
Pengaturan Durasi Lampu Lalu Lintas Berbasis Logika Fuzzy untuk Mengurangi Kemacetan di Kota Medan

Samuel Cristian Saragih¹, Yohannes Christian Gurning², Julham³

¹ Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Medan, Medan, 2055, Indonesia

² Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Medan, Medan, 2055, Indonesia

³ Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Medan, Medan, 2055, Indonesia

yohanneschristian1@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to develop a traffic light timing control model at intersections in Medan City using Fuzzy Logic to improve the efficiency and adaptability of the traffic light system. Vehicle density and waiting time are used as input variables, and Fuzzy Logic generates recommendations for the green light duration according to current traffic conditions. The system was implemented using Python and the scikit-fuzzy library, and validated through simulation scenarios reflecting real-world traffic patterns. The simulation results show that the green light duration adapts proportionally to variations in vehicle density and waiting time, effectively reducing congestion. This adaptive model is expected to enhance traffic flow management and contribute to reducing congestion at intersections in Medan City.

Keywords: fuzzy logic, traffic lights, vehicle density, Green Light Duration, Traffic Congestion

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model pengaturan waktu lampu lalu lintas di persimpangan di Kota Medan menggunakan Logika Fuzzy guna meningkatkan efisiensi dan adaptivitas sistem lampu lalu lintas. Kepadatan kendaraan dan waktu tunggu digunakan sebagai variabel input, dan Logika Fuzzy menghasilkan rekomendasi durasi lampu hijau berdasarkan kondisi lalu lintas saat ini. Sistem ini diimplementasikan menggunakan Python dan pustaka scikit-fuzzy, serta divalidasi melalui skenario simulasi yang mencerminkan pola lalu lintas dunia nyata. Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi lampu hijau beradaptasi secara proporsional terhadap variasi kepadatan kendaraan dan waktu tunggu, sehingga secara efektif dapat mengurangi kemacetan. Model adaptif ini diharapkan dapat meningkatkan pengelolaan arus lalu lintas dan dapat mengurangi kemacetan pada persimpangan kota Medan.

Kata kunci: Logika Fuzzy, Lampu Lalu Lintas, Kepadatan Kendaraan, Durasi Lampu Hijau, Kepadatan Lalu Lintas

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



1. Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan kendaraan di kota medan, Kemacetan lalu lintas sudah menjadi masalah yang kritis di persimpangan jalan yang padat. Sistem lampu lalu lintas berbasis waktu statis sering kali tidak mampu menyesuaikan dengan perubahan kondisi lalu lintas secara real time, sehingga membuat antrian yang sangat panjang dan waktu tunggu yang tidak efisien bagi pengguna jalan. Dalam kondisi tertentu, pendekatan statis ini dapat memperburuk kondisi

lalu lintas terutama pada saat volume kendaraan yang meningkat secara signifikan.

Salah satu pilihan metode yang pasti untuk meningkatkan efisiensi untuk mengatur lampu lalu lintas yaitu Logika Fuzzy. Logika fuzzy ini mempunyai kelebihan yaitu dalam mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas, terutama yaitu ketika berhadapan langsung dengan sistem dinamis seperti lalu lintas yang bersifat fluktuatif. Pendekatan ini sangat memungkinkan sistem pengaturan lampu lalu lintas di jalan raya dapat beradaptasi dengan kondisi dan waktu tunggu di

persimpangan jalan. Sistem yang bersifat berbasis logika fuzzy dapat memberikan rekomendasi durasi lampu yang lebih efisien dan sesuai dengan situasi lalu lintas secara nyata.

Penelitian ini menggunakan model lampu lalu lintas berbasis logika fuzzy yang dirancang untuk mengurangi kemacetan di persimpangan jalan kota Medan. Dua parameter utama, yaitu Kepadatan kendaraan(vehicle_desity) dan waktu tunggu(waiting_time) yang digunakan sebagai input untuk menentukan durasi lampu hijau(gree_light_duration) yang dapat mengurangi kemacetan. Model ini dapat mengurangi antrian kendaraan dan meningkatkan efisiensi waktu tempuh bagi pengguna jalan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi logika fuzzy untuk mengoptimalkan durasi lampu hijau dengan menggunakan perangkat lunak Python dan library skfuzzy untuk simulasi dan analisis.

Dengan menggunakan model ini dapat menjadi solusi yang lebih adaptif dan efisien dalam mengelola lalu lintas di persimpangan jalan sehingga dapat mengurangi kemacetan dan mempercepat waktu perjalanan di kota medan.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Langkah-langkah Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk penelitian ini adalah Fuzzy Logic, yang biasa dikenal dengan memiliki kemampuan dalam menangani ketidakpastian dan data yang masih ambigu. Metode ini dipilih karena sangat relevan dalam mengatasi permasalahan kepadatan lalu lintas dan waktu tunggu kendaraan, yang sering kali bersifat dinamis dan sulit diprediksi secara presisi menggunakan metode logika biner.

Tahapan-tahapan utama dalam metode Fuzzy Logic yang diterapkan pada penelitian ini yaitu, sebagai berikut.

2.1.1. Desain Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pengaturan lampu hijau pada sistem lalu lintas berbasis fuzzy logic. Penelitian ini memiliki tiga tahapan yaitu

- Tahap 1: Identifikasi variabel penelitian
- Tahap 2: Perancangan sistem fuzzy logic
- Tahap 3: Simulasi dan evaluasi hasil

2.1.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan dua variabel input dan satu variabel output, yang dijelaskan sebagai berikut.

Variabel Input:

- Kepadatan Kendaraan: Diukur dalam persentase (%), nilai antara 0-100, merepresentasikan jumlah kendaraan di jalur tertentu di suatu persimpangan.
- Waktu Tunggu: Diukur dalam detik, nilai antara 0-60 detik, mewakili waktu kendaraan menunggu di persimpangan.

Variabel Output:

- Durasi Lampu Hijau: Diukur dalam detik, nilai antara 0-120 detik, sebagai rekomendasi dari sistem fuzzy untuk durasi lampu hijau pada setiap kondisi lalu lintas.

2.1.3. perancangan sistem

Sistem logika fuzzy dibuat dengan bahasa pemrograman python dengan menggunakan libray scikit-fuzzy. Langkah-langkah yang dilakukan dalam merancang sistem fuzzy:

a. Fuzzification

Pada tahap ini, nilai yang diinput berupa kepadatan kendaraan dan waktu tunggu diubah menjadi nilai fuzzy. Proses ini dilakukan dengan menggunakan membership functions yang memetakan nilai-nilai input ke dalam kategori fuzzy, seperti low, medium, dan high untuk kepadatan lalu lintas, serta short, moderate, and long untuk waktu tunggu. Fungsi keanggotaan (membership functions) yang digunakan akan disesuaikan dengan karakteristik data yang didapatkan dari pengamatan lapangan.

b. Inference (Penalaran)

Setelah proses fuzzification selesai, langkah selanjutnya adalah penerapan aturan-aturan fuzzy (fuzzy rules). Aturan-aturan ini akan dirumuskan berdasarkan pengetahuan pakar dan logika empiris yang menghubungkan input fuzzy (kepadatan kendaraan dan waktu tunggu) dengan output yang diharapkan, yaitu durasi lampu hijau. Contoh aturan yang diterapkan antara lain, yaitu.

- "Jika kepadatan lalu lintas high dan waktu tunggu long, maka durasi lampu hijau harus long."
- "Jika kepadatan lalu lintas low dan waktu tunggu short, maka durasi lampu hijau harus short."

Aturan-aturan tersebut diterapkan dalam bentuk sistem inferensi fuzzy yang mengolah nilai-nilai fuzzy input untuk menghasilkan output fuzzy.

c. Defuzzification

Selanjutnya adalah proses defuzzification, di mana output fuzzy yang dihasilkan dari proses inferensi diubah kembali menjadi nilai konkret yang dapat diimplementasikan. Pada penelitian ini, output fuzzy berupa durasi lampu hijau yang direkomendasikan dan diubah menjadi nilai numerik (dalam detik) menggunakan metode centroid atau metode weighted average, tergantung pada hasil evaluasi kinerja yang terbaik.

2.1.4. Validasi dan Pengukuran

Setelah proses Fuzzy Logic selesai, dilakukan pengujian dan validasi model dengan menggunakan data lalu lintas aktual dari lapangan langsung. Validasi ini dilakukan untuk mengukur keakuratan prediksi durasi lampu hijau yang dihasilkan oleh model fuzzy terhadap kondisi nyata di lapangan.

2.1.5. Implementasi Sistem

Setelah model fuzzy dinyatakan valid, implementasi sistem dilakukan pada simulasi kontrol lampu lalu lintas. Data hasil simulasi digunakan untuk mengukur efektivitas metode dalam mengurangi kemacetan dan memperbaiki aliran lalu lintas.

Dengan menggunakan metode Fuzzy Logic, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih adaptif, fleksibel dan akurat dalam mengatur durasi lampu lalu lintas, sehingga mampu mengurangi kepadatan kendaraan dan waktu tunggu secara lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan sistem pengendalian lampu lalu lintas konvensional

2.2. Alasan Pemilihan Sampel

Pemilihan sampel dalam penelitian ini didasarkan pada relevansi dan keandalan data yang mendukung penerapan metode Fuzzy Logic untuk mengelola kepadatan lalu lintas dan waktu tunggu kendaraan. Oleh sebab itu, sampel-

sampel yang dipilih adalah data lalu lintas yang mencakup volume kendaraan dan waktu tunggu pada persimpangan jalan yang padat di kawasan perkotaan. Berikut adalah alasan pemilihan sampel-sampel yang lebih spesifik.

2.2.1. Kepadatan Lalu Lintas di Kawasan Perkotaan

Kawasan perkotaan sering kali mengalami tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi, terutama pada jam-jam sibuk. Oleh sebab itu, data lalu lintas dari persimpangan di kota besar atau daerah perkotaan yang memiliki volume kendaraan tinggi dipilih sebagai sampel. Persimpangan ini menjadi representasi yang sesuai karena menggambarkan kondisi lalu lintas yang dinamis dan sering berubah-ubah, yang sesuai dengan tujuan penggunaan Fuzzy Logic untuk mengatasi ketidakpastian.

2.2.2. Variasi Waktu dan Kondisi Lalu Lintas

Data dikumpulkan pada berbagai waktu, baik pada jam sibuk maupun saat lalu lintas lebih lengang. Hal ini bertujuan untuk memastikan model Fuzzy Logic dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi lalu lintas, seperti perbedaan kepadatan kendaraan dan waktu tunggu pada waktu yang berbeda dalam sehari. Dengan variasi ini, model yang dibangun diharapkan dapat bekerja lebih efektif dan efisien dalam situasi nyata.

2.2.3. Penggunaan Data Lalu Lintas yang Aktual dan Relevan

Data lalu lintas dikumpulkan sebanyak 30 data melalui observasi langsung pada persimpangan padat di Kota Medan yaitu Simpang Setia Budi selama jam sibuk dan tidak sibuk. Pengamatan dilakukan untuk mengukur secara langsung dari pengamatan lapangan untuk mencerminkan situasi lalu lintas yang sesungguhnya. Data aktual lebih relevan dalam menguji model Fuzzy Logic, karena data historis atau data yang diambil dari sumber lain mungkin tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi terkini. Pemilihan data lapangan memastikan bahwa hasil penelitian ini dapat diimplementasikan secara praktis di lapangan.

Pemilihan sampel berdasarkan alasan-alasan ini memastikan bahwa data yang digunakan dalam penelitian mencerminkan berbagai kondisi lalu lintas yang dihadapi sehari-hari, sehingga hasil penelitian dapat lebih bermanfaat dan aplikatif dalam pengelolaan sistem lalu lintas yang efisien.

3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian hasil penelitian berdasarkan urutan/susunan logis untuk membentuk sebuah cerita. Isinya menunjukkan fakta/data dan jangan diskusikan hasilnya. Dapat menggunakan Tabel dan Angka tetapi tidak menguraikan secara berulang terhadap data yang sama dalam gambar, tabel dan teks. Untuk lebih memperjelas uraian, dapat menggunakan sub judul.

Sistem lampu lalu lintas yang ada saat ini masih menerapkan sistem yang sama pada waktu yang berbeda. Oleh karena itu, tingkat kemacetan saat ramai, misalnya saat masuk kerja atau saat pulang kerja bukan merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan oleh . Hal ini menciptakan sistem yang tidak hanya menggunakan kepadatan waktu nyata untuk menentukan berapa lama lampu hijau bertahan, tetapi juga menggunakan "durasi". Pada penelitian ini, dilakukan simulasi pengaturan durasi lampu hijau di persimpangan jalan menggunakan sistem berbasis logika fuzzy. Simulasi dilakukan dengan dua variabel input utama, yaitu kepadatan kendaraan dan waktu tunggu, serta satu variabel output berupa durasi lampu hijau yang direkomendasikan. Pada bagian ini, hasil dari simulasi tersebut akan dibahas lebih lanjut dengan menggunakan tabel, grafik, serta analisis naratif.

3.1. Tabel Hasil Simulasi

Berikut adalah tabel hasil simulasi dari beberapa kondisi lalu lintas yang diujikan dengan variabel kepadatan kendaraan dan waktu tunggu sebagai input untuk sistem fuzzy.

Tabel 1. Hasil Inputan

| Kondisi | Kepadatan Kendaraan (%) | Waktu Tunggu (detik) | Durasi Lampu Hijau (detik) |
|---------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 20 | 10 | 25 |
| 2 | 50 | 30 | 60 |
| 3 | 90 | 50 | 110 |
| 4 | 30 | 20 | 40 |
| 5 | 70 | 40 | 85 |

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa sistem fuzzy menghasilkan durasi lampu hijau yang beragam sesuai dengan perubahan input kepadatan kendaraan dan waktu tunggu.

3.2. Hasil Simulasi

Presentasi Hasil Simulasi Penjelasan lebih lanjut mengenai simulasi kondisi lalu lintas akan membantu Anda memahami cara kerja sistem logika fuzzy dalam memberikan rekomendasi durasi lampu hijau.

- Kondisi 1:

Kemacetan rendah dan waktu tunggu singkat Pada kondisi pertama, kepadatan kendaraan rendah (20%) dan waktu tunggu singkat (10 detik), sehingga durasi lampu hijau 25 detik.Hal ini menunjukkan bahwa saat lalu lintas sepi, sistem memperpendek durasi lampu hijau untuk menjaga efisiensi dan meminimalkan waktu berhenti kendaraan di jalur lain.Hal ini sesuai dengan logika bahwa saat lalu lintas sepi, kendaraan dapat melewati persimpangan lebih cepat sehingga tidak memerlukan lampu hijau untuk bertahan lama.

- Kondisi 2:

Lalu lintas sedang dan latensi sedang.Pada kondisi kedua (kepadatan kendaraan 50, waktu tunggu 30 detik), sistem fuzzy menghasilkan durasi lampu hijau 60 detik.Dalam situasi ini, seiring bertambahnya volume kendaraan, maka kendaraan akan membutuhkan waktu lebih lama untuk melewati persimpangan tersebut.Ketika kepadatan meningkat, lampu hijau membutuhkan waktu lebih lama untuk "melewati" persimpangan dengan kendaraan yang menunggu, sehingga menghindari penumpukan kendaraan lebih lanjut.

- Kondisi 3 :

Kemacetan dan waktu tunggu lama Pada kondisi ini kepadatan kendaraan 90 dan waktu tunggu 50 detik, sehingga sistem fuzzy merekomendasikan durasi lampu hijau 110 detik. Durasi lampu hijau yang lebih lama memungkinkan lebih banyak kendaraan yang menunggu untuk melewati persimpangan dengan lebih lancar, sehingga mengurangi risiko kemacetan lalu lintas yang berlanjut ke arah lain. Sistem fuzzy dapat mengatasi situasi lalu lintas yang sangat padat dengan memberikan durasi yang cukup lama untuk menghindari kemacetan lalu lintas jangka panjang.

- Kondisi 4:

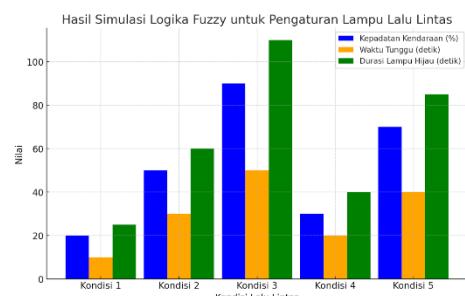
Kemacetan lalu lintas berkurang dan waktu tunggu sedang, karena kepadatan kendaraan 30 dan waktu tunggu 20 detik, sistem akan melanjutkan lampu hijau hingga 40 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu tunggu yang lama mengalami peningkatan, meskipun volume lalu lintas relatif rendah, namun waktu kelanjutan lampu hijau mengalami peningkatan dibandingkan kondisi sebelumnya. Hal ini mencerminkan kemampuan sistem fuzzy dalam menyeimbangkan kepadatan dan waktu tunggu, karena kehijauan lampu hijau yang dihasilkan sebanding dengan kondisi jalan.

- Kondisi 5:

Kemacetan dan waktu tunggu yang lama. Pada kondisi terakhir ini, jika kepadatan kendaraan 70 dan waktu tunggu 40 detik, maka durasi lampu hijau adalah 85 detik. Dalam skenario ini, sistem fuzzy memastikan persimpangan dikelola dengan baik dan kendaraan memiliki cukup waktu untuk melewati tanpa menimbulkan antrian yang berlebihan.

3.3. Grafik Hasil Simulasi

Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara kepadatan kendaraan, waktu tunggu, dan durasi lampu hijau yang direkomendasikan oleh sistem fuzzy.



Gambar 1. Hasil Simulasi Logika Fuzzy

Grafik menunjukkan durasi lampu hijau berbanding lurus dengan peningkatan kepadatan kendaraan dan waktu tunggu. Ketika kepadatan kendaraan meningkat dari 20% menjadi 90%, durasi lampu hijau meningkat secara signifikan. Hal ini sesuai dengan logika bahwa ketika kondisi lalu lintas memburuk, diperlukan waktu lebih lama untuk mengurangi antrian kendaraan di suatu persimpangan.

3.4. Analisis Berdasarkan Rumus dan Perhitungan

Logika fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini bekerja berdasarkan prinsip pemetaan input

crisp (bilangan tertentu) ke dalam himpunan fuzzy, yaitu menarik inferensi berdasarkan aturan fuzzy dan kembali menghasilkan output crisp. Proses ini dapat diringkas dalam beberapa fase, yaitu.

1. **Fuzzifikasi** Proses fuzzifikasi mengubah kepadatan dan latensi kendaraan yang dimasukkan menjadi nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan. Misalnya kepadatan kendaraan 70% tergolong "sedang" dengan penambahan 0,7, dan waktu tunggu 40 detik tergolong "panjang" dengan penambahan 0,8.

2. **Inferensi** Aturan fuzzy yang diterapkan menggabungkan nilai fuzzy dari variabel masukan. Misalnya, jika Anda menggabungkan aturan kepadatan kendaraan "tinggi" dan waktu tunggu "lama", maka durasi lampu hijau yang direkomendasikan akan menjadi "panjang." Sistem fuzzy yang dirancang menggunakan aturan seperti:

- Rule 1: Jika kepadatan kendaraan "tinggi" dan waktu tunggu "lama," maka durasi lampu hijau "panjang."
- Rule 2: Jika kepadatan kendaraan "sedang" dan waktu tunggu "sedang," maka durasi lampu hijau "sedang."
- Rule 3: Jika kepadatan kendaraan "rendah" dan waktu tunggu "pendek," maka durasi lampu hijau "pendek."

3. **Defuzzifikasi** Proses ini mengubah hasil fuzzy menjadi keluaran numerik yang dapat diterapkan. Pada penelitian ini dilakukan defuzzifikasi dengan metode centroid, dan output yang dihasilkan berupa durasi lampu hijau dalam satuan detik.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa sistem kendali lampu lalu lintas berbasis logika fuzzy yang dirancang dapat memberikan rekomendasi durasi lampu hijau yang lebih adaptif dan efisien dibandingkan sistem kendali waktu tradisional. Sistem ini dapat menyeimbangkan kebutuhan arus kendaraan di persimpangan dengan kondisi real-time, mengurangi potensi kemacetan dan meningkatkan efisiensi lalu lintas jalan raya. Sebagai bagian dari pengembangan lebih lanjut, penggunaan logika fuzzy dapat diintegrasikan dengan data real-time seperti sensor lalu lintas dan sistem big data untuk meningkatkan akurasi prediksi dan reaksi sistem lampu lalu lintas.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Julham yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan yang sangat berarti dalam proses pembuatan jurnal ini. Bapak Julham telah memberikan arahan yang sangat membantu, baik dalam pengembangan ide, penulisan, maupun penyusunan jurnal ini.

Daftar Rujukan

- [1] Adhitya Yoga Yudanto, M. A. (2013). Optimalisasi Lampu Lalu Lintas dengan Fuzzy Logic. *ULTIMATICS*, Vol. V, No. 2 | Desember 2013, 58.
<https://doi.org/10.31937/ti.v5i2.322>
- [2] Charolina Debora Mait, J. A. (2022). Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan Fuzzy Logic Tahani Untuk Penentuan Golongan Obat Sesuai Dengan Penyakit Diabetes. *344Jurnal Media Infotama* Vol.18 No.2.
<https://doi.org/10.37676/jmi.v18i2.2936>
- [3] Deni Mulyadi, E. P. (2021). Penerapan Fuzzy Logic untuk Sistem Pengendali Lalu Lintas . Vol. 6, No. 3, September 2021 , 540-544.
DOI: [10.32493/informatika.v6i3.11575](https://doi.org/10.32493/informatika.v6i3.11575)
- [4] Prasetyo, H., & Sutisna, U. (2014). Implementasi Algoritma Logika Fuzzy untuk Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Mikrokontroler. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 15(2), 01-08.
DOI: [10.30595/techno.v15i2.87](https://doi.org/10.30595/techno.v15i2.87)
- [5] Nasution, H. (2012). Implementasi logika fuzzy pada sistem kecerdasan buatan. *jurnal ELKHA*, 4(2).
<http://dx.doi.org/10.26418/elkha.v4i2.512>
- [6] Juniana, P., & Hakim, L. (2019). Kendali lampu lalu lintas dengan menggunakan metode fuzzy logic mamdani. *J. Terap. Teknol. Inf.*, 3(1), 1-10.
<https://doi.org/10.21460/jutei.2019.31.126>
- [7] Tawalujan, P., Sompie, S. R., & Manembu, P. D. (2024). Sistem Traffic Light Otomatis Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan dengan Pengolahan Citra: Automatic Traffic Light System Based on Vehicle Queue Length with Image Processing. *Jurnal Teknik Informatika*, 19(02), 105-110.
<https://doi.org/10.35793/jti.v19i02.52144>
- [8] Pratama, F. F., & Fauzi, I. (2023). Perancangan Pengendalian dan Optimalisasi Lampu Lalu Lintas pada Persimpangan Jalan Muktisari Kebumen Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic. *Technology and Informatics Insight Journal*, 2(1), 1-11.
DOI: <https://doi.org/10.32639/tiij.v1i1.390>
- [9] Arief, M., Kustiawan, E., Suwandi, S., & Royana, D. (2022). Perancangan Lampu Lalu Lintas Dengan Led Bicolor Menggunakan Arduino. *SUTET*, 12(2), 98-108.
DOI: <https://doi.org/10.33322/sutet.v12i2.1851>
- [10] Prasetya, R. P. (2020). Implementasi fuzzy mamdani pada lampu lalu lintas secara adaptif untuk meminimalkan waktu tunggu pengguna jalan. *Jurnal Mnemonic*, 3(1), 24-29.
DOI: <https://doi.org/10.36040/mnemonic.v3i1.2526>
- [11] Abood, A. N. (2024). Traffic Light Control in Vehicular Network Systems using Fuzzy Logic. *European Journal of Information Technologies and Computer Science*, 4(4), 1-6.
DOI: [10.24018/compute.2024.4.4.132](https://doi.org/10.24018/compute.2024.4.4.132)
- [12] Chala, T. D., & Kóczy, L. T. (2024). Intelligent Fuzzy Traffic Signal Control System for Complex Intersections Using Fuzzy Rule Base Reduction. *Symmetry*, 16(9), 1177.
DOI: <https://doi.org/10.3390/sym16091177>
- [13] Ridwan, W., Kadir, Y., & Wiranto, I. (2022). Optimisasi Koloni Semut dan Sistem Fuzzy untuk Kendali Lampu Lalu Lintas Pintar. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 182-188.
DOI: <https://doi.org/10.37905/jjeee.v4i2.14473>
- [14] Furqon, S., Santoso, I., & Soetrisno, Y. A. A. (2020). PERANCANGAN SISTEM PENGONTROLAN LAMPU LALU LINTAS BERDASARKAN TINGKAT KEPADATAN KENDARAAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(1), 88-96.
DOI: <https://doi.org/10.14710/transient.v9i1.88-96>
- [15] Gunawan, P. N., Yulianti, K., & Kustiawan, C. (2024). IMPLEMENTASI METODE FUZZY TSUKAMOTO UNTUK PENENTUAN DURASI FASE LALU LINTAS (Studi Kasus di Perempatan Jalan Soekarno Hatta-Ibrahim Adjie, Bandung). *Interval: Jurnal Ilmiah Matematika*, 3(2), 55-66.
DOI: [10.33751/interval.v3i2.7563](https://doi.org/10.33751/interval.v3i2.7563)