,30 - 132,11 = 382,19$$

- 4) Perhitungan momen 4 (M4)

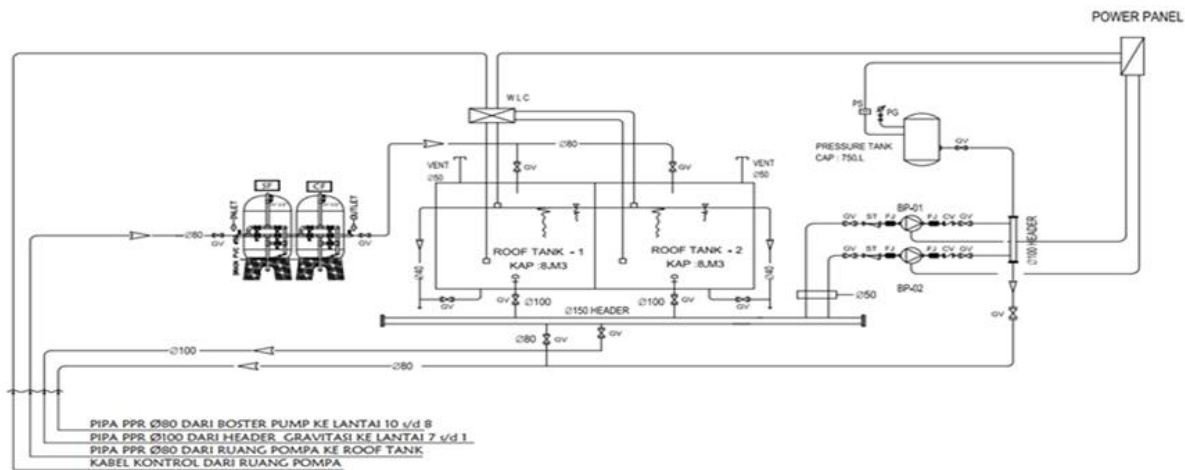
$$M4 = \int_{96,7}^{100} \frac{100-z}{100-70} z \, dz = \int_{96,7}^{100} \frac{100z}{30} - \frac{z^2}{30} \, dz = \frac{100z^2}{60} - \frac{z^3}{90} \Big|_{96,7}^{100} \\ = \left(\frac{100 \times (100)^2}{60} - \frac{(100)^3}{90}\right) - \left(\frac{100 \times (96,7)^2}{60} - \frac{(96,7)^3}{90}\right) \\ = 5555,56 - 5537,80 = 17,76$$

Setelah mendapatkan nilai momen, selanjutnya menghitung luas setiap daerah:

- 1) Perhitungan Luas 1 (A1) = $48,22 \times 0,053 = 2,55$
- 2) Perhitungan Luas 2 (A2) = $(0,053 + 0,11) \times \left(\frac{49,01 - 48,22}{2}\right) = 0,064$
- 3) Perhitungan Luas 3 (A3) = $(96,7 - 49,01) \times 0,11 = 47,69 \times 0,11 = 5,25$
- 4) Perhitungan Luas 4 (A4) = $\left(\frac{100 - 96,7}{2}\right) \times 0,11 = 0,18$

Tahap selanjutnya adalah menghitung nilai defuzzifikasi. Titik pusat dapat diperoleh dari:

$$Z = \frac{7.9+1.19+27.3+3.825}{1.76+0.128+2.1+0.22} = \frac{40,215}{4,208} = 9,557$$



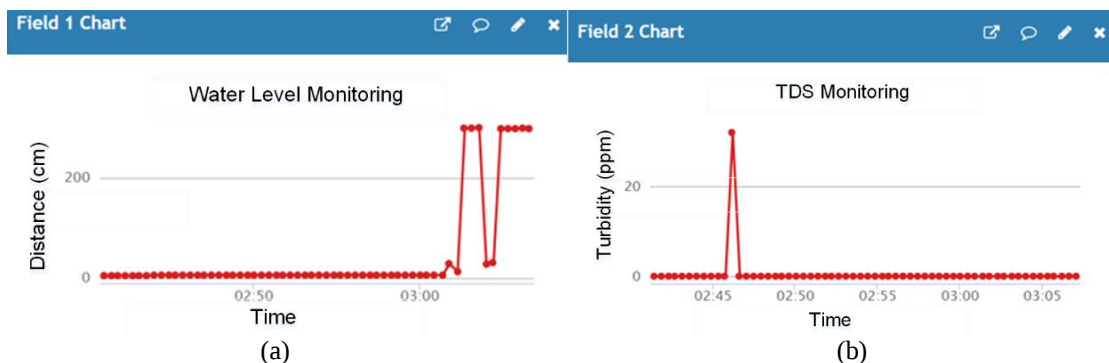
Gambar 1. Diagram pengaturan pengelolaan tangki air.

2.2. Konsep Kendali Tangki Air

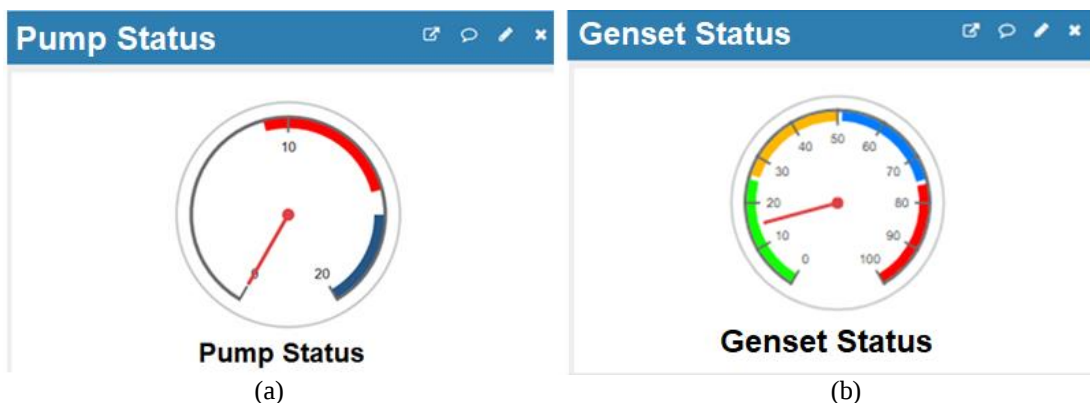
Tahap ini menjelaskan konsep kendali tangki air yang ditunjukkan gambar 1. Pada tahap ini sensor dipasang pada *roof tank* kemudian mengendalikan 2 pompa transfer pada *ground tank*.

2.3. Internet of Things

Keluaran riset menghasilkan pemantauan menggunakan aplikasi *thingspeak*. Thingspeak merupakan platform *Internet of Things* berlisensi open source menggunakan API berbasis web sehingga informasi yang ditampilkan bersifat real-time. Gambar 2(a) menampilkan grafik ketinggian air berdasarkan informasi keluaran sensor ultrasonik. Gambar 2(b) menampilkan grafik kondisi air berdasarkan informasi keluaran sensor TDS. Gambar 3(a) menampilkan kondisi pompa serta gambar 3(b) menampilkan kondisi genset. Seluruh informasi data dari sensor diproses mikrokontroler ESP32 menggunakan metode fuzzy mamdani.



Gambar 2. Input monitoring (a) Sensor ultrasonik (b) Sensor TDS



Gambar 3. Output monitoring (a) Pump status (b) Genset status.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan hasil dan pembahasan hasil riset Sistem ini dirancang untuk memantau ketinggian air, kondisi air, tegangan, daya untuk mengendalikan pompa serta genset.

3.1. Hasil Rancangan

Gambar 4 menunjukkan hasil perancangan purwarupa. Pengujian dilakukan dengan cara memasang purwarupa dengan tutup tangki rooftop untuk mendeteksi ketinggian air dan kondisi air pada rooftop yang ditunjukkan pada gambar 4(a), kemudian pemasangan monitoring genset di ruang kelistrikan yang ditunjukkan pada gambar 4(b) di lokasi riset.



Gambar 4. Hasil rancangan (a) monitoring genset (b) monitoring rooftop

Pengujian dilakukan menggunakan hasil perancangan yang dibuat dengan beberapa komponen diantaranya Board, ESP32, Sensor HC-SR04, Sensor TDS, Sensor Tegangan, Power Meter, Converter TTL to RS485, baterai genset dan relay.

3.2. Pengujian Sensor TDS Meter

Pengujian sensor TDS ini dilakukan untuk melihat akurasi dari sensor TDS pada alat yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sample air yang sudah diukur nilai TDS nya menggunakan TDS-3 meter. Tabel 10 menunjukkan hasil pengukuran TDS-3 meter akan dibandingkan dengan pengukuran dari sensor TDS. Hasil pengujian sensor dapat dilihat menggunakan laptop dengan *serial monitor*.

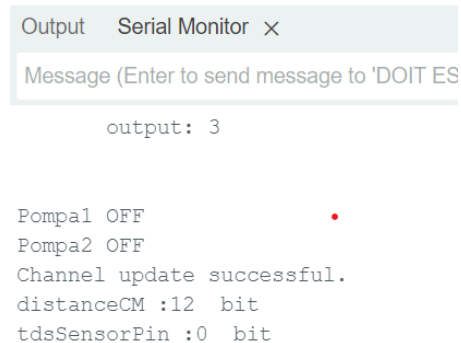
Dari presentase error yang diperoleh hasil rata-rata sebesar 0.062%. Hasil tersebut dapat dianalisis bahwa sensor TDS telah berhasil mengukur kepadatan air yang mendekati dengan TDS meter, sehingga sensor TDS meter dapat diimplementasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian sensor TDS Meter (a) Serial monitor (b) TDS-3

Tabel 10. Pengujian sensor TDS Meter

No	Media Uji	Pengujian berdasarkan Alat Ukur	Pengujian berdasarkan Serial Monitor	Persentase Kesalahan (%)
1	Air	180	178	0.1
2	Air Teh	495	483	0.024
		Rata-rata		0.062



```

Output  Serial Monitor  x
Message (Enter to send message to 'DOIT ES

output: 3

Pompa1 OFF
Pompa2 OFF
Channel update successful.
distanceCM :12 bit
tdsSensorPin :0 bit

```

Gambar 6. Serial monitoring kondisi sensor ultrasonik.

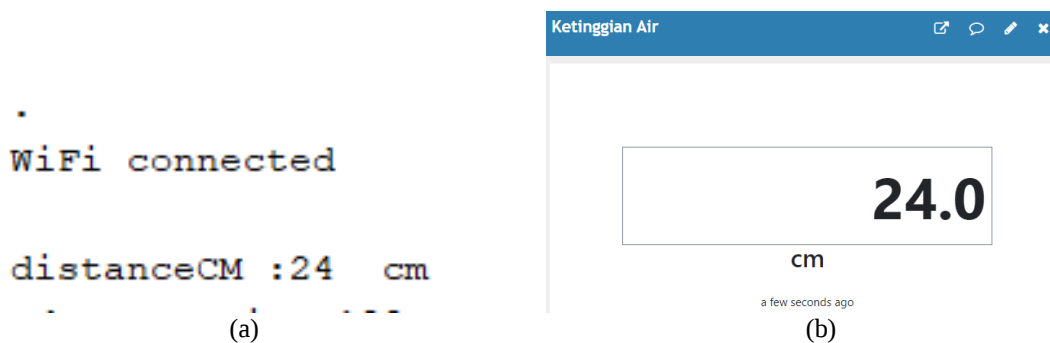
3.3. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonic ini dilakukan untuk melihat akurasi dari sensor ultrasonic pada alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan suatu objek yang digerakan untuk melihat jangkauan jarak dari sensor HC-SR-4. Gambar 6 merupakan hasil pengujian sensor HC-SR04 menggunakan laptop yang tersambung dalam *serial monitor*.

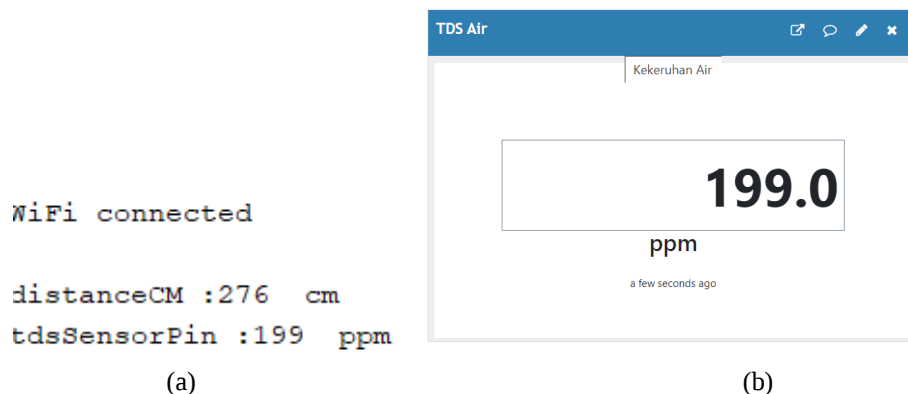
3.4. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengiriman data dari ESP32 dapat diterima pada *thingspeak* dengan hasil yang sesuai. Pada ESP32 data dari sensor HC-SR04 dan sensor TDS meter dapat dimonitoring menggunakan serial monitor. Kemudian pada *thingspeak* dapat dimonitoring hasil yang dikirim ESP32 dari pembacaan sensor HC-SR04. Hasil pengujian ketinggian air sebesar 24 cm yang ditampilkan pada serial monitor seperti pada Gambar 7(a). ESP32 akan mengirimkan data dari pembacaan sensor HC-SR04 pada *thingspeak* seperti Gambar 7(b).

Gambar 8 menunjukan hasil pengukuran TDS sebesar 199 ppm yang ditampilkan pada serial monitor yang ditunjukkan pada gambar 8(a). Kemudian *thingspeak* akan membaca informasi data yang dikirimkan oleh ESP32 dari pembacaan sensor seperti pada gambar 8(b).



Gambar 7. Pengujian pengiriman data sensor HC-SR04 (a) Serial monitor (b) ThingSpeak



Gambar 8. Pengujian pengiriman data sensor TDS (a) Serial monitor (b) ThingSpeak.

3.5. Pengujian Sistem Monitoring dan Kontrol Rooftank

Pengujian dilakukan berdasarkan hasil deteksi pada sensor HC-SR04 dan TDS yang ditunjukkan tabel 11.

Tabel 11. Pengujian sensor TDS Meter

No	Ketinggian Air	Kekeruhan Air	Kondisi Pompa	Durasi (Menit)
1	52	784	Off	-
2	54	1150	Off	-
3	56	256	Pompa 1 On	10
4	64	799	Pompa 1 On	10
5	76	754	Pompa 2 On	18
6	79	776	Pompa 1 dan Pompa 2 On	20

Dari tabel 12 menunjukkan sistem dapat melakukan perhitungan *fuzzy mamdani*. Rules yang telah direncanakan telah berhasil diimplementasikan. Pembacaan sensor HC-SR04 dan sensor TDS menghasilkan *output* yang sesuai dengan rules yang telah direncanakan. ESP32 dapat mengolah dan mengirim data dari sensor ketinggian air HC-SR04 dan sensor TDS meter ke *thingspeak*, dengan catatan harus terhubung dengan internet. Sehingga keadaan tangki air dan pompa dapat dipantau secara real-time dari jarak jauh.

3.6. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tabel 12 menunjukkan hasil pengujian pemantauan genset. Prinsip kerjanya, apabila tegangan keluaran PLN mengalami *undervoltage* atau *overvoltage* maka genset akan otomatis bekerja

Tabel 12. Pengujian genset

No	Tegangan PLN (V)	Daya (KVA)	Tegangan Baterai 1 (V)	Tegangan Baterai 2 (V)	Aksi
1	460	1600	26,5	22	Genset 1 On
2	230	2100	26,5	22	Genset 1 On
3	350	500	26,5	26,5	Genset 1 On
4	455	250	26,5	26,5	Genset 1 On
5	460	1600	22	26,5	Genset 2 On
6	200	2100	22	26,5	Genset 2 On
7	250	500	22	26,5	Genset 2 On
8	455	250	22	26,5	Genset 2 On
9	460	2000	26,5	26,5	Genset 1 dan Genset 2 On
10	200	2100	26,5	26,5	Genset 1 dan Genset 2 On
11	407	163	25	25	Genset 1 dan Genset 2 Off

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kendali berbasis IoT dengan akurasi tinggi menggunakan Fuzzy Mamdani. Sistem ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan air, antara lain untuk memantau kondisi *rooftank*, genset dan sumber listrik di lokasi riset. Pemantauan sensor HC-SR04 untuk ketinggian air memiliki rata-rata nilai error sebesar 0%, dan sensor TDS memiliki rata-rata nilai *error* sebesar 0.62%. Dari kedua sensor tersebut diperoleh keluaran yang sesuai dengan aturan *fuzzy logic mamdani* yang telah dirancang. Pada pemantauan *rooftank* ditemukan persentase error sebesar 10.4%, kemudian pada pemantauan genset diperoleh persentase error sebesar 14,56%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa akurasi pengukuran di MatLab jika dibandingkan dengan perhitungan manual adalah penyimpangan yang tidak terlalu jauh. Parameter yang dipantau kemudian dikirim ke dasbor pemantauan dan ditampilkan secara real time di Thingspeak. Penundaan lama pengiriman informasi data ke Thingspeak selama 20 detik. Penelitian berikutnya dapat mengeksplorasi penggunaan algoritma machine learning untuk meningkatkan akurasi prediksi penggunaan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Riset ini didukung oleh Universitas Mercu Buana pada Penelitian Dasar Internal Dosen Muda Tahun Anggaran 2024, nomor kontrak 02-5/930/B-SPK/III/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Dida and R. Watiasih, "Aplikasi Teknologi IoT Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Tandon Air," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, pp. 60–72, 2022.
- [2] S. Budiyanto, L. M. Silalahi, A. Adriansyah, U. Darusalam, S. Andryana, and A. D. Rochendi, "Development of Internet of Things Based Fertigation System for Improving Productivity of Patchouli Plantation," in *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)*, 2021, pp. 230–233.
- [3] Y. M. Djaksana and K. Gunawan, "Perancangan Sistem Monitoring Dan Kontroling Pompa Air Berbasis Android," *SINTECH (Science Inf. Technol. J.)*, vol. 4, no. 2, pp. 146–154, 2021.
- [4] F. A. Silaban, A. G. Rolanda, L. M. Silalahi, and S. Budiyanto, "Solar Panel Drive Design Based Internet of Things," *CCIT (Creative Commun. Innov. Technol. J.)*, vol. 16, no. 1, pp. 100–110, 2023, doi: <https://doi.org/10.33050/ccit.v16i1.2363>.
- [5] L. M. Silalahi and A. Novantoro, "Rancang Bangun Prototipe Water Flow Meter Dan Level Air Pompa Dewatering Dengan Monitor Thingspeak Menggunakan Sumber Daya Tenaga Surya: Rancang Bangun Prototipe Water Flow Meter Dan Level Air Pompa Dewatering Dengan Monitor Thingspeak Menggunakan Sumber ,," *PETIR*, vol. 16, no. 1 SE-Articles, Apr. 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.itpln.ac.id.aiotech.id/petir/article/view/1615>
- [6] L. M. Silalahi and F. A. Silaban, "Implementasi Jaringan Fiber To The Building Menggunakan Teknologi di Gedung Pasaraya Blok M," *JREC (Journal Electr. Electron.)*, vol. 8, no. 2, pp. 91–100, 2020, doi: <https://doi.org/10.33558/jrec.v8i2.2484>.
- [7] L. M. Silalahi, S. Budiyanto, I. U. V. Simanjuntak, F. A. Silaban, A. D. Rochendi, and W. A. Karimah, "Real-Time Examination System for New Students at Pandemic Time Covid 19 Using Fuzzy Logic," *10th IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell. Comnetsat 2021 - Proc.*, pp. 219–224, 2021, doi: 10.1109/COMNETSAT53002.2021.9530832.
- [8] L. M. Silalahi and L. Amnesta, "Application of the Fuzzy Method in the Design of Control and Monitoring Systems for Flood Canal Pump Houses," *CCIT (Creative Commun. Innov. Technol. J.)*, vol. 14, no. 2, pp. 203–213, 2021, doi: <https://doi.org/10.33050/ccit.v14i2.1486>.
- [9] L. M. Silalahi, A. D. Rochendi, I. Kampono, M. Husni, R. Sutiadi, and others, "Alat Bantu Training Elektronika Berbasis Internet Of Things dengan Logika Fuzzy Menggunakan NODEMCU," *KILAT*, vol. 10, no. 2, pp. 287–300, 2021.
- [10] F. I. Adhim, A. J. Muchdlor, and L. P. Rahayu, "Kontrol Ketinggian Air dalam Tangki menggunakan Logika Fuzzy," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.)*, vol. 11, no. 1, pp. 7–12, 2023.
- [11] L. M. Silalahi, D. Jatikusumo, S. Budiyanto, F. A. Silaban, I. U. V. Simanjuntak, and A. D. Rochendi, "Internet of things implementation and analysis of fuzzy Tsukamoto in prototype irrigation of rice," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 12, no. 6, p. 6022, 2022.
- [12] W. A. Wicaksono and L. M. Silalahi, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic," *J. Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 93–99, 2020, doi: 10.22441/jte.2020.v11i2.005.
- [13] I. Gunawan, T. Akbar, and M. G. Ilham, "Prototipe Penerapan Internet Of Things (Iot) Pada Monitoring Level Air Tandon Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dan Blynk," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [14] L. Medriavin Silalahi, I. Uli Vistalina Simanjuntak, F. Artadima Silaban, S. Budiyanto, Heryanto, and M. Ikhsan, "Integration of opencv raspberry pi 3b+ and camera sensor in access control of vehicle ignition key system," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 909, no. 1, p. 012002, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/909/1/012002.
- [15] S. Budiyanto and L. M. Silalahi, "Internet of Things for 4.0 Industry Revolution," *J. Innov. Community Engagem.*, vol. 4, no. 3 SE-Articles, pp. 164–173, Aug. 2023, doi: 10.28932/ice.v4i3.7316.
- [16] V. Yuliaminuddin, J. Bintoro, and others, "Prototipe Sistem Kontrol dan Monitoring pada Tangki Air Berbasis Internet of Things," *Autocracy J. Otomasi, Kendali, dan Apl. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 27–34, 2020.
- [17] Y. Herdiana, "Prototype Monitoring Ketinggian Air Berbasis Internet Of Things Menggunakan Blynk Dan NODEMCU ESP8266 Pada Tangki," *Comput. J. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [18] I. Muklisin, "Pendeteksi Volume Tandon Air Secara Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonic Berbasis

- Arduino Uno R3,” *J. Qua Tek.*, vol. 7, no. 2, pp. 55–65, 2017, doi: 10.35457/quateknika.v7i2.242.
- [19] A. A. Afifuddin, “Penerapan Metode Fuzzy untuk Monitoring Penggunaan Air Rumah Tangga Berbasis Arduino,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 31–38, 2019.