

## RANCANG BANGUN DAN OPTIMASI ALAT PEMBERSIH PANEL SURYA BERBASIS LOGIKA FUZZY

Abya Ephan Rosyian<sup>1</sup>, Bambang Suprianto<sup>2</sup>, Endryansyah<sup>3</sup>, Nurhayati<sup>4</sup>  
[abya.22133@mhs.unesa.ac.id](mailto:abya.22133@mhs.unesa.ac.id)<sup>1</sup>, [bambangsuprianto@unesa.ac.id](mailto:bambangsuprianto@unesa.ac.id)<sup>2</sup>, [endryansyah@unesa.ac.id](mailto:endryansyah@unesa.ac.id)<sup>3</sup>,  
[nurhayati@unesa.ac.id](mailto:nurhayati@unesa.ac.id)<sup>4</sup>  
Universitas Negeri Surabaya

### ABSTRAK

Photovoltaic Panel (panel surya) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Namun, kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, salah satunya adalah kotoran atau debu yang menempel pada permukaan panel surya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat rancang bangun alat pembersih panel surya yang dapat bekerja secara otomatis berbasis logika fuzzy. Pengujian dilakukan mulai dari pukul 09.00 pagi sampai dengan pukul 15.00 sore. Pada alat pembersih disematkan sensor debu GP2Y1010AU0F dan sensor INA219 sebagai komponen yang mendeteksi ketebalan debu dan tegangan dari panel surya. Kedua komponen akan memberikan nilai ketebalan debu dan nilai tegangan panel surya kemudian diproses oleh logika fuzzy pada ESP32. Hasil dari proses logika fuzzy pada ESP32 berupa output untuk mengaktifkan motor dc dan pompa air untuk membersihkan panel surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi debu di udara yang menempel pada panel surya dan mengaktifkan motor dc dan pompa air sesuai kondisi yang sudah ditetapkan berdasarkan konsep fuzzy. rata – rata tegangan yang didapat ketika Panel surya belum dibersihkan yaitu sebesar 6.78 V dan setelah Panel surya dibersihkan tegangan rata – rata yang didapat yaitu sebesar 6.87 V dengan selisih sebesar 0.09 V. Sistem yang telah dirancang dapat memberikan hasil yang baik untuk optimasi Panel surya.

**Kata Kunci:** Panel Surya, Sensor Debu, Logika Fuzzy.

### ABSTRACT

*A Photovoltaic Panel (solar panel) is a device used to convert sunlight into electrical energy. However, its performance is greatly affected by environmental conditions, one of which is dirt or dust that accumulates on the surface of the solar panel. This study aims to design and develop an automatic Photovoltaic Panel cleaning device based on fuzzy logic. Testing was conducted from 9:00 AM to 3:00 PM. The cleaning device is equipped with a GP2Y1010AU0F dust sensor and an INA219 sensor as components to detect the thickness of dust and the voltage from the solar panel. These two components provide data on dust thickness and panel voltage, which are then processed by the fuzzy logic system on the ESP32. The result of the fuzzy logic processing on the ESP32 is an output that activates a DC motor and water pump to clean the solar panel. The test results show that the system is capable of detecting airborne dust adhering to the solar panel and activating the DC motor and water pump according to predefined conditions based on fuzzy logic. The average voltage obtained when the Photovoltaic Panel had not yet been cleaned was 6.78 V, and after cleaning, the average voltage increased to 6.87 V, with a difference of 0.09 V. The designed system is capable of providing good results for optimizing Photovoltaic Panel performance.*

**Keywords:** Photovoltaic Panel, Dust Sensor, Fuzzy Logic.

### PENDAHULUAN

Sumber energi baru terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global, karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan geothermal. Namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan alam tersebut kini semakin menipis, dan untuk mengantisipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif terbaik.

Pengembangan pemanfaatan EBT merupakan upaya yang harus didukung penuh oleh seluruh lapisan masyarakat. Salah satu pemanfaatan EBT yang bisa dilakukan masyarakat adalah energi surya (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral 2016).

Energi Surya merupakan sumber energi yang tidak terbatas dan tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat di manfaatkan sebagai energi alternatif yang akan di ubah menjadi energi listrik, dengan menggunakan sel surya. Panel Surya sebagai sumber energi listrik alternatif dapat dimanfaatkan oleh masyarakat yang memerlukan energi listrik (Hari Purwoto dkk. t.t.). Namun, kinerja dan efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh kotoran alami yang disebabkan oleh debu yang menumpuk pada permukaan panel. Penumpukan dan pengendapan debu ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi debu, kondisi lingkungan seperti angin, curah hujan, dan kelembapan, serta lokasi (Kaiss dan Hassan 2024). Kotoran seperti debu dan partikel lainnya yang menempel dan menumpuk di atas permukaan panel surya dapat mengurangi kinerja panel surya dalam penyerapan sinar matahari sehingga menurunkan output energi yang dihasilkan.

Di daerah dengan tingkat polusi udara yang tinggi atau lingkungan berdebu, masalah ini menjadi lebih signifikan. Pembersihan manual panel surya secara rutin dapat menjadi solusi, namun metode ini tidak efisien dan memerlukan biaya serta tenaga kerja yang cukup besar. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pembersih otomatis yang dapat menjaga kebersihan panel surya secara efektif dan efisien. Pada sistem pembersih otomatis diperlukan sensor yang dapat mendeteksi debu maupun kotoran yang bertebaran di udara.

Beberapa penelitian telah mencoba untuk membuat alat pembersih otomatis untuk panel surya (Yulianto dkk. 2024) dan berhasil membuat prototype water spray pembersih panel surya yang bisa dikendalikan secara daring dari ponsel menggunakan platform Blynk. Prototype yang dibuat menggunakan pompa dan wiper untuk membersihkan debu atau kotoran yang menempel pada permukaan panel surya pada waktu yang sudah ditentukan, kemudian notifikasi status alat dikirimkan pada aplikasi Blynk. Penelitian lainnya yaitu (Cahyanti dkk. 2025) membuat robot pembersih panel surya menggunakan metode dry cleaning berbasis fuzzy logic controller (FLC). Penelitian ini berhasil membuat robot pembersih panel surya yang dikombinasikan dengan fuzzy logic. Sistem oada robot pembersih panel surya tersebut menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler yang memproses logika fuzzy dan menggunakan sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi Tingkat debu dan kotoran pada panel surya dengan mengukur warna RGB. Robot pembersih menggunakan komponen RTC agar robot dapat bekerja pada waktu tertentu. Robot pembersih bisa memonitoring dan mengontrol jarak jauh menggunakan smartphone.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memberikan ide untuk mengembangkan alat pembersih otomatis untuk panel surya ini sehingga terbentuk ide untuk membuat Rancang Bangun Alat Pembersih Otomatis Berbasis Logika Fuzzy Untuk Optimasi Kinerja Panel Surya. Alat pembersih otomatis untuk panel surya ini akan berbasis logika fuzzy dibantu dengan komponen sensor debu untuk mendeteksi ketebalan debu dan Sensor INA219 untuk mendeteksi tegangan yang berubah akibat debu yang menempel pada permukaan panel surya. Rancang bangun alat ini bisa dikontrol dan dimonitoring keadaan keluaran tegangan dan arusnya via platform Blynk, platform Blynk ini bisa diakses menggunakan smartphone dan web. Alat ini menggunakan sikat halus yang menempel pada bagian body bawah untuk membersihkan kotoran dan debu yang menempel pada permukaan panel surya. Untuk kotoran yang sangat tebal, sikat halus akan dikombinasikan dengan air yang dipompa oleh pompa air DC. Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pembersih otomatis, metode logika fuzzy dapat diterapkan. Logika fuzzy memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan berdasarkan beberapa parameter sekaligus, seperti

intensitas debu, kelembapan, dan suhu. Dengan demikian, sistem dapat menentukan waktu dan intensitas pembersihan yang optimal, sehingga kinerja panel surya dapat dioptimalkan.

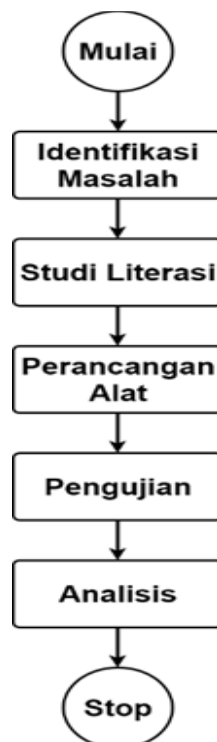
Pengembangan alat ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat pembersih otomatis untuk panel surya yang menggunakan sensor GP2Y1010AU0F dan logika fuzzy. Diharapkan, alat ini dapat membantu meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya dan mengurangi biaya serta tenaga kerja yang diperlukan untuk pembersihan manual.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode R&D (*Research and Development*) sebagai metode penelitiannya. Metode penelitian sangat penting untuk memastikan bahwa proses perancangan dan pengujian alat bisa berjalan secara sistematis. Selain itu metode penelitian berfungsi sebagai pedoman dalam memperoleh data yang valid. Dalam proses R&D (*Research and Development*) peneliti akan mempelajari dan mengumpulkan penelitian terkait yang relevan lalu mengembangkan produk sesuai dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Setelah itu produk diuji untuk pengambilan data, hasil pengujian digunakan untuk merevisi, dan memperbaiki produk agar lebih efektif dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini peneliti akan melakukan *research* pada alat pembersih otomatis panel surya lalu penelitian akan di *develop* dan dirancang menjadi sistem yang lebih *advance* dari sisi pengambilan keputusan. Dari *research* yang sudah dilakukan, peneliti memutuskan untuk melakukan penelitian dengan membuat Rancang Bangun dan Optimasi Alat Pembersih Panel Surya Berbasis Logika Fuzzy.

Penelitian ini akan dilakukan sesuai dengan alur penelitian yang telah ditentukan dengan tujuan agar proses penelitian dapat berjalan sesuai arahan. Alur penelitian ditentukan oleh sebuah diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar sebagai berikut



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

Dari diagram alir penelitian diatas prosesnya dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah menjadi tahap awal pada proses penelitian, pada tahap ini peneliti mengamati dan mengidentifikasi masalah yang ada pada alat pembersih otomatis panel surya secara *real-time* sehingga tercipta ide untuk melakukan penelitian ini.

b. Studi Literasi

Pada tahap ini peneliti mencari referensi dari penelitian – penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai landasan teori penelitian.

c. Perancangan Alat

Merupakan tahap yang berisi proses perancangan alat, terdiri dari perancangan hardware, software, dan perancangan keseluruhan sistem.

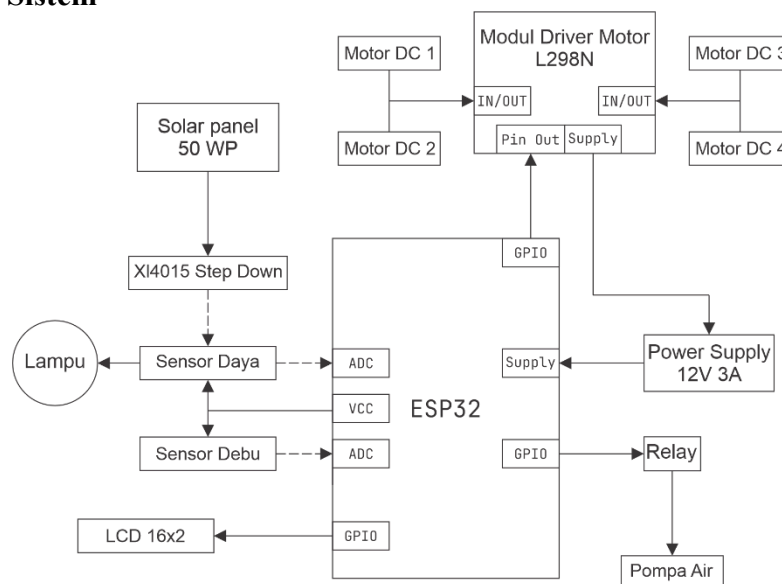
d. Pengujian

Pada tahap ini alat yang sudah dirancang akan diuji melalui beberapa proses. Tahap ini menjadi tahap yang sangat penting karena dari pengujian ini didapat data yang nantinya digunakan sebagai bahan analisis untuk menyimpulkan hasil dari penelitian ini.

e. Analisis

Analisis menjadi tahap terakhir dari proses penelitian ini, data yang didapat dari hasil pengujian alat dianalisa sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

## Perancangan Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

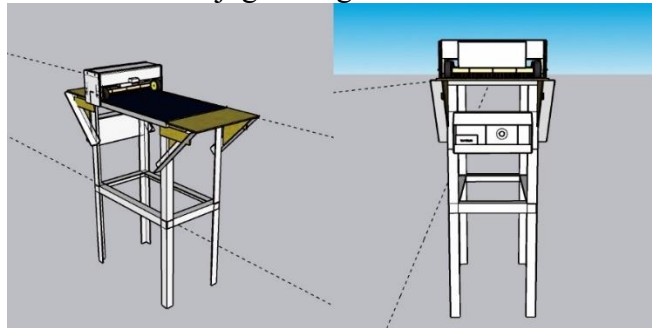
Gambar 2 merupakan blok diagram dari sistem Rancang Bangun Alat Pembersih Otomatis Berbasis Logika Fuzzy Untuk Optimalisasi Kinerja Panel Surya, pada diagram blok sistem terdapat 2 sumber yaitu panel surya berkapasitas 50 WP dan *power supply* 12V 3A. masing - masing sumber memiliki fungsi yang berbeda, panel surya memiliki fungsi untuk menyalakan beban lampu DC 12V. sedangkan *power supply* memiliki fungsi sebagai sumber tegangan untuk menyalakan mikrokontroller dan komponen lainnya seperti motor DC. *Output* tegangan dari panel surya yang terhubung dengan beban lampu akan diukur menggunakan Sensor INA219, namun sebelum diukur *output* tegangan dari panel surya harus diturunkan terlebih dulu dengan menggunakan modul *Buck Converter DC/DC* XL4015. Karena output tegangan dari panel surya tidak stabil diantara 0V – 18V. maka dari itu tegangan yang keluar dari panel surya perlu diturunkan menjadi maksimal 12 dengan

menggunakan komponen *Buck Converter DC/DC XL4015*.

Ketebalan debu di udara yang menempel pada panel surya akan diukur dengan sensor debu GP2Y1010AU0F. Hasil pengukuran kombinasi dari sensor tegangan dan sensor debu akan diproses oleh mikrokontroller berbasis logika *fuzzy*. Dan memberikan sinyal *output* berupa 4 buah motor DC yang bergerak menggerakkan sikat halus untuk membersihkan debu pada permukaan panel surya dan mengaktifkan pompa air untuk membantu proses pembersihan apabila ketebalan debu mencapai nilai tertentu.

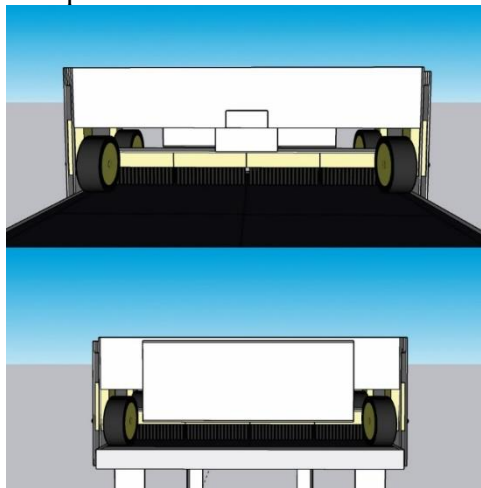
Hasil pengukuran daya dan ketebalan debu akan ditampilkan pada LCD yang berukuran  $16 \times 2$ . Hasil pengukuran tidak hanya ditampilkan pada LCD secara fisik, namun ditampilkan juga di platform *Blynk*. Pada platform *Blynk* daya dan ketebalan debu dimonitoring secara *real-time*, tidak hanya monitoring pada platform *Blynk* ini rancang bangun bisa dikontrol jarak jauh menggunakan *smartphone* atau menggunakan web.

Desain rancang bangun merupakan desain alat yang akan dibuat secara keseluruhan. Tujuan dibuat desain rancang bangun ini adalah agar peneliti mempunyai gambaran untuk alat yang akan dibuat dan desain ini juga sebagai alat komunikasi antar berbagai pihak.



Gambar 3 Desain Tampak Depan & Tampak Belakang

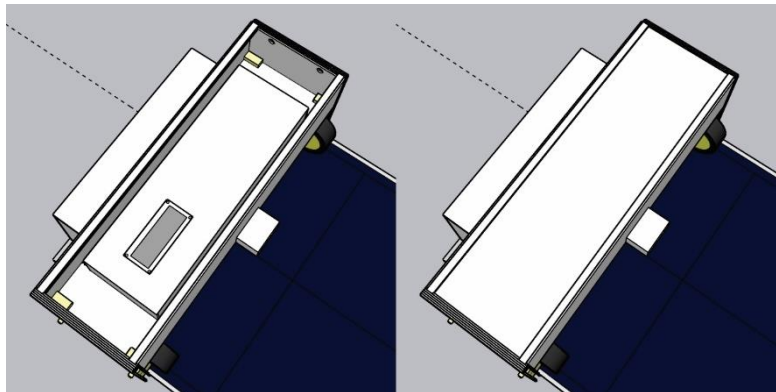
Rancang bangun alat ini menggunakan plat besi L sebagai rangka untuk menopang panel surya, rangka ini memiliki tinggi 1 meter dan dirancang agar panel surya bisa menghadap keatas. Dibagian sisi samping rangka terdapat kotak yang menampung *power supply*, terminal dan beban lampu DC 12V.



Gambar 4 Desain Tampak Depan & Belakang Alat

Bagian *body* alat terbuat dari akrilik berwarna bening berukuran 2mm. pada *body* alat terdapat 4 buah motor DC yang diletakkan di keempat masing - masing sudut sehingga bisa menopang *body* dan *control box* yang berada didalam nya, di bagian belakan terdapat kotak cukup besar berkapasitas 800ml yang digunakan untuk penampung air bersih, air bersih yang ditampung akan digunakan untuk membersihkan debu atau kotoran dengan ketebalan

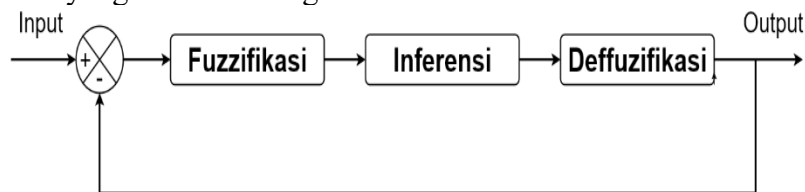
tinggi. Dibagian bawah *body* alat terdapat sikat lembut yang berfungsi untuk membersihkan debu. Pada bagian depan alat terdapat sensor debu yang berfungsi untuk mendeteksi debu udara yang menempel pada panel surya.



Gambar 5 Desain Control Box Alat

*Control box* alat ini berada dibagian dalam, *control box* ini berisi komponen – komponen kontrol seperti ESP32, modul driver L298N, dan relay. Di bagian atas *control box* terdapat LCD berukuran  $16 \times 2$  sebagai komponen yang menampilkan tegangan, arus, dan ketebalan debu.

Perancangan sistem alat pembersih otomatis panel surya ini berbasis logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* yang digunakan yaitu *fuzzy mamdani*, karena *output* dari *fuzzy mamdani* ini kategori linguistik yang mendekati logika manusia.



Gambar 6 Blok Kontrol Fuzzy

#### a. Fuzzyfikasi

*Fuzzyfikasi* adalah merupakan proses mengubah variabel non *fuzzy* (Variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy*. Proses mengubah variabel tersebut akan membentuk himpunan keanggotaan dari setiap parameter sehingga di dapat aturan (*inference*). Pada sistem ini variabel *input*-nya adalah tegangan dan ketebalan debu, sedangkan variabel *output*-nya adalah gerakan motor dan ON/OFF pompa air.

Proses perubahan dari nilai input yang berupa bilangan *real* dan bukan nilai *fuzzy* menjadi himpunan *fuzzy* dinamakan proses *fuzzyfikasi*. Untuk melakukan *fuzzyfikasi* hal yang perlu dilakukan yaitu menentukan variabel *input* dan variabel *output*. Pada sistem alat pembersih otomatis ini, variabel *input* dan *output* dipaparkan pada tabel 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8.

Untuk menguji *fuzzy* pada proses *fuzzyfikasi* akan diberikan nilai "x" random untuk variabel *input* tegangan dan debu. Nilai "x" tersebut adalah 4V untuk variabel *input* tegangan dan  $0.32 \text{ mg/m}^3$  untuk variabel *input* debu. Selanjutnya nilai "x" tersebut digunakan dalam fungsi – fungsi *fuzzy* dan menghasilkan *output fuzzy* sesuai dengan *rule base* yang sudah ditentukan.

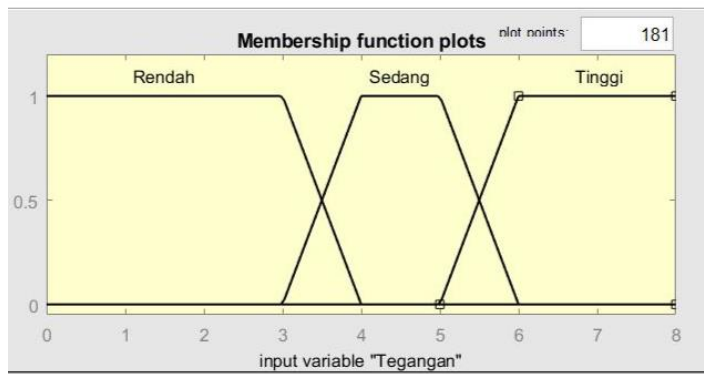
Tabel 1 Himpunan Keanggotaan Tegangan

| Variabel | Kondisi | Nilai (V) |
|----------|---------|-----------|
| Tegangan | Tinggi  | 0 – 3     |
|          | Sedang  | 4 – 5     |
|          | Rendah  | 6 – 8     |

Tabel 2 Himpunan Keanggotaan Debu

| Variabel | Kondisi | Nilai (mg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|---------|----------------------------|
| Debu     | Rendah  | 0 – 0.2                    |
|          | Sedang  | 0.3 – 0.4                  |
|          | Tinggi  | 0.5 – 0.64                 |

*Input* tegangan dan debu dibagi menjadi 3 kondisi yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Berikut variabel input tegangan dan debu dalam bentuk kurva.



Gambar 7 Kurva Variabel Tegangan

Kurva pada gambar 7 merupakan kurva variabel input tegangan. Kurva tersebut apabila diterjemahkan kedalam bentuk fungsi keanggotaan akan seperti berikut

Kondisi tegangan rendah

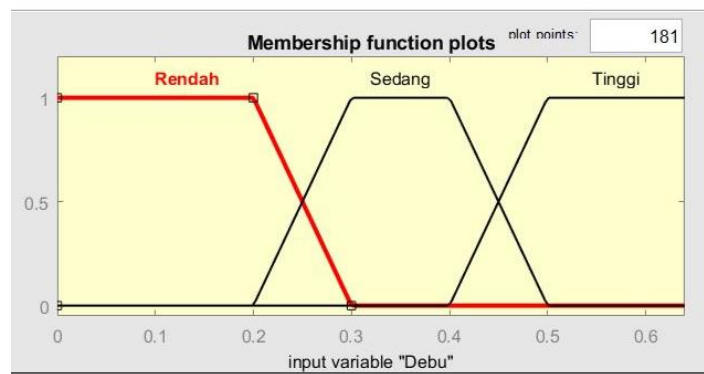
$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x > 4 \\ \frac{4-x}{4-3}, & 3 < x \leq 4 \\ 1, & x \leq 3 \end{cases}$$

Kondisi tegangan sedang

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3 \\ \frac{x-3}{4-3}, & 3 < x \leq 4 \\ 1, & 4 < x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}, & 5 < x \leq 6 \\ 0, & x > 6 \end{cases}$$

Kondisi tegangan tinggi

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{6-5}, & 5 < x \leq 6 \\ 1, & 6 < x \leq 8 \end{cases}$$



Gambar 8 Kurva Variabel Debu

Berikut fungsi keanggotaan variabel *input* debu.

Kondisi debu rendah

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x > 0.3 \\ \frac{0.3 - x}{0.3 - 0.2}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 1, & x \leq 0.2 \end{cases}$$

Kondisi debu sedang

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.2 \\ \frac{x - 0.2}{0.3 - 0.2}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 1, & 0.3 < x \leq 0.4 \\ \frac{0.5 - x}{0.5 - 0.4}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ 0, & x > 0.5 \end{cases}$$

Kondisi debu tinggi

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.4 \\ \frac{x - 0.4}{0.5 - 0.4}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ 1, & 0.5 < x \leq 0.64 \end{cases}$$

Sedangkan variabel *output* sistem memiliki kondisi yang berbeda antara motor dc dengan pompa air seperti yang disajikan pada tabel dibawah.

Tabel 3 Himpunan Keanggotaan Motor DC

| Variabel | Kondisi  | Nilai     |
|----------|----------|-----------|
| Motor DC | Gerak 6× | 1.6 – 2   |
|          | Gerak 3× | 0.6 – 1.5 |
|          | Stop     | 0 – 0.5   |

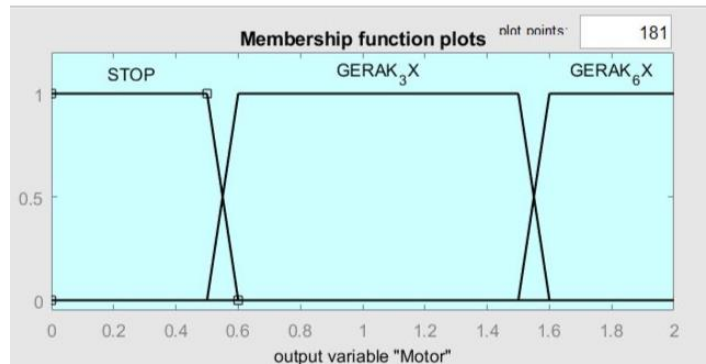
Pada tabel 3 motor dc memiliki 3 kondisi dan memiliki nilai dengan rentan 0 – 2. Karena motor dc hanya memiliki output 1 (ON) dan 0 (OFF) dan memiliki 3 kondisi maka perlu nilai representasi fuzzy dari aksi motor yang akan diterjemahkan ke logika ON/OFF pada program agar motor bisa memenuhi 3 kondisi yang diinginkan.

Tabel 4 Himpunan Keanggotaan Pompa Air

| Variabel  | Kondisi | Nilai   |
|-----------|---------|---------|
| Pompa Air | ON      | 0 – 0.5 |
|           | OFF     | 0.6 – 1 |



Untuk *output* pompa air hanya ada 2 kondisi yaitu ON/OFF dengan rentan nilai dari 0 – 1. Berikut kurva untuk variabel *output* motor dc dan pompa air.



Gambar 9 Kurva Variabel Motor DC

Berikut fungsi keanggotaan variabel *output* motor.

Kondisi motor stop

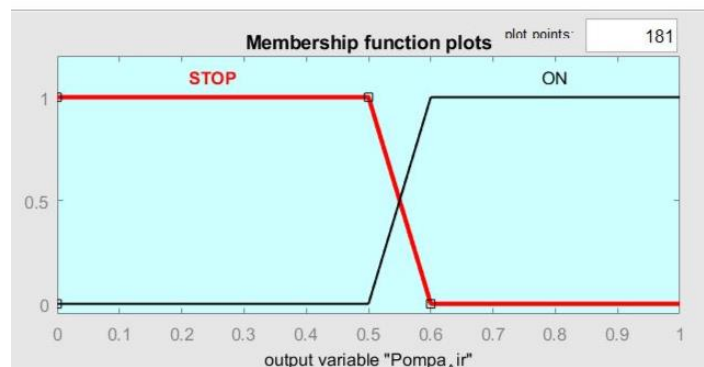
$$\mu_{stop}(x) = \begin{cases} 0, & x > 0.6 \\ \frac{0.6 - x}{0.6 - 0.5}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1, & x \leq 0.5 \end{cases}$$

Kondisi motor gerak 3×

$$\mu_{gerak\ 3 \times}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.5 \\ \frac{x - 0.5}{0.6 - 0.5}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1, & 0.6 < x \leq 1.5 \\ \frac{1.6 - x}{1.6 - 1.5}, & 1.5 < x \leq 1.6 \\ 0, & x > 1.6 \end{cases}$$

Kondisi motor gerak 6×

$$\mu_{gerak\ 6 \times}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1.5 \\ \frac{x - 1.5}{1.6 - 1.5}, & 1.5 < x \leq 1.6 \\ 1, & 1.6 < x \leq 2 \end{cases}$$



Gambar 10 Kurva Variabel Pompa Air

Berikut fungsi keanggotaan variabel *output* pompa.

Kondisi pompa air stop

$$\mu_{stop}(x) = \begin{cases} 0, & x > 0.6 \\ \frac{0.6 - x}{0.6 - 0.5}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1, & x \leq 0.5 \end{cases}$$

Kondisi pompa air ON

$$\mu_{ON}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.5 \\ \frac{x - 0.5}{0.6 - 0.5}, & 0.5 < x \leq 0.6 \\ 1, & 0.6 < x \leq 1 \end{cases}$$

## b. Inferensi

Inferensi dalam *fuzzy* adalah menerapkan aturan *fuzzy* ke dalam *output* yang dapat digunakan. Kemudian *output fuzzy* digunakan dalam *defuzzifikasi* untuk menghasilkan nilai *crisp* (tegas). Untuk menerapkan dan memproses perubahan *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* maka perlu dibuat *rule base* dalam bentuk pernyataan *if-then*.

### Rule Base

*Rule base* pada *fuzzy* merupakan sebuah aturan yang menghubungkan antara *input* dan *output* dalam bentuk bahasa linguistic. Berikut aturan yang dibuat untuk sistem *fuzzy*:

1. If (Tegangan is Rendah) and (Debu is Rendah) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is STOP)

$\alpha$ -aturan<sub>1</sub>:

$$\mu_{Tegangan Rendah}(x) \cap \mu_{Debu Rendah}(x)$$

2. If (Tegangan is Rendah) and (Debu is Sedang) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is ON)

$\alpha$ -aturan<sub>2</sub>:

$$\mu_{Tegangan Rendah}(x) \cap \mu_{Debu Sedang}(x)$$

3. If (Tegangan is Rendah) and (Debu is Tinggi) then (Motor is GERAK\_6X)(Pompa\_Air is ON)

$\alpha$ -aturan<sub>3</sub>:

$$\mu_{Tegangan Rendah}(x) \cap \mu_{Debu Tinggi}(x)$$

4. If (Tegangan is Sedang) and (Debu is Tinggi) then (Motor is GERAK\_6X)(Pompa\_Air is ON)

$\alpha$ -aturan<sub>4</sub>:

$$\mu_{Tegangan Sedang}(x) \cap \mu_{Debu Tinggi}(x)$$

5. If (Tegangan is Sedang) and (Debu is Sedang) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is ON)

$\alpha$ -aturan<sub>5</sub>:

$$\mu_{Tegangan Sedang}(x) \cap \mu_{Debu Sedang}(x)$$

6. If (Tegangan is Sedang) and (Debu is Rendah) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is STOP)

$\alpha$ -aturan<sub>6</sub>:

$$\mu_{Tegangan Sedang}(x) \cap \mu_{Debu Rendah}(x)$$

7. If (Tegangan is Tinggi) and (Debu is Tinggi) then (Motor is GERAK\_6X)(Pompa\_Air is STOP)

$\alpha$ -aturan<sub>7</sub> :

$$\mu_{Tegangan\ Tinggi}(x) \cap \mu_{Debu\ Tinggi}(x)$$

8. If (Tegangan is Tinggi) and (Debu is Sedang) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is STOP)

$\alpha$ -aturan<sub>8</sub> :

$$\mu_{Tegangan\ Tinggi}(x) \cap \mu_{Debu\ Sedang}(x)$$

9. If (Tegangan is Tinggi) and (Debu is Rendah) then (Motor is STOP)(Pompa\_Air is STOP)

$\alpha$ -aturan<sub>9</sub> :

$$\mu_{Tegangan\ Tinggi}(x) \cap \mu_{Debu\ Rendah}(x)$$

### c. Defuzzifikasi

*Defuzzifikasi* merupakan suatu himpunan yang diperoleh dari komposisi aturan – aturan *fuzzy*. *Defuzzifikasi* yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *Centroid* (*Center of Gravity*) karena metode ini merupakan metode paling umum pada *fuzzy mamdani* yang menjadi salah satu metode yang paling akurat dibandingkan dengan metode lain.

Metode *Centroid* (*Center of Gravity*)

$$z = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

$$z = \frac{\text{Momen}}{\text{Luas Daerah}}$$

- $x$  = nilai crisp output (nilai defuzzifikasi)

$\mu(x)$  = nilai keanggotaan *fuzzy* hasil inferensi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada sistem dilakukan bertujuan untuk menguji sistem alat pembersih otomatis berbasis *fuzzy logic* panel surya secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan selama dua hari dengan rentan waktu dari jam 09.00 – 15.00. Fokus utama dari pengujian ini adalah menguji kontrol sistem secara otomatis. Kontrol otomatis sistem ini menggunakan *fuzzy* sebagai logika pengambil keputusannya. Sensor INA219 akan mendeteksi tegangan dari panel surya ke beban dan sensor debu GP2Y1010AU0F mendeteksi ketebalan debu di udara yang menempel pada permukaan panel surya. Kedua *input* dari masing – masing sensor akan dikirimkan ke ESP32 untuk diproses oleh *fuzzy* untuk pengambilan keputusan. Setelah *fuzzy* memproses hasil dari *input* sensor, ESP32 memberi sinyal kepada komponen *output* yang berupa motor dc dan pompa air untuk bekerja. Proses kerja dari komponen *output* akan bergantung dari hasil pengambilan keputusan yang dilakukan oleh *fuzzy* yang dilandasi oleh *rule base* yang sudah dibuat.



Gambar 11 Pengujian Sistem

Data yang diambil dari uji coba sistem alat pembersih otomatis panel surya ini adalah nilai tegangan ketika permukaan panel surya belum dibersihkan dan nilai tegangan ketika permukaan panel surya sudah dibersihkan, dari data yang didapat bisa disimpulkan apakah sistem pada alat pembersih otomatis panel surya berbasis *fuzzy logic* ini bekerja dengan baik atau tidak. Berikut hasil pengujian tegangannya.

Tabel 5 Data Tegangan Dengan Sistem Fuzzy

| Waktu | Tegangan sebelum dibersihkan (V) | Tegangan setelah dibersihkan(V) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------|
| 09.00 | 6.95                             | 6.96                            |
| 10.00 | 5.80                             | 6.1                             |
| 11.00 | 6.99                             | 7.02                            |
| 12.00 | 7.77                             | 7.77                            |
| 13.00 | 7.77                             | 7.78                            |
| 14.00 | 6.22                             | 6.51                            |
| 15.00 | 5.96                             | 5.98                            |

Setelah melakukan pendataan terhadap tegangan panel surya, selanjutnya akan dilakukan pendataan terhadap logika biasa dengan logika *fuzzy*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah *fuzzy logic* memberi dampak yang baik dalam sistem alat pembersih otomatis panel ini.

Tabel 1 Data Tegangan Tanpa Sistem Fuzzy

| Waktu | Tegangan sebelum dibersihkan (V) | Tegangan setelah dibersihkan(V) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------|
| 09.00 | 7.06                             | 7.06                            |
| 10.00 | 7.14                             | 7.2                             |
| 11.00 | 6.22                             | 6.23                            |
| 12.00 | 7.78                             | 7.78                            |
| 13.00 | 7.77                             | 7.77                            |
| 14.00 | 7.04                             | 7.05                            |
| 15.00 | 6.18                             | 6.21                            |

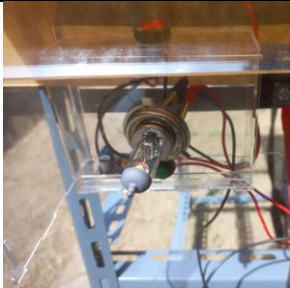
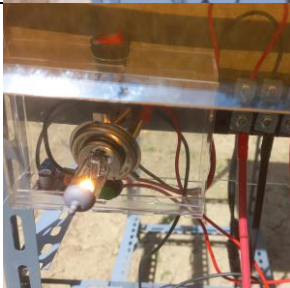
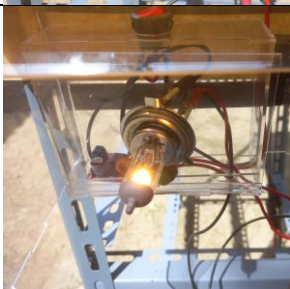
Pada tabel yang disajikan, hasil pengujian pada sistem tanpa logika *fuzzy* didapatkan tegangan rata – rata ketika sebelum dibersihkan yaitu 7.03 V dan pada saat setelah dibersihkan yaitu 7.04 V sedangkan ketika sistem menggunakan logika *fuzzy* data rata – rata tegangan yang didapat sebelum dibersihkan yaitu sebesar 6.78 V dan pada setelah dibersihkan tegangan rata – rata yang didapat yaitu sebesar 6.87 V. Dari data yang didapat sistem yang menggunakan sistem *fuzzy* memiliki nilai selisih sebesar 0.09 V sedangkan pada sistem yang tanpa menggunakan sistem *fuzzy* nilai selisih rata – rata tegangannya yaitu sebesar 0.01V.

Selanjutnya yaitu pengujian pada beban, Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat pembersih otomatis panel surya berbasis *fuzzy logic* ini benar benar mempengaruhi optimasi kinerja dari sebuah panel surya. Untuk pengujiannya beban lampu akan dihubungkan langsung ke panel surya agar tegangan yang di dapat menghasilkan output yang nyata.

Namun dikarenakan panel surya 50 WP yang digunakan bisa menghasilkan tegangan puncak sebesar 18V (tegangan ketika berbeban) maka tegangan dari panel surya diturunkan menggunakan komponen *Buck Converter DC/DC XL4015*. Komponen *Buck Converter DC/DC XL4015* berfungsi untuk menurunkan tegangan puncak panel surya dari 18 V

menjadi 12 V agar sesuai dengan spesifikasi beban lampu. Pada pengujian ini tegangan di atur untuk tetap berada di angka 8V karena di nilai tersebut beban lampu sudah menyala sangat terang sehingga untuk proses pengambilan data sudah sangat cukup. Data yang diambil pada proses pengujian ini yaitu kondisi lampu dan tegangan pada kondisi tersebut. Untuk hasil dari pengujiannya akan ditampilkan dalam bentuk tabel seperti berikut.

Tabel 2 Data Pengujian Beban Lampu

| Kondisi Lampu | Gambar                                                                              | Tegangan (V) |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Redup         |    | 2.65         |
| Cukup Terang  |   | 5.09         |
| Terang        |  | 6.8          |

Dari tabel hasil pengujian, kondisi beban lampu pada tegangan 2.65V terlihat redup seperti pada tabel 2, sedangkan ketika tegangan berada di nilai 5.09V kondisi lampu menjadi cukup terang seperti pada tabel namun ketika tegangan sudah berada di kategori tegangan tinggi (6V-8V) kondisi lampu tidak berbeda secara signifikan tetapi di kondisi nyata lampu menyala lebih terang apabila dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.

### Pengujian Fuzzy

Pengujian *fuzzy* ini dilakukan dengan 3 metode yaitu pengujian teori, pengujian simulasi matlab, dan pengujian alat. Untuk pengujian teori dan simulasi matlab, karena input bukan berasal dari sensor maka akan diambil angka acak yang menjadi input variabel tegangan dan variabel debu. Sedangkan pengujian alat, nilai *input* untuk variabel tegangan dan variabel debu didapat langsung dari sensor.

#### 1. Pengujian Teori

Pada pengujian teori, sistem akan diuji dengan cara menghitung variabel *input* dan *output* berdasarkan fungsi – fungsi dari teori *fuzzy mamdani*. Prosesnya yaitu *fuzzifikasi*, *inferensi*, dan *defuzzifikasi*.

##### a. Fuzzifikasi

Proses dalam pengujian teori yaitu proses fuzzifikasi, yaitu proses menghitung nilai

keanggotaan *input* tegangan dan debu berdasarkan fungsi keanggotaan.

- Keanggotaan Tegangan

**Kondisi tegangan rendah**

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x > 4 \\ \frac{4-x}{4-3}, & 3 < x \leq 4 \\ 1, & x \leq 3 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *Input* tegangan 4V ( $\mu_{rendah}(4)$ ) bernilai 0 (0, &  $x > 4$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi tegangan rendah).

**Kondisi tegangan sedang**

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3 \\ \frac{x-3}{4-3}, & 3 < x \leq 4 \\ 1, & 4 < x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}, & 5 < x \leq 6 \\ 0, & x > 6 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *Input* tegangan 4V ( $\mu_{sedang}(4)$ ) bernilai 1 (1, &  $4 < x \leq 5$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi tegangan tinggi).

**Kondisi tegangan tinggi**

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{6-5}, & 5 < x \leq 6 \\ 1, & 6 < x \leq 8 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *Input* tegangan 4V ( $\mu_{tinggi}(4)$ ) bernilai 0 (0, &  $x \leq 5$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi tegangan tinggi).

Ketika tegangan *input* bernilai 4V, maka tegangan termasuk ke dalam kategori kondisi tegangan sedang  $\mu_{sedang}(4) = 1$

- Keanggotaan Debu

**Kondisi debu rendah**

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x > 0.3 \\ \frac{0.3-x}{0.3-0.2}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 1, & x \leq 0.2 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *Input* debu 0.32 ( $\mu_{rendah}(0.32)$ ) bernilai 0 (0, &  $x > 0.3$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi debu rendah).

**Kondisi debu sedang**

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.2 \\ \frac{x-0.2}{0.3-0.2}, & 0.2 < x \leq 0.3 \\ 1, & 0.3 < x \leq 0.4 \\ \frac{0.5-x}{0.5-0.4}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ 0, & x > 0.5 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan *Input* debu 0.32 ( $\mu_{sedang}(0.32)$ ) bernilai 1 ( $1, \& 0.3 < x \leq 0.4$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi debu sedang).

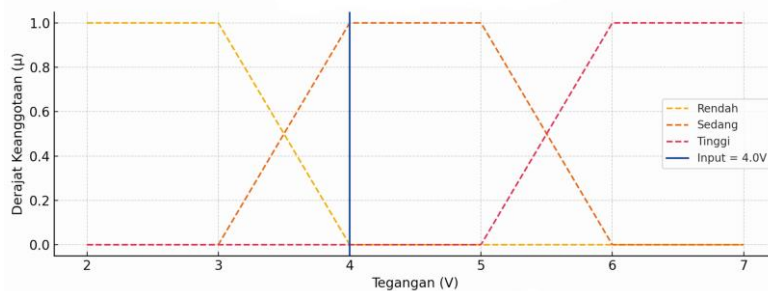
**Kondisi debu tinggi**

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.4 \\ \frac{x - 0.4}{0.5 - 0.4}, & 0.4 < x \leq 0.5 \\ 1, & 0.5 < x \leq 0.64 \end{cases}$$

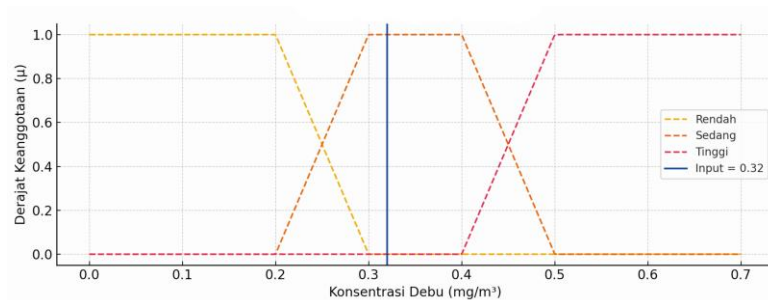
Fungsi keanggotaan *Input* debu 0.32 ( $\mu_{tinggi}(0.32)$ ) bernilai 0 ( $0, \& x \leq 0.4$ ) pada fungsi keanggotaan ini (Kondisi debu sedang).

Ketika debu *input* bernilai 0.32, maka debu termasuk ke dalam kategori kondisi debu sedang  $\mu_{sedang}(0.32) = 1$

Setelah nilai input tegangan dan debu sebesar 4V dan 0.32 mg/m<sup>3</sup> diuji ke masing masing *rule base* maka didapat aturan yang sesuai untuk nilai input nya yaitu aturan ke-5 ”Jika (Tegangan Sedang) dan (Debu Sedang) maka (Motor GERAK 3X)(Pompa Air ON)” karena 4V termasuk ke dalam tegangan rendah ”( $3 < x \leq 4$ )” dan debu 0.32 termasuk ke dalam kategori debu sedang ”( $0.3 < x \leq 0.4$ )”. Berikut grafik kategori masing masing input.



Gambar 12 Kurva Fungsi Keanggotaan Tegangan



Gambar 13 Kurva Fungsi Keanggotaan Debu

#### b. Inferensi

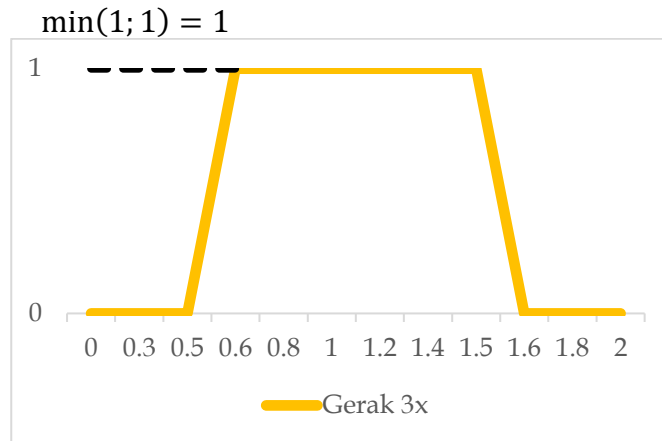
Setelah melakukan proses fuzzifikasi proses selanjutnya adalah proses perhitungan inferensi, masing – masing *rule base* akan dihitung inferensi *fuzzy* nya namun di sub bab ini hanya akan disajikan hasil inferensi yang akan digunakan untuk proses selanjutnya. Untuk hasil yang lain akan dilampirkan.

**Inferensi *fuzzy* :**

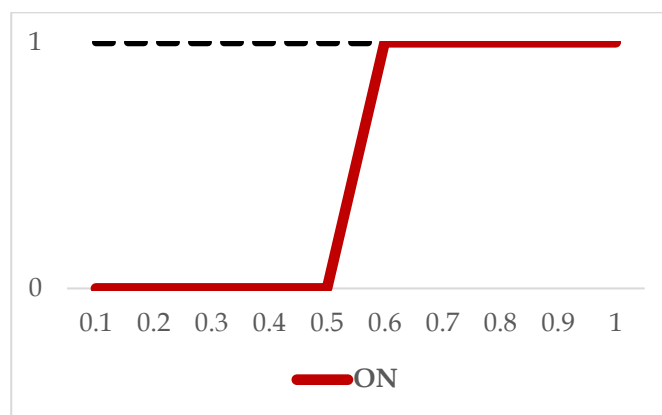
If (Tegangan is Sedang) and (Debu is Sedang) then (Motor is GERAK\_3X)(Pompa\_Air is ON)

$\alpha$ -aturan<sub>5</sub> :

$$\mu_{Tegangan\ Sedang}(x) \cap \mu_{Debu\ Sedang}(x) \\ \min(\mu_{Tegangan\ Sedang}(4); \mu_{Debu\ Sedang}(0.32))$$



Gambar 14 Kurva Inferensi Fuzzy Output Motor



Gambar 15 Kurva Inferensi Fuzzy Output Pompa

c. Deffuzifikasi

Proses deffuzifikasi metode yang digunakan yaitu metode *Centroid* (*Center of Gravity*).

$$z = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

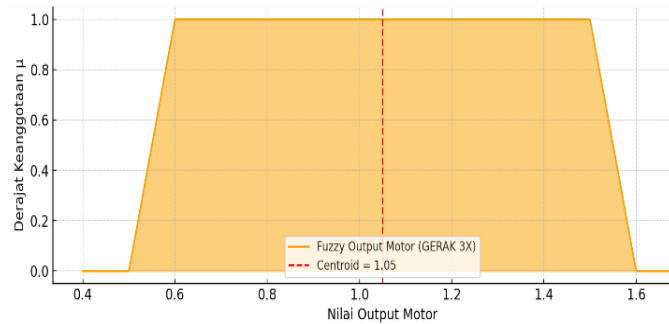
$$z = \frac{\text{Momen}}{\text{Luas Daerah}}$$

Setelah melakukan proses inferensi hasil dari proses tersebut aturan yang memenuhi syarat untuk nilai *input* dari sensor tegangan dan debu adalah aturan ke-5. Pada aturan ke-5 batasan -batasan nilai nya di representasi ke dalam kurva trasiium sehingga perhitungan deffuzifikasinya sebagai berikut :

**Output Motor Gerak 3×**

Bentuk fungsi keanggotaan

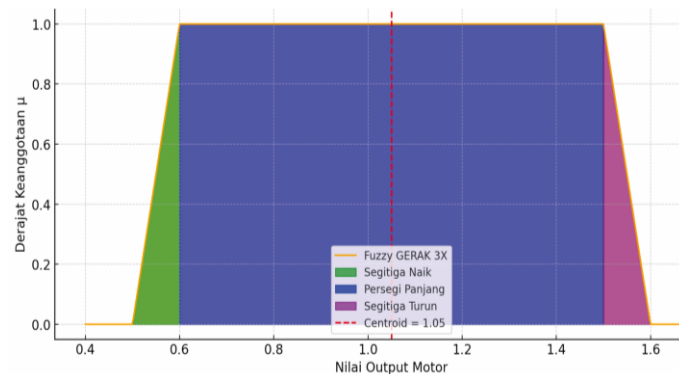




Gambar 16 Kurva Trapesium Output Motor

Berbentuk trapezium dengan 4 titik (0, 0.5), (0.6, 1), (1.5, 1), dan (1.6, 0)

Dari keempat titik tersebut dibagi menjadi 3 bagian luas yaitu segitiga berwarna hijau (0.5, 0.6), persegi berwarna ungu (0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.5), dan segitiga berwarna merah jambu (1.5, 1.6).



Gambar 17 Pembagian Luas Output Motor

1) Segitiga Naik (0.5 - 0.6)

$$\text{Luas } A_1 = \frac{1}{2} \times (0.6 - 0.5) \times 1 = 0.05$$

$$\text{Titik tengah } \bar{x}_1 = \frac{2(0.5) + 0.6}{3} = 0.533$$

$$\text{Momen } M_1 = A_1 \cdot \bar{x}_1 = 0.02665$$

2) Persegi Panjang (0.6 - 1.5)

$$\text{Luas } A_2 = (1.5 - 0.6) = 0.9$$

$$\text{Titik Tengah } \bar{x}_2 = \frac{0.6 + 1.5}{2} = 1.05$$

$$\text{Momen } M_2 = A_2 \cdot \bar{x}_2 = 0.9 \cdot 1.05 = 0.945$$

3) Segitiga Turun (1.5 - 1.6)

$$\text{Luas } A_3 = \frac{1}{2} \cdot (1.6 - 1.5) \times 1 = 0.05$$

$$\text{Titik tengah } \bar{x}_3 = \frac{1.5 + (2)1.6}{3} = 1.566$$

$$\text{Momen } M_3 = A_3 \cdot \bar{x}_3 = 0.0783$$

Total luas dan momen

$$A_{motor} = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_{motor} = 0.05 + 0.9 + 0.05$$

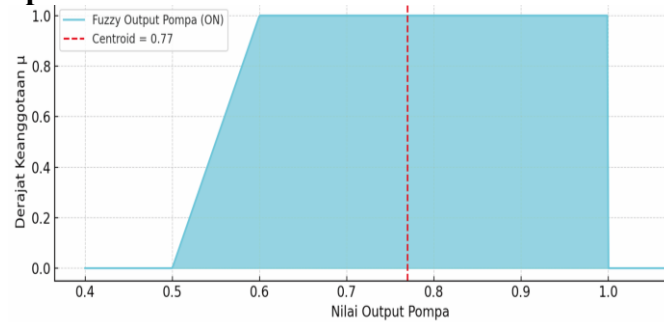
$$\begin{aligned}
A_{motor} &= 1.0 \\
M_{motor} &= M_1 + M_2 + M_3 \\
M_{motor} &= 0.02665 + 0.945 + 0.0783 \\
M_{motor} &= 1.04995
\end{aligned}$$

Hasil Defuzzifikasi

$$\begin{aligned}
z_{motor} &= \frac{Momen_{motor}}{Luas_{motor}} \\
z_{motor} &= \frac{1.04995}{1.0} = 1.05
\end{aligned}$$

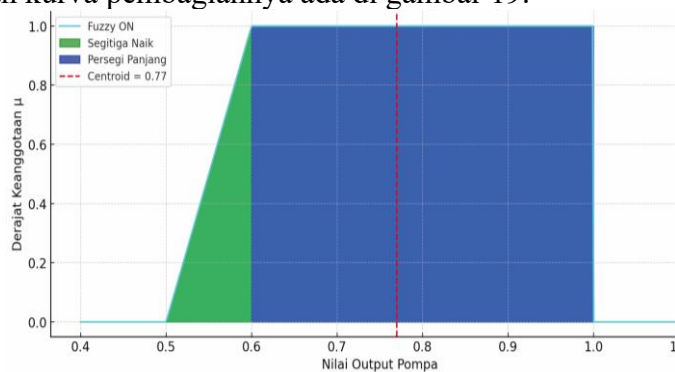
Hasil defuzzifikasi dari *output* motor adalah **1.05**.

### Output Pompa Air



Gambar 18 Kurva Trapesium Output Pompa

Diatas merupakan kurva keanggotaan untuk pompa air (ON). Kurva tersebut termasuk ke dalam bentuk trapesium dengan 3 titik (0, 0.5), (0.6, 1), (1, 0.0). Pada kurva *output* pompa air hanya dibagi menjadi 2 bagian, yaitu segitiga (0.5, 0.6), dan persegi panjang (0.6, 1.0). untuk lebih jelaskan kurva pembagiannya ada di gambar 19.



Gambar 19 Pembagian Luas Output Pompa

- 1) Segitiga Naik (0.5 - 0.6)

$$\begin{aligned}
Luas A_1 &= \frac{1}{2} \times (0.6 - 0.5) \times 1 = 0.05 \\
Titik\ tengah\ \bar{x}_1 &= \frac{2(0.5) + 0.6}{3} = 0.533 \\
Momen\ M_1 &= A_1 \cdot \bar{x}_1 = 0.02665
\end{aligned}$$

- 2) Persegi Panjang (0.6 - 1.0)

$$Luas A_2 = (1.0 - 0.6) = 0.4$$

$$\text{Titik Tengah } \bar{x}_2 = \frac{0.6 + 1.0}{2} = 0.8$$

$$\text{Momen } M_2 = A_2 \cdot \bar{x}_2 = 0.4 \cdot 0.8 = 0.32$$

Total luas dan momen

$$A_{pompa} = A_1 + A_2$$

$$A_{pompa} = 0.05 + 0.4$$

$$A_{pompa} = 0.45$$

$$M_{pompa} = M_1 + M_2$$

$$M_{pompa} = 0.02665 + 0.32$$

$$M_{pompa} = 0.34665$$

Hasil defuzzifikasi

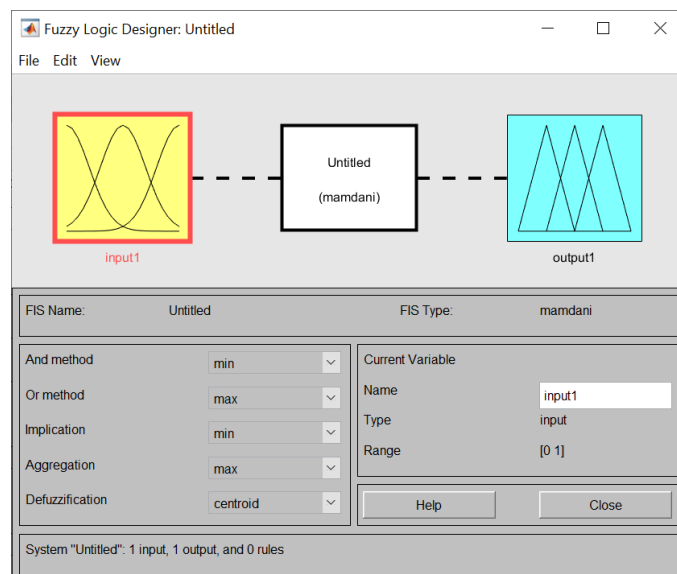
$$z_{pompa} = \frac{\text{Momen}_{pompa}}{\text{Luas}_{pompa}}$$

$$z_{pompa} = \frac{0.34665}{0.45} = 0.77$$

Hasil defuzzifikasi *output* pompa air adalah **0.77**

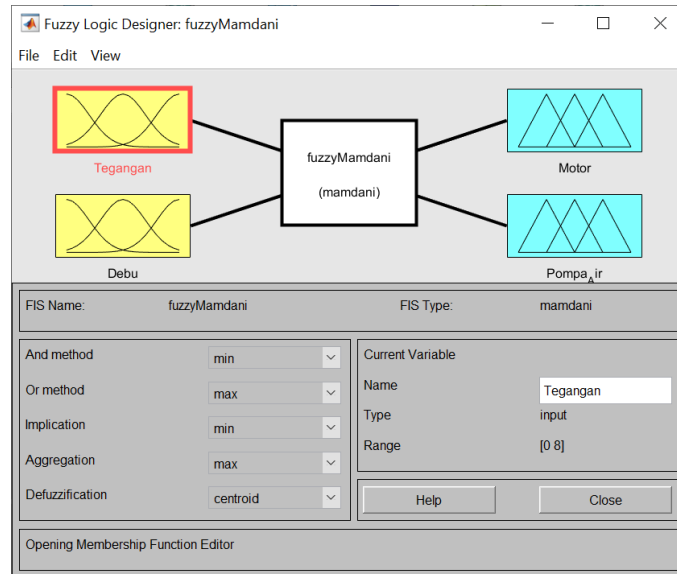
## 2. Pengujian Simulasi Matlab

Pengujian simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Matlab*. Pada *software* ini terdapat fitur *fuzzy logic designer* yang bisa digunakan untuk melakukan simulasi sistem *fuzzy* yang sudah dibuat.



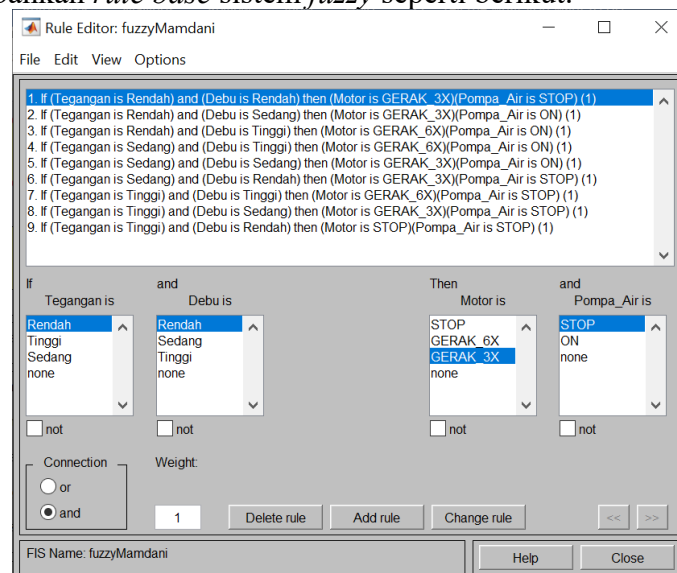
Gambar 20 Tampilan Fuzzy Logic Designer Pada Matlab

Pada gambar 20 merupakan tampilan *Fuzzy Logic Designer*. Pada tampilan tersebut terdapat kotak kuning *input* dan kotak *tosca output* yang berfungsi untuk mengisi *input* dan *output* dari sistem *fuzzy* yang sudah dibuat. Berikut tampilan *Fuzzy Logic Designer* saat mengisi *input* atau *output* dari sistem *fuzzy*.



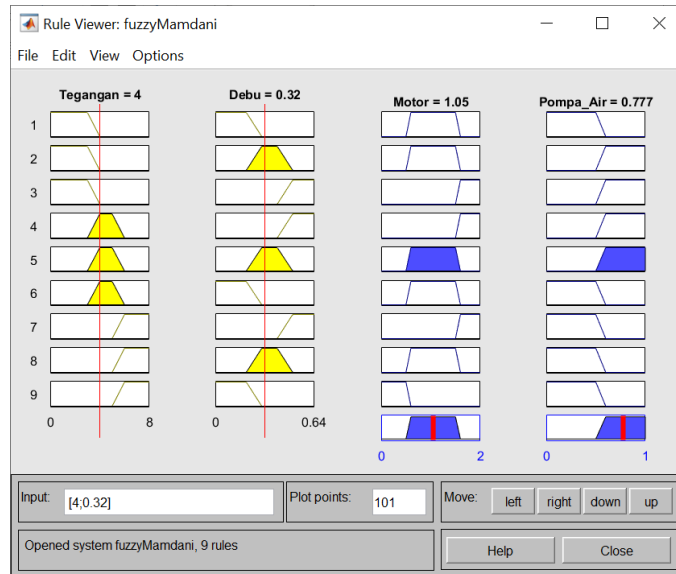
Gambar 21 Tampilan Input & Output Pada Matlab

Ketika variabel *input* dan variabel *output* sudah ditambahkan ke *matlab*, maka selanjutnya menambahkan *rule base* sistem *fuzzy* seperti berikut.



Gambar 21 Tampilan Rule Base Pada Matlab

Pastikan *rule base* dan variabel input/output sesuai dengan sistem *fuzzy*. Untuk melakukan simulasi bisa memilih opsi "Rules" pada tab "View" dan tampilannya akan seperti berikut.



Gambar 22 Tampilan Simulasi Pada Matlab

Pada simulasi *Matlab* nilai variabel *input* tegangan dan debu bisa diisi sesuai keinginan dan hasilnya akan langsung diproses oleh *Matlab*. Seperti pada gambar 4.4 *input* tegangan sebesar 4V dan *input* debu sebesar 0.32 mg/m<sup>3</sup>. Hasil dari variabel *output* motor dan pompa air langsung bisa dilihat sebesar 1.05 untuk motor sedangkan untuk pompa air sebesar 0.777. Apabila di cocokan dengan *rule base* maka sistem *fuzzy* akan memproses *input* tegangan dan debu lalu sistem *output* yang diberikan akan sesuai dengan *rule base*. Maka motor akan bergerak sebanyak 3× dan pompa air akan menyala (ON). Kurva untuk masing – masing *input* dan *output* juga diperlihatkan pada *fuzzy system designer matlab*. Hasil pengujian simulasi *matlab* menghasilkan nilai *output* yang sama dengan pengujian teori.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian rancang bangun alat pembersih otomatis berbasis logika fuzzy yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Perancangan alat pembersih Panel surya melibatkan beberapa tahapan. Mulai dari mencari referensi dari penelitian – penelitian terdahulu lalu menyiapkan komponen yang diperlukan. Setelah itu mendesain rancang bangun alat pembersihnya untuk membantu saat proses perakitan. Ketika alat sudah dirakit, alat diprogram sesuai dengan basis logika fuzzy. Selanjutnya alat diuji dan data hasil uji dijadikan acuan untuk kesimpulan penelitian.
2. Setelah melakukan pengujian terhadap alat pembersih panel surya yang dirancang, alat pembersih ini memberikan pengaruh terhadap output tegangan dari panel surya, rata – rata tegangan yang didapat sebelum dibersihkan yaitu sebesar 6.78 V dan setelah dibersihkan tegangan rata – rata yang didapat yaitu sebesar 6.87 V. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa debu yang menempel pada permukaan Panel surya mempengaruhi output tegangannya namun tidak signifikan.
3. Sistem fuzzy pada alat pembersih Panel surya membantu alat bekerja lebih efektif. Dari hasil penelitian sistem yang menggunakan sistem fuzzy memiliki nilai selisih sebesar 0.09 V sedangkan pada sistem yang tanpa menggunakan sistem fuzzy nilai selisih rata – rata tegangannya yaitu sebesar 0.01 V.

Dari hasil pengujian sistem ini meningkatkan output tegangan panel surya sebesar 1.33%. Persentase tersebut lebih kecil apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya

yang tanpa menggunakan logika fuzzy yaitu sebesar 4.41%. Hal ini bisa terjadi karena beberapa hal salah satunya yaitu durasi pengujian yang tidak panjang dan kondisi cuaca yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Nur Effendi, Helga Ferdilla, dan Riwayat Artikel. 2023. "Pengaturan Kecepatan Dan Pengendalian Motor DC 5 V-110 V Menggunakan IC Tipe NE 555 (Speed Regulation And Control Of 5 V-110 V DC Motor Using IC Of NE 555 Type)." 1(2):113–23. doi:10.35912/jatra.v1i2.3157.
- Ardiansyah, Fendi, Misbah, dan Pressa P.S.S. 2018. SISTEM MONITORING DEBU DAN KARBON MONOKSIDA PADA LINGKUNGAN KERJA BOILER DI PT. KARUNIA ALAM SEGAR. Gresik.
- Aryza, Solly, Andysyah Putera Utama Siahaan, dan Zulkarnain Lubis. 2017. "Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengering Pupuk Petani Portabel." IT Journal Research and Development 2(1).
- Babiuch, Marek, Petr Foltýnek, dan Pavel Smutný. 2019. "Using the ESP32 microcontroller for data processing." dalam Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference, ICCC 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Billiam Ham, Giovany. 2022. "Optimalisasi Catu Daya pada Sistem Monitoring Kondisi Cuaca."
- Cahyanti, Veni, Muhammad Muflih Rahman, Eko Sulisty, Indra Dwisaputra, dan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. 2025. Rancang Bangun Robot Pembersih Panel Surya Menggunakan Metode Dry Cleaning Berbasis Fuzzy Logic Controller (FLC). Vol. 03.
- Gheorghe, A. C., dan M. I. Matei. 2021. "Dc Motor Control System Through Android Application Using Arduino Nano." The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty 21(1):31–34. doi:10.2478/sbeef-2021-0007.
- Hari Purwoto, Bambang, Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif, Muhamad F. Alimul, dan Ilham Fahmi Huda. t.t. EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF.
- Junaidi. 2023. "Implementasi Fuzzy Logic Dengan Metode Mamdani Untuk Sistem Pendukung Keputusan Kinerja Dosen."
- Kaiss, El-Cheikh Amer, dan Noha M. Hassan. 2024. "Optimizing the cleaning frequency of solar photovoltaic (PV) systems using numerical analysis and empirical models." Renewable Energy 228:120691. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120691.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. "Jurnal Energi." 2:1–99.
- Khoirun Nisa, Auliah, Muhammad Abdy, dan Ahmad Zaki, Jurusan Matematika, dan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. 2020. Penerapan Fuzzy Logic untuk Menentukan Minuman Susu Kemasan Terbaik dalam Pengoptimalan Gizi. Vol. 3. http://www.ojs.unm.ac.id/jmathcos.
- Ma'rif, Erni Fatun, dan Agus Maman Abadi. 2024. "FUZZY APPLICATION (MAMDANI METHOD) IN DECISION-MAKING ON LED TV SELECTION." Barekeng 18(2):1117–28. doi:10.30598/barekengvol18iss2pp1117-1128.
- Mohammad Bagher, Askari. 2015. "Types of Solar Cells and Application." American Journal of Optics and Photonics 3(5):94. doi:10.11648/j.ajop.20150305.17.
- Ross, Timothy J. .. 2010. Fuzzy logic with engineering applications. John Wiley.
- Setiani Asih, Munjiat. 2018. "Sistem Pendukung Keputusan Fuzzy Mamdani pada Alat Penyiraman Tanaman Otomatis." Jurnal Sistem Informasi 1.
- Setiawan, Agus, Endah R. Arumi, dan Pristi Sukmasetya. 2020. FUZZY MEMBERSHIP FUNCTIONS ANALYSIS FOR USABILITY EVALUATION OF ONLINE CREDIT HOUR FORM. Vol. 15.
- Subagja, Asep Burhan, Ema, dan Nina Hendrarini. 2024. Perancangan Dan Monitoring Modul Power Gps Tracker Menggunakan Ic Buck Converter.
- Sunandar, Dede. 2025. "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Pendukung Keputusan Untuk Penanganan Kesehatan Gizi Balita di RS Citra Arafik Sawangan." R2J 7(4).

doi:10.38035/rrj.v7i4.

Wira Saputra, Emirza. 2020. “Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Mamdani Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Penentuan Penerima Beasiswa.”

Yulianto, Rizki Dwi, Subuh Isnur Haryudo, Lusia Rakhmawati, dan Tri Rijanto. 2024. “PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTYPE WATER SPRAY PEMBERSIH PANEL SURYA BERBASIS INTERNET OF THINGS.” *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 26(3):139–46. doi:10.14710/transmisi.26.3.139-146.