

Penerapan *Fuzzy Inference System* pada Pengoptimalan Durasi Lampu Lalu Lintas

Rizky Efendri¹, Syahmi Sajid²

Magister Kecerdasan Artifisial, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Bulaksumur, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

Email: rizkyefendri@ugm.mai.ac.id¹ syahmisajid@mail.ugm.ac.id²

Abstract— *In the urban landscape, the efficacy of traffic lights at intersections plays a pivotal role in orchestrating the movement of vehicles. Despite their importance, congestion persists, primarily attributable to the suboptimal allocation of green light timings. This research proposes an innovative solution by employing a Fuzzy logic approach to enhance the adaptability of green light durations. The Fuzzy logic system dynamically adjusts green light timings based on real-time vehicle density in each lane of the intersection. The strength of Fuzzy logic lies in its capacity to tackle intricate, non-binary, and non-linear problems inherent in the real world. By embracing this methodology, the aim is to revolutionize intersection control, fostering more efficient management, congestion reduction, and a nuanced response to traffic fluctuations. This approach transcends mere efficiency considerations; it represents a commitment to crafting humane solutions that address urban traffic challenges with wisdom and responsiveness. The ultimate goal is to create an urban traffic infrastructure that not only functions optimally but also contributes to a more livable and sustainable urban environment.*

Abstrak— Lampu lalu lintas di persimpangan kota besar memainkan peran sentral dalam mengatur aliran kendaraan, namun kemacetan tetap menjadi masalah karena distribusi durasi lampu hijau yang kurang memadai. Penelitian ini mengusulkan solusi inovatif dengan menggunakan pendekatan logika Fuzzy untuk meningkatkan fleksibilitas durasi lampu hijau. Sistem logika Fuzzy secara dinamis menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan kepadatan kendaraan secara real-time di setiap jalur persimpangan. Keunggulan logika Fuzzy terletak pada kemampuannya menangani masalah kompleks, non-biner, dan non-linear yang ada dalam dunia nyata. Dengan mengadopsi metodologi ini, tujuannya adalah merevolusi pengendalian persimpangan, menciptakan manajemen yang lebih efisien, mengurangi kemacetan, dan memberikan respons yang lebih nuansawan terhadap fluktuasi lalu lintas. Pendekatan ini melampaui pertimbangan efisiensi semata; ini mencerminkan komitmen untuk menciptakan solusi yang lebih manusiawi yang mengatasi tantangan lalu lintas perkotaan dengan kebijaksanaan dan responsivitas. Tujuan utamanya adalah menciptakan infrastruktur lalu lintas perkotaan yang tidak hanya berfungsi secara optimal tetapi juga berkontribusi pada lingkungan perkotaan yang lebih nyaman dan berkelanjutan.

Kata kunci— Lampu Lalu Lintas, Kemacetan, *Fuzzy logic*, Metode Mamdani.

I. PENDAHULUAN

Banyaknya kendaraan yang lalu lalang di kota besar menyebabkan kemacetan sangat mungkin terjadi. Oleh karena

itu, lampu lalu lintas memiliki peran penting dalam mengatur arus lalu lintas khususnya di persimpangan jalan. Persimpangan merupakan simpul kritis di dalam kota dan memiliki dampak penting terhadap aliran lalu lintas. Apakah persimpangan tersebut dikendalikan secara bijaksana menjadi kunci untuk keamanan dan efisiensi persimpangan [1]. Namun, terkadang banyak kemacetan terjadi pada persimpangan jalan tersebut. Padahal lampu lalu lintas yang ada di sana, seharusnya dapat mengatur arus lalu lintas sehingga dapat mencegah kemacetan atau kepadatan kendaraan. Hal ini terjadi karena pembagian jatah lampu hijau yang sama rata untuk semua jalur, tanpa melihat jumlah kendaraan yang ada pada masing-masing jalur. Akibatnya jalur yang sedang sepi kendaraan mendapatkan lampu hijau yang lebih lama dari yang dibutuhkan, yang menyebabkan lampu merah pada simpang jalan lainnya.

Semakin lama lampu hijau menyala di suatu persimpangan jalan, semakin lama juga lampu merah pada persimpangan lainnya. Situasi ini menjadi kurang efisien, terutama ketika persimpangan yang kurang ramai mendapatkan waktu lampu hijau yang sama dengan persimpangan yang ramai. Hal ini menyebabkan persimpangan yang sebenarnya tidak memerlukan waktu hijau yang lama menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian waktu lampu hijau yang lebih fleksibel untuk memastikan bahwa setiap persimpangan mendapatkan durasi lampu hijau yang sesuai dengan tingkat kepadatan lalu lintas di lokasinya. Tujuannya adalah agar persimpangan yang ramai tidak perlu menunggu terlalu lama akibat persimpangan yang sepi.

Lalu lintas merupakan masalah karakteristik struktur dan parameter yang bersifat *non-linier* dan berubah seiring waktu, yang bisa sulit dideteksi. Setelah melewati waktu, hal ini menjadi tidak mungkin dengan menggunakan model matematika konvensional. Oleh karena itu, penggunaan teknik kecerdasan buatan dapat memberikan cara lain untuk menyelesaikan masalah ini [2]. Dalam penelitian ini, menggunakan metode logika fuzzy untuk menghasilkan durasi lampu hijau yang lebih dinamis, sesuai dengan tingkat kepadatan kendaraan di suatu persimpangan. *Fuzzy logic* dipilih karena mampu menghasilkan keputusan yang lebih adil dan manusiawi dibandingkan dengan sistem logika lain. Keunggulan lainnya adalah kemampuan *Fuzzy logic* dalam menangani permasalahan dunia nyata yang umumnya bersifat

non-biner dan *non-linier*, karena menggunakan nilai linguistik yang tidak bersifat linier.

II. PENELITIAN TERKAIT

Dalam pengaturan lalu lintas perlu untuk meningkatkan pengendalian lalu lintas guna manajemen lalu lintas yang efektif dan aliran lalu lintas yang lebih baik. Desain dan implementasi sistem lampu lalu lintas cerdas (ITLS) berbasis estimasi kepadatan menggunakan logika fuzzy telah diterapkan sebelumnya [3]. Sistem pengendalian lampu lalu lintas yang buruk telah menjadi masalah umum di Indonesia yang menyebabkan kemacetan terutama di area pusat kota. Gagasan pengembangan pengendali lalu lintas berbasis jaringan saraf tiruan sederhana menggunakan aturan inferensi fuzzy juga telah diimplementasikan [4]. Pengendali lalu lintas saraf mampu menghitung durasi waktu lampu hijau dari sinyal lalu lintas. Pendekatan alternatif adalah dengan menggunakan sistem pengendalian lampu lalu lintas dalam manajemen kemacetan lalu lintas yang meningkat yang selalu terjadi di area perkotaan. Upaya dilakukan untuk memperbaiki sistem pengendalian lampu lalu lintas yang telah dioptimalkan sebelumnya yang dikembangkan menggunakan simulasi mobilitas perkotaan (SUMO) bersama dengan sistem inferensi fuzzy yang berperan dalam mengoptimalkan sistem pengendalian lampu lalu lintas [5]. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (ANFIS-NSGAI) sebagai metodologi komputasi yang kuat untuk embriogenesis somatik pada krisan, sebagai studi kasus [6]. Model-model terhubung dengan NSGAI untuk mengoptimalkan proses, dan pentingnya setiap input dievaluasi melalui analisis sensitivitas. Persyaratan representasi pengetahuan (aturan dan fakta) dan fitur operasional RE (inferensi logika fuzzy), memungkinkan penggunaan estimasi kuantitatif dari efek penuaan data dalam FLS [7]. Tiga opsi enkapsulasi FLS sebagai RE dalam SRE pada contoh penerapan sistem Lampu Lalu lintas Cerdas dipertimbangkan. Algoritma di Matlab yang menggabungkan grafik fuzzy, nomor kromatik fuzzy (FCN), dan sistem inferensi fuzzy (FIS) untuk membuat penugasan lampu lalu lintas berdasarkan aliran lalu lintas, konflik, dan panjang antrian di suatu persimpangan [8]. Studi kasus menunjukkan bahwa algoritma berbasis grafik fuzzy-FCN-FIS dapat mengurangi waktu siklus lampu lalu lintas di persimpangan. Sistem pengendalian lampu lalu lintas tetap yang ada membagi sinyal lampu lalu lintas dalam durasi tetap dan berjalan dengan cara yang tidak efisien, oleh karena itu, mengalami banyak kelemahan seperti waktu menunggu yang lama, pemborosan bahan bakar, dan peningkatan emisi karbon. Untuk mengatasi masalah ini dan meningkatkan efisiensi sistem pengendalian lampu lalu lintas, diusulkan Sistem Pengendalian Lampu Lalu Lintas Dinamis dan Cerdas (DITLCS) yang mengambil informasi lalu lintas real-time sebagai input dan menyesuaikan dinamis durasi lampu lalu lintas [9]. Algoritma kecerdasan buatan berdasarkan dua tahap, salah satunya adalah pengenalan kendaraan darurat melalui ResNet-50 dan yang lainnya adalah sistem inferensi fuzzy untuk pengendalian waktu lampu lalu lintas, keduanya mengarah pada lampu lalu

lintas cerdas [10]. Siklus lampu lalu lintas dapat memperpanjang waktu hijau dari lampu lalu lintas dengan hampir 50% untuk kepentingan jalan yang harus memberikan prioritas, dibandingkan dengan tidak menggunakan sistem inferensi fuzzy.

III. METODOLOGI

Dalam menangani masalah kepadatan kendaraan pada lampu lalu lintas digunakan sistem pengatur lalu lintas dengan logika fuzzy. Menyelesaikan masalah kepadatan kendaraan pada persimpangan menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Hal ini dikarenakan metode Mamdani bersifat intuitif, komprehensif, dan konsisten dengan proses masukan manusia.

Dalam melakukan pengujian input yang digunakan adalah jumlah motor dan jumlah mobil dengan *output* berupa durasi optimal lampu hijau. Himpunan semesta yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 dengan himpunan semesta jumlah motor dengan rentang 0 sampai 40, jumlah mobil 0 sampai 20, dan durasi lampu hijau 0 sampai 60.

Tabel 1 Himpunan Semesta Input dan *Output*

Fungsi	Nama Variabel	Semesta
Input	Jumlah Motor	[0 , 40]
	Jumlah Mobil	[0 , 20]
Output	Durasi Lampu Hijau	[0 , 60]

Anggota himpunan fuzzy dari tiap variabel fuzzy, didapat masing-masing mempunyai nilai linguistiknya 4 anggota himpunan fuzzy. Tabel 2 merupakan Himpunan Fuzzy.

Tabel 2 Himpunan Fuzzy

Jumlah Motor	Jumlah Mobil	Durasi Lampu Hijau
Sedikit	Sedikit	Singkat
Sedang	Sedang	Sedang
Banyak	Banyak	Lama

Untuk menentukan fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy untuk input variabel jumlah motor yaitu:

$$\mu_{\text{Sedikit}} = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{10-x}{10}, & 0 < x < 10 \\ 0, & x \geq 10 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}} = \begin{cases} 0, & x < 5; x > 35 \\ \frac{x-20}{15}, & 5 \leq x \leq 20 \\ \frac{35-x}{20}, & 20 < x \leq 35 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Banyak}} = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \\ \frac{x-30}{15}, & 20 < x < 35 \\ 1, & x \geq 40 \end{cases}$$

Untuk menentukan fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy untuk input variabel jumlah mobil yaitu:

$$\mu_{\text{Sedikit}} \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{5-x}{5}, & 0 < x < 5 \\ 0, & x \geq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}} \begin{cases} 0, & x < 3; x > 15 \\ \frac{x-3}{7}, & 3 \leq x \leq 10 \\ \frac{15-x}{5}, & 10 < x \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Banyak}} \begin{cases} 0, & x \leq 13 \\ \frac{x-20}{7}, & 13 < x < 20 \\ 1, & x \geq 20 \end{cases}$$

Untuk menentukan fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy untuk input variabel durasi optimal lampu hijau yaitu:

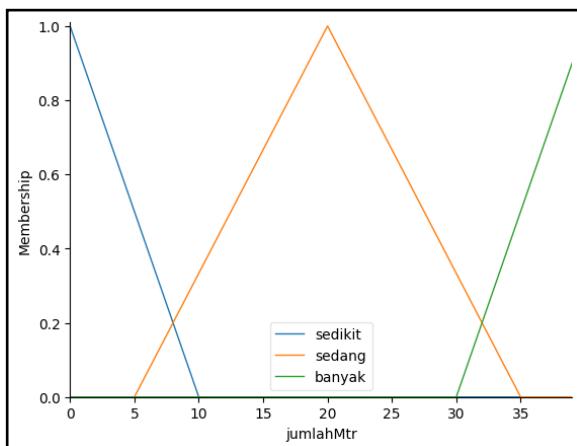
$$\mu_{\text{Singkat}} \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{20-x}{20}, & 0 < x < 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{Sedang}} \begin{cases} 0, & x < 15; x > 45 \\ \frac{x-15}{15}, & 15 \leq x \leq 30 \\ \frac{45-x}{15}, & 30 < x \leq 45 \end{cases}$$

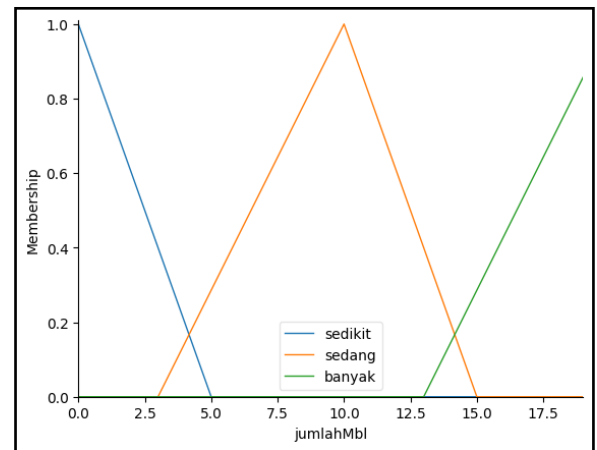
$$\mu_{\text{Lama}} \begin{cases} 0, & x \leq 40 \\ \frac{x-60}{20}, & 40 < x < 60 \\ 1, & x \geq 60 \end{cases}$$

Berikut adalah variabel linguistik yang akan digunakan.

- Variabel Input:

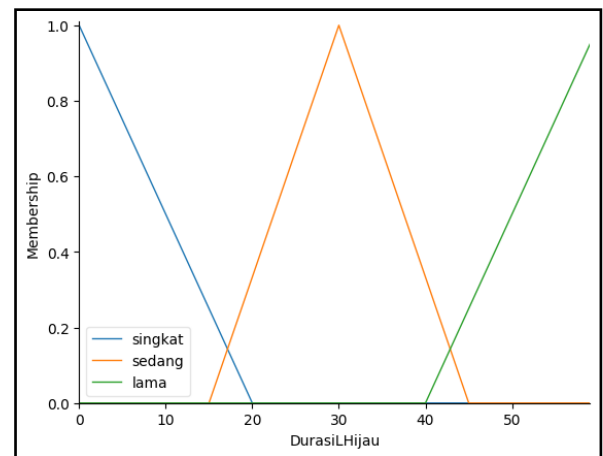


Gambar 1. Model Input Jumlah Motor



Gambar 2. Model Input Jumlah Mobil

- Variabel Output:



Gambar 3. Model Output Durasi Lampu Hijau

Setelah penentuan fungsi keanggotaan variabel, maka dilakukan pembentukan aturan logika fuzzy. Berdasarkan data – data yang ada, dapat dibentuk aturan – aturan sebagai berikut:

Tabel 3 Aturan Fuzzy

No.	Jumlah Mobil	Jumlah Motor	Durasi Lampu Hijau
1	Sedikit	Sedikit	Singkat
2	Sedang	Sedikit	Sedang
3	Banyak	Sedikit	Lama
4	Sedikit	Sedang	Sedang
5	Sedang	Sedang	Sedang
6	Banyak	Sedang	Lama
7	Sedikit	Banyak	Lama
8	Sedang	Banyak	Lama
9	Banyak	Banyak	Lama

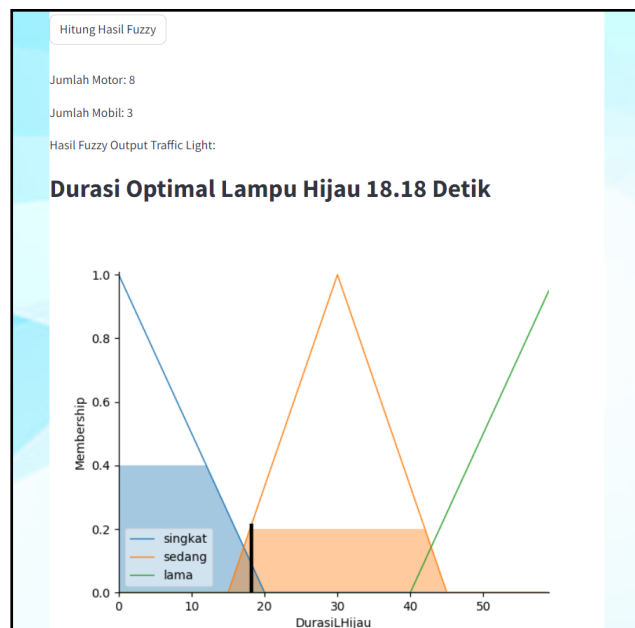
IV. IMPLEMENTASI BERBASIS WEB BASE

Implementasi sistem fuzzy pada penelitian ini diimplementasikan berbasis web menggunakan framework streamlit dan library pendukung seperti skfuzzy untuk membuat model dan menjalankan sistem fuzzy. Berikut adalah tampilan web base nya:



Gambar 4. Tampilan UI Input

Gambar 4. Menampilkan tampilan jalan raya dengan jumlah dan jumlah mobil sesuai yang diinputkan oleh user. User dapat memasukkan nilai pada masing masing variable input dengan input yang pertama jumlah kendaraan bermotor dengan maksimal yang dapat diinputkan berjumlah 40 dan input kedua jumlah kendaraan mobil dengan maksimal yang dapat diinputkan berjumlah 20. Tombol “Hitung Hasil Fuzzy” dapat ditekan dan akan menampilkan tampilan hasil *output*.



Gambar 5. Tampilan UI Output

Gambar 5. Adalah hasil tampilan output setelah menekan tombol “Hitung Hasil Fuzzy” dengan input jumlah motor 8 dan jumlah mobil 3 memprediksi durasi optimal lampu hijau bernilai 18.18 detik.

V. KESIMPULAN

Penerapan Fuzzy Inference System (FIS) pada pengoptimalan durasi lampu lalu lintas di persimpangan jalan kota besar menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah kemacetan. Metode logika fuzzy Mamdani digunakan untuk menciptakan durasi lampu hijau yang lebih fleksibel, disesuaikan dengan kepadatan kendaraan di setiap jalur persimpangan. Kelebihan Fuzzy logic dalam menangani permasalahan dunia nyata yang kompleks terlihat dalam kemampuannya menyesuaikan durasi lampu hijau secara adaptif, mengurangi kemacetan, dan memberikan respons yang lebih bijak terhadap fluktuasi lalu lintas. Penelitian ini tidak hanya mengusung efisiensi dalam pengaturan lalu lintas, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih manusiawi, memandang tantangan arus lalu lintas kota dengan kebijaksanaan dan responsivitas. Hasil implementasi sistem fuzzy berbasis web dengan menggunakan framework streamlit dan library skfuzzy menunjukkan prediksi durasi optimal lampu hijau yang dapat membantu mengoptimalkan pengaturan lalu lintas dengan nilai yang adaptif terhadap kondisi aktual.

Referensi

- [1] [Y. Quan, J. Tian-xiao, D. Xiao-hui and R. Jian, Control type styles option research of intersection based on LOS, 2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA) 1 (2011), 380–383.
- [2] H.S. Talab, H. Mohammadkhani and J. Haddadnia, Controlling multi variable traffic light timing in an isolated intersection using a novel fuzzy algorithm, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems 25 (2013), 103–116.

- [3] Javed Alam; M. K. Pandey; "Development of Intelligent Traffic Light System Based On Congestion Estimation Using *Fuzzy logic*", IOSR JOURNAL OF COMPUTER ENGINEERING, 2014. (IF: 3)
- [4] Aqeela Mir; Ali Hassan; "Fuzzy Inference Rule Based Neural Traffic Light Controller", 2018 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS AND ..., 2018.
- [5] P. Ayuba; Z. Babangida; L. P. Damuut; "Modification of *Fuzzy logic* Rule Base in The Optimization of Traffic Light Control System", SCIENCE WORLD JOURNAL, 2018.
- [6] Mohsen Hesami; Roohangiz Naderi; Masoud Tohidfar; Mohsen Yoosefzadeh-Najafabadi; "Application Of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (ANFIS-NSGAI) For Modeling And Optimizing Somatic Embryogenesis Of Chrysanthemum", FRONTIERS IN PLANT SCIENCE, 2019. (IF: 3)
- [7] Anatolii Kargin; Tetyana Petrenko; "Fuzzy Inference Considering Data Aging in Smart Rules Engine", 2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROBLEMS OF ..., 2020.
- [8] Isnaini Rosyida; I Nurhaida; Alfa Narendra; A Widodo; "Matlab Algorithms For Traffic Light Assignment Using Fuzzy Graph, Fuzzy Chromatic Number, And Fuzzy Inference System", METHODS, 2020.
- [9] Neetesh Kumar; Syed Shameerur Rahman; Navin Dhakad; "Fuzzy Inference Enabled Deep Reinforcement Learning-Based Traffic Light Control for Intelligent Transportation System", IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, 2021. (IF: 3)
- [10] R. Jiménez-Moreno; Javier Eduardo Martínez Baquero; Luis Alfredo Rodríguez Umaña; "Ambulance Detection for Smart Traffic Light Applications with Fuzzy Controller", INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL AND COMPUTER ..., 2022.