JURNAL MEDIA AKADEMIK (JMA)
Vol.3, No.7 Juli 2025
e-ISSN: 3031-5220; DOI: 10.62281, Hal XX-XX
PT. Media Akademik Publisher
AHU-084213.AH.01.30.Tahun 2023

# *AUTOMATIC SMART WATER CONTROL* (AUSWACO) MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh:

**Dhean Hafy**

Politeknik Negeri Samarinda
Alamat: Jl. Cipto Mangun Kusumo, Gunung Panjang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur (75131).
*Korespondensi Penulis: dheanhafy123@gmail.com.*

***Abstract***. *The recording of water flow by the Regional Drinking Water Company (PDAM) in the city of Samarinda is done manually, resulting in frequent discrepancies in water usage data. The stability of PDAM water pressure is not measured, causing damage to household appliances such as water heaters and automatic washing machines. To address this issue, this research developed AUSWACO (Automatic Smart Water Control). This device uses the YF-B1 water flow sensor to measure the water flow, which is then converted into a control signal to regulate the water pump. The flow data in m/s is used as a reference for pressure regulation. When the main pump is off, the second pump automatically activates to prevent pressure fluctuations. This system uses a PWM motor to control the water flow according to predetermined fuzzy rules. The test results show that this method is effective in maintaining stable water pressure, providing a solution for clean water users who require constant pressure. From the comparison of manual calculations and MATLAB, an accuracy value of 2.53% and an error value of 2.60% were obtained.*

***Keywords:*** *Water Meter, Flow Meter, Water Flow, Water Flow Sensor, Fuzzy Logic.*

**Abstrak**. Pencatatan debit air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di kota Samarinda dilakukan secara manual sehingga seringkali data penggunaan debit air tidak sinkron.

*Received July 07, 2025; Revised July 19, 2025; July 29, 2025*
*Corresponding author: *dheanhafy123@gmail.com*

Kestabilan tekanan air PDAM tidak terukur sehingga menyebabkan kerusakan alat rumah tangga seperti pemanas air mandi dan mesin cuci otomatis. Untuk mengatasi masalah ini, pada penelitian ini dibuat AUSWACO (Automatic Smart Water Control) Alat ini menggunakan sensor aliran air YF-B1 digunakan untuk mengukur aliran air yang kemudian diubah menjadi sinyal kontrol untuk mengatur pompa air. Data aliran dalam satuan m/s digunakan sebagai acuan untuk pengaturan tekanan. Ketika pompa utama mati, pompa kedua otomatis aktif untuk mencegah fluktuasi tekanan. Sistem ini menggunakan PWM motor untuk mengontrol aliran air sesuai aturan fuzzy yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menjaga tekanan air yang stabil, memberikan solusi bagi pengguna air bersih yang memerlukan tekanan konstan. Dari perbandingan perhitungan manual dan MATLAB, diperoleh nilai akurasi sebesar 2.53% dan nilai error sebesar 2.60%.

**Kata Kunci**: Meteran Air, Flow Meter, Debit Air, Water Flow Sensor, Fuzzy Logic.

## LATAR BELAKANG

Air merupakan sumber daya alam yang dapat di perbaharui sehingga dapat di gunakan Kembali untuk berbagai macam keperluan, air digunakan untuk memenuhi keperluan manusia, baik untuk pribadi sampai dengan keperluan usaha sehingga air menjadi kebutuhan yang sangat di perlukan. Dengan untuk memenuhi kebutuhan ini, banyak manusia yang memerlukan penyedia air seperti Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). PDAM merupakan penyedia air bersih bagi Masyarakat umum, setiap pendistribusian air ini akan di kenakan harga sesuai dengan harga yang di tentukan oleh PDAM dan di lakukan pembayaran setiap bulan nya sesuai banyaknya debit air yang telah di gunakan.(PDAM Kabupaten Bantul 2020, n.d.)

Debit air yang telah di gunakan untuk pengukuran air menggunakan alat yang PDAM sediakan yaitu meteran air yang masih analog dengan jarum yang berputar menunjukan angka, adanya alat ini pelanggan PDAM dapat memonitoring debit air yang telah di gunakan dan sebagai patokan untuk debit air yang telah di gunakan untuk membayar harga pemakaian debit air pada PDAM. Saat ini banyak Masyarakat yang mengeluhkan terhadap tekanan air yang kurang maksimal oleh karena itu dibutuhkan nya alat yang berfungsi sebagai pengatur tekanan secara terus menerus tanpa henti untuk

memenuhi kebutuhan rumah tangga seperti pemanas air, *shower*, mesin cuci dan mesin pencuci piring. (Sutikno et al., 2023)

Meteran air merupakan salah satu perangkat pendukung yang digunakan untuk menghitung jumlah air PDAM yang telah di gunakan, secara presisi. Meteran air di desain dengan memiliki mengambil kecepatan air dan debit air yang telah di gunakan. Masing masing paremeter di dapat melalui sensor flow meter. Sensor akan membaca putaran bepura kecepatan air dan debit air dimana sensor tersebut di tempatkan.(Fitriyanto et al., 2024)

Kebutuhan akan air bersih yang stabil dan mencukupi menjadi hal krusial bagi rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum. Salah satu tantangan yang sering dihadapi masyarakat, khususnya pelanggan PDAM, adalah tekanan air yang tidak merata dan sering kali rendah, terutama di jam-jam sibuk atau pada wilayah dengan topografi tinggi. Selain itu, sistem perhitungan debit air yang digunakan masih bersifat analog, sehingga kurang akurat dan menyulitkan dalam memantau konsumsi air secara real-time. Permasalahan ini berdampak pada efisiensi penggunaan alat-alat rumah tangga seperti mesin cuci, pemanas air, dan shower yang membutuhkan tekanan air tertentu untuk berfungsi optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengontrol dan menstabilkan tekanan air secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi digital dan metode pengolahan data yang adaptif seperti logika fuzzy.

Beberapa penelitian sudah dilakukan berkenan dengan sistem pengontrol tekanan air pada penggunaan air salah satu metode yang di gunakan adalah metode *Fuzzy logic* umumnya metode ini sudah banyak di gunakan pada industri, transportasi, alat bantu dan sebagainya.

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada, yaitu bagaimana Implementasi *Automatic Smart Water Control* (Auswaco) menggunakan logika Fuzzy untuk Mengatur tekanan debit air secara otomatis berbasis *Internet Of Things*. Dengan batasan masalah sebagai berikut : (1) Meteran air menggunakan sensor *Water Flow Sensor* YF-B1 Brass. (2) Menggunakan Arduino Mega 2560 pro sebagai device utama. (3) Menggunakan Esp 32 Dev Module sebagai device kedua. (4) Menggunakan LoRa-Ra2 untuk menggirimkan data ke device kedua. (5) Meteran air berbasis IOT dan Fuzzy logic untuk mengatur tekanan air.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementaasikan sistem kontrol Fuzzy logic pada alat IOT Automatic Smart Water Control (AUSWACO). Diharapkan hasil penelitian ini memiliki manfat sebagai berikut: (1) Dapat membantu Masyarakat yang sebelumnya yang mengeluhkan tentang tekanan air yang sangat lemah atau kurang untuk melakukan kegiatan di rumah yang memerlukan tekanan air seperti water heater, shower, mesin cuci dan dishwaser. (2) Manfaat penggunaan metode Waterfall membantu pengembangan sistem AUSWACO secara terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian, dengan dokumentasi yang jelas. Metode ini memastikan sistem sesuai spesifikasi, meminimalkan kesalahan, mendukung integrasi IoT dan logika fuzzy, serta mempermudah validasi dan penyusunan skripsi yang sistematis. (3) Manfaat pada logika fuzzy pada AUSWACO mengatur tekanan air secara adaptif berdasarkan flow rate dan tekanan, menjaga stabilitas, hemat energi, dan menangani kondisi non-linear. Integrasi IoT memungkinkan kontrol real-time untuk kenyamanan dan performa optimal. (4) Penggunaan IoT pada AUSWACO memungkinkan kontrol real-time, efisiensi operasional, dan integrasi dengan teknologi lain, meningkatkan kenyamanan dan responsivitas sistem. (5) Penggunaan module LoRa memungkinkan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi energi rendah, memastikan konektivitas stabil dan biaya operasional yang rendah. Teknologi ini mendukung skalabilitas sistem AUSWACO, memungkinkan kontrol lebih banyak titik dengan efisiensi tinggi dan tanpa memerlukan infrastruktur jaringan besar.

## KAJIAN TEORITIS

### Kajian Ilmiah

Dalam melakukan penelitian ini, sejumlah kajian ilmiah telah dilakukan untuk memberikan landasan teoritis dan pemahaman yang mendalam mengenai pengembangan sistem kontrol air berbasis *Fuzzy logic* pada alat IOT *Automatic Smart Water Control* (AUSWACO). Beberapa penelitian terkait yang relevan untuk penelitian ini meliputi:

| No | Judul | Author | Tahun | ringkasan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Penerapan Metode Mamdani | Dasa Putri, Anggia | 2023 | Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana metode Fuzzy |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *Fuzzy logic* untuk Menentukan Pembelian Alat Berat dalam Proyek Migas di PT SMOE | Maulana, Algifanri | | Mamdani dapat digunakan untuk membuat keputusan tentang pembelian alat berat untuk proyek minyak dan gas bumi di PT SMOE Indonesia. Metode Fuzzy Mamdani dipilih karena memiliki kemampuan untuk menangani ketidakpastian yang muncul saat pengambilan keputusan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode Fuzzy Mamdani mengubah keputusan pembelian alat berat untuk proyek minyak dan gas bumi di PT SMOE Indonesia secara signifikan. Variabel input yang digunakan adalah harga, pengiriman, pusat layanan, kualitas, dan garansi. Tahapan metode Fuzzy Mamdani termasuk pembentukan himpunan Fuzzy, penerapan fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi menggunakan metode centroid. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | Sistem Kontrol dan Monitoring Penggunaan Air Berbasis IoT Menggunakan Modul ESP8266 | Imansyah, Nur, Widiastuti, Sri Handani | 2022 | Air sangat diperlukan oleh rumah tangga atau usaha. Banyaknya air yang digunakan sangat berdampak pada biaya yang dikeluarkan. Biaya ini semakin tidak terkontrol jika penggunaan tidak terkontrol. Pengguna hanya mengetahui setelah jatuh masa pembayaran. Biaya ini dapat dikontrol jika jumlah debit air yang terpakai dapat dikendalikan. Walaupun perusahaan penyedia air sudah memiliki sistem dengan meter pemakaian, tetapi pengguna masih kesulitan dalam membaca alat tersebut dan jumlah biaya penggunaan saat itu. Maka dilakukan penelitian ini dnegan tujuan membangun sistem kontrol penggunaan air pada pelanggan layanan penyedia air berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini terhubung dengan perangkat mobile pengguna melalui koneksi internet sehingga dapat |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | mengontrol penggunaan air secara realtime. Sistme ini mn=enggunakan perangkat mikrokontroller ESP826. Hasil penelitian ini dapat melakukan monitoring dan controlling secara realtime penggunaan air dengan tepat. Sehingga sistem ini menjadi rujukan dalam pengurangan biaya pemakaian air yang terkontrol secara realtime. |
| 3 | PEMBUATAN ALAT UKUR DEBIT AIR | Salsabilla Rizki Amelia, Djafar Sodiq, Aceng Daud | 2023 | Tujuan utama dari jurnal ini adalah untuk mempermudah pemantauan dan evaluasi neraca air di saluran tertutup yang sebelumnya dilakukan secara manual. Penelitian ini membahas bagaimana membuat alat ukur debit air menggunakan sensor aliran air YF DN50 G2 yang berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sensor debit air YF DN50 G2, yang terdiri dari rotor air, katup plastik, dan sensor efek hall, digunakan untuk mengukur debit air. Sebagai hasil dari |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | pengujian, sensor ini menunjukkan kinerja yang baik dalam mengukur debit air, dengan debit air tertinggi mencapai 109 L/menit. Dengan menggunakan meteran debit air Flowatch, persentase kesalahan (error) yang dihasilkan oleh alat ukur debit air dan alat ukur kecepatan air berada di bawah 3%, sesuai dengan spesifikasi sensor, yaitu error ±3%. |

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya maka yang menjadi persamaan adalah penggunaan sensor flow meter sebagai alat pengukur debit fluida sebagai pengganti meteran air PDAM yang berjeniskan analog lalu dapat memonitoring pengggunaan air.

Perbedaan pada penelitian ini adalah adanya penggunaan akuator servo *DGServo S06NF STD* dan pompa yang di kontrol dengan *Fuzzy logic* dan menggunakan module lora sebagai alat komunikasi.

**Dasar Teori**

Dasar Teori Yang dijadikan landasan dalam menjelaskan metode pada penelitian ini diantara nya adalah:

***1. Fuzzy Logic***

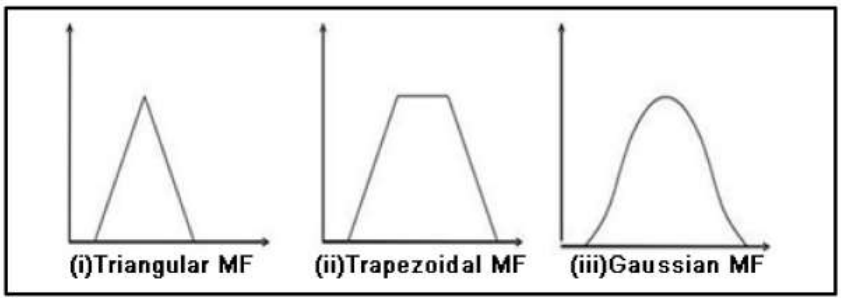
Lofti A. Zadeh, pendiri logika Fuzzy, mendefinisikan "himpunan *Fuzzy*" pada tahun 1965, di mana kelas-kelas Himpunan *Fuzzy* menentukan kepemilikan objek, memungkinkan untuk mengkategorikan orang ke dalam himpunan seperti "kelas pria pendek" atau "kelas wanita muda". Untuk alasan ini, Zadeh menganggap himpunan yang dia

definisikan lebih dekat dengan penalaran manusia, terutama dalam hal pengenalan pola, komunikasi, atau abstraksi informasi. Sejak saat itu, berbagai karya telah dibuat dalam berbagai bidang penelitian yang berbeda dan telah menunjukkan kekuatan teknik ini, seperti bahwa himpunan *Fuzzy* relatif mudah diimplementasikan, bahwa proses ini tidak membutuhkan model matematika yang kompleks, bahwa biaya komputasi mereka rendah, dan bahwa mereka dapat digunakan untuk mengembangkan sistem MIMO.

Pada penelitian oleh (Syafiqoh et al., 2022) berjudulkan "*Comparative analysis of Fuzzy Tsukamoto's membership functions for determining irrigated rice field feasibility status*" menjelaskan bahwa logika *fuzzy* terdiri dari empat subsistem: *fuzzification*, *inference engine*, *fuzzy rule base*, dan *defuzification*. Proses fuzzifikasi adalah proses mengubah nilai input dalam bentuk nilai tetap (*Crisp*) menjadi nilai *fuzzy*. Sub-sistem mesin inferensi menggunakan nilai *fuzzy* ini sebagai input untuk menghasilkan output *fuzzy*, dan sub-sistem defuzzifikasi menggunakan output *fuzzy* dari mesin inferensi untuk menghasilkan output sistem.

Menetapkan fungsi keanggotaan adalah langkah pertama menuju pemrosesan input *fuzzy* dalam subsistem mesin inferensi. Fungsi keanggotaan adalah kurva yang memproyeksikan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaan mereka, yang berada dalam interval 0–1. Representasi linier, kurva segitiga, *trapezoidal*, berbentuk bahu, kurva S (sigmoid), dan kurva π adalah beberapa fungsi keanggotaan yang dapat digunakan. Setiap fungsi keanggotaan ini memiliki karakteristik unik yang diformulasikan dalam bentuk persamaan matematis. Fungsi fungsi keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangat penting dalam teori logika fuzzy. Jika fungsi keanggotaan digunakan oleh sistem yang tidak didefinisikan dengan baik, itu akan menyebabkan sistem tidak berfungsi dengan baik. Oleh karena itu, fungsi-fungsi ini harus didefinisikan dengan hati-hati.

Pada penelitian (Azam et al., 2021) yang berjudul "*A Novel Approach to Generate Type-1 Fuzzy Triangular and Trapezoidal Membership Functions to Improve the Classification Accuracy*" menjelaskan bahwa, Fungsi keanggotaan fuzzy (MF) suatu himpunan adalah hubungan antara berbagai komponennya dan derajat keanggotaan mereka. Kurva yang mewakili semua nilai dalam ruang input antara 0 dan 1 dipetakan ke derajat keanggotaan mereka . menunjukkan tiga jenis fuzzy magnetic field (MF): segitiga, trapesium, dan Gaussian. MF segitiga dihasilkan oleh tiga parameter, a dan c, di mana a dan c adalah nilai dasar dan b adalah nilai puncak. MF trapezoidal dihasilkan oleh empat parameter, a, b, c, dan d, di mana a dan b adalah nilai dasar dan d adalah nilai lebar.




**Gambar 2. 1** membership function (Azam et al., 2021)

***2. Fuzzy Control***

Sistem kontrol *Fuzzy logic* adalah suatu pendekatan yang menggunakan logika Fuzzy untuk mengendalikan suatu sistem berdasarkan aturan-aturan linguistik. Dalam konteks pengendalian air, sistem kontrol *Fuzzy logic* digunakan untuk mengatur jumlah air yang mengalir berdasarkan kebutuhan pengguna. Sistem ini menerima input berupa data kecepatan aliran air dari sensor flow meter dan menghasilkan output berupa instruksi kontrol untuk motor servo yang menggerakkan katup.

Menurut (Torres-Salinas et al., 2022) Proses pengendalian pada sistem kontrol *Fuzzy logic* melibatkan beberapa tahapan, yaitu:

*1)* ***Fuzzification***

Tahap fuzzifikasi bertanggung jawab untuk mengubah variabel numerik menjadi variabel linguistik. Untuk proses ini,

setiap variabel memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 (tidak termasuk) dan 1. (Sepenuhnya milik). Derajat keanggotaan ini didefinisikan dalam Persamaan, di mana A adalah himpunan fuzzy dan x adalah nilai dari himpunan universal X.

***2) Fuzzy Inference***

Aturan digunakan untuk pengambilan keputusan dalam logika Fuzzy. Aturan ini terdiri dari dua komponen: input yang tidak jelas, yang disebut preseden, dan output, yang disebut konsekuensi. Pernyataan jika-maka menghubungkan precedens dan konsekuensi. Meskipun representasi dapat menjadi sulit ketika ada lebih dari dua . AND, OR, dan NOT digunakan untuk menghubungkan variabel input yang berbeda. Aturan Takagi-Sugeno dan aturan Mandani adalah dua kelompok utama aturan Fuzzy. Perbedaan utama antara keduanya adalah bahwa output dari inferensi Fuzzy metode Mandani masih berupa variabel yang difuzzifikasi, sedangkan metode Takagi-Sugeno membuat variabel keluarannya menjadi nilai crisp.

**3) Defuzzifikasi**

Output Fuzzy diubah menjadi bilangan real yang menunjukkan pusat gravitasi dari output Fuzzy himpunan tersebut. Namun, metode yang lebih efisien, seperti COA, mengurangi beban komputasi yang diperlukan untuk melakukan proses ini.

**3. Fuzzy Mamdani**

Menurut penelitian oleh (Aztisyah et al., 2021) yang berjudul "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada pH Air dalam Sistem Otomatisasi Suhu dan pH Air Aquascape Ikan Guppy" menjelaskan implementasi Fuzzy mamdani pada sensor PH air, mamdani atau biasa disebut dengan metode Fuzzy Max-Min atau Max-Product yang

diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan nilai suatu output, memerlukan 4 tahapan.

Menutur penelitian oleh (Sihombing, n.d.) yang berjudul "Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya" Aturan yang dibentuk akan dihitung alpha predikat menggunakan fungsi implikasi MIN dan menentukan alpha predikat tertinggi dengan fungsi MAX dari fungsi MIN. Hasil dari tiap aturan adalah himpunan fuzzy.

**1) Fuzzifikasi**

Fuzzyfikasi dalam metode Mamdani, fungsi keanggotaan trapezoidal ditentukan oleh empat parameter, a, b, c, dan d. Fungsi ini memiliki bentuk seperti trapesium dan digunakan untuk mengubah input crisp (nilai tegas) menjadi derajat keanggotaan fuzzy. Rumus fungsi keanggotaan Trapezoidal:

$$\mu[x] = \begin{cases} \dfrac{x - a^0}{b - a} & ; x \leq a \; atau \; x \geq d \\ & ; a \leq x \leq b \\ \dfrac{d - x}{d - c_1} & ; b \leq x \leq c \\ & ; c \leq x \leq d \end{cases}$$

**Penjelasan Parameter:**

a: Awal daerah di mana keanggotaan mulai naik dari 0.

b: Awal daerah dengan keanggotaan penuh (1).

c: Akhir daerah dengan keanggotaan penuh (1).

d: Akhir daerah di mana keanggotaan kembali turun ke 0.

**Proses Fuzzyfikasi:**

1. Tentukan parameter a, b, c, dan d untuk setiap fungsi keanggotaan sesuai dengan variabel input.
2. Hitung derajat keanggotaan (μ(x)) berdasarkan nilai crisp (x) menggunakan rumus di atas.

   **Contoh:**

   Misalkan kita memiliki variabel input dengan fungsi keanggotaan berikut:

   a=2, b=4, c=6, d=8.

   Jika nilai crisp adalah x = 5, maka:

1. Karena b < x ≤ c, maka:

$$\mu(x) = 1$$

Jika nilai crisp adalah x = 3, maka:

1. Karena $a < x \leq b$, maka :

$$\mu(x) = \frac{x-a}{b-a} = \frac{3-2}{4-2} = 0.5$$

**Implikasi (Aturan Fuzzy)**

Dalam metode Mamdani, tahap implikasi dilakukan setelah fuzzyfikasi, yaitu menentukan derajat keluaran fuzzy berdasarkan aturan yang berlaku. Implikasi pada metode ini menggunakan operator min (AND) atau prod (perkalian), tergantung pada bagaimana hubungan antar variabel dinyatakan. Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. **Format Aturan Fuzzy (*Rules*)**

   Aturan fuzzy Mamdani biasanya berbentuk:

   **IF (Kondisi) THEN (Konsekuensi**

   Contoh:

   **Rule 1:** *IF input1 is A1 AND input2 is B1 THEN output is C1*

   **Rule 2:** *IF input1 is A2 OR input2 is B2 THEN output is C2*

2. **Operator untuk Implikasi.**

   AND (minimum):

   $$\mu_{rule} = \min(\mu_{input1}, \mu_{input2})$$

   OR (minimum):

   $$\mu_{rule} = \min(\mu_{input1}, \mu_{input2})$$

3. **Proses Implikasi**

   Setelah derajat keanggotaan (μ) dari fuzzyfikasi diperoleh, implikasi digunakan untuk menentukan bagaimana aturan memengaruhi keluaran fuzzy. Fungsi

keanggotaan keluaran ($\mu_{rule}$) akan dipotong (*truncated*) sesuai dengan hasil implikasi. Rumus pemotongan menggunakan operator min:

$$\mu_{output}(x) = \max(\min(\mu_{rule1}(x), \mu_{rule2}(x)))$$

**2) Inference**

Tahap mesin inferensi dilakukan dengan menghitung nilai Z untuk setiap anggota himpunan variabel keluaran yang terdiri dari Status Kelayakan Sawah Irigasi.

Agregasi Hasil dari semua aturan Fuzzy di gabung menggunakan operator maksimum.

$$\mu_{output} = \max(\mu_{Slow}(y), \mu_{Fast}(y), \ldots\ldots)$$

**3) Defuzzifikasi**

Proses defuzzifikasi dilakukan dengan mengubah output fuzzy dari mesin inferensi menjadi nilai-nilai jelas sesuai dengan himpunan keanggotaan status kelayakan lahan padi irigasi. Proses defuzzifikasi dilakukan dua kali, masing-masing untuk kurva trapezoid dan segitiga. Contoh di bawah ini menunjukkan perhitungan nilai defuzzifikasi:

$$y = \frac{\int x \ . \mu agrefated(x)\, dx}{\int \mu agregated(x)\, dx}$$

Metode centroid menemukan pusat gravitasi, atau titik pusat, di area di bawah kurva fungsi keanggotaan output yang tidak jelas. Metode yang digunakan untuk menemukan titik pusat massa suatu objek berdasarkan distribusi massanya hampir sama.

Keunggulan metode centroid adalah bahwa itu dapat menghasilkan hasil defuzzifikasi yang menunjukkan rata-rata tertimbang dari semua nilai dalam himpunan fuzzy, yang menghasilkan nilai yang lebih seimbang dan representatif. Namun, perhitungan dengan metode ini dapat menjadi lebih

sulit jika bentuk fungsi keanggotaan tidak sederhana atau terdiri dari banyak segmen.

Melalui tahapan-tahapan ini, sistem kontrol *Fuzzy logic* mampu mengatur tekanan air yang mengalir dengan presisi sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dengan menggunakan logika Fuzzy, sistem ini dapat mengakomodasi tingkat kebenaran yang lebih kompleks dan menghasilkan respons yang adaptif terhadap perubahan tekanan air.

**4. Automatic**

Menurut (D. C. Permana et al., n.d.) Di era revolusi industri 4.0, kemajuan teknologi telah mengubah banyak aspek kehidupan manusia. Salah satu contohnya adalah penggunaan alat otomatisasi yang semakin meningkat di berbagai industri, seperti industri, pertanian, dan transportasi. Alat otomatisasi telah berkembang pesat dan semakin canggih selama revolusi industri 4.0. Istilah ini mengacu pada teknologi yang menggantikan atau meningkatkan tugas-tugas manusia dengan menggunakan perangkat mekanik, elektronik, dan komputer untuk melakukan tugas-tugas yang sebelumnya dilakukan oleh manusia. Alat otomatisasi populer di bidang seperti manufaktur mobil, pertambangan, dan otomotif karena kemampuan mereka untuk melakukan tugas berat yang berulang. Penggunaan alat otomatisasi juga memiliki banyak keuntungan, termasuk peningkatan produktivitas, peningkatan kualitas produk, dan penurunan biaya produksi.

Menurut (Cahya Permatasari et al., 2023) yang berjudul “Rancang Bangun Alat Trainer Kontrol Berbasis PLC Omron CP2E untuk Media Pembelajaran ” Kemajuan industri yang didorong oleh kemajuan IPTEK mengarahkan ke era otomatisasi industri, yang membuka peluang bagi dunia industri untuk meningkatkan hasil produksinya. Saat ini, sistem kontrol dalam industri tidak lagi mengandalkan metode konvensional, tetapi beralih ke penggunaan sistem kontrol PLC. Hal ini membuat proses produksi menjadi lebih sederhana dan efisien.

Menurut penelitian oleh (Oisson, 2021) yang berjudul " *Urban water supply automation – today and tomorrow* "membicarakan tentang pengotomatisan sistem air perkotaan, menawarkan berbagai teknologi potensial untuk penggunaan air di kota-kota, pengelolaan air limbah, dan penggunaan sensor untuk memantau penggunaan air. Namun, karena otomatisasi memiliki beberapa elemen yang perlu dipertimbangkan, seperti kompleksitas, ketidakpastian, dan umpan balik, manusia harus memantau kemajuan ini. Ini karena ada kemungkinan bahwa komputer dapat mengabaikan atau tidak mempertimbangkan beberapa faktor nyata yang tidak dapat diidentifikasi atau diprediksi oleh manusia, sehingga menghasilkan hasil yang tidak sesuai dengan kenyataan.

**5. Debit Air**

Debit aliran air merupakan parameter hidrologi yang digunakan untuk memperkirakan signifikansi hidrologi dari suatu fenomena yang terjadi di area tertentu. Dengan kata lain, debit menunjukkan jumlah volume air yang bergerak dalam periode tertentu melalui area tertentu, apakah itu saluran aliran yang tidak terhalang atau saluran aliran terbatas seperti pipa atau cerat.

Pada dasarnya, untuk menilai nilai debit aliran air, kecepatan aliran melintasi penampang saluran air diukur. Kecepatan aliran air di sungai atau saluran terbuka itu sendiri dapat dipastikan melalui alat pengukuran langsung dan tidak langsung. Menyadari bahwa kecepatan aliran air memainkan peran penting dalam menentukan besarnya debit. (Amelia, 2023)

Besaran debit air dapat dihitung dengan :

$Debit\ (Q) = V\ x\ A$

Keterangan :

Q = Debit

V = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas Penampang basah ($m^2$)

Berikut rumus dari Luas Penampang dari Sensor

Water Flow Meter:

$A = \pi\ (1/2\ D)^2$

Keterangan :

A = Luas Penampang basah Pipa (saluran tertutup) (m2)

$\pi$ = phi = 3,14

D = Diameter Sensor (m)

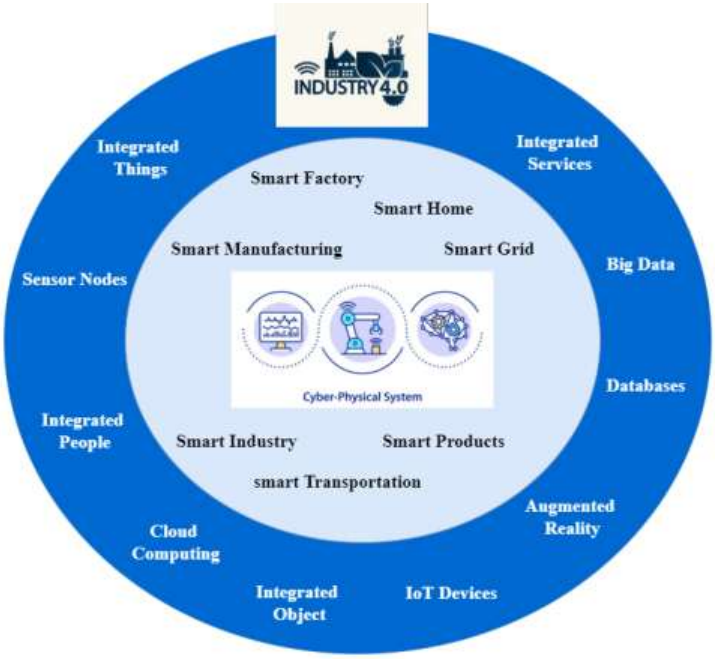
Menurut penelitian oleh (Purnawan et al., 2022) yang berjudul "Studi Evaluasi Sistem Penyediaan Air Bersih Di Kampus I Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta Dalam Upaya Mendukung Kampus Berwawasan Lingkungan" menjelaskan bahwa Suatu gedung membutuhkan sistem plambing untuk memastikan bahwa air bersih didistribusikan dengan debit dan tekanan yang tepat. Tidak melakukan analisis kesesuaian sistem penyaluran air bersih ketika sebuah gedung dibangun dapat menyebabkan sistem penyediaan air bersih menjadi kurang efisien dan efektif, yang pada gilirannya dapat menyebabkan biaya operasional yang tinggi. Sistem penyediaan air bersih gedung mencakup sistem penyediaan air bersih, instalasi air bersih, analisis perhitungan kebutuhan air, dan analisis perencanaan pipa air bersih.

### *6. Internet Of Things*

Di Era Industri 4.0, *Internet of Things* (IoT) membantu mengubah pabrik konvensional menjadi pabrik pintar dengan memanfaatkan jaringan perangkat yang saling terhubung, sensor, dan perangkat lunak untuk memantau dan mengoptimalkan proses produksi. Dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT), pemeliharaan prediktif di pabrik pintar dapat membantu mengurangi kerusakan mesin, mengurangi waktu henti, dan memperpanjang umur peralatan. Dengan menerapkan sensor *Internet of Things* (IoT) di pabrik pintar mereka, para produsen dapat melacak dan mengoptimalkan penggunaan energi selama proses pembuatan komponen. Selain itu, *Internet of Things* (IoT) memiliki kemampuan untuk memberikan gambaran yang lebih luas tentang lingkungan pabrik, yang dapat membantu meningkatkan keselamatan kerja dengan

mengidentifikasi potensi bahaya dan memberi peringatan kepada pekerja tentang bahaya yang mungkin terjadi. (Soori et al., 2023)

Menurut (Majid et al., 2022) Dalam era digital dan modern ini, teknologi berkembang setiap hari. Karena proliferasi teknologi yang masif, IoT dan WSN memainkan peran penting dalam Industri 4.0 untuk mengembangkan aplikasi pintar, merancang pusat data terhubung, dan membangun industri pintar otonom. Jaringan data telah dibuat dan ditingkatkan dengan bantuan perangkat baru dan pintar. Dalam tinjauan pustaka sistematis ini, ancaman jaringan WSN dan IoT dianalisis dan studi komparatif deskriptif dilakukan. Jaringan-jaringan ini adalah permukaan serangan utama bagi para penyerang untuk menarik pola-pola bermakna dari data sistem dan pengguna.




**Gambar 2. 2** industry 4.0 (Majid et al., 2022)

Pada gambar 2.2. adalah gambar yang menunjukan tentang perkembangan yang mencakup dengan industry 4.0 seperti IoT Cloud, Computing dan lainnya.

Menurut penelitian oleh (Villamil et al., 2020) yang berjudul "*An overview of internet of things*" Aplikasi *Internet of Things* diperkirakan akan meningkat dengan cepat dan masuk ke banyak sektor. IoT memiliki masa depan yang menjanjikan dalam aktivitas sehari-hari, kebutuhan

medis, dan mencegah kecelakaan, selain aplikasi lainnya. Blockchain dan radio kognitif adalah dua teknologi *Internet of Things* yang dapat digunakan.

Radio kognitif adalah sistem yang memungkinkan mobilitas spektral yang jauh lebih cepat dan efisien. Mengingat bahwa "permintaan untuk perangkat pintar yang dapat mengelola dan mengonfigurasi parameter transmisinya berdasarkan ketersediaan spektrum dalam dimensi spatio-temporal meningkat secara signifikan," diperkirakan bahwa integrasi IoT dan radio kognitif. Teknologi kandidat terbaik adalah radio kognitif (CR). Oleh karena itu, radio kognitif dan *Internet of Things* (IoT) mungkin menjadi mitra terbaik dalam perkembangan komunikasi masa depan yang akan membuat orang tetap terhubung ke jaringan data yang optimal dan aman.

**7. Bagian-Bagian Utama Meteran Air AUSWACO**

Meteran air tidak hanya terdiri dari satu komponen saja melainkan membutuhkan bagian-bagian yang nantinya di kombinasikan menjadi satu bagian utuh dengan semua komponen yang di butuhkan.

**1) Sensor**

Water flow Sensor aliran air dapat menghitung debit air yang mengalir dengan menggunakan banyak putaran baling-baling. Banyak pulsa yang dihasilkan tergantung pada banyaknya efek hall yang diterima.

Dalam pembacaan hall-effect, dorongan air mengalir mendorong baling-baling di dalam sensor aliran air. Gaya medan magnet dihasilkan oleh air yang menggalir pada baling-baling. Wemos menggunakan output PWM ini sebagai input untuk menghitung aliran air, dan kemudian mendapatkan hasil perhitungan debit air.(Andrie Aryanto et al., 2019)

**Gambar 2. 3** Sensor Flow Meter YF-B1 Brass
(tinytronics.nl, 2024)

Pada gambar 2.1. adalah salah satu contoh sensor flow meter yaitu sensor Sensor Flow Meter YF-B1 yang berbahan coper BRASS.

**2) Akuator**

Aktuator adalah peralatan mekanis yang biasa digunakan untuk menggerakkan sistem sebagai proses lanjutan dari output proses olah data yang dihasilkan oleh sensor atau *controller*. Tugas aktuator adalah mengubah energi listrik menjadi energi non-listrik, seperti energi mekanik. (Yuliandri & Almasri, 2022)

Menurut penelitian oleh (Gao et al., 2024) pada judul "*An Intelligent Control Method for Servo Motor Based on Reinforcement Learning*" menjelaskan bahwa sebuah motor servo adalah komponen penting dari sistem otomatisasi. Motor servo telah banyak digunakan di berbagai bidang manufaktur, seperti di aerospace, manufaktur otomotif, dan robotika, karena mereka dapat mengubah sinyal tegangan menjadi torsi dan kecepatan untuk menggerakkan objek yang dikendalikan dengan presisi kontrol yang tinggi.

**Gambar 2. 4** DGServo S06NF STD (gotronic.fr, 2024)

Pada gambar 2.4. adalah salah satu contoh *aktuator* yaitu Servo DGServo S06NF STD menghasilkan gaya putar dan torsi pada putarannya tidak hanya itu komponen akuator lain nya yaitu pada gambar 2.5.

**Gambar 2. 5** Motor DC Pump (elektrologi.iptek.web.id, 2024)

Pada gambar 2.4. adalah pompa sebagai alat tambahan untuk membantu mengontrol tekanan air dengan *Fuzzy logic* pada alat *Automatic smart water control* (AUSWACO).

**3) Kontroler**

Mikrokontroller adalah chip atau IC yang dapat diprogram oleh komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroller adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memprosesnya, dan kemudian menghasilkan output yang diinginkan. Dengan demikian, mikrokontroller berfungsi sebagai "otak" rangkaian elektronik dan mengontrol input, proses, dan outputnya. (A. Permana et al., 2020)

**Gambar 2. 6** Arduino Mega 2560 pro (compacttool.ru, 2024)

Pada gambar 2.5. adalah micro controler sebagai pengolah data utama untuk mengolah data nilai sensor flow meter.

**Gambar 2. 7** Microcontroler Esp32 (raharja.ac.id, 2021)

Pada Gambar 2.7. Adalah microcontroler ESP32 semakin populer di kalangan akademisi dan komunitas pengembang, dan cocok untuk berbagai aplikasi IoT karena memiliki konektivitas nirkabel bawaan. Ini didukung oleh banyak pustaka perangkat lunak dan bahasa pemrograman. Sementara bahasa tingkat rendah dan menengah, seperti C/C++ dan Rust, dianggap paling efisien, TinyGo dan MicroPython adalah bahasa dengan kompleksitas rendah yang lebih ramah pengembang, cocok untuk pemula, dan memungkinkan pengkodean yang lebih cepat.

Dalam penelitian ini, bahasa pemrograman C/C++, MicroPython, Rust, dan TinyGo dievaluasi dengan membandingkan kinerja eksekusinya. Bahasa-bahasa ini menggunakan beberapa algoritma pemrosesan data dan sinyal yang populer, dan waktu operasinya dibandingkan:

Transformasi Fourier Cepat (FFT), Pemeriksaan Redundansi Siklik (CRC), Algoritma Hash Aman (SHA), Respon Impuls Tak Terhingga (IIR), dan filter Respon Impuls Terbatas (FIR).(Plauska et al., 2023)

Menurut penelitian oleh (Nur-A-Alam et al., 2021) dengan judul "*Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System*" menjelaskan bahwa Mikropemroses ESP32, modul yang kuat dan fleksibel dengan banyak fungsi bawaan, digunakan dalam sistem ini. Berbagai perangkat keras digunakan untuk membuat modul ini. Ini menghubungkan aplikasi pengguna dan modul LoRa di sisi pengirim melalui koneksi Wi-Fi, dan di sisi penerima menghubungkan berbagai sensor dan saklar pengontrol melalui kabel.

**8. Komunikasi Lora**

Menurut penelitian oleh (Hassan et al., 2022) LoRa singkatan dari Long Range dan juga LoRaWAN adalah sistem modulasi yang kuat yang dikembangkan oleh Cycleo, perusahaan Prancis yang kemudian dibeli oleh Semtech. Untuk komunikasi nirkabel berdaya rendah dan jarak jauh, ini digunakan dalam jaringan LoRaWAN. Jaringan LoRaWAN biasanya diatur dalam topologi bintang, dengan gateway bertanggung jawab untuk mengirimkan pesan antara node dan server pusat. Gateway terhubung ke server jaringan melalui tautan IP, dan node terhubung ke lebih dari satu gateway melalui komunikasi LoRaWAN satu hop. Uplink ke server jaringan sangat dihargai, tetapi sebagian besar komunikasi dilakukan secara dua wajah. Sebagai keamanan, ini menggunakan enkripsi AES standar 128-bit. LoRa adalah LPWAN yang tidak berlisensi yang memiliki bandwidth 125 kHz dan beroperasi pada pita ISM 433, 868, 923, dan 915 MHz.

Karena CSS atau Chirp Spread Spectrum mencegah penghilang multi-path, itu adalah dasar modulasi LoRa. LoRa mencakup 8–10 km di kota dan 22 km di pedesaan, tergantung pada perangkat keras yang digunakan.

Ini memiliki variabel penyebaran ortogonal dan latensi rata-rata 2 detik, dengan rentang data serbaguna antara 0,3 dan 50 kbps. LoRa hanya dapat digunakan untuk muatan kecil karena kecepatan datanya yang rendah. Ini membutuhkan sekitar 0,042 W daya dan bertahan lebih dari 15 tahun.

Salah satu pendukung utama *Internet of Things* (IoT) adalah teknologi LoRa, yang memanfaatkan daya rendah dan bitrate rendah untuk komunikasi jarak jauh. Dalam proses pengambilan keputusan untuk membangun kota pintar, banyak faktor lingkungan yang dipertimbangkan untuk mendukung kemajuan berkelanjutan. Dalam penelitian sebelumnya, perangkat komunikasi jaringan sensor nirkabel yang menggunakan XBee daya rendah untuk pemantauan di gunung berapi memiliki batasan jangkauan. LoRa adalah alternatif untuk komunikasi nirkabel yang lebih hemat daya daripada jaringan wifi dan ponsel. Banyak node sensor terdistribusi dan area yang sulit mendapatkan listrik membutuhkan daya rendah. Penggunaan LoRa daya rendah menyebabkan kecepatan transmisi yang lambat. (Juliando et al., 2021)

Menurut penelitian oleh(Saban et al., 2023) yang berjudul "*A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan*" menjelaskan bahwa Dengan LoRa sebagai lapisan fisik dan LoRaWAN sebagai lapisan Kontrol Akses Media (MAC), LoRa dan LoRaWAN adalah standar global untuk Jaringan Area Luas Daya Rendah (LPWAN). LoRaWAN adalah spesifikasi terbuka yang dikembangkan oleh LoRa Alliance. Teknologi LoRa berbasis modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS), yang memberi penerima sensitivitas tinggi dan melindungi data dari kerusakan melalui penggunaan pesan koreksi kesalahan maju. LoRa menggunakan spektrum radio bebas lisensi di pita Industri, Sains, dan Medis (ISM). Ini terutama terjadi di rentang 863 hingga 870 MHz di Eropa. Parameter seperti daya transmisi, faktor penyebaran (SF), yang merupakan rasio antara laju simbol data dan laju chirp, dan kode rasio (CR), yang merupakan laju koreksi kesalahan maju yang mempengaruhi waktu transmisi paket udara, memengaruhi jarak komunikasi dan ketahanan sinyal LoRa.

Penelitian menurut (Augustin et al., 2016) pada judul "*A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things*" menjelaskan bahwa Modulasi LoRa adalah sistem telekomunikasi jarak jauh yang berdaya rendah untuk lapisan fisik "Internet of Things". Makalah ini memberikan analisis menyeluruh tentang modulasi LoRa, yang merupakan teknologi kepemilikan dengan protokol MAC. Faktor-faktor yang dianalisis termasuk format bingkai, laju data, faktor penyebaran, sensitivitas penerima, dan lainnya. Sebagaimana dijelaskan dalam makalah ini, sebuah testbed telah dibangun untuk mempelajari kinerja jaringan secara eksperimental. Hasilnya menunjukkan bahwa modulasi LoRa memiliki ketahanan yang baik terhadap gangguan berkat modulasi spektrum menyebar chirp dan sensitivitas penerima yang tinggi. Menurut uji lapangan, LoRa dapat memberikan cakupan jaringan yang memuaskan hingga 3 km di daerah pinggiran kota dengan pemukiman padat. Faktor penyebaran juga memiliki pengaruh yang signifikan pada cakupan jaringan dan laju data. Oleh karena itu, LoRa sangat cocok untuk jaringan dengan throughput rendah, daya rendah, dan jarak.

Penulis yang Bernama (Islam et al., 2022) pada judul "*LoRa and server-based home automation using the internet of things (IoT)*" LoRa adalah metode modulasi spektrum tersebar yang berasal dari Chirp Spread Spectrum (CSS).

Teknologi LoRa telah menjadi salah satu solusi terbaik untuk Internet of Things (IoT) karena memiliki banyak fitur penting, seperti platform nirkabel murah dan daya rendah. Protokol LoRa *Wide Area Network* (LoRaWAN) menawarkan solusi untuk berbagai masalah di dunia nyata, seperti otomatisasi, pengelolaan energi, pencegahan bencana, pengendalian polusi, dan pengurangan sumber daya alam.

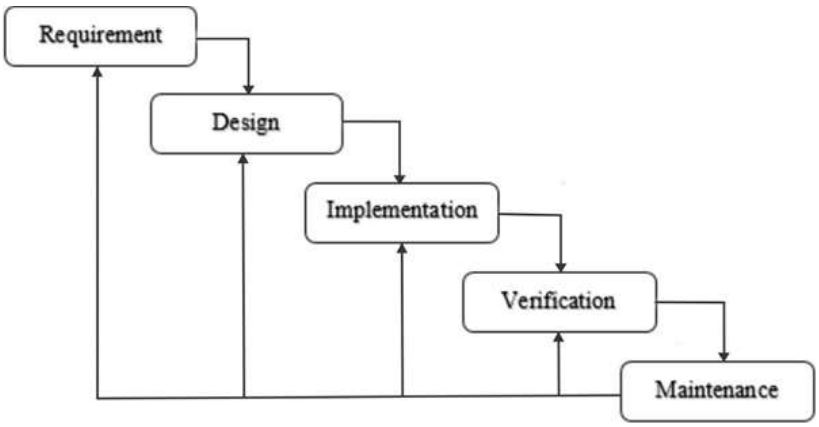
***9. Waterfall***

Metodologi air terjun adalah paradigma tradisional yang dicirikan oleh pendekatan sistematis dan berurutan untuk pengembangan perangkat lunak. Disebut sebagai "Linear Sequential Model," metodologi ini umumnya dikenal sebagai "Siklus Hidup Klasik" atau metode air terjun.

Itu diintegrasikan ke dalam kerangka menyeluruh rekayasa perangkat lunak dan awalnya diusulkan oleh Winston pada tahun 22.

Pada judul "(Fachri & Wahyu Surbakti, 2021)" menjelaskan bahwa Pada penelitian ini, metode waterfall digunakan; ini adalah metode pengembangan sistem di mana fase-fase dilakukan secara berurutan. Dalam proses penerapan metode Waterfall ini, satu tahapan akan diselesaikan terlebih dahulu sebelum melanjutkan ke tahapan berikutnya.

Royce muncul sekitar tahun 1970, membuatnya umumnya dianggap kuno, namun tetap menjadi model lazim dalam ranah Rekayasa Perangkat Lunak (SE). Model khusus ini beroperasi secara sistematis dan berurutan. Disebut sebagai model air terjun, ini memerlukan setiap tahap menunggu kesimpulan pendahulunya sebelum maju secara berurutan. (Wahid, 2020)




***Gambar 2. 8*** *Metode Waterfal (Wahid, 2020)*

**10. Piranti Perangkat Keras**

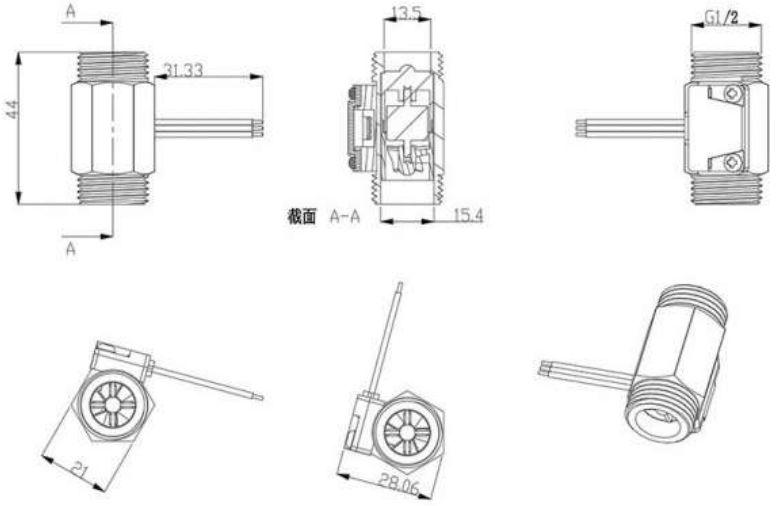
Dalam implementasi alat IOT *Automatic Smart Water Control* (AUSWACO), sejumlah piranti perangkat keras digunakan untuk mendukung sistem kontrol air yang berbasis Fuzzy logic. Beberapa piranti perangkat keras yang digunakan antara lain:

**1) Sensor**

Sensor adalah perangkat atau komponen yang mendeteksi, mengukur, atau memantau fenomena fisik atau keadaan lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat diukur atau diinterpretasikan oleh manusia atau sistem elektronik. Sensor berfungsi sebagai penghubung antara dunia

fisik dan dunia digital, memberikan informasi tentang sistem atau lingkungan yang dipelajari.

Sensor Flow Meter YF-B1 Brass digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air dan mendapatkan informasi mengenai debit air yang digunakan. Sensor flow meter yang akurat dan responsif sangat penting untuk memastikan pengukuran debit air yang akurat. Pemilihan jenis sensor flow meter yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi sangat penting untuk mendapatkan data yang akurat.




***Gambar 2. 9*** *Sensor Flowmeter Sketch (media.digikey.com, 2017)*

**Tabel 2. 1** Table Sepesifikasi sensor Flow meter (media.digikey.com, 2017)

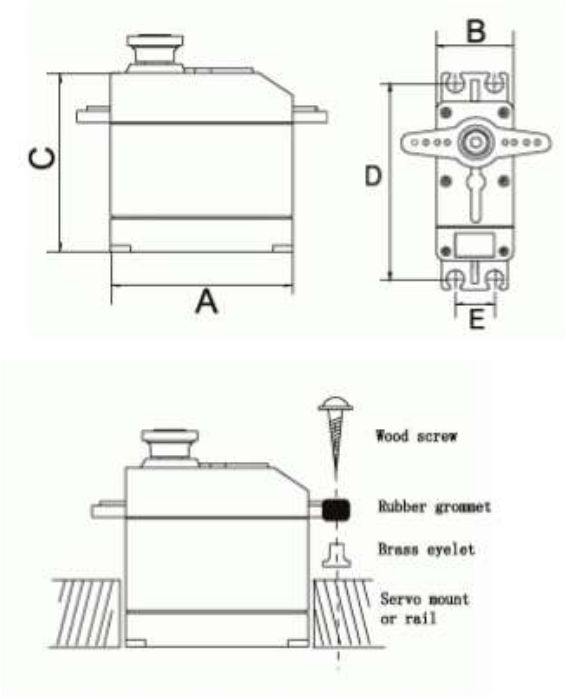
| Nomor Model | YF-B1 |
|---|---|
| Ukuran | L 44 x28mm x 1/2" |
| Flow rate | 1~25L/min |
| Thread | G 1/2" |
| Material | Brass Body |
| Flow Pulse | F(Hz)= 11xQ + - 5% , Q=L/min |
| Tegangan kerja | DC 3.5V~24V |
| Suhu kerja | 0~+80 C |
| Accuracy | -40~+125°C,<90%RH |

Spesifikasi teknis sensor aliran YF-B1 ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Sensor ini berfungsi untuk mengukur laju aliran air dalam satuan liter per menit (L/min), dengan dimensi fisik L 44 x 28 mm dan ulir 1/2 inci, yang umumnya digunakan pada pipa instalasi PDAM. Sensor ini memiliki kapasitas untuk mengukur debit air mulai dari 1 hingga 25 liter per menit, yang sesuai untuk aliran rumah tangga atau skala kecil hingga menengah.

Ulir tipe G 1/2" yang digunakan terbuat dari body brass, kuningan yang tahan terhadap korosi dan tekanan air. Sensor menghasilkan sinyal pulsa berdasarkan rumus $F(Hz) = 11 \times Q \pm 5\%$, di mana F adalah frekuensi pulsa dan Q adalah laju aliran air dalam L/min. Sensor ini bekerja pada tegangan DC 3,5V hingga 24V, memberikan fleksibilitas dalam sistem kelistrikan dan dapat beroperasi pada suhu 0–80°C. Ini memiliki akurasi yang cukup tinggi, dengan toleransi kerja pada suhu -40–+125°C dan kelembapan hingga 90% RH, menjadikannya andal di berbagai lingkungan.

**2) Akuator**

Akuator yang di gunakan pada alat meteran air ini adalah Servo DGServo S06NF STD berfungsi untuk mengontrol katup atau valve yang mengatur aliran air. Motor servo yang digunakan harus memiliki kemampuan responsif dan akurat dalam mengatur perubahan posisi katup, tidak hanya motor servo akuator lainya yang di gunakan yaitu motor dc pompa air yang di gunakan untuk mengatur tekanan air secara otomatis menggunakan kontrol *Fuzzy logic* motor dc pompa ini bekerja pada tegangan Dc 12V di arus 3.5A yang mampu memompa dengan kecepatan 4.0 Lpm dengan tekanan 0.6mpa.




***Gambar 2. 10*** *Gambar Servo DGServo S06NF STD (cloudfront.net, 2024)*

**Tabel 2. 2** Tabel Spesifikasi DGServo S06NF STD (cloudfront.net, 2024)

| Model | DGServo S06NF STD |
|---|---|
| Ukuran | 40.5 x 20 x 40.5 mm |
| Berat | 55g |
| Torsi | 6.0 kg-cm (pada 6V) |
| Kecepatan | 0.12 sec/60° (pada 6V) |
| Voltase Operasi | 4.8V - 6V |
| Arus Operasi | 900mA (max) |
| Sudut Putaran | 180° |
| Tipe Gear | Metal |

Servo DGServo S06NF STD, yang digunakan sebagai aktuator dalam sistem pengendalian keran otomatis pada alat pengukur aliran air PDAM, memiliki ukuran 40.5 x 20 x 40.5 mm dan berat 55 gram. Sangat kompak dan mudah dipasang dalam perangkat, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2. Dengan torsinya sebesar 6.0 kg-cm pada 6V, servo dapat

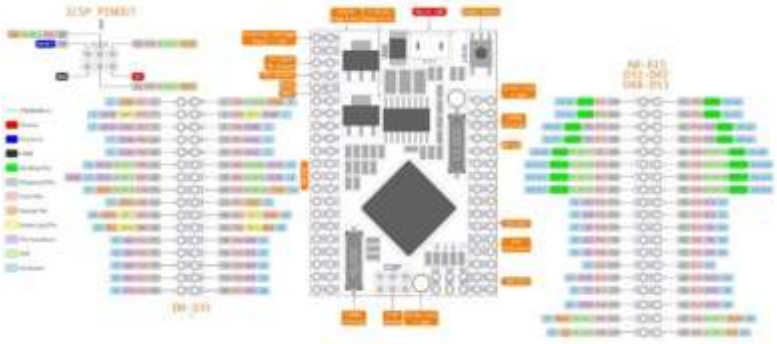
membuka dan menutup keran dengan kekuatan yang memadai. Dengan kecepatan 0.12 detik per 60°, ini sangat cocok untuk sistem otomatisasi yang bergantung pada mikrokontroler.

Servo ini memiliki arus maksimum 900mA dan dapat digunakan dengan berbagai jenis board, seperti Arduino atau ESP32. Ini bekerja dalam rentang tegangan 4.8V hingga 6V. Servo ini memiliki sudut rotasi maksimum 180°, yang memungkinkan tuas keran untuk bergerak dari posisi terbuka hingga tertutup sepenuhnya. Servo ini sangat tahan terhadap beban mekanik karena menggunakan gear berbahan metal dan digunakan sepanjang waktu. Karena berfungsi sebagai pengendali fisik aliran air yang diatur secara manual, komponen ini merupakan bagian penting dari sistem.

**3) Mikrokontroler**

Mikrokontroler yang di gunakan pada alat ini yaitu Arduino Mega 2560 Pro Mini merupakan board mikrokontroler yang kompatibel dengan Arduino Mega 2560. Board ini memiliki ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan board Arduino Mega 2560 yang memiliki ukuran yang besar.

Walaupun berukuran mini, board ini memiliki spesifikasi maupun kecepatan komputasi yang sama dengan Arduino Mega 2560. Board ini bisa diprogram dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE. Selain itu, board ini juga menggunakan port mikro USB yang dapat digunakan untuk mengunduh program dari Arduino IDE ke Arduino Mega 2560.



**Gambar 2. 11** Arduino mega 2560 pro Pin OUT
(handsontec.com, 2024)

**Tabel 2. 3** Tabel Spesifikasi Arduino Mega 2560 pro
(handsontec.com, 2024)

| | |
|---|---|
| Microcontroller | ATmega2560 |
| Tegangan Operasi | 5V |
| Input Voltage | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 54 (dari 15 dapat digunakan sebagai output PWM) |
| Flash Memory | 256 KB (dari mana 8 KB digunakan untuk bootloader) |
| SRAM | 8 KB |
| EEPROM | 4 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |
| Dimensi | 101.52 mm x 53.3 mm |
| Berat | 37 g |

Lalu untuk module komunikasi antara Arduino Mega 2560 ke module Esp 32 yaitu module LORA Ra-02 yang dapat digunakan untuk jarak ultra-jauhkomunikasi spektrum tersebar, dan kompatibelModulasi dan demodulasi jarak jauh FSKdengan cepat, untuk mengatasi desain nirkabel tradisionaltidak bisa memperhitungkan jarak,anti-interferensi dan konsumsi daya.

Ra-02 dapat digunakan secara luas dalam berbagai macamacara jaringan, untuk meteran otomatismembaca, otomatisasi pembangunan rumah, keamanansistem, sistem irigasi jarak jauh, adalah yang idealsolusi untuk hal-hal aplikasi jaringan.

Ra-02 tersedia dalam paket SMD dan bisadigunakan untuk produksi cepat dengan SMT standarperalatan. Ini memberi pelanggan harga tinggi mode koneksi keandalan.

**Gambar 2. 12** Module Lora Ra-02 (e-gizmo.net, 2017)

**Tabel 2. 4** spesifikasi Module LoRa-02 (e-gizmo.net, 2017)

| | |
|---|---|
| Kemasan | SMD-16 |
| Ukuran | 17*16*3,2(±0,2) mm |
| Rentang frekuensi | 410~525MHz |
| Antarmuka komunikasi | SPI |
| Kecepatan bit yang dapat diprogram | Hingga 300Kbps |
| Daya pancar maksimum | 20±1dBi |
| Tegangan kerja | 2.7~3.6V, nilai tipikal 3.3V |
| Suhu kerja | -20~+70°C |
| Lingkungan penyimpanan | -40~+125°C, <90%RH |
| Berat | 0,45 gram |

Spesifikasi teknis modul LoRa-02 yang digunakan dalam sistem ini untuk mengirim dan menerima data dari alat utama di luar jaringan Wi-Fi digambarkan dalam Tabel 2.4. Modul ini kecil (17 x 16 x 3.2 mm) dan menggunakan antarmuka

komunikasi SPI, yang membuatnya mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32. Dengan daya pancar maksimum 20 dBi (plus atau minus 1 dBi) dan dukungan untuk rentang frekuensi 410–525 MHz, modul ini memungkinkan transmisi data jarak jauh.

Modul LoRa bekerja pada tegangan 2.7V–3.6V (nilai tipikal 3.3V), dan dapat berfungsi sebagai pengirim data dari alat utama ke alat penerima yang terhubung dengan ESP32. Dalam sistem yang dirancang, modul ini digunakan sebagai pengirim data dari alat utama ke alat penerima, karena lokasi alat utama tidak memiliki akses ke jaringan. Selain itu, ia dapat disimpan dalam kondisi ekstrim dari -40°C hingga +125°C dengan kelembapan hingga 90% RH.

Pada alat ini menggunakan 2 Mikrokontroler sebagai pengolah data dan untuk perangkat ke dua ini yaitu mengggunakan ESP 32 Dev yang digunakan untuk menghubungkan sistem kontrol air ke jaringan IOT dan memungkinkan komunikasi dengan perangkat lain, seperti smartphone atau komputer. Modul Wi-Fi memungkinkan pengguna untuk mengontrol sistem secara remote dan memantau kondisi aliran air melalui aplikasi atau antarmuka web.

**Gambar 2. 13** ESP 32 DEV (raharja.ac.id, 2021)

**Tabel 2. 5** Tabel Spesifikasi ESP32 (raharja.ac.id, 2021)

| Kemasan | ESP32 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| Ukuran | 18 mm x 25.5 mm x 3.1 mm |
| ROM | 448 KB |
| SRAM | 520 KB |
| Flash Eksternal | 4 MB |
| Tegangan Operasi | 2.2V - 3.6V |
| Arus Operasi | ~80mA |
| GPIO | 36 (dapat digunakan sebagai input atau output) |
| ADC | 18 channel, 12-bit |
| DAC | 2 channel, 8-bit |

Spesifikasi teknis mikrokontroler ESP32, yang digunakan dalam proyek ini untuk menghubungkan perangkat keras ke jaringan internet, dijelaskan dalam Tabel 2.5. Mikrokontroler ini berukuran kecil, 18 mm x 25.5 mm x 3.1 mm, dan memiliki kapasitas 448 KB ROM, 520 KB SRAM, dan 4 MB flash eksternal, yang cukup untuk menyimpan program dan data sistem. Mikrokontroler ini memiliki 36 GPIO, 18 channel ADC 12-bit, dan 2 channel DAC 8-bit. Selain itu, dapat beroperasi pada tegangan antara 2.2V dan 3.6V dengan konsumsi arus sekitar 80mA, menjadikannya ideal untuk sistem pengawasan yang berjalan terus-menerus.

Untuk mengatasi kendala jarak, ESP32 digunakan bersama modul LoRa karena alat utama berada di lokasi yang jauh dari jaringan internet. Data dari sensor dikirim ke modul LoRa pengirim ke modul LoRa penerima yang terhubung dengan ESP32. Selanjutnya, perangkat ESP32 pada sisi penerima menghubungkan sistem ke jaringan internet dan mengunggah data ke database secara real-time. Meskipun berada di lokasi terpencil atau dengan sinyal Wi-Fi yang rendah, integrasi LoRa dan ESP32 ini memberikan solusi komunikasi jarak jauh yang andal dan efisien untuk sistem monitoring berbasis IoT.

## 11. Piranti Perangkat Lunak

Piranti lunak adalah piranti – piranti yang mendukung dalam sebuah sistem yang terhubung antara sistem dengan Perangkat lunak, piranti – piranti lunak terdiri dari:

### 1) Arduino IDE

Arduino IDE adalah software yang digunakan untuk membuat sketch pemrogaman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrogaman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan meng-coding program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrogaman JAVA, yang dilengkapi dengan library C/C++(wiring), yang membuat operasi input / output lebih mudah.

Selama bertahun-tahun Arduino telah menjadi otak dari ribuan proyek, dari objek sehari-hari hingga instrumen ilmiah yang kompleks. Komunitas pembuat di seluruh dunia mulai dari, pelajar, penghobi, seniman, pemrogram, dan profesional. Telah berkumpul di sekitar platform sumber terbuka ini, kontribusi mereka telah menambah sejumlah besar pengetahuan yang dapat diakses yang sangat membantu baik pemula maupun ahli. (Arduino, 2024)

**Gambar 2. 14** Tampilan Sofware Arduino IDE (Arduino, 2024).

Selama bertahun-tahun Arduino telah menjadi otak dari ribuan proyek, dari objek sehari-hari hingga instrumen ilmiah yang kompleks. kontribusi mereka telah menambah sejumlah besar pengetahuan yang dapat diakses yang dapat sangat membantu baik pemula maupun ahli. (Arduino, 2022).

Menurut penelitian oleh (Bakar et al., 2022) pada penelitian ini menjelaskan bahwa Arduino IDE menggunakan program C untuk membaca nilai data sensor analog melalui ADC pada interval waktu tertentu. Pengontrol juga diintegrasikan dengan modul GSM pengontrol untuk mengirimkan data yang telah diproses ke platform dashboard yang dipilih dan menampilkan parameter data sensor yang diperlukan.

## METODE PENELITIAN

### Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Robotik RAINSTEN Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Samarinda, Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah selama delapan bulan, mulai dari bulan Mei 2024 hingga Desember 2024.

### Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah pengembangan sistem kontrol tekanan air berbasis Fuzzy logic menggunakan alat IOT Automatic Smart Water Control (AUSWACO). Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sensor flow meter sebagai kontrol tekanan air menggunakan metode kontrol Fuzzy logic. Penelitian ini di lakukan pada sistem air pada aliran air rumah setelah meteran air pada Alamat rumah di JL. Teuku Umar Gg. Subur Kec. Sungai Kunjang Kota Samarinda.

### Alat dan Bahan

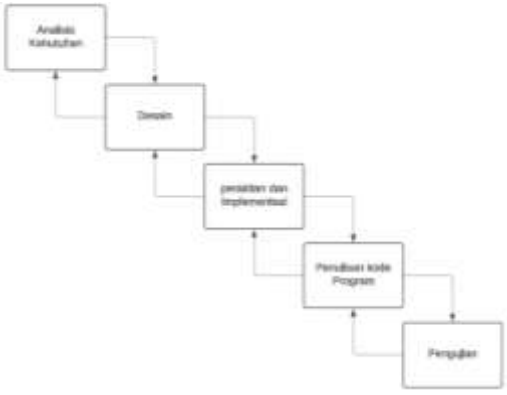
Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan untuk menunjang proses penelitian:

1. **Perangkat Keras**
    1) Prosessor AMD Ryzen 5-4600H
    2) RAM 16 GB DDR4 3200MhZ
    3) VGA Nvidia GTX 1650 4GB
    4) SSD 500 GB
2. **Komponen Elektronik**
    1) Arduino Mega 2650 pro
    2) Esp 32 Dev
    3) LoRa-Ra02
    4) Stepdown 12v-5v
    5) DGServo S06NF STD
    6) Water Flow Sensor YF-B1 Brass
    7) Water Pump Sakai 12V
    8) Solder
    9) Timah
3. **Perangkat Lunak**

    Kebutuhan perangkat lunak sebagai berikut
    1) Arduino IDE
    2) MATLAB
    3) Fritzing
    4) Thingsboard

**Tahapan Penelitian**

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan yang disusun secara sistematis. Berikut adalah tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan:



**Gambar 3. 1** Tahapan Penelitian Dengan Metode Waterfall (Wahid, 2020)

1. **Analisis Kebutuhan**

   Analisis kebutuhan dilakukan untuk memahami persyaratan sistem kontrol air berbasis Fuzzy logic yang efektif dan efisien. Dalam analisis ini, akan dipelajari karakteristik sensor flow meter, motor servo, dan mikrokontroler yang akan digunakan. Selain itu, akan ditentukan juga aturan-aturan Fuzzy yang sesuai dengan kebutuhan pengendalian keluaran air.

2. **Desain**

   Pada tahap ini akan di lakukan perancangan alat dengan mendesain semua alat yang di mana akan berguna sebagai patokan untuk perakitan komponen Arduino dengan sensor water flow meter dan juga servo untuk perangkat utama, lalu untuk perangkat ke dua yaitu sebagai alat penerima dan menghubungkan ke internet sebagai IOT

3. **Perakitan Dan Implementasi**

   Pada tahap ini, akan dilakukan perakitan sistem kontrol air berbasis Fuzzy logic dengan menggunakan sensor flow meter. Desain ini meliputi pengaturan posisi sensor flow meter, motor servo, dan mikrokontroler. Selanjutnya, dilakukan implementasi dengan merakit komponen-komponen perangkat keras sesuai dengan desain yang telah dibuat.

4. **Penulisan Kode Program**

   Tahap ini melibatkan penulisankode program yang akan diunggah ke mikrokontroler. Kode program ini akan mengatur pembacaan data sensor flow meter, mengendalikan motor servo, dan menerapkan algoritma kontrol Fuzzy logic untuk mengatur keluaran air berdasarkan data yang diperoleh.

5. **Pengujian**

   Setelah sistem kontrol selesai dirakit dan kode program ditulis, dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menguji sistem dalam berbagai kondisi dan situasi penggunaan air yang berbeda. Hasil pengujian akan dievaluasi untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol Fuzzy logic.

**Teknik Pengumpulan Dan Analisis Data**

Pada tahap ini, data hasil pengujian sistem kontrol akan dikumpulkan. Data tersebut meliputi data pembacaan sensor flow meter, pengaturan keluaran air oleh motor servo, dan data lain yang relevan. Data tersebut akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol Fuzzy logic dan menarik kesimpulan mengenai efektivitas sistem.

1. **Studi Literatur**

   Selama penelitian ini, akan dilakukan studi literatur yang melibatkan membaca dan menganalisis penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

2. **Tahap Observasi**

   Tahap observasi untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang sistem kontrol air berbasis Fuzzy logic dan aplikasinya dalam penggunaan sensor flow meter. Yaitu dengan melakukan pengamatan dan pengujian secara langsung di lapanngan berkaitan dengan berhasil tidaknya akuisisi data dan penerapan algoritma. Berdasarkan tahapan penelitian, penyempurnaan alat dilakukan melalui tahap pengujian alat. Aspek pengujian alat mencakup hal-hal sebagai berikut:

   1) uji antarmuka alat.
   2) uji pembacaan sensor Flow Meter YF-B1
   3) uji output hasil nilai algoritma Fuzzy logic
   4) uji ouput motor servo.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Analisis Kebutuhan**

Analisis meliputi analisis fungsi dari alat dan analisis data berikut adalah pemaparannya:

1. **Analisis Fungsi**

   Analisis fungsi alat adalah sebuah proses Analisa yang berfungsi untuk mengetahui kebutuhan fungsional dari sebuah alat, Analisis di lakukan dengan melakukan studi terhadap alat dengan cara mencoba alat yang sudah ada lalu fungsi- fungsi yang ada tersebut di mulai dari kontrol output, input pembacaan sensor flow meter dan keakuratan tekanan air.

**2. Analisis Data**

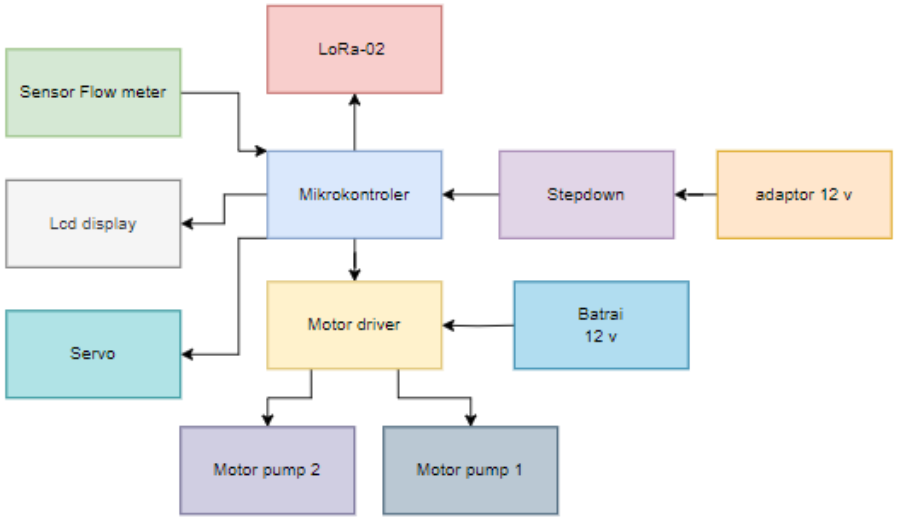
Alat ini menggunakan kendali *Fuzzy logic* metode mamdani, alat ini di simulasikan melalui aplikasi mathlab. Proses pertama adalah pengambilan data menggunakan sensor flow meter, setelah pengambilan data selesai, data input dan output tersebut di simpan dalam varible input Tekanan

**Desain**

Analisis tahapan desain merupakan tahapan perancangan Meteran Air AUSWACO dengan dua pompa desain rangkaian, desain 3D dan desain flowchart program, berikut pemaparan nya:

**1. Desain Rangkaian**

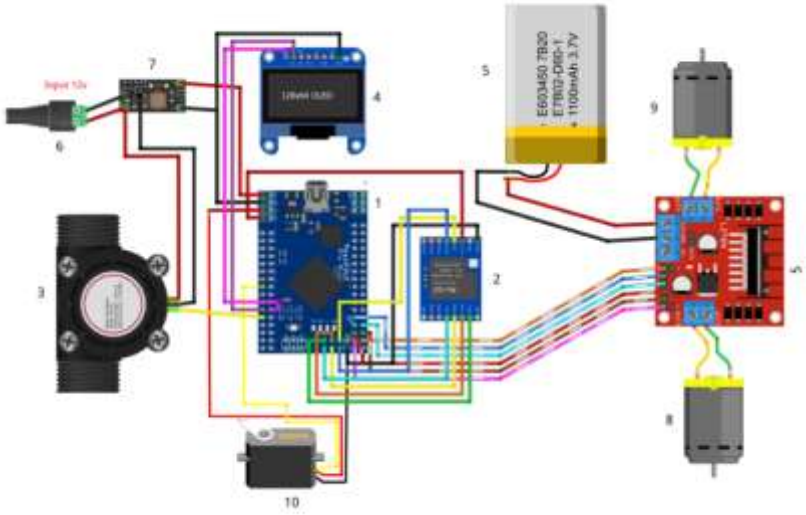
Rangkaian ini dianggap penting karena untuk dapat menjalankan dan memprogram IC mikrokontroler di butuhkan sebuah rangkaian yang di namakan sistem minimum. Rangkaian tersebut Berfungsi Sebagai pusat kendali dari seluruh sistem komponen pada gambar 4.2.




***Gambar 4. 1** Desain Rangkaian*

Dari desain seperti gambar 4.2 di atas, AUSWACO menggunakan mikrokontroler Arduino mega 2560 pro serta menggunakan LoRa Ra-02agar dapat mengirimkan data melalui gelombang radio dan menggunakan motordriver sebagai controller penggerak dua pompa dc.

Proses perancangan skematik 2D dan mikrokontroler di lakukan dengan menggunakan software Fritzing. Skematik rangkaian ditunjukkan pada gambar

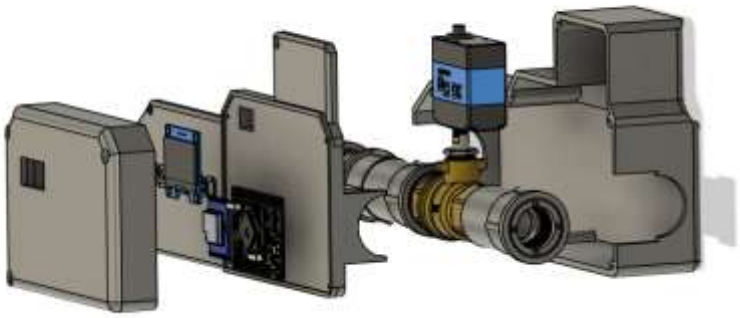


**Gambar 4. 2** Desain Skematik Rangkain 2D

Pada Gambar 4.3, rangkaian tersebut menunjukkan sistem kontrol berbasis Arduino untuk menggerakkan dua motor menggunakan driver motor L298N (5) dan stabilisasi tekanan berdasarkan laju aliran. Arduino (1) terhubung dengan flow sensor (3), Lora (2) untuk komunikasi atau jarak jauh, dan layar OLED (4) untuk menampilkan informasi. Power supply 12V (6) digunakan untuk memberi daya pada sistem, termasuk motor dan driver motor, sementara baterai LiPo (5) digunakan untuk mendukung sumber daya tambahan. Motor DC (8, 9) dikontrol oleh L298N, dan terdapat servo motor (10) untuk fungsi tambahan. Koneksi dibuat melalui kabel jumper, dengan masing-masing modul tersambung ke pin Arduino yang sesuai.

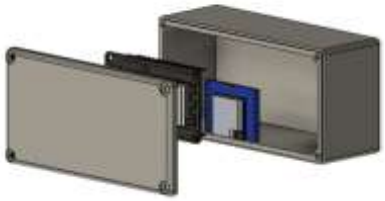
**2. Desain 3D**

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan alat dengan mendesain susuan elektronika yang dimana akan berguna untuk perakitan alat dengan citra 3D pada gambar 4.4.



**Gambar 4. 3** Desain 3D Model Perangkat Utama

**Gambar 4. 4** Desain 3D model Perangkat Utama bagian depan

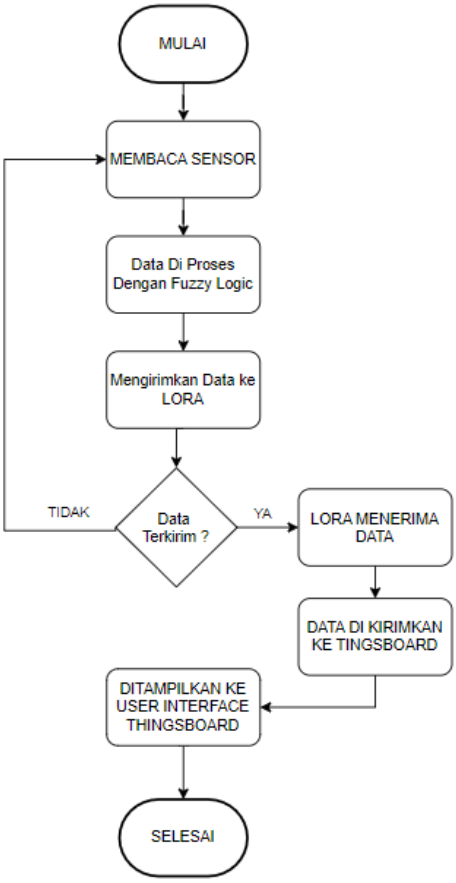


**Gambar 4. 5** Desain 3D Model Perangkat Kedua

Desain 3D pada Gambar 4.4 sampai 4.6 adalah Gambaran penempatan komponen dari alat utama dan alat kedua yaitu sebagai meteran airnya yang akan di buat dalam casing dan akan di cetak menggunakan 3D printing.

**3. FlowChart Program**

Dibawah ini merupakan diagram alir tentang alat *Automatic Smart Water Control* (AUSWACO).




**Gambar 4. 6** Diagram alir

Dari diagram alir di gambar 4.7 menjelaskan proses alur kerja dari sistem yang di mulai dari pembacaan sensor lalu data sensor di proses untuk perhitungan debit air dan kecepatan air lalu data tersebut akan di olah lagi dengan metode *Fuzzy logic* nya lalu data di kirim melalui Lora pada perangkat utama lalu perangkat ke dua menerima data dari lora setelah itu data di kirim ke database thingsboard dan di tampilkan ke *user interfaces.*

## Implementasi

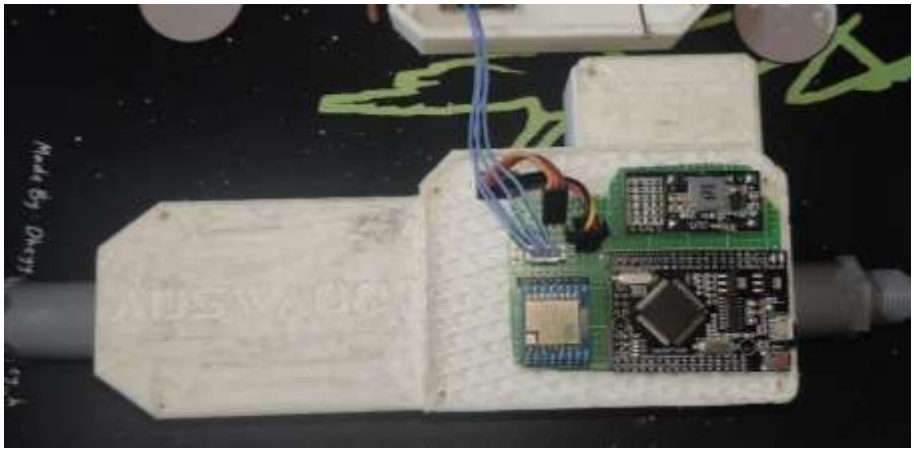
Setelah menjelaskan tahapan desain maka di lanjutkan dengan tahapan implementasi ini akan berisi proses untuk penerapan hasil desain yang telah di buat sebelumnya, pada tahapan ini kegiatan yang telah di lakukan meliputi perakitan elektronika dengan komponen yang di perlukan meteran air AUSWACO:

1. **Implementasi elektronika komponen**

Pada tahap ini yang dilakukan adalah menghubungkan Arduino mega 2560 pro ke Sensor Flow Meter YF-B1 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur laju aliran dan volume cairan, biasanya air, yang mengalir melalui pipa. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi putaran baling-baling internal yang diputar oleh aliran air, menghasilkan sinyal pulsa yang dapat dihitung untuk menentukan laju aliran.

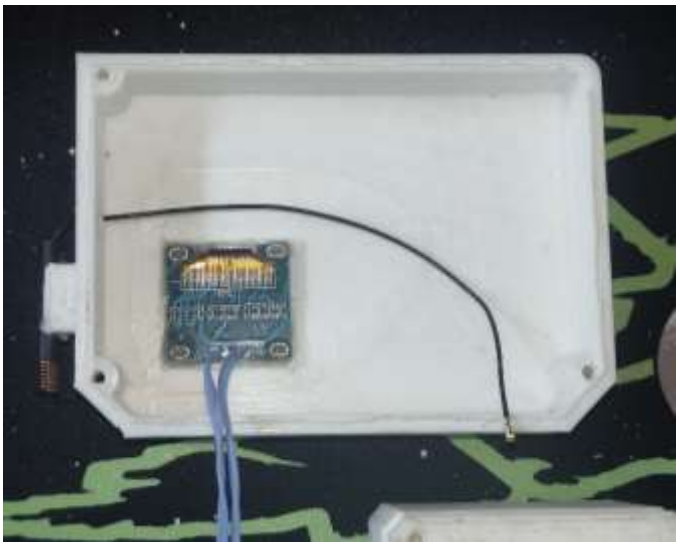
**Gambar 4. 7** Menghubungkan Sensor flowmeter ke arduino

Pada tahap berikutnya pada gambar 4.8 dilakukan adalah menghubungkan Arduino mega 2560 pro ke LoRa Ra-02 pada adalah modul komunikasi LoRa yang menggunakan teknologi Long Range (LoRa) untuk transmisi data jarak jauh dengan daya rendah. Modul ini biasanya menggunakan chip Semtech SX1278 atau SX1276 dan bekerja pada frekuensi 433 MHz atau 868/915 MHz, tergantung pada wilayah penggunaannya.



**Gambar 4. 8** Menghubungkan LoRa Ra-02ke arduino mega 2560

Pada tahap berikutnya pemasangan OLED display 128x64 pada gambar 4.9, oled adalah layar display berbasis teknologi Organic Light Emitting Diode (OLED) dengan resolusi 128x64 piksel. Layar ini tidak memerlukan backlight karena setiap pikselnya dapat memancarkan cahaya sendiri, sehingga menghasilkan kontras yang tinggi dan konsumsi daya yang rendah.



**Gambar 4. 9** Pemasangan Oled ke arduino

Pada tahap ini yaitu dengan memasangkan Oled sebagai tampilan untuk data yang di tampilkan mengggunakan oled yang di tempel ke tempat tutup paling depan kemasan Auswaco terdapat pada gambar 4.10, dengan ada nya lcd monitor ini kita bisa melihat apakah alat masih tetap berfungsi atau tidak dan juga sebagai pemanis alat dan nilai tambah untuk alat

**Penulisan Kode Program**

Dalam penulisan kode program terdapat aplikasi pendukung seperti :

1. **listing pada program Arduino**

   Arduino Berfungsi sebagai tools untuk menuliskan program dan juga sebagai tempat untuk menampilkan hasil keluaran sensor. Pada penelitian ini perintah program yang ditulis pada perangkat lunak Arduino.

   #include <SPI.h>

   #include <Wire.h>

```
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <LoRa.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Servo.h>
#include <Fuzzy.h>

// OLED Display configuration
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
#define OLED_RESET -1
#define SCREEN_ADDRESS 0x3C

// LoRa configuration
#define SS 53
#define RST 11
#define DIO0 3

// Motor pins
const int enB = 44; // Enable A for motor 1
const int in4 = 43; // IN1 for motor 1
const int in3 = 42; // IN2 for motor 1
const int enA = 45; // Enable B for motor 2
const int in2 = 41; // IN3 for motor 2
const int in1 = 40; // IN4 for motor 2

// Flow sensor pin
#define sensorPin 2

unsigned long startMillis; // Waktu mulai siklus
unsigned long previousMillisUpdate = 0; // Waktu terakhir update data
```

```
    unsigned long previousMillisSend = 0; // Waktu terakhir pengiriman data
    unsigned long previousMillisMotor = 0; // Waktu terakhir update motor
//
    const unsigned long intervalUpdate = 100; // Interval untuk update data (misalnya 1 detik)
    const unsigned long intervalSend = 100; // Interval untuk pengiriman data (misalnya 5 detik)
    const unsigned long intervalMotor = 200; // Interval untuk update motor (misalnya 200 ms)

    //// Motor state
    //int motorState = 0;

    // OLED Display object
    Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

    //// Flow sensor variables
    volatile int pulseCount = 0;
    float flowRate;
    float pwmAInput;
    unsigned long oldTime = 0;
    unsigned int flowMilliLitres = 0;
    unsigned long totalMilliLitres = 0;
    unsigned long totalPrice = 0;
    unsigned long totalCubicMeters = 0;
    //
    //// Servo object
    //Servo servo;
    //
```

```
//// Fuzzy logic controller
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
float PwmA = 0;
float PwmB = 0;
```

Library eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library) adalah perpustakaan standar untuk sistem tertanam yang dirancang untuk mengimplementasikan sistem fuzzy. Ditulis dalam C++ atau C, eFLL hanya menggunakan perpustakaan Bahasa C standar "stdlib.h", dan dirancang tidak hanya untuk Arduino tetapi juga untuk sistem tertanam (Embedded system). Dalam sistem fuzzy ini, tidak ada batasan eksplisit pada jumlah aturan fuzzy, input atau output daya pemerosesan, dan Arduino sudah memiliki banyak buku bacaan yang dapat digunakan untuk melakukan tugas tertentu. Untuk memperkaya library Arduino IDE, pengguna dapat menambahkan library eksternal.

```
void setup() {

servo.attach(23);
pinMode(enA, OUTPUT);
pinMode(in1, OUTPUT);
pinMode(in2, OUTPUT);
pinMode(enB, OUTPUT);
pinMode(in3, OUTPUT);
pinMode(in4, OUTPUT);
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, LOW);
analogWrite(enA, 0);
digitalWrite(in3, LOW);
digitalWrite(in4, LOW);
analogWrite(enB, 0);

fuzzyset();
fuzzyrule();
```

```
Serial.begin(9600);
if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {Serial.println(F("SSD1306 allocation failed")); while (true);
}
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
if (!LoRa.begin(433E6)) {
Serial.println("LoRa initialization failed. Check your connections.");
while (true);
}
Serial.println("LoRa initialization successful.");
pinMode(sensorPin, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), pulseCounter, FALLING);

startMillis = millis();
}
```

Fungsi void setup ( ) hanya panggil satu kali ketika program pertama kali dijalankan. Ini digunakan untuk pendefisian pin mode seperti pin sensor, oled display memulai komunikasi serial board mcu dan i2c, menyiapkan posisi servo, dan Fuzzy rule, untuk digunakan untuk mengatur fungsi pin dan mengatur input output Fuzzy logic.

```
void loop() {
unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillisUpdate >= intervalUpdate) {
previousMillisUpdate = currentMillis;
 updateData();
 }
```

```
if (currentMillis - previousMillisSend >= intervalSend) {
previousMillisSend = currentMillis;
sendData();
}
if (currentMillis - previousMillisMotor >= intervalMotor) {
previousMillisMotor = currentMillis;
fuzzyAlgorithm();
controlMotor();
}
}
```

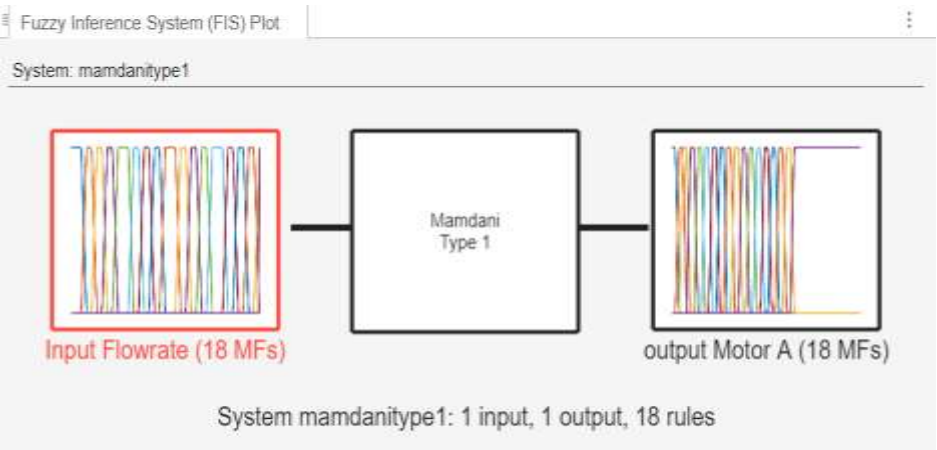
Terlihat perintah program yang dituliskan pada void loop. Fungsi loop ( ) adalah melakukan pengulangan dalam script program C++, program yang telah ditulis dalam softrware arduino dijalankan berulang-ulang selama alat dinyalakan.

Program akan masuk ke dalam void loop untuk mengulang semua dari atas sampai bawah instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program.

**Pengujian**

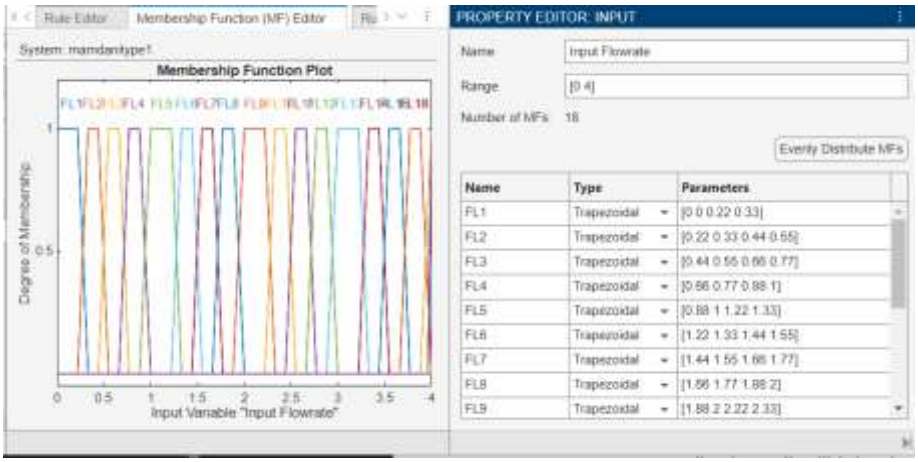
Proses pengujian dan Analisa dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui Sensor flow meter setelah itu sistem akan menggunakan metode *Fuzzy logic control* agar dapat melakukan pengontrolan kecepatan motor pompa berdasarkan kondisi kecepatan air serta menstabilkan tekanan nya pada Flow meter poin dengan range nya masing masing kondisi.

Sensor flow meter setelah itu sistem akan menggunakan metode *Fuzzy logic control* agar dapat melakukan pengontrolan kecepatan motor pompa berdasarkan kondisi kecepatan air serta menstabilkan tekanan nya pada Flow meter poin dengan range nya masing-masing kondisi.

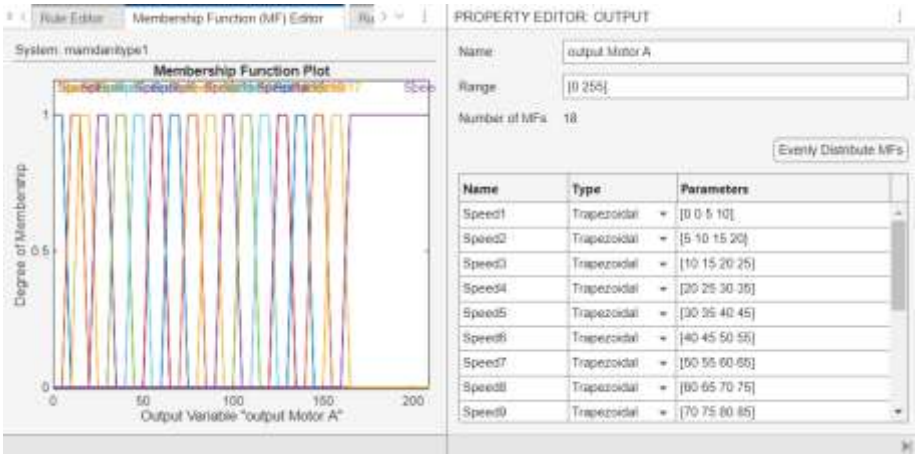



**Gambar 4. 10** Fis Input Flowrate Dan Fis Ouput Motor

Nilai Flowrate point memiliki nilai dari 0 sampai 4, memiliki 18 membership Fungtion yaitu FL1 hingga FL18 sedangkan nilai point output memiliki rentang nilai dari 0 sampai 255 yang terdiri dari 18 membership Function yaitu dari Speed1 sampai speed18 dan memiliki 18 Rule base.

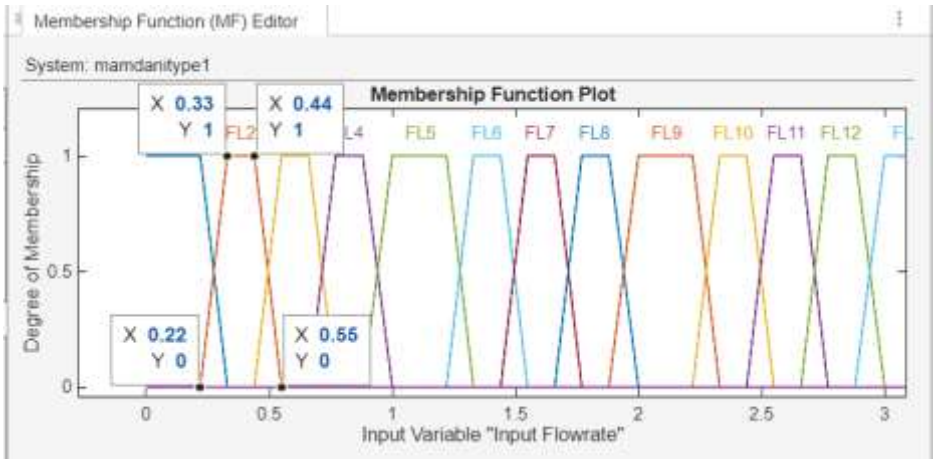



**Gambar 4. 11** Membership Input Flowrate




**Gambar 4. 12** Membership Output Motor

Apakah sistem yang di buat telah berasil dan berfungsi dengan baik dengan yang di harapkan. Pada bab ini juga berisi hasil pengujian dan analisis kualitas alat AUSWACO dengan kontrol *Fuzzy logic* yang di uji di Jurusan Teknologi Informasi tepatnya di Laboratorium Robotik hasil Analisa ini di gunakan sebagai acuan dalam optimalisasi alat pada sistem yang telah di uji secara mandiri.




**Gambar 4. 13** Representasi Kurva Trapezoidal.

Kurva trapezoidal pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan satu. Adapun persamaan fungsi keanggotaan untuk kurva trapezoidal ini adalah:

$$\mu Flow\ VVVLL[x] = \begin{cases} 0 & jika\ x < 0.22 \\ \dfrac{x - 0.22}{0.33 - 0.22} & jika\ 0.22 \leq x < 0.33 \\ 1 & jika\ 0.33 \leq x \leq 0.44 \\ \dfrac{0.55 - x}{0.55 - 0.44} & jika\ 0.44 < x \leq 0.55 \\ 0 & jika\ x > 0.55 \end{cases}$$

Aturan fuzzy yang akan diterapkan adalah:

**Aturan 2**: Jika **Flow** adalah **VVVLL**, maka **Motor** adalah **VVVFF**.

Secara matematis, aturan ini bisa ditulis sebagai:

**IF Flow is VVVLL THEN Motor is VVVFF**

**Langkah-langkah Proses *Fuzzy Inference* :**

**Fuzzyfikasi**:

Untuk menghitung nilai keanggotaan dari input xxx (Flow), gunakan rumus fungsi keanggotaan untuk **Flow VVVLL**. Misalnya, jika x=0.40, maka di hitung:

$$\mu_{Flow}\ VVVLL(0.40) = \frac{0.55 - 0.40}{0.55 - 0.44} = \frac{0.15}{0.11} \approx 1.36$$

Namun, karena nilai keanggotaan tidak bisa melebihi 1, hasilnya diatur menjadi 1.

**Evaluasi Aturan**:

Setelah mendapatkan nilai keanggotaan untuk Flow, evaluasi aturan fuzzy dengan menghitung nilai minimum antara keanggotaan antecedent (Flow) dan consequent (Motor).

$$\mu_{Motor}\ VVVFF(y) = \min\left(\mu_{Flow}\ VVVLL\ (x), \mu_{Motor}\ VVVFF(y)\right)$$

Misalnya, jika $\mu_{Flow}\ VVVLL(x) = 1\ dan\ y = 157\ (nilai\ motor), maka$:

$$\mu_{Motor}\ VVVFF(157) = \frac{157 - 150}{155 - 150} = \frac{7}{5} = 1.4$$

Namun, nilai keanggotaan juga dibatasi oleh 1, sehingga

$$\mu_{Motor}\ VVVFF(157) = 1.$$

**Defuzzyfikasi**:

Setelah mendapatkan nilai keanggotaan untuk variabel motor, harus melakukan defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai crisp. Biasanya, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid, yang dihitung sebagai:

$$Output\ Crisp = \frac{\sum \mu\,(y) \cdot y}{\sum \mu(y)}$$

Di mana μ(y) adalah nilai keanggotaan dan y adalah nilai output motor.

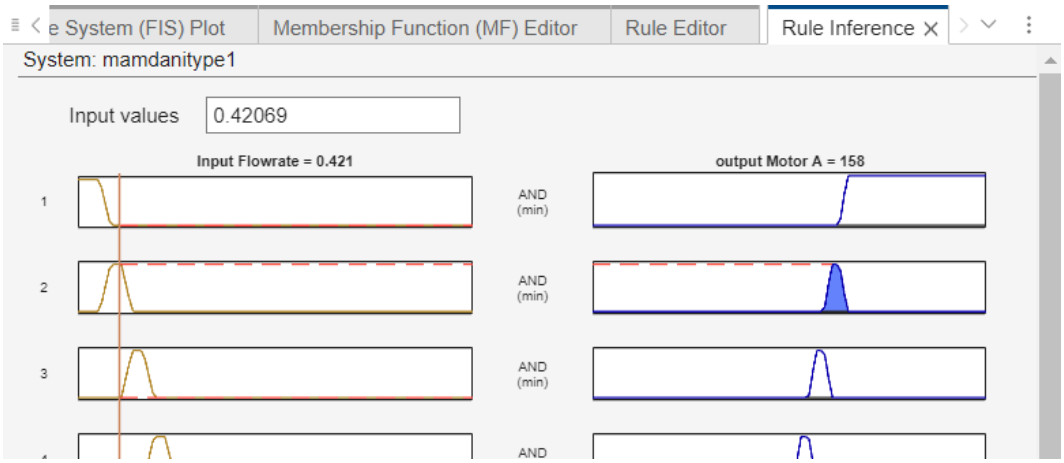
Sebagai contoh, jika punya beberapa nilai keanggotaan untuk motor seperti $\mu_{\text{Motor}}(150) = 1$, $\mu_{\text{Motor}}(155) = 1$, $\mu_{\text{Motor}}(160) = 0.5$, hitung defuzzifikasi:

$$Output\ Crisp = \frac{(1 \cdot 150) + (1 \cdot 155) + (0.5 \cdot 160)}{1 + 1 + 0.5} = \frac{150 + 155 + 80}{2.5}$$

$$= \frac{385}{2.5} = 154$$

Jadi, hasil defuzzifikasi menunjukkan nilai motor sekitar 154.

Contoh pengujian pada mathlab :




**Gambar 4. 14** pembuktian dari perhitungan menggunakan Mathlab

Hasil perhitungan defuzzifikasi pada contoh menunjukkan bahwa nilai **Output Crisp** yang diperoleh adalah **154**. Proses ini menggunakan metode *weighted average* atau rata-rata berbobot, dengan nilai keanggotaan $\mu_{\text{Motor}}(150) = 1$, $\mu_{\text{Motor}}(155) = 1$, $\mu_{\text{Motor}}(160) = 0.5$ Setelah perhitungan, hasil akhirnya adalah 154, yang mendekati rata-rata nilai keanggotaan motor tersebut. Hasil ini kemudian divalidasi menggunakan MATLAB seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.15**, di mana input flow rate sebesar **0.42069** memberikan **Output Motor A** sekitar **158**. Perbedaan kecil antara hasil perhitungan manual (154) dan MATLAB (158) dapat disebabkan oleh perhitungan interpolasi atau tingkat presisi pada sistem fuzzy di MATLAB, namun keduanya menunjukkan hasil yang konsisten dan mendekati nilai yang diharapkan.

Untuk mengukur keakuratan dan nilai eror pada proses perhitungan pada mathlab dan perhitungan manual yaitu dengan menggunakan proses perhitungan keakuratan dengan rumus;

$$Akurasi = \frac{|Hasil\ Mathlab - Hasil\ Manual|}{Hasil\ Mathlab\ atau\ Hasil\ Manual}\ x\ 100\%$$

Diketahui:

Hasil perhitungan manual = 154

Hasil perhitungan MATLAB = 158

Dan untuk hasil akurasi dapat di hitung:

$$Akurasi = \frac{|158 - 154|}{158\ (Hasil\ Mathlab)}\ x\ 100\% = 2.53\%$$

Dan untuk hasil Error dapat di hitung:

$$Error = \frac{|158 - 154|}{154\ (Hasil\ Manual)}\ x\ 100\% = 2.60\%$$

Untuk hasil yang di dapatkan nilai Akurasi dari perhitungan perbandingan mathlab dan perhitungan manual dapat di dapatkan dengan nilai akurasi pada 2.53% dan nilai error dari perhitungan manual dengan nilai error 2.60%.

**Tabel 4. 1** *Rule Base Flowrate Motor A*

| Rule Flow Meter Motor A | | | |
|---|---|---|---|
| OUTPUT | | Input | |
| if | motorVVVSSS | then | flowVVVLLL |
| if | motorVVVSS | then | flowVVVLL |
| if | motorVVSS | then | flowVVLL |
| if | motorVVS | then | flowVVL |
| if | motorVS | then | flowVL |
| if | motorSS | then | flowML |
| if | motorMMS | then | flowMML |
| if | motorMMMS | then | flowMMML |
| if | motorMMMM | then | flowMMMM |
| if | motorMMMF | then | flowMMMH |
| if | motorMMF | then | flowMMH |
| if | motorMF | then | flowMH |
| if | motorF | then | flowVH |
| if | motorVF | then | flowH |
| if | motorVVF | then | flowVVH |
| if | motorVVFF | then | flowVVHH |
| if | motorVVVFF | then | flowVVVHH |
| if | motorVVVFFF | then | flowVVVHHH |

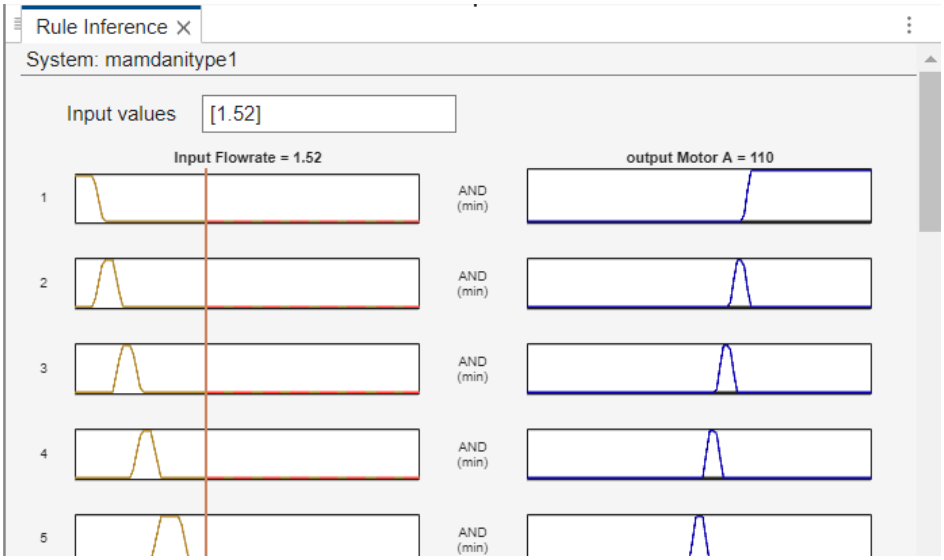
Pada table 4.1 Tabel Rule Flow Meter Motor A menunjukkan hubungan antara keluaran motor dan aliran masuk dalam berbagai tingkatan. Kolom output motor berkisar dari sangat rendah (motor VVVSSS) hingga sangat tinggi (motor VVVFFF), dengan huruf V (sangat), S (kecil), M (medium), dan F (cepat). Sebaliknya, tingkat aliran VVVLLL (sangat rendah sekali) hingga VVVHHH (sangat tinggi sekali) ditampilkan di

kolom INPUT aliran. Setiap aturan mengikuti pola bahwa aliran motor yang lebih rendah mengarah pada output motor yang lebih rendah, dan sebaliknya.

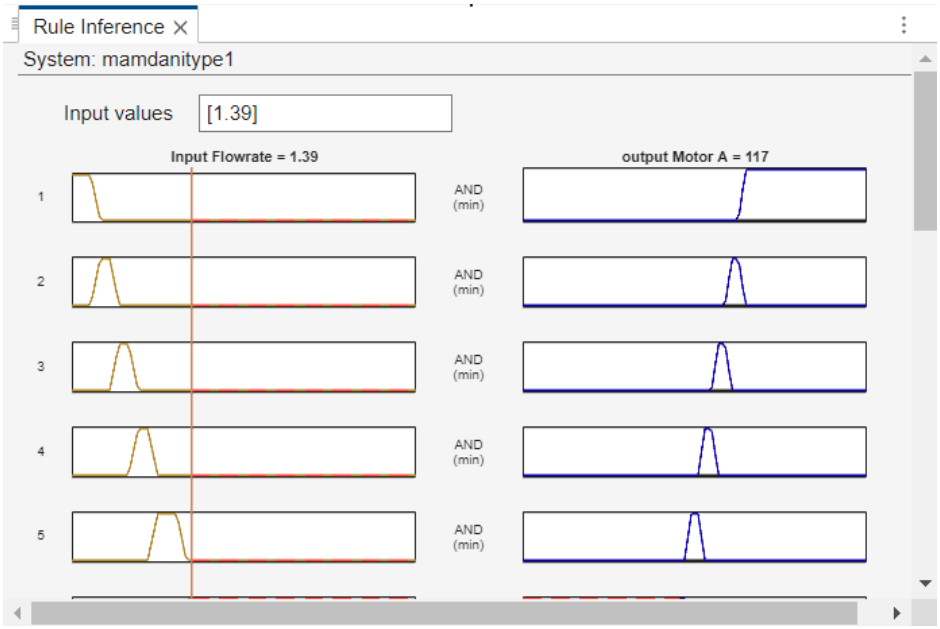
**Tabel 4. 2** Rule Base Flowrate Motor B

| Rule Flow Meter Motor B | | | |
|---|---|---|---|
| OUTPUT | | Input | |
| if | motorVVVSSS | then | flowVVVLLL |
| if | motorVVVSS | then | flowVVVLL |
| if | motorVVSS | then | flowVVLL |
| if | motorVVS | then | flowVVL |
| if | motorVS | then | flowVL |
| if | motorSS | then | flowML |
| if | motorMMS | then | flowMML |
| if | motorMMMS | then | flowMMML |
| if | motorMMMM | then | flowMMMM |
| if | motorMMMF | then | flowMMMH |
| if | motorMMF | then | flowMMH |
| if | motorMF | then | flowMH |
| if | motorF | then | flowVH |
| if | motorVF | then | flowH |
| if | motorVVF | then | flowVVH |
| if | motorVVFF | then | flowVVHH |
| if | motorVVVFF | then | flowVVVHH |
| if | motorVVVFFF | then | flowVVVHHH |

Pada table 4.1 dan 4.2 Tabel ini bermanfaat untuk sistem kendali motor yang bergantung pada logika fuzzy atau logika aturan tertentu. Output motor akan disesuaikan secara proporsional jika inputnya adalah tingkat aliran yang terdeteksi. Dalam kasus ini, jika input aliran adalah aliran MMM (sedang), maka output motor akan berada di tingkat aliran MMM (sedang). Aturan ini memungkinkan sistem mengoptimalkan penyesuaian kecepatan motor untuk kondisi aliran saat ini.



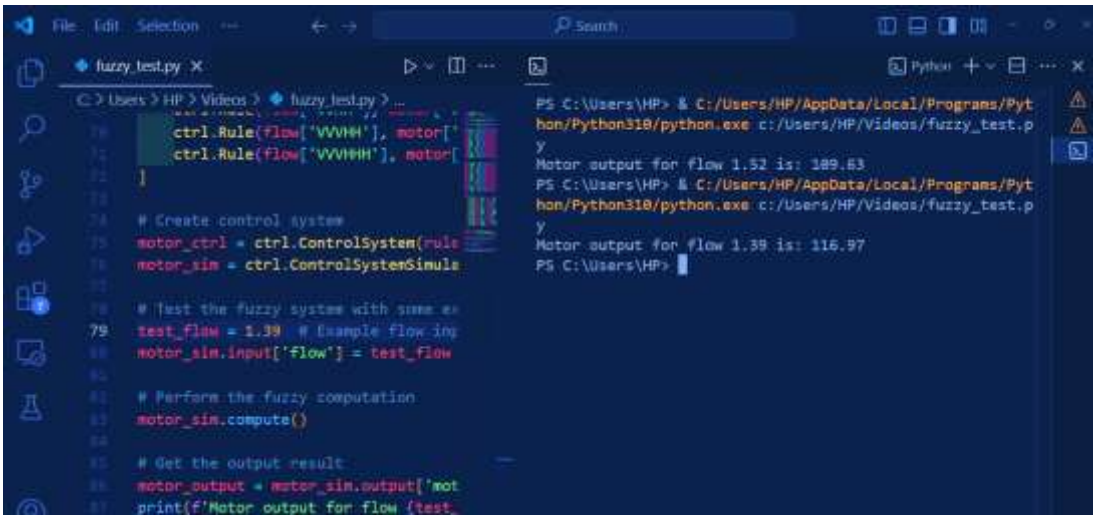

**Gambar 4. 15** Hasil Proses Output Motor Speed pada 110 Pwm




**Gambar 4. 16** Hasil Proses Output Motor Speed pada 117 Pwm

**Gambar 4. 17** Pengujian hasil Output pada Flowrate 1.52 dan 1.39

Pengujian kali ini pada alat yaitu pengujian untuk logika fuzzy nya terdapat nilai dari flowrate yang bernilai 1.52 dan menghasilkan nilai pwm motor yaitu pada 110.25 dan pada flowrate 1.39 nilai motor pwm yaitu bernilai 117.50 hasil ini terdapat pada gambar 4.18.




**Gambar 4. 18** Pengujian Logika Fuzzy menggunakan Phyton

Pada pengujian kali ini terlihat pada program phyton menunjukan hasil yang di dapat pada logika fuzzy kali ini yaitu uji coba pada posisi flowrate 1.52 dan 1.39 yang terlihat pada gambar 4. 19 terlihat hasil nilai yang di hasilkan adalah 109.63 pada flowrate 1.52 dan 116.97 pada flowrate 1.39, dan dapat di bandingkan pada gambar 4.18 pada alat terdapat perbandingan nilai yang cukup sedikit.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Setelah menyelesaikan pembuatan meteran air dan mengimplementasikan *Fuzzy logic* ini serta proses uji coba, maka dapat di ambil beberapa Kesimpulan sebagai berikut:

1. Data flowrate di ambil dari sensor dengan menggunakan sensor flow meter YF-B1 Brass. Pengujian dilakukan dari tekanan air yang sangat rendah dan menstabilkan tekanan air di flowrate 2 m/s dengan menggunakan *Fuzzy Logic* untuk mengatur tekanan air agar tetap stabil dan di uji.
2. Hasil dari pengujian yang di uji coba menggunakan data flowrate yang bernilai 1.52 dan menghasilkan nilai pwm motor yaitu pada 110.25 dan

pada flowrate 1.39 nilai motor pwm yaitu bernilai 117.50 dimana masih masuk dari ujicoba mathlab.

3. Dengan menggunakan metode waterfall membuat proses pengerjaan alat lebih mudah dan terstruktur.

**Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat di berikan adalah sebagai berikut:

1. Saat ini meteran air hanya mengatur tekanan berdasarkan sensor flow meter. Disarankan menambahkan pressure sensor agar pembacaan tekanan lebih akurat.
2. Meteran AUSWACO masih memerlukan perangkat tambahan seperti LoRa Ra-02 untuk mengirim data ke web. Sebaiknya digunakan satu perangkat yang bisa langsung mengirim data tanpa perangkat kedua.
3. *Fuzzy logic* saat ini hanya diterapkan pada satu motor karena kekurangan sensor untuk mengontrol dua pompa sekaligus.

**DAFTAR REFERENSI**


Amelia, S. R. (2023). Pembuatan Alat Ukur Debit Air. *Jurnal Teknik Energi*, *11*(2). https://doi.org/10.35313/energi.v11i2.3898

Andrie Aryanto, F., Pratikno, H., Studi, P., & Sistem Komputer, J. (2019). *RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING METERAN AIR PDAM BERBASIS INTERNET OF THINGS* (Vol. 8, Issue 2). http://jurnal.stikom.edu/index.php/jcone

Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors (Switzerland)*, *16*(9). https://doi.org/10.3390/s16091466

Azam, M. H., Hasan, M. H., Hassan, S., & Abdulkadir, S. J. (2021). A novel approach to generate type-1 fuzzy triangular and trapezoidal membership functions to improve the classification accuracy. *Symmetry*, *13*(10). https://doi.org/10.3390/sym13101932

Aztisyah, D., Yuniati, T., & Adi Setyoko, Y. (2021). *Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications Implementasi Logika Fuzzy*

*Mamdani Pada pH Air dalam Sistem Otomatisasi Suhu dan pH Air Aquascape Ikan Guppy*. *4*(1), 59–070. https://doi.org/10.20895/INISTA.V4I1

Bakar, Z. A., Nor, M. Z. M., Kadiran, K. A., Misnan, M. F., & Noorezam, M. (2022). Smart Plant Monitoring System Using Aquaponics Production Technological with Arduino Development Environment (IDE) and SMS Alert: A Prototype. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *16*(22), 32–47. https://doi.org/10.3991/ijim.v16i22.34581

*Business Plan PDAM Kabupaten Bantul 2020 2024*. (n.d.).

Cahya Permatasari, D., Bangun Alat Trainer, R., Aditya Rizky Fahreza, M., Wahyu Pamungkas, D., Teknik Elektro, J., Kunci, K., Pembelajaran, M., Omron, P. C., Bangun, R., & Kontrol, T. (2023). Rancang Bangun Alat Trainer Kontrol Berbasis PLC Omron CP2E untuk Media Pembelajaran. *11 JEECOM*, *5*(1).

cloudfront.net. (2024). *S06NFSTD*. https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Robotics/S06NFSTD.pdf

compacttool.ru. (2024). *Arduino MEGA 2560 PRO Embed*. https://compacttool.ru/arduino-mega-2560-pro-embed

e-gizmo.net. (2017). *LORA rev2*. https://www.e-gizmo.net/oc/kits%20documents/LORA%20Module%20RA-02%20V.1/LORA%20rev2.pdf

elektrologi.iptek.web.id. (2024). *Pompa Air Sakai*. Https://Elektrologi.Iptek.Web.Id/Pompa-Air-Sakai/. https://elektrologi.iptek.web.id/pompa-air-sakai/

Fachri, B., & Wahyu Surbakti, R. (2021). PERANCANGAN SISTEM DAN DESAIN UNDANGAN DIGITAL MENGGUNAKAN METODE WATERFALL BERBASIS WEBSITE (STUDI KASUS: ASCO JAYA). In *Journal of Science and Social Research* (Issue 3). http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR

Fitriyanto, I., Amri, F., & Robiyanto, R. (2024). Desain Meteran Air Prabayar Berbasis Sensor YF-S201 dengan Generator Air Mini Sebagai Catu Daya. *JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, *14*(2), 168–173. https://doi.org/10.33369/jamplifier.v14i2.37185

Gao, D., Wang, S., Yang, Y., Zhang, H., Chen, H., Mei, X., Chen, S., & Qiu, J. (2024). An Intelligent Control Method for Servo Motor Based on Reinforcement Learning. *Algorithms*, *17*(1). https://doi.org/10.3390/a17010014

gotronic.fr. (2024). *S06NF*. https://www.gotronic.fr/art-servomoteur-renforce-s06nf-18763.htm

handsontec.com. (2024). *ATmega2560 Pro*. www.handsontec.com

Hassan, A., Afrouzi, H. N., Siang, C. H., Ahmed, J., Mehranzamir, K., & Wooi, C. L. (2022). A survey and bibliometric analysis of different communication technologies available for smart meters. *Cleaner Engineering and Technology*, *7*. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100424

Islam, R., Rahman, M. W., Rubaiat, R., Hasan, M. M., Reza, M. M., & Rahman, M. M. (2022). LoRa and server-based home automation using the internet of things (IoT). *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, *34*(6), 3703–3712. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.12.020

Juliando, D. E., Putra, R. G., Sartika, D. A., & Yudha, R. G. P. (2021). Study of Lora Module Ra-02 for Long Range, Low Power, Low Rate Picture Transfer Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, *1845*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1845/1/012054

Majid, M., Habib, S., Javed, A. R., Rizwan, M., Srivastava, G., Gadekallu, T. R., & Lin, J. C. W. (2022). Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review. *Sensors*, *22*(6). https://doi.org/10.3390/s22062087

media.digikey.com. (2017). *Water Flow Sensor YF-B1*. https://media.digikey.com/pdf/data%20sheets/seeed%20technology/114991171_web.pdf

Nur-A-Alam, Ahsan, M., Based, M. A., Haider, J., & Rodrigues, E. M. G. (2021). Smart monitoring and controlling of appliances using lora based iot system. *Designs*, *5*(1). https://doi.org/10.3390/designs5010017

Oisson, G. (2021). Urban water supply automation - Today and tomorrow. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, *70*(4), 420–437. https://doi.org/10.2166/aqua.2020.115

Penulis, T., Mukhtar, A., Hermana, R., Burhanudin, A., & Setyoadi, Y. (n.d.). *SENSOR DAN AKTUATOR: KONSEP DASAR DAN APLIKASI*. www.freepik.com

Permana, A., Tupan, H. K., Hutagalung, R., Masahida, Z., Teknik, ), Politeknik, E., & Ambon, N. (2020). PENGEMBANGAN JOBSHEET TRAINER MIKROKONTROLLER ROBOT LENGAN BERBASIS ARDUINO UNO. *JURNAL SIMETRIK*, *10*(1).

Permana, D. C., Ferdiansyah, R., Safira, F. P., Thoriq, Z., Gumilang, A., Pangestu, A. J., Wijawa, R., & Rozak, A. (n.d.). *OTOMASI INDUSTRI SEBUAH PELUANG ATAU ANCAMAN RIWAYAT ARTIKEL*. https://doi.org/

Plauska, I., Liutkevičius, A., & Janavičiūtė, A. (2023). Performance Evaluation of C/C++, MicroPython, Rust and TinyGo Programming Languages on ESP32 Microcontroller. *Electronics (Switzerland)*, *12*(1). https://doi.org/10.3390/electronics12010143

Purnawan, P., Suseno, H. P., & Charlie, D. (2022). STUDI EVALUASI SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH DI KAMPUS I INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI AKPRIND YOGYAKARTA DALAM UPAYA MENDUKUNG KAMPUS BERWAWASAN LINGKUNGAN. *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, *14*(2), 147–155. https://doi.org/10.34151/technoscientia.v14i2.3797

raharja.ac.id. (2021). *ESP32*. https://raharja.ac.id/2021/11/16/mikrokontroler-esp32-3/

Saban, M., Bekkour, M., Amdaouch, I., El Gueri, J., Ait Ahmed, B., Chaari, M. Z., Ruiz-Alzola, J., Rosado-Muñoz, A., & Aghzout, O. (2023). A Smart Agricultural System Based on PLC and a Cloud Computing Web Application Using LoRa and LoRaWan. *Sensors*, *23*(5). https://doi.org/10.3390/s23052725

Sihombing, F. A. (n.d.). Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya. *Copyright @ Firginia Astuti Sihombing INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, *4*, 4940–4955.

Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. In *Internet of Things and Cyber-Physical Systems* (Vol. 3, pp. 192–204). KeAi Communications Co. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006

Sutikno, T., Susanto, D. R., & Purnama, H. S. (2023). Sistem Monitoring Debit Air Berbasis Internet of Things pada Saluran Air. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, *22*(2), 159. https://doi.org/10.24843/mite.2023.v22i02.p01

Syafiqoh, U., Yudhana, A., & Sunardi, S. (2022). Comparative analysis of Fuzzy Tsukamoto's membership functions for determining irrigated rice field feasibility status. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, *14*(3). https://doi.org/10.33096/ilkom.v14i3.1156.255-263

tinytronics.nl. (2024). *YF-B1 Water Flow Sensor - Brass - G1/2"*. https://www.tinytronics.nl/en/sensors/liquid/yf-b1-water-flow-sensor-brass-g1-2

Torres-Salinas, H., Rodríguez-Reséndiz, J., Cruz-Miguel, E. E., & Ángeles-Hurtado, L. A. (2022). Fuzzy Logic and Genetic-Based Algorithm for a Servo Control System. *Micromachines*, *13*(4). https://doi.org/10.3390/mi13040586

Wahid, A. A. (2020). *Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi*. https://www.researchgate.net/publication/346397070

Yuliandri, A. F., & Almasri. (2022). Prototipe Perancangan dan Pembuatan Mesin Marka Jalan Otomatis Menggunakan Arduino Mega 2560. *JURNAL VOCATIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA DAN INFORMATIKA Prototipe Perancangan Dan Pembuatan Mesin Marka Jalan Otomatis Menggunakan Arduino Mega 2560*. http://ejournal.unp.ac.id/index.php/voteknika/index