

PROTOTYPE SMART STREET LIGHT SYSTEM BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

Fajar Nugraha Bimantoro¹⁾, Ridho Taufiq Subagio²⁾, Muh Afif Sulhan³⁾

^{1,2,3} Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Catur Insan Cendekia

Jl. Kesambi 202, Kota Cirebon, Jawa Barat Tlp : (0231) 220250

Co Responden Email: fajarnugraha829@gmail.com¹⁾, ridho.taufiq@cic.ac.id²⁾, sulhan.afif@gmail.com³⁾

Article history

Received 07 Apr 2023

Revised 12 Apr 2023

Accepted 11 Jul 2023

Available online 15 Aug 2023

Keywords

PJU,

Smart Street Light System,

Arduino,

Fuzzy Logic

Riwayat

Diterima 07 Apr 2023

Revisi 12 Apr 2023

Disetujui 11 Jul 2023

Terbit 15 Agustus 2023

Kata Kunci

PJU,

Smart Street Light System,

Arduino,

Fuzzy Logic

Abstract

Street lighting plays a crucial role in enhancing the safety and security of the community as a whole, while providing adequate illumination for road users and the surrounding environment. However, the use of street lights installed and illuminated throughout the night also leads to wasteful electricity consumption. Therefore, the purpose of this research is to save electricity usage in street lighting. This research discusses the application of Fuzzy Logic method in the prototype of Arduino-based Smart Street Light System, which utilizes Light Dependent Resistor (LDR) sensor to detect brightness level and Ultrasonic sensor to detect objects around the light. Fuzzy Logic method requires two inputs, namely brightness level and distance. Each input has several predefined values or linguistic terms. The brightness input has three linguistic terms, namely bright, cloudy, and dark, while the distance input has three linguistic terms, namely near, medium, and far. The prototype testing results show that if the light level is detected as dark, the light will illuminate with different intensities based on the object's distance. If the object is far, the light intensity will be 40%, if the object is at a medium distance, the light intensity will be 60%, and if the object is close, the light intensity will be 100%. Additionally, there is a 4-second delay before the light turns on.

Abstrak

Lampu penerangan jalan berperan penting dalam meningkatkan keamanan dan rasa aman masyarakat secara umum, serta memberikan penerangan yang memadai bagi pengguna jalan dan lingkungan sekitarnya. Namun, penggunaan lampu jalan yang terpasang dan menyala sepanjang malam juga mengakibatkan pemborosan energi listrik. Sehingga, maksud dari penelitian ini adalah untuk menghemat penggunaan energi listrik pada lampu penerangan jalan. Penelitian ini membahas penerapan metode Fuzzy Logic pada prototipe Smart Street Light System berbasis Arduino, dengan memakai sensor LDR yang berfungsi sebagai deteksi tingkat kecerahan kemudian sensor Ultrasonic berfungsi mendeteksi objek di sekitar lampu. Metode Fuzzy Logic memerlukan dua inputan, yaitu tingkat kecerahan dan jarak. Setiap inputan mempunyai beberapa nilai baku atau bahasa. Inputan kecerahan memiliki tiga nilai bahasa, yaitu cerah, mendung, dan gelap, sedangkan inputan jarak memiliki tiga nilai bahasa, yaitu dekat, sedang, dan jauh. Hasil pengujian prototipe menunjukkan bahwa jika tingkat cahaya terdeteksi sebagai gelap, lampu akan menyala dengan intensitas yang berbeda berdasarkan jarak objek. Jika jarak objek jauh, maka intensitas cahaya akan menjadi 40%, jika jarak objek sedang, maka intensitas cahaya akan menjadi 60%, dan jika jarak objek dekat, maka intensitas cahaya akan menjadi 100%. Selain itu, terdapat delay waktu selama 4 detik sebelum lampu menyala.

PENDAHULUAN

Saat ini, kemajuan teknologi tidak hanya berperan penting dalam kemajuan ilmu pengetahuan, tetapi juga menyediakan kenyamanan dalam aktivitas sehari-hari

manusia. Kemajuan teknologi yang otomatis dapat menghemat waktu dan mengurangi biaya yang dikeluarkan. Di era modern ini, manusia tidak lagi terbatas oleh waktu, di mana segala aktivitas dapat dilakukan pada

malam hari berkat adanya lampu sebagai sumber cahaya. Pemberian penerangan jalan adalah suatu kebutuhan yang harus dipenuhi oleh Pemerintah Daerah/Kota sebagai tanggung jawab mereka dalam memberikan layanan kepada masyarakat. Dalam rangka memenuhi standar pelayanan minimal bidang perhubungan daerah, lampu penerangan jalan memberikan rasa aman bagi masyarakat, meningkatkan keamanan pengguna jalan, dan menerangi lingkungan sekitar.

Meskipun memiliki sejumlah manfaat, penerangan lampu jalan yang terpasang dan terus menyala terang sepanjang malam masih menggunakan tingkat kecerahan yang maksimal, yang mengakibatkan pemborosan energi listrik. Pada saat lalu lintas jarang dilalui pada tengah malam, penggunaan energi listrik dapat dihemat dengan mengurangi kecerahan cahaya pada lampu. Dishub menyebutkan bahwa di Kota Cirebon terdapat 5.416 PJU dengan tagihan listrik rata-rata Rp 930 juta per bulan. Karena itu, dibutuhkan sistem PJU yang lebih efisien dalam penggunaan energi dan dapat memberikan pencahayaan yang nyaman.. Efisiensi energi mengacu pada prinsip, teknik dan metode yang mempunyai kemungkinan untuk mencapai hasil yang sama dengan penggunaan energi yang lebih rendah atau mendapatkan hasil yang lebih besar dengan penggunaan energi yang sama. Pentingnya efisiensi energi telah ditekankan melalui regulasi, seperti yang diatur dalam Undang-Undang No 30 tahun 2007 dan Peraturan Pemerintah Nomor 70 Tahun 2009 tentang konservasi energi. Topik ini telah menjadi populer karena permintaan energi di seluruh dunia terus meningkat setiap tahun. Oleh karena itu, efisiensi energi merupakan tanggung jawab bersama bagi sektor swasta, pemerintah, dan masyarakat secara keseluruhan.

Smart Street Light System adalah sistem kontrol penerangan jalan cerdas yang menggunakan kecerdasan buatan (logika program sebelumnya) untuk memberikan layanan otomatis. Dalam situasi ini, penulis memiliki minat untuk mengembangkan suatu model awal sistem penerangan jalan yang dapat menyala dengan otomatis pada waktu malam dengan menggunakan *LDR (sensor Light Dependent Resistor)* dan *Ultrasonic*

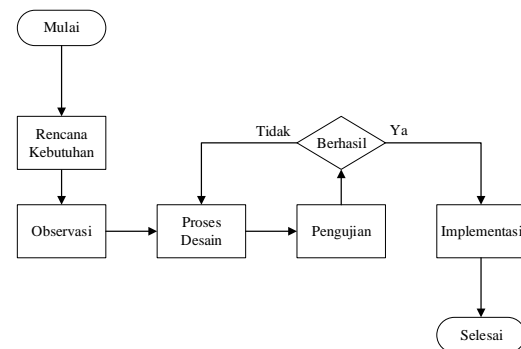
menggunakan *Fuzzy Logic*. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsumsi energi listrik tanpa mengorbankan kenyamanan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Tujuan utama penelitian ini pada dasarnya adalah mengembangkan suatu produk yang berfokus pada pembuatan Prototype Smart Street Light System yang berbasis Arduino dengan menggunakan pendekatan Fuzzy Logic. Dalam rangka mencapai tujuan penelitian tersebut, penulis memilih untuk menggunakan metode pengembangan sistem yang dikenal sebagai *Rapid Application Development (RAD)*.

Rapid Application Development (RAD) adalah suatu metode sekuensial dan linier yang menitikberatkan pada pengembangan yang cepat. Dalam pengembangan sistem informasi konvensional, biasanya memerlukan waktu setidaknya 170 hari untuk menyelesaikannya, tapi dengan *RAD method*, sebuah sistem bisa selesai dengan rentang waktu 28-85 hari. Model pengembangan RAD sistem memiliki tahapan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Prosedur Penelitian

Keterangan Gambar 2.1 :

1. Rencana Kebutuhan

Dalam fase ini, penulis melakukan studi pustaka guna mengumpulkan informasi mengenai persyaratan peralatan dan bahan yang diperlukan, serta metode yang diperlukan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan.

2. Observasi

Setelah itu, penulis juga melakukan observasi langsung terhadap objek untuk kemudian merancang sistem *smart street light*.

3. Proses Desain Sistem

Pada fase ini, penulis melakukan analisis dan perancangan terhadap komponen-komponen yang dibutuhkan dalam sistem yang akan dikembangkan. Dari hasil analisis akan dibuat sebuah rancangan sistem yang akan digunakan dalam penelitian ini. Hasil analisis dan perancangan ini akan dijadikan acuan untuk mengembangkan *Prototype Smart Street Light System* Berbasis Arduino Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*.

4. Pengujian

Berikutnya melakukan uji coba terhadap *smart street light system* dengan melakukan simulasi. Pada tahap uji coba ini akan dilakukan testing pada *smart street light system* dengan mencoba berbagai kondisi pada *smart street light system*. Lalu melihat apakah data masukan dari sensor *Light Dependent Resistant* (LDR), sensor *Ultrasonic* dan proses *Fuzzy Logic* sudah benar. Apabila tidak sesuai maka Penulis akan kembali merubah desain sistem.

5. Implementasi

Tahapan ini adalah tahap lanjutan dari pengujian apabila hasil pengujian sudah sesuai dan tidak ada kesalahan maka penulis akan mengimplementasikan sesuai rancangan yang telah dibuat.

Metode Pengumpulan Data

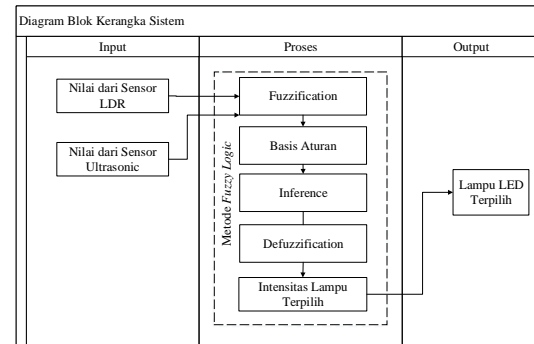
1. Observasi

Observasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengamati dan memperoleh pemahaman tentang suatu proses atau objek dengan tujuan mendapatkan pengetahuan tentang fenomena tersebut berdasarkan pengetahuan dan ide-ide yang sudah diketahui sebelumnya.

2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan metode yang digunakan untuk mengumpulkan sumber yang terkait dengan topik atau metode yang dibahas dalam suatu penelitian. Tahap ini, penulis melakukan kajian dengan mempelajari dan membaca jurnal ilmiah, buku referensi, serta dokumen yang relevan yang tersedia di lingkungan kampus untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan.

Kerangka Sistem



Gambar 2.2. Diagram Blok Kerangka Sistem

Berdasarkan Gambar 2.2 dalam pembuatan *smart street light system* ini dimulai dari pengambilan nilai data sensor *Light Dependent Resistant* (LDR) yang berfungsi untuk mendeteksi cahaya dan merubah nilai resistansi berdasarkan cahaya yang masuk dan sensor *Ultrasonic* yang berfungsi untuk mendeteksi objek dengan gelombang suara yang dipantulkan kemudian akan dilakukan proses *Fuzzy Logic* untuk menentukan intensitas cahaya lampu, jika malam maka kondisi awal lampu akan menyala dengan intensitas cahaya sebesar 40% dan jika ada objek didekat lampu maka lampu akan menyala dengan intensitas cahaya sebesar 100%, sebaliknya jika kondisi siang maka lampu akan mati.

Lampu Penerangan Jalan Umum(PJU)

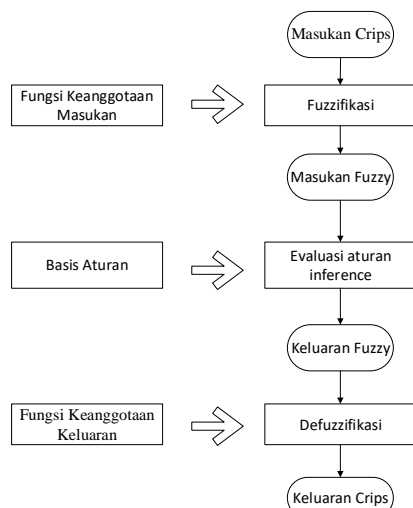
Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) merupakan salah satu elemen infrastruktur yang penting untuk memberikan kenyamanan dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan pada malam hari. PJU terdiri dari berbagai komponen, termasuk sumber cahaya, elemen optik, elemen elektrik, struktur penopang, dan pondasi tiang lampu. Lampu ini dipasang di sisi kiri, kanan, atau tengah jalan dengan tujuan untuk menerangi jalanan dan lingkungan sekitarnya yang membutuhkan penerangan.

Metode Fuzzy Logic Sugeno

Teori mengenai himpunan samar atau *fuzzy set* diperkenalkan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965. Konsep himpunan samar atau *fuzzy set* digunakan

untuk mewakili dan mengatasi masalah ketidakpastian atau kebenaran yang bersifat sebagian. Metode Sugeno adalah salah satu metode *inferensi fuzzy* yang umum digunakan, yang menggambarkan aturan dalam format IF - THEN. Dalam metode ini, output sistem dinyatakan dalam bentuk konstanta atau persamaan linear. Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan Singleton, di mana fungsi keanggotaan tersebut memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai crisp tunggal dan 0 pada nilai crisp lainnya.

Berikut adalah beberapa tahapan logika *fuzzy* :



Gambar 3.1 Metode Fuzzy Logic

Keterangan Gambar 3.1. :

1. *Fuzzification*

Fuzzification merupakan proses mengubah *input* yang memiliki nilai pasti atau tegas (*crisp input*) menjadi bentuk masukan *fuzzy*, yang direpresentasikan oleh nilai linguistik dengan semantik yang ditentukan oleh fungsi keanggotaan tertentu.

2. *Inference*

Inference merupakan proses penalaran yang menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan untuk menghasilkan *fuzzy output*.

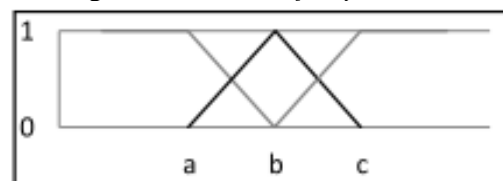
3. *Defuzzification*

Defuzzification merupakan proses mengubah *fuzzy output* menjadi nilai *crisp* berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.

Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah suatu proses yang mengubah pemetaan dari himpunan tegas (*crisp set*) ke himpunan *fuzzy* melibatkan konversi nilai *crisp* ke dalam nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menentukan sejauh mana suatu nilai *crisp* termasuk dalam himpunan *fuzzy* dengan mengatribusikan derajat keanggotaan yang sesuai. Dengan demikian, pemetaan tersebut mengubah nilai tegas menjadi nilai *fuzzy* yang mencerminkan tingkat keterkaitan dengan himpunan *fuzzy* yang terkait. Dalam proses fuzzifikasi, penting untuk memenuhi kriteria di mana semua anggota himpunan tegas harus tercakup dalam himpunan *fuzzy*.

Hal ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan dalam sistem *fuzzy*.



Gambar 3.2 Fungsi Keanggotaan Segitiga

Contoh penulisan formula dengan indeks sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Dalam konteks ini, angka pada sumbu x akan mewakili derajat keanggotaan, sedangkan pada sumbu y akan mewakili nilai dari fungsi keanggotaan *fuzzy*. Misalnya, jika kita mempertimbangkan variabel suhu dengan fungsi keanggotaan "suhu hangat", maka kita dapat menggunakan notasi berikut:

Untuk himpunan *fuzzy* "suhu dingin":

- Jika $x \leq a$, maka nilai fungsi keanggotaan *fuzzy* adalah 1 (derajat keanggotaan maksimum)
- Jika $x > a$, maka nilai fungsi keanggotaan *fuzzy* secara bertahap menurun dari 1 hingga 0 saat x mendekati b.

Untuk himpunan fuzzy "suhu hangat":

- Jika $x \leq a$ atau $x \geq c$, maka nilai fungsi keanggotaan fuzzy adalah 0 (derajat keanggotaan nol)
- Jika $a < x < b$, maka nilai fungsi keanggotaan fuzzy secara bertahap meningkat dari 0 hingga 1 saat x mendekati b .
- Jika $b < x < c$, maka nilai fungsi keanggotaan fuzzy secara bertahap menurun dari 1 hingga 0 saat x mendekati c .

Untuk himpunan fuzzy "suhu panas":

- Jika $x \leq b$, maka nilai fungsi keanggotaan fuzzy secara bertahap meningkat dari 0 hingga 1 saat x mendekati b .
- Jika $x > b$, maka nilai fungsi keanggotaan fuzzy adalah 1 (derajat keanggotaan maksimum).
- Dengan demikian, angka pada sumbu x akan merepresentasikan derajat keanggotaan (0 hingga 1), sedangkan sumbu y akan merepresentasikan nilai dari fungsi keanggotaan fuzzy (misalnya, suhu hangat).

Inferensi

Proses implikasi merupakan tahapan untuk menghasilkan nilai output berdasarkan nilai input dalam pengambilan keputusan. Salah satu model penalaran yang umum digunakan adalah model max-min. Dalam model ini, langkah awal melibatkan operasi minimum (min) antara sinyal output dari lapisan fuzzifikasi. Setelah itu, dilakukan operasi maksimum (max) untuk menentukan nilai output fuzzy yang akan dijadikan sebagai bentuk output tegas setelah melalui proses defuzzifikasi.

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi Merupakan proses mengambil himpunan fuzzy sebagai input yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy. Output yang dihasilkan adalah sebuah bilangan dalam domain himpunan fuzzy tersebut. Dengan kata lain, melalui proses defuzzifikasi, jika kita diberikan suatu himpunan fuzzy dalam rentang tertentu, kita harus dapat menghasilkan sebuah nilai crisp tertentu sebagai output.

Arduino Uno

Arduino Uno adalah varian produk Arduino yang merupakan perangkat elektronik dengan mikrokontroler ATmega328 yang terintegrasi.

Perangkat ini cocok untuk pengembangan rangkaian elektronik dari sederhana hingga kompleks. Dengan Arduino Uno, pengendalian LED dan pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan efektif, meskipun ukurannya relatif kecil.



Gambar 3. 3 Arduino Uno

LDR (Light Dependent Resistor)

Light Dependent Resistor (LDR) adalah resistor yang mengalami perubahan resistansi tergantung pada intensitas cahaya. Resistansi meningkat saat cahaya berkurang dan menurun saat cahaya meningkat.



Gambar 3. 4 Sensor LDR

Sensor Ultrasonic

Ultrasonic sensor merupakan alat yang dapat merubah gelombang suara menjadi sinyal listrik dan begitupun sebaliknya. Prinsip kerjanya berdasarkan pantulan gelombang suara, sehingga memungkinkan dapat mengukur keberadaan objek dengan jarak tertentu menggunakan frekuensi ultrasonik, yang melebihi batas pendengaran manusia.



Gambar 3.5 Sensor Ultrasonic

LED (Light-Emitting Diode)

LED (Light Emitting Diode) merupakan komponen elektronik yang menghasilkan cahaya monokromatik saat diberi tegangan. LED adalah jenis dioda yang terbuat dari

semikonduktor dan warna cahaya yang dipancarkan tergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan. LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak terlihat oleh mata manusia, seperti yang digunakan pada remote control atau perangkat elektronik lainnya.



Gambar 3.6 LED

Breadboard

Breadboard merupakan suatu papan rangkaian elektronik yang digunakan untuk membuat prototipe atau uji coba sementara tanpa melakukan proses soldering. Dengan menggunakan breadboard, komponen elektronik dapat dipasang dan dihubungkan secara sementara tanpa merusaknya.



Gambar 3.7 BreadBoard

Kabel Jumper

Jumper Kabel merupakan kabel listrik yang digunakan untuk menyambungkan komponen pada papan roti tanpa perlu solder. Kabel jumper biasanya memiliki konektor atau pin di kedua ujungnya. Konektor yang digunakan untuk dimasukkan disebut male connector, sementara konektor yang digunakan untuk dimasukkan disebut female connector.



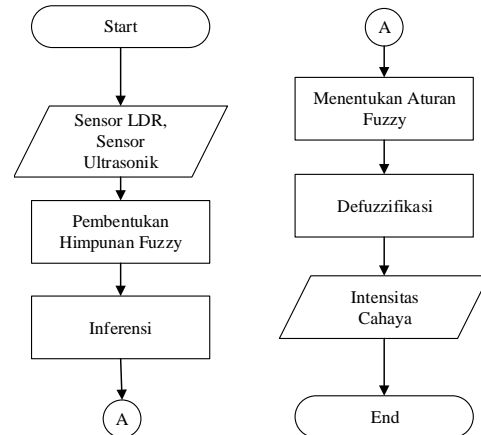
Gambar 3.8 Kabel Jumper

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Metode Fuzzy

Dalam analisis metode fuzzy ini dijelaskan bagaimana perhitungan fuzzy

dilakukan. Tahapan implementasi yang terdapat dalam penelitian ini meliputi fuzzifikasi, basis aturan, inferensi, dan defuzzifikasi. Metode fuzzy mengindikasikan bahwa dalam kontrol fuzzy, terdapat fungsi yang memadai untuk melakukan pemetaan ruang input ke ruang output.



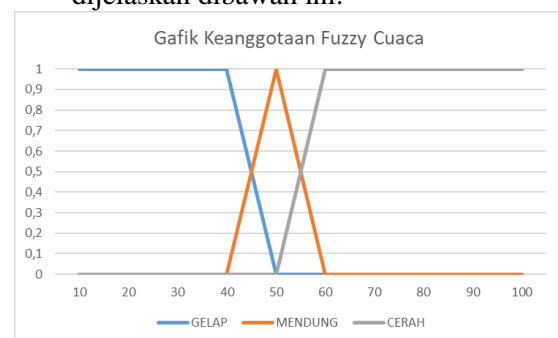
Gambar 4.1 Flowchart Analisa Fuzzy

1. Fuzzification

Dalam proses perhitungan metode logika fuzzy, dilakukan langkah perhitungan fuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan langkah perhitungan yang mengubah nilai input dari bentuk tegas menjadi bentuk fuzzy (linguistik), yang umumnya direpresentasikan dalam bentuk himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaannya masing-masing. Dalam penelitian ini, terdapat dua variabel input, yaitu variabel cuaca dan jarak. Setiap variabel input memiliki nilai linguistik yang masing-masing diwakili.

a) Variabel Cuaca

Cuaca memiliki 3 nilai bahasa yaitu Cerah, Mendung dan Gelap. Adapun proses fungsi keanggotaan cuaca akan dijelaskan dibawah ini:

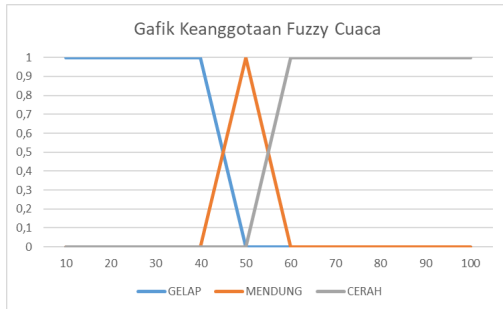


Gambar 4.2 Fungsi Keanggotaan Cuaca

Berikut fungsi keanggotannya :

$$[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Misalnya pada sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) diperoleh nilai tegas (*crisp*) sebesar 45 maka nilai fungsi keanggotaan *fuzzy* pada variabel cuaca adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Fuzzifikasi Cuaca

Jika nilai tegas dari sensor cuaca sebesar 45 maka nilai linguistik yang berlaku adalah Mendung, karena nilai sensor tidak termasuk himpunan lainnya maka bernilai 0, dimana untuk fungsi himpunan sebagai berikut :

$$\mu_{Mendung}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

$$\mu_{Mendung}[x] = \frac{x-a}{b-a}, \quad a \leq x \leq b$$

$$\mu_{Mendung}[45] = \frac{45-40}{50-40}, \quad 40 \leq 45 \leq 60$$

$$\mu_{Mendung}[45] = \frac{5}{10} = 0,5$$

$$\mu_{Mendung}[45] = \frac{5}{10} = 0,5$$

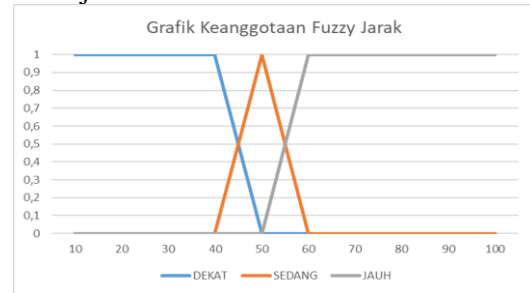
$$\mu_{Cerah}[45] = 0$$

$$\mu_{Gelap}[45] = 0$$

Jadi, pada proses fuzzifikasi variabel cuaca dengan inputan nilai tegas (*crisp*) sebesar 45 menghasilkan nilai keanggotaan 0,5.

b) Variabel Jarak

Untuk Jarak memiliki 3 *linguistic value* yaitu Dekat, Sedang dan Jauh. Adapun proses fungsi keanggotaan jarak akan dijelaskan dibawah ini:

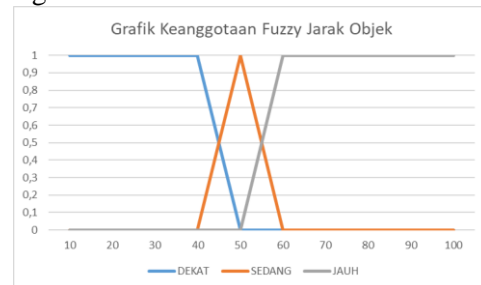


Gambar 4.4 Fungsi Keanggotaan Jarak

Berikut fungsi keanggotannya :

$$[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Misalnya pada sensor *Ultrasonic* diperoleh nilai tegas (*crisp*) sebesar 70 maka nilai fungsi keanggotaan *fuzzy* pada variabel jarak adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Fuzzifikasi Jarak

Jika nilai tegas dari sensor *Ultrasonic* sebesar 70 maka nilai linguistik yang berlaku adalah Jauh, karena nilai sensor tidak termasuk himpunan lainnya maka bernilai 0, dimana untuk fungsi himpunan sebagai berikut :

$$\mu_{Jauh}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

$$\mu_{Jauh}[70] = \frac{70-60}{70-60}, \quad a \leq x \leq b$$

$$\mu_{Jauh}[70] = \frac{10}{10}$$

$$\mu_{Jauh}[70] = 1$$

$$\mu_{Sedang}[70] = 0$$

$$\mu_{Dekat}[70] = 0$$

Jadi, pada proses fuzzifikasi variabel cuaca dengan inputan nilai tegas (*crisp*) sebesar 70 menghasilkan nilai keanggotaan 1.

2. Basis Aturan

Langkah selanjutnya dalam perhitungan nilai fuzzy adalah pembuatan aturan fuzzy. Aturan fuzzy digunakan untuk menghasilkan output berupa durasi waktu lampu menyala. Dalam pembuatan aturan, penulis menggunakan "IF" dan "AND" untuk baris aturan, dan output dinyatakan dengan perintah "THEN". Pada Metode Fuzzy Sugeno menggunakan fungsi implikasi min.

Tabel 4.1 Basis Aturan

Rule	Cuaca	Jarak	Lampu	Intensitas
Rule 1	Terang	Jauh	OFF	0
Rule 2	Terang	Sedang	OFF	0
Rule 3	Terang	Dekat	OFF	0
Rule 4	Mendung	Jauh	OFF	0
Rule 5	Mendung	Sedang	OFF	0
Rule 6	Mendung	Dekat	OFF	0
Rule 7	Gelap	Jauh	ON	40
Rule 8	Gelap	Sedang	ON	60
Rule 9	Gelap	Dekat	ON	100

3. Inferensi

Setelah mendapatkan aturan, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan menggunakan fungsi implikasi dari setiap aturan tersebut. Dalam perhitungan ini, nilai fuzzifikasi dimasukkan ke dalam fungsi implikasi untuk mendapatkan nilai terkecil dari setiap nilai fuzzifikasi yang diperoleh, menggunakan fungsi MIN. Persamaan yang digunakan untuk menghitung implikasi dengan menggunakan fungsi MIN dapat dilihat di bawah ini.

$$\mu A \cap B[x] = \min(\mu A[x], \mu B[x])$$

4. Defuzzifikasi

Metode Average (rata-rata) :

$$Z^* = \frac{\sum_i^n a_{predikat_i} * z_i}{\sum_i^n a_{predikat_i}}$$

$$Z^* = \frac{(0 * 0) + (0 * 0) + (0 * 0) + (0 * 0) + (0 * 0) + (0 * 0) + (1 * 40) + (0 * 60) + (0 * 100)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0}$$

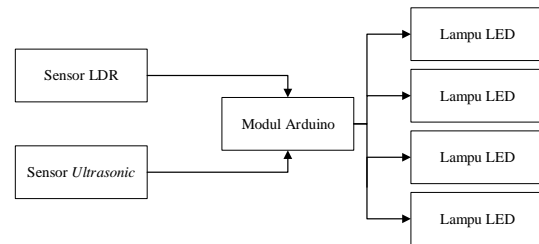
$$Z^* = \frac{40}{1} = 40$$

Kesimpulan : jika nilai sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) bernilai 30 dan sensor *Ultrasonic* 70, maka tingkat intensitas lampu adalah 40.

4.2. Perancangan Prototipe Uusulan

Perancangan merupakan rancangan-rancangan yang akan diusulkan, *flowchart* dan lainnya yang digunakan dalam pembuatan *smart street light system*.

4.2.1. Diagram Blok Sistem

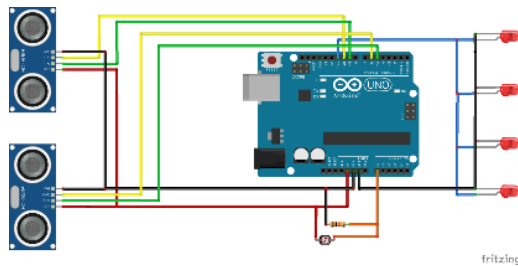


Gambar 4.1. Blok Diagram Smart Street Light System

Keterangan Gambar 4.1. :

1. Sensor LDR (*Light Dependent Resistant*)
Sensor LDR, juga dikenal sebagai sensor cahaya, dirancang untuk mendeteksi intensitas cahaya pada berbagai kondisi waktu, seperti pagi, siang, sore, dan malam. Ketika sensor mendeteksi kegelapan di sekitarnya, lampu akan menyala dengan intensitas cahaya sebesar 40%, sedangkan ketika tidak ada kegelapan yang terdeteksi, lampu akan mati.
2. Sensor *Ultrasonic*
Sensor ini difungsikan pada alat untuk mendeteksi objek sekitar lampu. Ketika ada objek yang terdeteksi maka intensitas cahaya lampu 100% dan ketika objek tidak terdeteksi maka intensitas cahaya lampu kembali ke 40%.
3. Mikrokontroler Arduino
Mikrokontroler Arduino berperan sebagai pengolah input dan output dalam sistem pengaturan intensitas cahaya secara keseluruhan. Di sini, metode Fuzzy Logic diimplementasikan dalam desainnya.
4. *Fuzzy Logic*
Fungsi kecerdasan buatan akan disematkan ke dalam chip mikrokontroler dengan aturan-aturan yang telah ditetapkan. Fuzzy Logic ini akan diterapkan dalam pemrograman Arduino.
5. Lampu LED
Lampu LED, atau *Light Emitting Diode*, digunakan sebagai output dalam perangkat ini, dengan tujuan memancarkan intensitas cahaya.

4.2.2. Rangkaian Smart Street Light System



Gambar 4.2. Rangkaian Sistem Smart Street Light System

Kebutuhan Sistem

Pada proses pengimplementasian dan pengujian *prototype smart street light system* ini diperlukan beberapa kebutuhan, pada penelitian ini kebutuhan komponen *software* dan *hardware* diantaranya sebagai berikut :

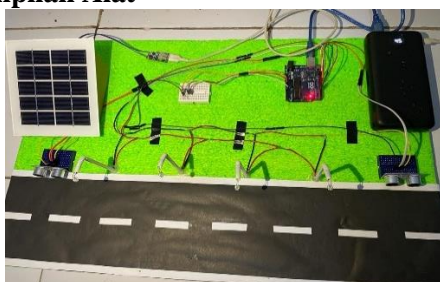
Tabel 5. 1 Kebutuhan Sistem Hardware

No.	Nama Perangkat	Qty	Keterangan
1.	Laptop	1	Ram 4Gb, HDD 1TB, Intel Core i5 8 th Gen.
2.	Arduino Uno	1	Digunakan sebagai pusat kendali rangkaian modul
3.	Solar Panel	1	Digunakan sebagai konversi energi cahaya menjadi energi listrik
4.	Sensor LDR	1	Digunakan sebagai pendeteksi cahaya
5.	Sensor Ultrasonic	2	Digunakan sebagai pendeteksi ada tidaknya objek
8.	Kabel Jumper F-F, M-F.	1 set	Digunakan untuk menghubungkan rangkaian
9.	Kabel USB	1	Digunakan sebagai pengisi daya pada <i>power bank</i>
10.	Breadboard	2	Digunakan sebagai papan untuk memudahkan rangkaian
11.	Power Bank	1	Digunakan sebagai penyimpan daya yang dihasilkan solar panel
13.	Resistor	1	Berfungsi untuk menghambat aliran listrik pada rangkaian
14.	LED	4	Digunakan sebagai penerangan

Tabel 5. 2. Kebutuhan Sistem Software

No.	Nama Perangkat	Keterangan
1.	Arduino IDE	Digunakan untuk menulis kode program
2.	Fritzing	Digunakan untuk merancang rangkaian alat
3.	Microsoft Visio	Digunakan untuk membuat alur program

Tampilan Alat



Gambar 5.1 Tampilan Alat

Pengujian Alat

Tujuan dari pengujian sistem secara menyeluruh adalah untuk mendapatkan beberapa parameter yang dapat menunjukkan kemampuan dan keandalan sistem dalam menjalankan fungsinya. Proses ini dilakukan untuk mengevaluasi hasil dari sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan. Hasil pengujian tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 5. 3. Pengujian Sistem

No	Cuaca	Jarak	Lampu	Intensitas	Nyala Lampu
1.	Terang	Jauh	OFF	0	0
2.	Terang	Sedang	OFF	0	0
3.	Terang	Dekat	OFF	0	0
4.	Mendung	Jauh	OFF	0	0
5.	Mendung	Sedang	OFF	0	0
6.	Mendung	Dekat	OFF	0	0
7.	Gelap	Jauh	ON	40	1 detik
8.	Gelap	Sedang	ON	60	1 detik
9.	Gelap	Dekat	ON	100	4 detik

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, pembahasan, dan pengujian alat di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Prototype Smart Street Light System ini mampu mengefisienkan konsumsi penggunaan daya listrik dengan mengatur tingkat intensitas cahaya lampu.
2. Pemanfaatan sensor LDR sebagai pendeteksi kecerahan atau cahaya dan sensor ultrasonic sebagai pendeteksi objek dapat saling berintegrasi dengan modul arduino pada prototype smart street light system.
3. Metode Fuzzy Logic berhasil diterapkan dan terintegrasi dengan modul arduino untuk menentukan tingkat intensitas cahaya pada smart street light system.

SARAN

Berdasarkan penelitian dan pembuatan alat yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa rekomendasi untuk meningkatkan prototype sistem lampu penerangan jalan pintar ini. Beberapa rekomendasi tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan sistem monitoring untuk mengecek kondisi lampu jika ada kerusakan pada penerangan jalan umum sehingga maintenance lebih mudah.
2. Diperlukan adanya penyesuaian lanjutan pada type sensor ataupun alat pendukung lainnya dengan kondisi jalan yang akan diterapkan smart street light system agar mendapatkan hasil yang maksimal.

REFERENSI

- Q. J. Nabilah, E. Y. Puspaningrum, W. Syaifullah, and J. Saputra. (2020). "Otomatisasi Pengatur Intensitas Cahaya Ruang Menggunakan Logika Fuzzy," *J. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 362–371.
- H. Ganjar Turesna, Zulkarnain. (2017). "Pengendali Intensitas Lampu Ruangan Berbasis Arduino UNO Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 7, no. 2, p. 73, doi: 10.5614/joki.2015.7.2.2.
- A. Al Hafiz. (2020). "Implementasi Metode Fuzzy Logic Pada Intensitas Lampu di Laboratorium Berbasis Arduino," *J. SAINTIKOM (Jurnal Sains Manaj. Inform. dan Komputer)*, vol. 19, no. 2, p. 36, doi: 10.53513/jis.v19i2.2422.
- A. Adam, M. Muharnis, A. Ariadi, and J. Lianda. (2020). "Penerapan IoT Untuk Monitoring Lampu Penerangan Jalan Umum," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.)*, vol. 5, no. 1, pp. 32–41, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.31249.
- K. Fatmawati, E. Sabna, and Y. Irawan. (2020). "Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Riau J. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 124–134.
- Rudini Rudini, Edvin Priatna, Ifkar Usrah (2021). "Analisis Pencahayaan Penerangan Jalan Umum Di Jalan Tol Kabupaten Pangandaran Dan Peluang Hemat Energi", *Journal Of Energy And Electrical Engineering (Jeee)* 8 Vol. 03, No. 01.
- Fitri Puspasari, Imam Fahrurrozi, Trias Prima Satya, Galih Setyawan, Muhammad Rifqi Al Fauzan, dan Estu Muhammad Dwi Admoko (2019). "Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due untuk Sistem Monitoring Ketinggian", *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* Volume 15, No. 2.
- Desmira, Didik Aribowo, Gigih Priyogi, Saeful Islam (2022), "Aplikasi Sensor Ldr (Light Dependent Resistor) Untuk Efisiensi Energi Pada Lampu Penerangan Jalan Umum", *Jurnal PROSISKO* Vol. 9 No.1. p-ISSN : 2406-7733 e-ISSN : 2597-9922.
- Dimas Bayu Rizki, Sumarno, Muhammad Ridwan Lubis, Sundari Retno Andani, Ika Purnama Sari (2022). "Rancang Bangun Lampu Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya Berbasis Arduino Di Polres Pematangsiantar", *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi* Vol. 6 No. 1 P-ISSN 1907-1205 E-ISSN 2622-6391.
- Nurhayati, Besty Maisura (2021). "Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Nyala Lampu dengan Menggunakan Sensor Cahaya Light Dependent Resistor", *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, Vol.5, No. 2.
- Hasibuan.A, Siregar.W.V, Fahri.I. (2020). "Penggunaan Led Pada Lampu Penerangan Jalan Umum Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Penghematan Energi Listrik. JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering). 4 (1) : 18 – 32.
- Awwaluddin Imran Lubis, Saniman Saniman, Milfa Yetri (2022). "Sistem Kendali Lampu Ruangan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Dan Android Berbasis Mikrokontroler", *JURNAL SISTEM KOMPUTER TGD* Volume 1, Nomor 1, Hal 01-09.
- Puput Wanarti Rusimamto, Bambang Suprianto, I Gusti Putu Asto Buditjahjanto (2022). "Sistem Kontrol Intensitas Cahaya Lampu Aquascape Menggunakan Fuzzy Logic Controller

- “Berbasis Arduino”, Jurnal Teknik Elektro. Volume 11 Nomor 02.
- Dewa Buana Muharmadin, Reza Fauzi Iskandar, S.Pd., M.T. , Dr. Eng. Asep Suhendi, S.Si., M.Si (2019). “Pengembangan Kontrol Pencahayaan Terpusat Dengan Logika Fuzzy Untuk Menunjang Kebutuhan Efisiensi Energi Rumah Pintar”, e-Proceeding of Engineering : Vol.6, No.2.
- Ramzi Adriman, Muhammad Asfianda, Afdhal A., Yuwaldi Away (2018). “Sistem Embedded Cerdas Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Efisiensi Konsumsi Energi Listrik”, Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI) Vol. 4, No. 1.