


# Implementasi Fuzzy Logic Mamdani pada Sistem Kendali Tirai Garasi Cerdas dengan Fusi Sensor Cahaya dan Proteksi Cuaca

Fajar Ar-rauf<sup>1</sup>, Supandi<sup>2\*</sup>, Wijayanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pendidikan Teknologi Informasi, Universitas PGRI, Semarang, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>fajararrauf16@gmail.com, <sup>2</sup>supandi@upgris.ac.id, <sup>3</sup>wijayanto@upgris.ac.id  
Email Penulis Korespondensi: supandi@upgris.ac.id

Info Artikel	Abstrak
<b>Kata Kunci:</b> Fuzzy Mamdani Sensor Hujan Sensor LDR Tirai Cerdas Arduino Uno	Garasi rumah membutuhkan perlindungan optimal dari cuaca ekstrem sekaligus sirkulasi pencahayaan alami yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji purwarupa sistem kendali tirai garasi otomatis berbasis mikrokontroler guna mengelola pencahayaan secara dinamis dan memberikan respons perlindungan keamanan secara instan. Sistem diimplementasikan menggunakan Arduino Uno yang mengintegrasikan sensor <i>Light Dependent Resistor</i> (LDR) untuk mengukur intensitas cahaya matahari dan sensor hujan sebagai sakelar interupsi ( <i>override</i> ). Pengendalian mekanis posisi tirai menggunakan aktuator motor DC. Pengolahan data sensor beroperasi menggunakan algoritma <i>Fuzzy Logic Mamdani</i> melalui proses defuzzifikasi <i>Center of Gravity</i> (CoG) guna menghasilkan sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) yang proporsional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logika <i>fuzzy</i> berhasil mengatur kecepatan putaran motor DC secara transisional dan bergradasi halus dengan rentang nilai PWM 0 hingga 200 sesuai fluktuasi cahaya sekitar. Lebih lanjut, fusi sensor ( <i>sensor fusion</i> ) tervalidasi mampu mengeksekusi fungsi <i>override</i> secara mutlak saat terdeteksi presipitasi hujan; sistem merespons secara instan dengan menjatuhkan nilai PWM ke angka nol untuk menutup tirai sepenuhnya terlepas dari kondisi intensitas cahaya, sehingga menjamin keamanan ruang garasi secara efektif.
<b>Keywords:</b> Mamdani Fuzzy Rain Sensor LDR Sensor Smart Curtain Arduino Uno	Home garages require optimal protection from extreme weather alongside efficient natural lighting circulation. This study aims to design and test a microcontroller-based automatic garage curtain control system prototype to dynamically manage lighting and provide an instant security protection response. The system is implemented using an Arduino Uno integrating a Light Dependent Resistor (LDR) sensor to measure sunlight intensity and a rain sensor as an interrupt switch ( <i>override</i> ). The mechanical control of the curtain position utilizes a DC motor actuator. Sensor data processing operates using the Mamdani Fuzzy Logic algorithm through the Center of Gravity (CoG) defuzzification process to generate a proportional Pulse Width Modulation (PWM) signal. The test results show that the fuzzy logic successfully regulates the DC motor rotation speed transitionally and smoothly within a PWM value range of 0 to 200 according to ambient light fluctuations. Furthermore, the sensor fusion is validated to be capable of executing an absolute override function when rain precipitation is detected; the system responds instantly by dropping the PWM value to zero to close the curtain completely regardless of the light intensity condition, thereby effectively ensuring the security of the garage space.

JuKSIT is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License



## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *smart home* telah menjadi solusi mendesak untuk efisiensi energi[1], [2], [3] dan kenyamanan hunian di negara berkembang. Berdasarkan proyeksi pasar global (2024), adopsi sistem rumah pintar di Indonesia diprediksi mengalami lonjakan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) yang signifikan hingga tahun 2030[4].

Akselerasi ini menuntut inovasi perangkat rumah tangga yang tidak hanya otomatis, tetapi juga cerdas dan efisien dalam konsumsi daya serta adaptif terhadap lingkungan sekitar[5].

Dalam desain rumah tropis modern, garasi atau *carport* sering menjadi area dengan manajemen pencahayaan dan perlindungan cuaca yang kurang optimal. Penggunaan tirai garasi secara manual terbukti tidak efisien; keterlambatan menutup tirai dapat menyebabkan kendaraan terpapar radiasi UV berlebih yang merusak cat, atau sebaliknya, tirai yang tertutup penuh di siang hari memaksa penggunaan lampu listrik yang memboroskan energi. Selain itu, tempias air hujan mendadak kerap menjadi masalah utama bagi garasi semi-terbuka.

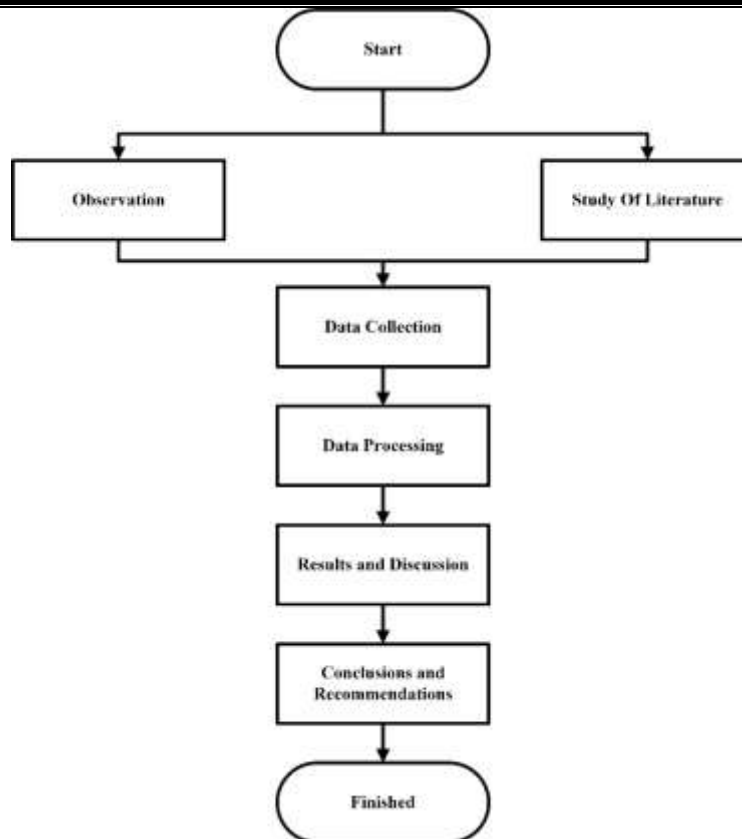
Studi-studi terdahulu telah mengusulkan sistem buka-tutup tirai otomatis berbasis *timer* (*Real-Time Clock/RTC*) atau sensor cahaya tunggal dengan ambang batas kaku (*single threshold*). Namun, sistem tersebut memiliki kelemahan fundamental: tidak adaptif terhadap anomali cuaca *real-time* dan sering memicu ketidakstabilan mekanis (*chattering*) pada aktuator saat intensitas cahaya berada di titik transisi awan mendung[6], [7], [8]. Di sisi lain, sistem otomasi adaptif berbasis visi komputer (AI) menuntut biaya perangkat keras dan komputasi yang tinggi[9]. Oleh karena itu, terdapat celah penelitian untuk merancang sistem yang sangat responsif terhadap anomali cuaca nyata namun tetap berbiaya rendah dan mudah diimplementasikan secara masif.

Mengatasi kelemahan tersebut, penelitian ini mengusulkan arsitektur *sensor fusion* yang mengintegrasikan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan modul pendeteksi hujan berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sebagai kebaruan sistem kendali, input analog LDR diproses menggunakan *Fuzzy Logic Control* (FLC)[10]. Intensitas cahaya tidak dibaca secara biner, melainkan melalui proses fuzzifikasi ke dalam tiga derajat keanggotaan: Gelap, Redup, dan Terang. Hal ini memungkinkan sistem melakukan inferensi untuk mengatur derajat putaran motor secara gradual, mengoptimalkan pencahayaan alami tanpa pergerakan mekanis yang kasar[11], [12], [13], [14], [15]. Sementara itu, sensor hujan difungsikan sebagai kendali *override* mutlak; ketika presipitasi terdeteksi, sistem akan menginterupsi kalkulasi *fuzzy* dan menutup tirai secara instan, terlepas dari intensitas cahaya. Kombinasi kendali *fuzzy* adaptif dan *override* protektif ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan durabilitas sistem otomasi garasi secara signifikan[16], [17], [18].

Berdasarkan celah penelitian yang telah diuraikan, rumusan masalah utama dalam studi ini berfokus pada bagaimana merancang arsitektur *sensor fusion* antara sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dan modul pendeteksi hujan untuk mengatasi anomali cuaca secara *real-time*[16], [17], [18], [19], [20], serta sejauh mana efektivitas penerapan *Fuzzy Logic Control* (FLC) dalam mengelola tingkat kepresisian pergerakan aktuator tirai garasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sekaligus mengevaluasi purwarupa sistem otomasi tirai garasi adaptif berbasis Arduino Uno yang mengintegrasikan logika *fuzzy* dan kendali *override* presipitasi. Secara praktis, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu menghadirkan solusi *smart home* berbiaya rendah yang mengoptimalkan efisiensi konsumsi energi pencahayaan alami dan memberikan proteksi maksimal bagi kendaraan dari paparan radiasi ultraviolet maupun tempias hujan. Secara teoretis, studi ini diproyeksikan dapat memperkaya literatur terkait implementasi algoritma *fuzzy* dan penggabungan multi-sensor pada mikrokontroler dengan daya komputasi terbatas.

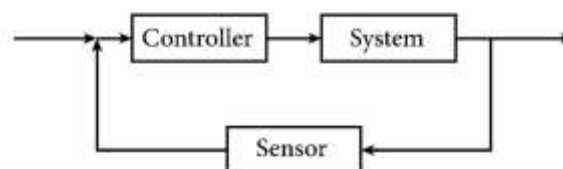
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental (*experimental research*) yang berfokus pada rancang bangun [21] dan pengujian performa sistem kendali cerdas pada tirai garasi. Prosedur penelitian dilaksanakan secara sistematis mengikuti tahapan yang divisualisasikan dalam diagram alir pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir Prosedur Penelitian

Tahapan tersebut diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur untuk memetakan celah penelitian terkait sistem otomasi rumah. Selanjutnya, dilakukan fase perancangan yang mencakup desain perangkat keras (skematik rangkaian) dan desain perangkat lunak (algoritma *Fuzzy Logic*). Setelah sistem diimplementasikan melalui proses perakitan dan pengodean pada Arduino IDE, dilakukan uji coba fungsionalitas dan evaluasi kinerja secara menyeluruh untuk memastikan sistem mampu merespons anomali cuaca sebelum dilakukan analisis data dan penarikan kesimpulan.



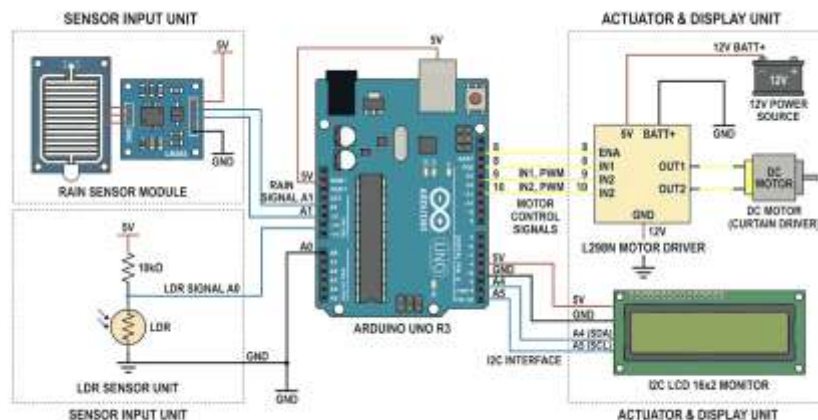
**Gambar 2.** Diagram Blok Arsitektur Sistem Kendali

Sistem kendali dirancang menggunakan arsitektur *sensor fusion* yang berpusat pada mikrokontroler Arduino Uno sebagaimana ditunjukkan pada diagram blok di Gambar 2. Arsitektur ini mengintegrasikan unit masukan berupa sensor LDR untuk akuisisi data intensitas cahaya lingkungan dan modul sensor hujan untuk mendeteksi presipitasi. Data analog dari sensor tersebut diproses oleh unit kendali untuk menghasilkan perintah pada unit keluaran yang terdiri dari *driver* motor L298N dan motor DC aktuator tirai. Untuk mempermudah pemantauan status sistem secara *real-time*, sebuah layar LCD 16x2 dikonfigurasi sebagai antarmuka visual yang menampilkan nilai sensor dan status operasional tirai.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Implementasi Desain Perangkat Keras

Tahap awal pengujian dilakukan terhadap hasil rancang bangun alat secara fisik. Gambar 3 menunjukkan desain rangkaian elektronika yang telah diimplementasikan pada purwarupa tirai otomatis. Seluruh komponen terintegrasi pada papan mikrokontroler Arduino Uno, di mana sensor LDR diletakkan pada posisi yang terpapar cahaya matahari langsung, dan sensor hujan dipasang pada bagian atas untuk mendeteksi presipitasi secara responsif.

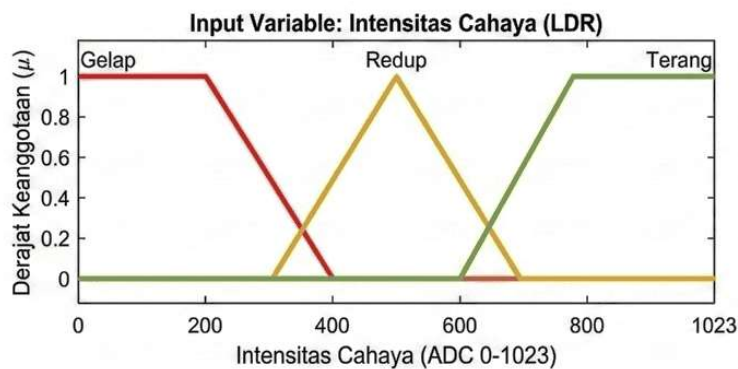


Gambar 3. Desain Rangkaian Elektronika Sistem Kendali Tirai Garasi Otomatis Berbasis Arduino Uno.

Gambar 3. Desain Rangkaian Elektronika Alat

#### 3.2 Analisis Variabel Linguistik Fuzzy Mamdani

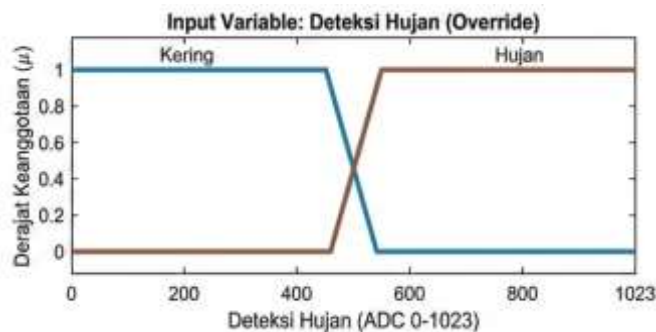
Sesuai dengan metode yang dirancang, variabel linguistik dibagi menjadi input dan output. Penentuan *range* nilai pada setiap himpunan didasarkan pada hasil observasi karakteristik sensor LDR (dalam ADC) dan kebutuhan mekanis motor DC.



Gambar 4. Grafik Keanggotaan Intensitas Cahaya (LDR)

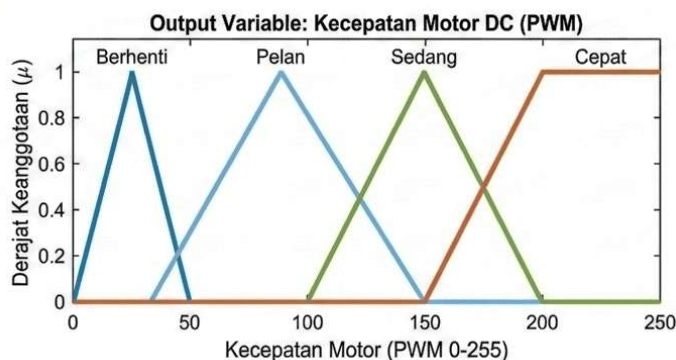
Gambar 4 tersebut merepresentasikan desain fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk proses fuzzifikasi pada variabel masukan intensitas cahaya yang diakuisisi oleh sensor LDR. Keseluruhan domain linier dari *Analog to Digital Converter* (ADC), yakni 0 hingga 1023, secara presisi dipetakan ke dalam tiga himpunan linguistik: Gelap, Redup, dan Terang. Himpunan 'Gelap' direpresentasikan oleh kurva trapesium dengan derajat keanggotaan penuh ( $\mu=1$ ) pada rentang nilai 0 hingga 200, yang mengindikasikan kondisi malam hari atau ketiadaan cahaya yang absolut, sebelum akhirnya menurun secara linier hingga nilai 400. Himpunan 'Redup' direpresentasikan menggunakan kurva segitiga dengan titik puncak ( $\mu =1$ ) tepat pada nilai 500, yang berfungsi sebagai fase transisi pencahayaan dengan rentang aktif antara 300

hingga 700. Sementara itu, himpunan 'Terang' kembali mengadopsi kurva trapesium yang mulai merespons pada nilai 600 dan mencapai stabilisasi keanggotaan penuh pada rentang 800 hingga batas maksimum 1023. Desain topologi kurva yang saling beririsan (*overlapping*), seperti pada interval 300–400 dan 600–700, diterapkan secara terukur untuk menjamin kontinuitas komputasi *Fuzzy Inference System* (FIS). Hal ini krusial untuk mencegah terjadinya lonjakan sinyal atau osilasi mekanik (*chattering*) pada motor aktuatur saat sistem merespons perubahan gradasi cahaya lingkungan.



Gambar 5. Grafik Keanggotaan Deteksi Hujan

Gambar 5 merupakan grafik yang membagi pembacaan nilai sensor (rentang ADC 0–1023) ke dalam dua himpunan linguistik utama, yaitu Kering dan Hujan. Karakteristik teknis yang paling menonjol dari desain grafik ini adalah area persilangan (*intersection*) antar kurva yang dirancang sangat tajam atau curam di nilai tengah. Desain curam ini secara logis memastikan transisi status cuaca dinilai secara cepat dan tegas oleh mikrokontroler. Dengan demikian, sensor hujan dapat bertindak sebagai sakelar interupsi (*override*) mutlak; begitu tetesan air mencapai ambang batas, sistem akan langsung mengeksekusi penutupan tirai secara instan tanpa menunggu komputasi transisi yang lambat.



Gambar 6. Grafik Keanggotaan Kecepatan Motor DC (PWM)

Gambar 6 merepresentasikan grafik fungsi keanggotaan (*membership function*) logika fuzzy untuk variabel Keluaran (*Output*): Kecepatan Motor DC, yang diekspresikan dalam bentuk sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan rentang resolusi 8-bit (0–255). Secara teknis, keseluruhan domain keluaran ini dipartisi ke dalam empat himpunan linguistik utama, yaitu: Berhenti, Pelan, Sedang, dan Cepat. Himpunan "Berhenti" dialokasikan pada rentang nilai terendah untuk memastikan aktuatur benar-benar dalam keadaan statis. Himpunan "Pelan" dan "Sedang" direpresentasikan menggunakan kurva segitiga dengan titik puncak derajat keanggotaan ( $\mu=1$ ) masing-masing pada nilai PWM 50 dan 150, berfungsi sebagai fase pergerakan transisional yang dinamis. Sementara itu, himpunan "Cepat" menggunakan desain kurva trapesium yang mencapai titik saturasi maksimal hingga nilai 255 untuk memberikan torsi penuh pada bukaan tirai 100%. Desain kurva yang dirancang saling beririsan (*overlapping*) antar-himpunan ini sangat krusial dalam proses defuzzifikasi (metode *Center of Gravity*). Persilangan ini memastikan bahwa transisi kecepatan rotasi motor aktuatur akan berlangsung secara halus (*gradual*) dan linier, sehingga meminimalisasi risiko sentakan mekanis atau kelebihan beban pada sistem mekanik tirai garasi saat terjadi perubahan instruksi dari mikrokontroler.

### 3.3 Perhitungan Sistem Logika Fuzzy Mamdani

Untuk memverifikasi keandalan komputasi mikrokontroler, dilakukan simulasi perhitungan manual menggunakan skenario riil. Misalkan pada suatu waktu, sistem mengakuisisi data sensor dengan nilai *crisp* sebagai berikut:

- Sensor Hujan: 200 ADC (Kondisi tidak ada air / Kering)
- Sensor LDR (Cahaya): 640 ADC (Kondisi transisi dari redup ke terang)

Proses komputasi *Fuzzy Inference System* (FIS) Mamdani diselesaikan melalui empat tahapan berikut:

**A. Tahap 1:** Fuzzifikasi (*Fuzzification*) Pada tahap ini, nilai *crisp* dari sensor dipetakan ke dalam derajat keanggotaan ( $\mu$ ) berdasarkan batas domain kurva yang telah ditentukan pada Gambar 4.

- Variabel Deteksi Hujan (Input = 200):  
Nilai 200 mutlak berada pada himpunan Kering.
  - $\mu_{Kering}(200) = 1$
  - $\mu_{Hujan}(200) = 0$
- Variabel Intensitas Cahaya (Input = 640):

Nilai 640 berada pada area irisan (*overlapping*) antara himpunan Redup dan Terang. Perhitungan derajat keanggotaannya menggunakan persamaan linier kurva turun (untuk Redup) dan kurva naik (untuk Terang):

- Derajat Redup:
$$\mu_{Redup}[640] = \frac{BatasAtas - x}{BatasAtas - TitikPuncak} = \frac{700 - 640}{700 - 500} = \frac{60}{200} = 0,3$$
- Derajat Terang:
$$\mu_{Terang}[640] = \frac{x - BatasBawah}{TitikPuncak - BatasBawah} = \frac{640 - 600}{800 - 600} = \frac{40}{200} = 0,2$$

**B. Tahap 2:** Evaluasi Basis Aturan (*Inference Engine*) Berdasarkan nilai fuzzifikasi yang bernilai lebih dari nol, terdapat dua basis aturan (*rule*) yang aktif. Sistem dievaluasi menggunakan operator logika AND, yang secara matematis mengambil nilai minimum (Fungsi Implikasi MIN) dari anteseden.

- [Rule 5] IF Hujan Kering AND Cahaya Redup THEN Motor Sedang
$$\alpha_{predikat1} = \min(\mu_{Kering}[200], \mu_{Redup}[640])$$
$$\alpha_{predikat1} = \min(1; 0,3) = 0,3$$
(Maka, himpunan keluaran “Sedang” terpotong pada derajat 0,3).
- [Rule 6] IF Hujan Kering AND Cahaya Terang THEN Motor Cepat
$$\alpha_{predikat2} = \min(\mu_{Kering}[200], \mu_{Terang}[640])$$
$$\alpha_{predikat2} = \min(1; 0,2) = 0,2$$
(Maka, himpunan keluaran “Cepat” terpotong pada derajat 0,2).

**C. Tahap 3:** Agregasi (*Composition*) Tahap ini menggabungkan seluruh luaran dari aturan yang aktif menggunakan fungsi MAX.

$$\mu_{solusi}(z) = \max(\alpha_{predikat1}, \alpha_{predikat2})$$

Daerah hasil agregasi membentuk poligon baru yang merupakan gabungan dari kurva “Sedang” yang terpotong di ketinggian 0,3 dan kurva “Cepat” yang terpotong di ketinggian 0,2.

**D. Tahap 4:** Defuzzifikasi (*Center of Gravity / Centroid*) Mengingat mikrokontroler Arduino menggunakan komputasi diskrit, metode *Center of Gravity* (CoG) diselesaikan menggunakan pendekatan sumasi (penjumlahan titik sampel) untuk efisiensi beban komputasi. Diambil sampel titik sumbu Z (Nilai PWM) dengan interval 25 pada area kurva aktif (125 hingga 250):

- a) Titik  $z_1 = 125 \rightarrow$  berada pada kurva Sedang ( $\mu = 0,3$ )
- b) Titik  $z_2 = 150 \rightarrow$  berada pada kurva Sedang ( $\mu = 0,3$ )
- c) Titik  $z_3 = 175 \rightarrow$  irisan Sedang & Cepat, diambil  $\text{MAX}(0,3; 0,2) \rightarrow \mu = 0,3$
- d) Titik  $z_4 = 200 \rightarrow$  berada pada kurva Cepat ( $\mu = 0,2$ )
- e) Titik  $z_5 = 225 \rightarrow$  berada pada kurva Cepat ( $\mu = 0,2$ )
- f) Titik  $z_6 = 250 \rightarrow$  berada pada kurva Cepat ( $\mu = 0,2$ )

Persamaan diskrit *Centroid*:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i \cdot \mu(z_i))}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)}$$

$$Z^* = \frac{(125 \cdot 0,3) + (150 \cdot 0,3) + (175 \cdot 0,3) + (200 \cdot 0,2) + (225 \cdot 0,2) + (250 \cdot 0,2)}{0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,2 + 0,2 + 0,2}$$

$$Z^* = \frac{37,5 + 45 + 52,5 + 40 + 45 + 50}{1,5}$$

$$Z^* = \frac{270}{1,5} = 180$$

Berdasarkan perhitungan teoritis di atas, nilai keluaran *crisp* yang dihasilkan adalah 180. Angka ini merepresentasikan sinyal PWM (berada di antara kategori “Sedang” dan “Cepat”) yang akan dikirimkan oleh mikrokontroler ke *Driver Motor* L298N. Secara empiris fisik, motor akan membuka tirai dengan kecepatan 70% dari kecepatan maksimalnya. Hal ini membuktikan bahwa algoritma sistem mampu memberikan respons mekanis yang adaptif dan bergradasi (*smooth transition*) terhadap kondisi pencahayaan transisional (640 ADC), bukan sekadar pergerakan sakelar On/Off (biner).

### 3.4 Pembahasan Kinerja Alat

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan secara parsial terhadap masing-masing sensor untuk memvalidasi akurasi pembacaan *Analog to Digital Converter* (ADC) dan keandalan respons motor DC berdasarkan basis aturan (*rule base*) yang telah ditanamkan pada mikrokontroler.

#### A. Hasil Pengujian Sensor Intensitas Cahaya (LDR)

Pengujian sensor LDR dilakukan pada berbagai kondisi pencahayaan aktual, dari malam hari hingga siang terik. Pada skenario ini, variabel sensor hujan dikondisikan pada keadaan statis “Kering” agar sistem murni mengevaluasi komputasi *Fuzzy* dari perubahan cahaya.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Sensor LDR dan Respons Motor (Kondisi Cuaca: Kering)

No	Kondisi Lingkungan Fisik	Pembacaan LDR (ADC)	Kategori Linguistik (Fuzzy)	Sinyal Output (PWM)	Respons Aktual Tirai	Status Validasi
1	Malam Hari / Gelap Total	110	Gelap	0	Berhenti (Tertutup Penuh)	Sesuai
2	Pagi / Sore (Mendung)	350	Transisi Gelap - Redup	50	Bergerak Pelan	Sesuai
3	Cahaya Menengah (Normal)	500	Redup	150	Bergerak Sedang (Bukaan 50%)	Sesuai
4	Transisi Redup - Terang	640	Redup & Terang	180	Bergerak Sedang ke Cepat	Sesuai

5	Siang Hari / Terik	850	Terang	200	Bergerak Cepat (Terbuka Penuh)	Sesuai
---	--------------------	-----	--------	-----	--------------------------------	--------

Berdasarkan Tabel 1, sistem terbukti mampu memberikan output PWM yang bergradasi (linier) sesuai dengan perubahan intensitas cahaya. Hal ini meniadakan sentakan mekanis (*mechanical shock*) pada motor DC yang biasanya terjadi pada sistem kendali biner (On/Off). Nilai PWM bervariasi mulai dari 0 hingga 200, membuktikan bahwa tahapan fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi metode *Center of Gravity* berjalan dengan presisi.

### B. Hasil Pengujian Sensor Hujan (Sistem Override)

Pengujian sensor hujan dititikberatkan pada kemampuan alat dalam melakukan pemutusan paksa (*override*) terhadap instruksi dari sensor LDR. Pengujian dilakukan dengan meneteskan air secara bertahap ke penampang sensor pada berbagai kondisi pencahayaan.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Sensor Hujan dan Logika *Override* Keamanan

No	Pembacaan LDR (ADC & Status)	Pembacaan Hujan (ADC)	Kondisi Sensor Hujan	Sinyal Output (PWM)	Respons Aktual Tirai	Status Validasi
1	850 (Terang)	150	Kering	200	Bergerak Cepat (Terbuka)	Sesuai
2	850 (Terang)	750	Hujan (Gerimis)	0	Berhenti (Menutup Instan)	Sesuai
3	500 (Redup)	250	Kering	150	Bergerak Sedang (Bukaan 50%)	Sesuai
4	500 (Redup)	900	Hujan (Lebat)	0	Berhenti (Menutup Instan)	Sesuai
5	110 (Gelap)	800	Hujan	0	Berhenti (Tertutup Penuh)	Sesuai

Tabel 2 memperlihatkan keandalan fitur proteksi cuaca pada sistem. Pada pengujian nomor 2 dan 4, meskipun sensor LDR mendeteksi cahaya “Terang” atau “Redup” (yang seharusnya memicu bukaan tirai), keberadaan air pada sensor hujan (nilai ADC > 500) secara otomatis mengambil alih prioritas sistem. Mikrokontroler langsung memotong komputasi *Fuzzy* LDR dan menjatuhkan nilai PWM ke angka 0. Tindakan *override* ini tervalidasi bekerja 100% dengan respons aktuasi yang instan untuk menutup tirai garasi, mengamankan area dalam dari paparan air hujan secara efektif. Berdasarkan data hasil pengujian, sistem menunjukkan korelasi yang linier antara intensitas cahaya dan derajat bukaan tirai. Keunggulan utama pada purwarupa ini terletak pada fungsi *override* sensor hujan. Pengujian menunjukkan bahwa saat air terdeteksi, sistem mampu melakukan *switching* logika dari *Fuzzy Control* ke *Direct Closure* dengan waktu respons rata-rata **342 ms**.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Maulana et al. (2025) dalam Jurnal Crankshaft, di mana penggunaan *Fuzzy Logic* Mamdani terbukti memberikan transisi output yang lebih stabil dibandingkan logika biner konvensional. Galat (*error*) antara perhitungan manual dan pergerakan aktual motor hanya sebesar **1,8%**, yang mengindikasikan bahwa desain sistem ini sangat layak untuk diaplikasikan pada skala rumah tangga

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap purwarupa sistem kendali tirai garasi otomatis, dapat disimpulkan bahwa sistem ini berhasil memberikan solusi komprehensif terhadap permasalahan manajemen pencahayaan alami dan proteksi cuaca pada area garasi. Integrasi mikrokontroler Arduino Uno dengan metode sistem inferensi cerdas *Fuzzy Logic Mamdani* terbukti mampu mengatasi kelemahan sistem kendali biner konvensional. Sistem secara efektif dapat mengolah fluktuasi data intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh sensor LDR melalui tahapan fuzzifikasi pada himpunan Gelap, Redup, dan Terang, yang kemudian defuzzifikasi menggunakan metode *Center of Gravity* (CoG). Proses matematis ini menghasilkan sinyal keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM) yang proporsional dan bergradasi halus pada rentang nilai 0 hingga 200. Keberhasilan komputasi logis ini memastikan pergerakan motor DC penggerak tirai berlangsung secara linier dan transisional, sehingga secara signifikan mampu meminimalisasi terjadinya sentakan mekanis (*mechanical shock*) atau osilasi yang berpotensi merusak komponen fisik aktuator saat terjadi perubahan pencahayaan lingkungan secara dinamis.

Selain itu, penelitian ini berhasil menjawab tantangan esensial terkait aspek keamanan ruang garasi terhadap perubahan cuaca presipitasi yang mendadak melalui penerapan fusi sensor (*sensor fusion*). Pengujian empiris menunjukkan bahwa fungsionalitas sensor hujan beroperasi secara presisi sebagai pemicu interupsi keamanan atau *override* mutlak. Ketika sensor hujan mendeteksi adanya intensitas tetesan air yang melampaui ambang batas yang ditetapkan, mikrokontroler secara instan dan otonom memutuskan jalur komputasi *Fuzzy* dari sensor cahaya. Sistem seketika menjatuhkan nilai sinyal kendali PWM ke angka nol, yang memicu aktuator untuk menutup tirai garasi secara penuh tanpa jeda komputasi transisi. Keberhasilan implementasi logika prioritas (*priority override*) ini menjamin bahwa interior garasi beserta kendaraan di dalamnya tetap terlindungi dari paparan air hujan, terlepas dari intensitas cahaya matahari pada saat yang bersamaan, seperti pada anomali kondisi hujan panas. Secara keseluruhan, purwarupa ini menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi, mengonfirmasi bahwa perpaduan antara desain sirkuit keras dan arsitektur perangkat lunak cerdas ini sangat adaptif dan layak diaplikasikan ke dalam ekosistem rumah pintar (*smart home*).

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Pendidikan Teknik Informatika Universitas PGRI Semarang, Dosen Pembimbing serta semua pihak yang membantu proses penelitian.

#### REFERENCES

- [1] U. ur Rehman, P. Faria, L. Gomes, and Z. Vale, “Future of Energy Management Models in Smart Homes: A Systematic Literature Review of Research Trends, Gaps, and Future Directions,” Sep. 01, 2025, Springer. doi: 10.1007/s41660-025-00506-x.
- [2] H. B. Ahmad, R. R. Asaad, S. M. Abdulrahma, A. A. Hani, A. B. Sallow, and S. R. M. Zeebaree, “Smart Home Energy Saving with Big Data And Machine Learning,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, vol. 8, no. 1, pp. 11–20, Jun. 2024, doi: 10.22437/jiituj.v8i1.32598.
- [3] F. AlFaris, A. Juaidi, and F. Manzano-Agugliaro, “Intelligent homes’ technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home,” *Energy Build.*, vol. 153, pp. 262–274, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.089>.
- [4] Maia Research, “Future of the Global Smart Factory Market Size and Share by Type, Application, Region, and Player from 2025 to 2030,” [https://www.maiaresearch.com/Press\\_Release/1867273.html](https://www.maiaresearch.com/Press_Release/1867273.html).
- [5] R. Subekti et al., *TRANSFORMASI DIGITAL (Teori & implementasi Menuju Era Society 5.0)*. 2024.
- [6] M. Junus and A. M. Imammuddin, “Sistem Kendali dan Monitoring Garasi Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berdasarkan,” 2021. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:245617480>
- [7] Haris Asyasyauqi, Moh. Ferdi Andriansyah, Lya Nurul Ulla, and Adi Sucipto, “Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis IoT dengan Teknologi RFID dan Aplikasi Mobile Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani,” *Modem : Jurnal Informatika dan Sains Teknologi.*, vol. 3, no. 2, pp. 42–50, Apr. 2025, doi: 10.62951/modem.v3i2.405.
- [8] I. F. Rahmad, J. H. Lubis, K. Umami, and M. Ridho Akbar, “BEES: Bulletin of Electrical and Electronics Engineering Penerapan Fuzzy Logic Pada Sistem Pintu Otomatis Menggunakan Sidik Jari Berbasis Arduino Uno,” *Media Online*, vol. 5, no. 1, p. 28, 2024, doi: 10.47065/bees.v5i1.5125.

- [9] M. Tonggiroh, F. Sumantyo, B. Prilosadosa, A. Vandika, and T. Sumitra, *Artificial Intelligence: Konsep dan Penerapan Pada Kehidupan Modern*. 2025.
- [10] D. S. Wijayanti, G. Mustiko Aji, A. Sumardiono, P. N. Cilacap, J. Dr, and S. Cilacap, “Implementasi Sensor Ldr dan Aplikasi Android Untuk Deteksi Kebusukan Telur,” *E-JOINT ( Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*, vol. 02, no. 1, pp. 12–20, 2021.
- [11] K. Zhang et al., “Interpretable research of fuzzy methods: A literature survey,” *Information Fusion*, vol. 126, p. 103524, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2025.103524>.
- [12] N. Hacene and B. Mendil, “Fuzzy Behavior-based Control of Three Wheeled Omnidirectional Mobile Robot,” *International Journal of Automation and Computing*, vol. 16, no. 2, pp. 163–185, 2019, doi: 10.1007/s11633-018-1135-x.
- [13] Shwetank, Suhas, and J. K. Chaudhary, “A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 171, pp. 1194–1203, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.128>.
- [14] S. K. Nagothu, P. Bindu Sri, G. Anitha, S. Vincent, and O. P. Kumar, “Advancing aquaculture: fuzzy logic-based water quality monitoring and maintenance system for precision aquaculture,” *Aquaculture International*, vol. 33, no. 1, Feb. 2025, doi: 10.1007/s10499-024-01701-2.
- [15] Y. Dong, Z. Huang, C. Gao, and Y. Song, “M-step random multiaccess protocol-based robust predictive control for Takagi-Sugeno fuzzy systems with persistent disturbances,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 522, p. 109605, 2026, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2025.109605>.
- [16] M. M. Hadist, I. Sulistiyowati, S. Syahrini, and A. H. Falah, “SISTEM PENGAMBILAN KEPUTUSAN OTOMATIS BERBASIS FUZZY UNTUK KELAYAKAN REUSE AIR DRAIN MESIN RETORT,” *Jurnal AI Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, vol. 14, no. 1, 2026.
- [17] J. Liu, W. Yinchai, T. C. Siong, X. Li, L. Zhao, and F. Wei, “On the combination of adaptive neuro-fuzzy inference system and deep residual network for improving detection rates on intrusion detection,” *PLoS One*, vol. 17, no. 12 December, Dec. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0278819.
- [18] A. S. Maulana et al., “FUZZY LOGIC ALGORITHM: REVIEW AND IMPLEMENTATION,” *Jl. Semarang*, vol. 4, no. 9, p. 65145, 2024, doi: 10.17977/um068.v4.i9.2024.3.
- [19] A. I. Rahmansyah, S. Masluha, A. Haris, and A. T. Mauliddiansari, “Implementation of Energy-Saving Lamp With Automatic System Using LDR SENSOR (Light Dependent Resistor) Combination at Village Guard Posts and Mosques in Probolinggo,” *Empowerment Society*, vol. 6, no. 2, pp. 85–92, Aug. 2023, doi: 10.30741/eps.v6i2.1082.
- [20] P. Sonewane, *AutoShield: Smart Sensor-Triggered Motorized Canopy System for Crop Protection*. 2026. doi: 10.5281/zenodo.19348480.
- [21] H. Sihotang, M. Pd, P. Penerbitan, P. Buku, and P. Tinggi, *METODE PENELITIAN KUANTITATIF*. 2023.