

Optimalisasi Desain Penerangan Jalan Umum (PJU) Akses Gudang PT Petrokimia Gresik Dengan Metode Fuzzy Logic

Muchammad Galih Wibisono¹, Denny Irawan, S.T., M.T.²

^{1,2}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia
e-mail: ¹galihmgw1@gmail.com, ²den2mas@umg.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJU) menggunakan metode fuzzy logic sesuai standar SNI 7391:2008, yang menetapkan persyaratan teknis penerangan jalan guna menjamin keselamatan dan kenyamanan pengguna. Desain existing PJU diketahui kurang optimal dalam hal efisiensi energi dan biaya, dengan jumlah lampu yang berlebihan serta pengaturan yang tidak efektif. Model fuzzy logic dirancang untuk mengatasi masalah tersebut, dengan parameter input meliputi panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu, sedangkan outputnya mencakup jarak antar tiang lampu, tinggi tiang lampu, serta jumlah lampu yang diperlukan. Model ini dikembangkan dan disimulasikan menggunakan MATLAB dengan pendekatan pemasangan lampu secara zigzag pada sisi kanan dan kiri jalan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan desain yang lebih optimal, memenuhi standar SNI 7391:2008, sekaligus menawarkan solusi yang lebih efisien dan efektif dibandingkan desain existing. Dengan pengurangan jumlah lampu dari 46 menjadi 21 unit, konsumsi daya dan biaya investasi berhasil dioptimalkan tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem penerangan jalan berbasis teknologi cerdas, yang tidak hanya memenuhi standar teknis tetapi juga mendukung keberlanjutan serta efisiensi operasional.

Kata kunci— Fuzzy Logic, MATLAB, Penerangan Jalan Umum, Perencanaan PJU, SNI 7391:2008

Abstract

This study aims to analyze the planning of Public Street Lighting (PJU) using the fuzzy logic method according to the SNI 7391:2008 standard, which stipulates the technical requirements for street lighting to ensure the safety and comfort of users. The existing design of PJU is known to be less than optimal in terms of energy efficiency and cost, with an excessive number of lamps and ineffective arrangements. The fuzzy logic model is designed to overcome this problem, with input parameters including road length, road width, and lamp power, while the output includes the distance between lamp poles, the height of the lamp pole, and the number of lamps required. This model is developed and simulated using MATLAB with a zigzag lamp installation approach on the right and left sides of the road. The simulation results show that this method produces a more optimal design, meets the SNI 7391:2008 standard, while offering a more efficient and effective solution than the existing design. By reducing the number of lamps from 46 to 21 units, power consumption and investment costs have been optimized without sacrificing lighting quality. This study makes a significant contribution to the development of a smart technology-based street lighting system, which not only meets technical standards but also supports sustainability and operational efficiency.

Keywords— Fuzzy Logic, MATLAB, Public Street Lighting, PJU Planning, SNI 7391:2008

1. PENDAHULUAN

Penerangan Jalan Umum (PJU) memiliki peran krusial dalam mendukung aktivitas masyarakat, terutama pada malam hari. Sebagai elemen utama dalam infrastruktur jalan, PJU tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan visibilitas pengguna jalan tetapi juga memiliki dampak signifikan terhadap keselamatan dan kenyamanan, khususnya di area industri seperti pabrik. Di lingkungan pabrik, PJU memainkan peran penting dalam mendukung pekerja yang bekerja pada malam hari, memastikan lingkungan kerja yang aman, dan meminimalkan risiko kecelakaan selama proses operasional. Standar SNI 7391:2008 memberikan pedoman teknis yang komprehensif untuk memastikan efisiensi dan efektivitas PJU[1]. Pedoman ini mencakup kriteria seperti intensitas pencahayaan minimum, distribusi cahaya yang merata, dan pola pemasangan lampu. Namun, penerapan standar ini di lapangan sering menghadapi tantangan, termasuk variasi kondisi jalan di area pabrik, keterbatasan daya lampu, dan alokasi anggaran yang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan perencanaan yang fleksibel dan mampu beradaptasi dengan kebutuhan spesifik lingkungan industri.

Metode fuzzy logic dipilih karena kemampuannya dalam menangani sistem dengan parameter yang kompleks dan tidak pasti. Penelitian ini mengembangkan model perencanaan PJU berbasis fuzzy logic yang memanfaatkan variabel input seperti panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu untuk menentukan parameter penting, yaitu jarak antar tiang lampu, tinggi tiang, dan jumlah lampu yang diperlukan. Model ini kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan manual untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensinya.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Maslim dan Dwiandiyanta, menunjukkan bahwa fuzzy logic efektif diimplementasikan untuk optimalisasi lampu lalu lintas dengan memasukkan variabel input berupa panjang antrian pada setiap arah jalur persimpangan, lebar jalan yang diatur, panjang antrian selanjutnya, dan lebar jalan selanjutnya yang diambil dari dua jalur pada persimpangan[2]. Sedangkan pada penelitian Prasetyo dan Sutisna, menunjukkan keberhasilan fuzzy logic untuk pengaturan lampu lalu lintas berbasis mikrokontroler[3]. Prasetyo, Wahyunggoro, dan Sulistyono dalam penelitiannya mendemonstrasikan efektivitas metode Sugeno dalam simulasi pengontrolan adaptif lampu lalu lintas[4]. Dalam penelitian Maulidda, Muslimin, dan Ami, juga dibuktikan keunggulan penggunaan fuzzy logic dalam hal-hal yang mengandung unsur ketidakpastian. Pada penelitiannya fuzzy logic efektif diaplikasikan pada robot penghindar rintangan dapat menghindari halangan yang ada di depan, kanan dan kiri[5].

Dengan menggunakan MATLAB dan DiaLux sebagai *platform* komputasi dan simulasi, didapatkan solusi optimal yang memenuhi standar SNI 7391:2008. Pendekatan pemasangan lampu secara zigzag di sisi kanan dan kiri jalan dioptimalkan untuk menciptakan pencahayaan yang merata dan hemat energi. Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan solusi perencanaan PJU yang sesuai dengan standar tetapi juga mendukung produktivitas dan keselamatan pekerja di area pabrik. Selain itu, perbandingan antara metode fuzzy logic dan perencanaan desain PJU secara konvensional memberikan wawasan mendalam tentang keunggulan teknologi cerdas dalam perencanaan PJU yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Penerangan Jalan Umum dan SNI 7391:2008

Penerangan Jalan Umum (PJU) memiliki peran penting dalam meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan pada malam hari. Untuk memastikan kualitas pencahayaan yang optimal, Indonesia telah menetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7391:2008 sebagai pedoman teknis dalam perancangan dan pemasangan PJU. Standar ini mencakup berbagai spesifikasi yang harus dipenuhi, termasuk tingkat pencahayaan (iluminasi) yang disesuaikan dengan fungsi jalan. Jalan lokal, kolektor, dan arteri memiliki kebutuhan

iluminasi yang berbeda, berkisar antara 5 hingga 20 lux, guna menjamin visibilitas yang memadai sesuai kategori jalan.

Posisi pemasangan lampu juga diatur secara ketat untuk memastikan distribusi cahaya yang merata. Terdapat tiga pola pemasangan yang diizinkan dalam standar ini, yaitu:

1. Satu sisi (single-sided): Cocok untuk jalan sempit atau dengan lalu lintas rendah.
2. Dua sisi (opposite-sided): Digunakan pada jalan dengan lebar lebih besar untuk memastikan pencahayaan yang seimbang di kedua sisi jalan.
3. Zigzag (staggered): Dirancang untuk jalan dengan kebutuhan pencahayaan yang lebih tinggi, seperti jalan kolektor dan arteri, guna mengurangi bayangan dan memastikan distribusi cahaya yang seragam.

Selain itu, standar ini menekankan efisiensi energi dengan memanfaatkan teknologi lampu hemat energi yang memiliki intensitas pencahayaan tinggi dan konsumsi daya rendah. Faktor seperti jarak antar tiang, tinggi tiang, dan jumlah lampu juga diperhitungkan agar penerangan optimal tanpa pemborosan energi.

2.1.2 Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah pendekatan matematika yang pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 sebagai metode untuk menangani ketidakpastian dan data yang ambigu. Tidak seperti logika klasik yang hanya mengenal nilai benar atau salah (1 atau 0), fuzzy logic memungkinkan penggunaan nilai di antara dua ekstrem tersebut. Dalam perencanaan PJU, fuzzy logic digunakan untuk mengatasi kompleksitas hubungan antara berbagai parameter input dan output yang sulit dimodelkan dengan metode konvensional [6][7].

Variabel input seperti panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu dikategorikan ke dalam himpunan fuzzy dengan deskripsi linguistik, seperti pendek, sedang, dan panjang. Proses ini disebut fuzzifikasi, yang memungkinkan data numerik diubah menjadi data linguistik untuk mempermudah analisis. Berdasarkan kombinasi input tersebut, aturan fuzzy yang mencerminkan hubungan logis antara input dan output dirancang. Aturan ini, misalnya:

"Jika panjang jalan sedang dan lebar jalan sedang, maka jarak antar tiang 30 meter"

Selanjutnya, sistem melakukan inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani untuk menentukan keluaran berdasarkan aturan yang ditetapkan. Proses ini diakhiri dengan defuzzifikasi menggunakan metode centroid, yang mengubah hasil fuzzy menjadi nilai numerik konkret, seperti jarak antar tiang dalam meter, tinggi tiang dalam meter, dan jumlah lampu yang dibutuhkan. Dengan pendekatan ini, fuzzy logic menawarkan solusi yang fleksibel dan adaptif untuk perencanaan PJU, terutama saat menangani parameter yang memiliki ketidakpastian atau variasi.

2.1.3 MATLAB

MATLAB adalah perangkat lunak berbasis komputasi numerik yang menyediakan berbagai fitur untuk mendukung analisis data, pemodelan sistem, dan simulasi. Salah satu fitur unggulannya adalah Fuzzy Logic Toolbox, yang dirancang khusus untuk mengembangkan sistem berbasis fuzzy. Toolbox ini menyediakan antarmuka grafis yang memudahkan pengguna dalam mendesain sistem fuzzy tanpa perlu menulis kode secara manual [8]. Dalam aplikasi perencanaan PJU, MATLAB memungkinkan pengguna untuk:

1. Mendefinisikan variabel input dan output: Variabel ini mencakup parameter seperti panjang dan lebar jalan sebagai input, serta jarak antar tiang dan jumlah lampu sebagai output.
2. Menentukan himpunan fuzzy dan fungsi keanggotaan: MATLAB menawarkan berbagai bentuk fungsi keanggotaan, seperti trapezoidal dan triangular, untuk memodelkan data dengan lebih akurat.
3. Membangun aturan fuzzy: Pengguna dapat menetapkan aturan logika berbasis linguistik untuk mendefinisikan hubungan antara input dan output. Misalnya, aturan seperti "Jika panjang jalan panjang dan daya lampu rendah, maka jarak antar tiang pendek."

4. Simulasi dan analisis hasil: MATLAB menyediakan alat visualisasi seperti diagram struktur FIS dan grafik permukaan (surface plot) untuk membantu pengguna memahami bagaimana sistem merespons berbagai skenario input.

Selain itu, MATLAB juga memungkinkan integrasi dengan bahasa pemrograman lain dan mendukung pengolahan data dalam jumlah besar, menjadikannya alat yang sangat efisien untuk mengembangkan dan menguji sistem fuzzy logic dalam berbagai aplikasi teknik, termasuk perencanaan PJU yang mengikuti standar SNI 7391:2008.

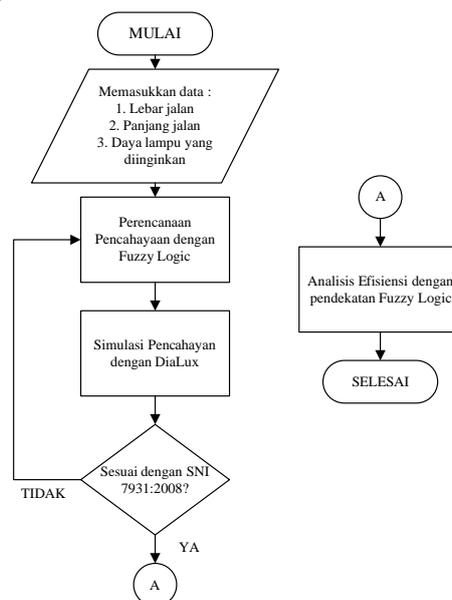
2.1.4 DiaLux

Dialux adalah perangkat lunak simulasi pencahayaan yang banyak digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem pencahayaan, termasuk Penerangan Jalan Umum (PJU). Dikembangkan oleh DIAL GmbH, Dialux memungkinkan pengguna untuk memodelkan tata letak pencahayaan berdasarkan parameter teknis yang terstandar, seperti distribusi intensitas cahaya, tingkat pencahayaan, dan efisiensi energi. Dengan fitur yang mendukung visualisasi tiga dimensi dan analisis mendetail, Dialux telah menjadi alat penting dalam perencanaan pencahayaan di berbagai sektor, termasuk industri, komersial, dan infrastruktur transportasi.

Keunggulan Dialux terletak pada kemampuannya untuk mensimulasikan kondisi pencahayaan secara real-time berdasarkan data input, seperti spesifikasi lampu, posisi pemasangan, dan karakteristik lingkungan. Perangkat lunak ini juga mendukung integrasi dengan standar pencahayaan internasional, termasuk SNI 7391:2008, sehingga memastikan hasil simulasi memenuhi kriteria teknis yang diperlukan. Selain itu, Dialux dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan kualitas desain pencahayaan dengan mempertimbangkan distribusi cahaya, tingkat luminansi, dan penghematan energi.

Dalam penelitian ini, Dialux digunakan untuk mensimulasikan hasil perhitungan komputasi yang dihasilkan oleh MATLAB menggunakan metode fuzzy logic. Hasil dari MATLAB, seperti jarak antar tiang lampu, tinggi tiang, dan jumlah lampu, akan dimasukkan ke dalam Dialux untuk memvalidasi performa pencahayaan berdasarkan parameter standar. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk membandingkan hasil simulasi dengan kondisi ideal sesuai standar, serta mengevaluasi efisiensi rancangan dari segi distribusi cahaya dan tingkat pencahayaan. Dengan demikian, integrasi MATLAB dan Dialux dalam penelitian ini tidak hanya memungkinkan perhitungan yang kompleks melalui fuzzy logic tetapi juga memvalidasi desain pencahayaan secara visual dan teknis. Kombinasi kedua alat ini diharapkan memberikan solusi optimal untuk perencanaan PJU yang efektif, efisien, dan sesuai standar.

2. 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis Fuzzy Logic untuk merancang sistem penerangan jalan umum (PJU) yang sesuai dengan standar SNI 7391:2008. Metodologi yang diterapkan dirancang secara sistematis untuk mengintegrasikan variabel input dan output dengan aturan fuzzy yang relevan, sehingga menghasilkan desain PJU yang optimal dan memenuhi persyaratan teknis. Langkah-langkah penelitian meliputi pengumpulan data dari studi kasus jalan lokal, pembangunan model fuzzy dengan mendefinisikan variabel linguistik dan fungsi keanggotaan, serta implementasi simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB. Proses ini mencakup fuzzifikasi, pembuatan aturan fuzzy, inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani, dan defuzzifikasi dengan metode centroid untuk menghasilkan output yang terukur.

Output yang dihasilkan dari simulasi berupa jarak antar tiang lampu, tinggi tiang lampu, dan jumlah lampu. Hasil simulasi tersebut kemudian diverifikasi dan dievaluasi dengan membandingkannya terhadap spesifikasi teknis yang ditetapkan dalam SNI 7391:2008, simulasi pencahayaan dengan DiaLux, dan perhitungan manual untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan pencahayaan dan efisiensi energi.

2. 2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan (site survey) di area jalan yang menjadi objek penelitian, yaitu jalan akses dari Gudang Multiguna ke Gudang Bahan Baku di kawasan pabrik PT Petrokimia Gresik. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan data primer yang akurat dan relevan, meliputi dimensi jalan, kondisi lingkungan sekitar, dan kebutuhan pencahayaan.



Gambar 2 Proses Survei Lapangan

Berdasarkan hasil survei, panjang jalan yang menjadi objek penelitian tercatat mencapai 690 meter dengan lebar jalan sebesar 8 meter. Selain itu, daya lampu instalasi yang direncanakan untuk penelitian ini adalah sebesar 120 Watt, yang disesuaikan dengan kebutuhan pencahayaan di area industri tersebut. Survei juga mencakup identifikasi parameter lingkungan lainnya yang dapat memengaruhi perencanaan pencahayaan, seperti tingkat lalu lintas, keberadaan hambatan fisik (seperti pepohonan atau struktur bangunan), dan pola aktivitas pekerja di sekitar area tersebut. Data ini digunakan untuk memastikan bahwa perencanaan pencahayaan tidak hanya memenuhi standar SNI 7391:2008 tetapi juga mendukung produktivitas dan keselamatan pekerja yang beroperasi pada malam hari. Hasil survei ini menjadi dasar utama dalam pengembangan model fuzzy logic yang akan digunakan untuk menentukan parameter perencanaan, seperti jarak antar tiang lampu, tinggi tiang, dan jumlah lampu yang dibutuhkan.

2. 2.3 Pemodelan Fuzzy Logic

Dalam pemodelan fuzzy untuk perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJU), dilakukan tiga tahap utama, yaitu input fuzzy, output fuzzy, dan aturan fuzzy. Input fuzzy melibatkan parameter seperti panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu, yang diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu untuk merepresentasikan kondisi yang berbeda. Output fuzzy mencakup parameter desain, seperti jarak antar tiang lampu, tinggi tiang lampu, dan jumlah lampu yang

dibutuhkan, yang juga dikategorikan untuk memastikan fleksibilitas desain. Aturan fuzzy kemudian dirancang untuk menghubungkan input dan output secara logis, menghasilkan rekomendasi yang optimal sesuai dengan kebutuhan perencanaan PJU. Model ini dirancang untuk memastikan desain yang memenuhi standar SNI 7391:2008 sekaligus mempertimbangkan efisiensi energi dan biaya.

2. 2.4 Simulasi dan Evaluasi[9][10]

1. Komputasi MATLAB

Metode fuzzy logic diimplementasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk mendukung perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJU) secara optimal dan sesuai standar SNI 7391:2008. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan input utama berupa panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu, yang mewakili parameter kritis dalam desain pencahayaan jalan. Input tersebut diproses melalui sistem fuzzy untuk menghasilkan output yang meliputi jarak antar tiang, tinggi tiang, dan jumlah lampu yang sesuai dengan kebutuhan jalan. Proses implementasi melibatkan beberapa tahap penting, yaitu definisi input dan output, fuzzifikasi data untuk mengubah nilai numerik menjadi himpunan fuzzy, dan penerapan aturan fuzzy yang menghubungkan input dengan output. Berikut 27 aturan fuzzy yang telah dibuat untuk memastikan bahwa sistem dapat menangani berbagai kombinasi panjang jalan, lebar jalan, dan daya lampu:

Tabel 1 Aturan Fuzzy Kombinasi Input dan Output

No	Panjang Jalan	Lebar Jalan	Daya Lampu	Jarak Tiang (m)	Tinggi Tiang (m)	Jumlah Lampu
1	Pendek	Sempit	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
2	Pendek	Sempit	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
3	Pendek	Sempit	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
4	Pendek	Sedang	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
5	Pendek	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
6	Pendek	Sedang	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
7	Pendek	Lebar	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
8	Pendek	Lebar	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
9	Pendek	Lebar	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
10	Sedang	Sempit	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
11	Sedang	Sempit	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
12	Sedang	Sempit	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
13	Sedang	Sedang	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
14	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
15	Sedang	Sedang	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
16	Sedang	Lebar	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
17	Sedang	Lebar	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
18	Sedang	Lebar	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
19	Panjang	Sempit	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
20	Panjang	Sempit	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
21	Panjang	Sempit	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
22	Panjang	Sedang	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
23	Panjang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
24	Panjang	Sedang	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak
25	Panjang	Lebar	Rendah	Panjang	Rendah	Sedikit
26	Panjang	Lebar	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
27	Panjang	Lebar	Tinggi	Pendek	Tinggi	Banyak

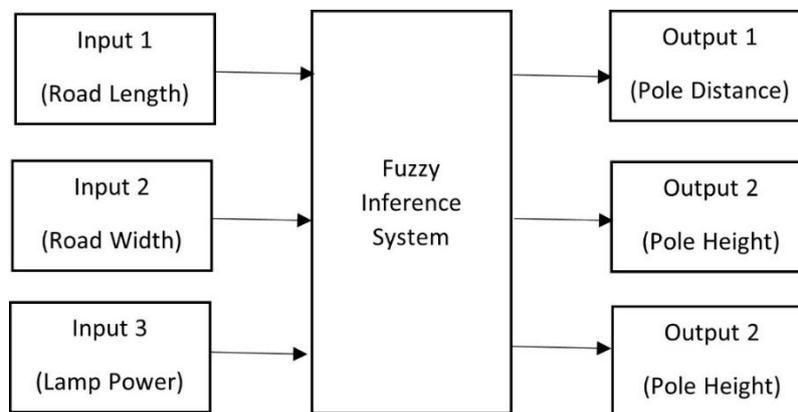
a. Inferensi Fuzzy

Metode Mamdani digunakan untuk memproses data input dan menghasilkan nilai keluaran dengan pendekatan logika fuzzy. Metode ini dipilih karena kemampuannya yang andal dalam menangani sistem dengan aturan-aturan kompleks, serta menghasilkan output yang dapat diinterpretasikan dengan mudah.

b. Defuzzifikasi

Metode centroid digunakan untuk mendapatkan nilai output akhir melalui proses defuzzifikasi. Dalam metode ini, hasil agregasi dari semua aturan fuzzy yang diterapkan dihitung untuk menentukan titik pusat area di bawah kurva keanggotaan. Titik pusat ini mewakili nilai output yang paling optimal dan dapat diinterpretasikan secara jelas. Dengan demikian, metode centroid memungkinkan konversi nilai fuzzy yang bersifat kabur menjadi angka yang lebih pasti dan dapat diterapkan dalam perencanaan, seperti jarak antar tiang, tinggi tiang, dan jumlah lampu pada perencanaan PJU.

Berikut ini adalah struktur dari fuzzy logic yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3 Diagram Struktur Fuzzy Interference System (FIS)

2. Simulasi DiaLux

Pada tahap ini, hasil keluaran dari perhitungan metode fuzzy yang diimplementasikan di MATLAB disimulasikan menggunakan perangkat lunak DiaLux. DiaLux adalah *software* simulasi pencahayaan profesional yang memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan dan mengevaluasi distribusi cahaya di area yang direncanakan. Data yang meliputi jarak antar tiang, tinggi tiang, dan jumlah lampu yang dihasilkan dari metode fuzzy dimasukkan ke dalam perangkat lunak untuk menghasilkan model pencahayaan jalan. Hasil simulasi ini mencakup distribusi intensitas cahaya, cakupan area pencahayaan, dan tingkat pencahayaan yang diukur dalam lux. Simulasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa desain pencahayaan memenuhi standar SNI 7391:2008 dan menciptakan lingkungan yang aman serta nyaman bagi pengguna jalan.

3. Perbandingan dengan Perhitungan Manual

Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi metode fuzzy dengan membandingkan hasilnya dengan perhitungan manual. Perhitungan manual dilakukan berdasarkan formula standar yang digunakan dalam perencanaan PJU, mencakup perhitungan jarak antar tiang, tinggi tiang, dan jumlah lampu menggunakan pendekatan deterministik. Hasil perhitungan manual dibandingkan dengan keluaran metode fuzzy dalam hal kesesuaian terhadap standar, efisiensi energi, dan tingkat pencahayaan.

Analisis ini memberikan gambaran jelas mengenai keunggulan metode fuzzy, terutama dalam menangani parameter yang kompleks dan ketidakpastian yang sering muncul dalam proses perencanaan PJU.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Pemodelan dan Komputasi Fuzzy Logic*

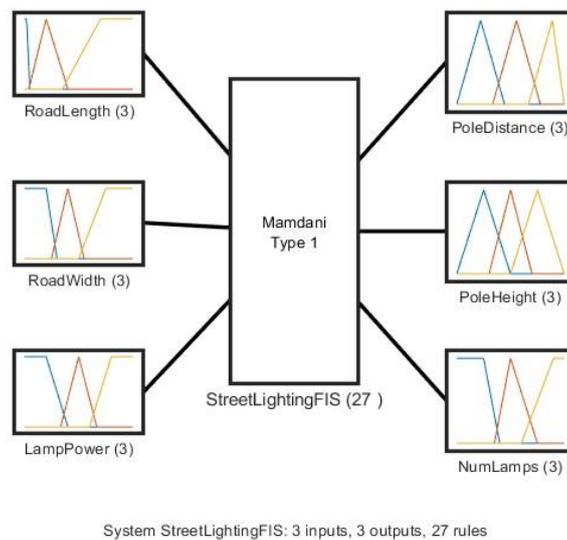
Berikut adalah tahapan dalam pemodelan dan komputasi fuzzy logic yang digunakan untuk perencanaan Penerangan Jalan Umum (PJU):

1. Definisi Parameter Input
 - a. Panjang Jalan
 - Pendek (0–400 meter): Untuk jalan dengan jarak yang membutuhkan pencahayaan minimal.
 - Sedang (300–700 meter): Untuk jalan dengan jarak moderat yang memerlukan pencahayaan standar.
 - Panjang (600–1000 meter): Untuk jalan panjang yang memerlukan pencahayaan lebih intensif.
 - b. Lebar Jalan
 - Sempit (0–6 meter): Cocok untuk jalan kecil dengan kebutuhan pencahayaan sederhana.
 - Sedang (5–11 meter): Untuk jalan dengan lebar moderat yang membutuhkan pencahayaan merata.
 - Lebar (10–20 meter): Untuk jalan besar yang memerlukan pencahayaan intensif.
 - c. Daya Lampu
 - Rendah (0–120 watt): Untuk pencahayaan dengan kebutuhan daya minimum.
 - Sedang (100–200 watt): Untuk pencahayaan dengan intensitas menengah.
 - Tinggi (180–300 watt): Untuk jalan dengan kebutuhan pencahayaan tinggi.
2. Definisi Parameter Output
 - a. Jarak Antar Tiang Lampu
 - Pendek (5–25 meter): Untuk intensitas pencahayaan tinggi di jalan dengan aktivitas intensif.
 - Sedang (20–40 meter): Untuk distribusi pencahayaan standar.
 - Panjang (35–50 meter): Untuk area dengan intensitas aktivitas rendah.
 - b. Tinggi Tiang Lampu
 - Rendah (5–10 meter): Untuk jalan sempit atau dengan aktivitas ringan.
 - Sedang (8–12 meter): Untuk jalan sedang yang memerlukan pencahayaan merata.
 - Tinggi (10–15 meter): Untuk jalan lebar dengan aktivitas intensif.
 - c. Jumlah Lampu
 - Sedikit (1–20 lampu): Untuk jalan pendek atau intensitas aktivitas rendah.
 - Sedang (15–35 lampu): Untuk jalan sedang dengan aktivitas moderat.
 - Banyak (30–50 lampu): Untuk jalan panjang dengan intensitas aktivitas tinggi.
3. Definisi Aturan Fuzzy
 - a. Aturan 1: Jika panjang jalan pendek, lebar jalan sempit, dan daya lampu rendah, maka jarak antar tiang panjang, tinggi tiang rendah, dan jumlah lampu sedikit.

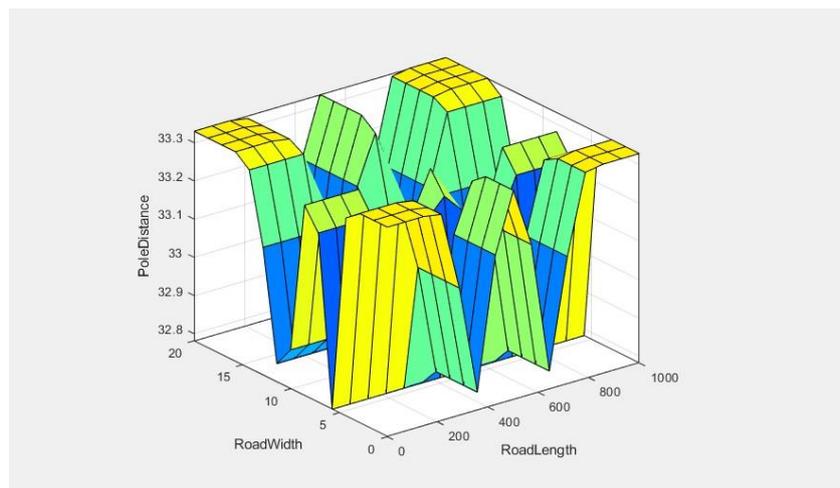
- b. Aturan 2: Jika panjang jalan sedang, lebar jalan sedang, dan daya lampu sedang, maka jarak antar tiang sedang, tinggi tiang sedang, dan jumlah lampu sedang.
- c. Aturan 3: Jika panjang jalan panjang, lebar jalan lebar, dan daya lampu tinggi, maka jarak antar tiang pendek, tinggi tiang tinggi, dan jumlah lampu banyak

3. 2 Pengujian Metode Fuzzy Logic

Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan metode fuzzy logic dengan bantuan software MATLAB memberikan gambaran detail mengenai efisiensi dan kesesuaian desain PJU terhadap standar SNI 7391:2008. Simulasi ini menganalisis hubungan antara daya lampu, panjang jalan, dan lebar jalan terhadap parameter perencanaan utama, yaitu jarak antar tiang lampu, tinggi tiang lampu, dan jumlah lampu yang dibutuhkan.



Gambar 4 Diagram Struktur Input dan Output Fuzzy Interference System (FIS)



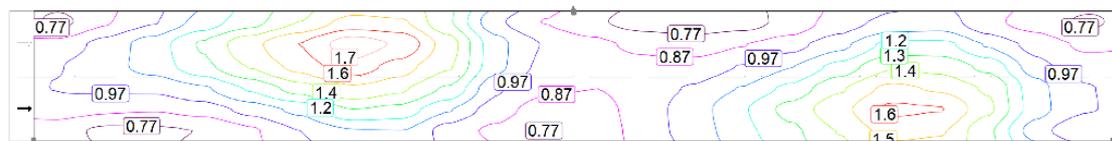
Gambar 5 Hasil Permukaan Simulasi Fuzzy Logic

Dari gambar 3 dan 4 dapat dianalisis bahwa daya lampu yang lebih tinggi memungkinkan jarak antar tiang yang lebih panjang, sementara jalan yang lebih lebar membutuhkan jarak yang lebih pendek untuk memastikan distribusi cahaya yang merata. Hasil simulasi merekomendasikan jarak antar tiang sebesar 32,96 meter, yang mendekati standar SNI untuk daya lampu 120 watt. Selanjutnya lampu dengan daya lebih besar memerlukan tiang yang lebih tinggi untuk

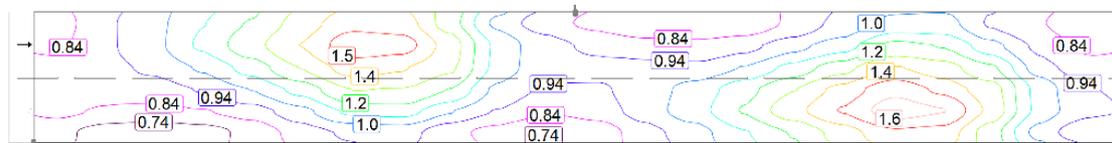
menghindari intensitas cahaya berlebih di area tertentu. Hasil simulasi menunjukkan tinggi tiang optimal sebesar 10 meter, sesuai dengan standar SNI untuk daya lampu mendekati 120 Watt. Terakhir panjang jalan berdampak langsung pada jumlah lampu yang dibutuhkan. Untuk jalan sepanjang 690 meter dengan lebar 8 meter, simulasi menunjukkan kebutuhan sebanyak 21 lampu dengan pola pemasangan zigzag untuk memastikan distribusi cahaya yang optimal.

3. 3 Simulasi DiaLux

Hasil fuzzy logic yang dihitung menggunakan MATLAB kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak DiaLux untuk memverifikasi kesesuaian desain dengan standar SNI 7391:2008. Simulasi ini memberikan visualisasi nyata mengenai distribusi cahaya, tingkat pencahayaan rata-rata, dan keseragaman iluminasi di sepanjang jalan akses. Parameter yang digunakan dalam simulasi mencakup jarak antar tiang sebesar 32,96 meter, tinggi tiang 10 meter, dan daya lampu 120 watt, yang dianalisis untuk memastikan desain memenuhi standar yang ditetapkan.



Gambar 6 Hasil Simulasi DiaLux Kuat Pencahayaan



Gambar 7 Hasil Simulasi DiaLux Luminasi

Tabel 2 Hasil Simulasi DiaLux

Jenis Jalan	Kuat Pencahayaan		Luminasi		
	E rata-rata (Lux)	Kemerataan g1	L rata-rata (cd/m2)	Kemerataan	
				VD	VI
Jalan Lokal	19.3	0.47	1.36	0.42	0.66

Dari Gambar 5, Gambar 6, dan Tabel 2, dapat dianalisis bahwa perencanaan desain PJU dengan menggunakan fuzzy logic telah memenuhi standar SNI 7391:2008, dibuktikan dengan hasil simulasi yang menunjukkan tingkat pencahayaan, distribusi cahaya, dan keseragaman iluminasi berada dalam batas yang direkomendasikan.

3. 4 Analisis Efisiensi Fuzzy Logic

Hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan kemudian dibandingkan dengan desain perencanaan PJU existing untuk mengevaluasi tingkat efisiensinya. Perbandingan ini difokuskan pada dua aspek utama yang menjadi indikator kunci dalam menilai efektivitas desain, yaitu konsumsi daya listrik dan biaya investasi. Analisis ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana metode fuzzy logic mampu memberikan solusi yang lebih hemat energi dan ekonomis dibandingkan dengan pendekatan konvensional yang digunakan pada desain eksisting.

Tabel 3 Komparasi Desain Baru dengan Eksisting

Desain PJU	Jumlah Lampu	Penggunaan Daya	Biaya Investasi
Existing	46	5520 watt	Rp. 238.979.200
Baru	21	2520 watt	Rp. 109.099.200

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa perencanaan PJU menggunakan metode fuzzy logic menghasilkan desain yang lebih efisien, dengan jumlah lampu sebanyak 21 unit yang sudah mampu memenuhi standar pencahayaan yang ditetapkan oleh SNI 7391:2008. Jumlah ini menunjukkan efisiensi yang signifikan dibandingkan dengan desain existing yang menggunakan

46 lampu, baik dari segi konsumsi daya maupun biaya investasi. Efisiensi ini tidak hanya mengurangi penggunaan sumber daya energi tetapi juga menekan pengeluaran biaya instalasi dan operasional. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode fuzzy logic merupakan pendekatan yang efektif dan dapat diandalkan untuk mendesain penerangan jalan umum (PJU) yang lebih hemat energi dan ekonomis dibandingkan dengan metode perencanaan konvensional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode Fuzzy Logic merupakan alat yang efektif dan efisien dalam perencanaan PJU sesuai standar SNI 7391:2008. Dengan mempertimbangkan parameter panjang jalan, lebar jalan, daya lampu, dan pola pemasangan zigzag, metode ini menghasilkan desain optimal dengan jarak antar tiang lampu sebesar 32,96 meter, tinggi tiang 10 meter, dan jumlah lampu sebanyak 21 unit. Hasil simulasi menggunakan Dialux menunjukkan bahwa desain ini memenuhi standar pencahayaan dengan distribusi cahaya yang merata serta tingkat pencahayaan rata-rata dan keseragaman iluminasi yang optimal. Dibandingkan dengan desain existing yang memerlukan 46 lampu, desain berbasis Fuzzy Logic lebih efisien, dengan pengurangan konsumsi daya sebesar 54,35% dan penghematan biaya investasi yang signifikan. Efisiensi ini menjadikan metode Fuzzy Logic sebagai solusi unggul untuk perencanaan infrastruktur PJU di Indonesia, terutama pada proyek yang memprioritaskan penghematan energi dan biaya tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan.

5. SARAN

Saran yang diberikan adalah perlu mempertimbangkan variabel tambahan, seperti sudut kemiringan lampu. Selain itu, perlu dilakukan pengujian model fuzzy logic pada berbagai skenario jalan, seperti tikungan atau persimpangan, hal ini dapat memberikan wawasan lebih mendalam mengenai fleksibilitas dan keandalan metode ini. Penulis juga menyarankan penggunaan software simulasi lain atau melakukan validasi langsung di lapangan guna memastikan hasil yang lebih akurat dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Standardisasi Nasional (BSN) atas ketersediaan dokumen SNI 7391:2008, serta institusi terkait yang menyediakan data jalan sebagai bahan penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada rekan-rekan yang mendukung analisis data dan simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nasional and B. Standarisasi, "Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan," *Sni 73912008*, pp. 1–49, 2008.
- [2] M. Maslim, B. Y. Dwiandiyanta, and N. Viany Susilo, "Implementasi Metode Logika Fuzzy dalam Pembangunan Sistem Optimalisasi Lampu Lalu Lintas," *J. Buana Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 11–20, 2017, doi: 10.24002/jbi.v9i1.1661.
- [3] H. Prasetyo and U. Sutisna, "Implementasi Algoritma Logika Fuzzy untuk Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Mikrokontroler," *Techno*, vol. 15, no. 2, pp. 1–8, 2014.
- [4] E. E. Prasetyo, O. Wahyunggoro, and S. Sulistyono, "Design and Simulation of Adaptive Traffic Light Controller Using Fuzzy Logic Control Sugeno Method," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 5, no. 4, pp. 1–6, 2015.

- [5] R. Maulidda, S. Muslimin, and H. Ami, “Penerapan Pembelajaran Logika Fuzzy pada Robot Penghindar Rintangan,” *J. JUPITER*, vol. 14, no. 1, pp. 106–115, 2022.
- [6] G. J. Klir and B. Yuan, *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*, no. 1. 1995.
- [7] T. J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, no. 1. 2004.
- [8] J.-S. R. Jang and N. Gulley, “Fuzzy logic toolbox functions,” *The Mathworks*, p. 208, 1995, [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/functionlist.html>.
- [9] S. N. Sivanandam, S. Sumathi, and S. N. Deepa, *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. 2007.
- [10] S. Kusumadewi, *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*, 1st ed. Graha Ilmu, 2002.