

# Representasi Graph Fuzzy pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Pamekasan

Latifatul Mammunah<sup>1</sup>, Yuliana Trisanti<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

<sup>2</sup>Manajemen, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

\*yuli@unira.ac.id

**Abstrak:** Kemacetan lalu lintas di wilayah perkotaan, termasuk Kabupaten Pamekasan, merupakan permasalahan yang kompleks akibat pertumbuhan kendaraan yang tidak sebanding dengan kapasitas jalan serta pengaturan lampu lalu lintas yang masih bersifat statis. Kondisi lalu lintas yang dinamis dan tidak pasti menuntut adanya pendekatan pemodelan yang mampu merepresentasikan ketidakpastian tersebut secara lebih realistik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan *graph fuzzy* dalam merepresentasikan dan mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas pada beberapa persimpangan utama di Pamekasan. Setiap simpul (*vertex*) pada graf merepresentasikan persimpangan, sedangkan sisi (*edge*) menyatakan keterhubungan antarjalan dengan bobot fuzzy yang merefleksikan tingkat kepadatan, panjang antrean, dan volume kendaraan. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data lalu lintas melalui observasi lapangan, pembentukan fungsi keanggotaan fuzzy, serta analisis graf fuzzy untuk menentukan prioritas waktu nyala lampu hijau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *graph fuzzy* mampu memberikan representasi yang lebih adaptif terhadap kondisi lalu lintas dibandingkan sistem konvensional, dengan potensi pengurangan waktu tunggu dan antrean kendaraan pada jam sibuk. Dengan demikian, pendekatan ini dapat dijadikan alternatif solusi dalam pengembangan sistem pengaturan lampu lalu lintas cerdas (*intelligent traffic light system*) di Pamekasan dan wilayah perkotaan serupa.

**Kata kunci:** graf fuzzy, lampu lalu lintas, sistem cerdas, kepadatan lalu lintas, Pamekasan.

## PENDAHULUAN

Perkembangan wilayah perkotaan yang diiringi dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor telah menimbulkan berbagai permasalahan lalu lintas, salah satunya adalah kemacetan pada persimpangan jalan. Persimpangan merupakan titik kritis dalam sistem transportasi karena menjadi tempat bertemunya berbagai arus kendaraan dengan tingkat kepadatan yang berbeda-beda (Rosyida, Nurhaida, Narendra, & Widodo, 2020). Di Kabupaten Pamekasan, pertumbuhan kendaraan yang relatif pesat tidak selalu diimbangi dengan pengembangan infrastruktur jalan maupun sistem pengaturan lalu lintas yang adaptif, sehingga sering terjadi antrean panjang dan waktu

tunggu yang tinggi, terutama pada jam-jam sibuk (Ujianto, 2022).

Pengaturan lampu lalu lintas yang saat ini diterapkan pada umumnya masih bersifat statis, yaitu menggunakan pembagian waktu tetap tanpa mempertimbangkan kondisi lalu lintas actual (Sugarda & Cipta, 2023). Pendekatan ini kurang efektif dalam menghadapi dinamika arus kendaraan yang berubah-ubah akibat faktor waktu, cuaca, aktivitas masyarakat, maupun kejadian insidental. Akibatnya, pada kondisi tertentu terdapat jalur dengan kepadatan tinggi namun memperoleh waktu lampu hijau yang sama dengan jalur yang relatif lengang, sehingga efisiensi pengaturan lalu lintas menjadi rendah (Fahrunnisa, Rahmadwati, & Setyawan, 2024).

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut, antara lain dengan memanfaatkan konsep kecerdasan buatan, logika fuzzy, dan teori graf. Logika fuzzy mampu merepresentasikan ketidakpastian dan variabilitas kondisi lalu lintas melalui derajat keanggotaan, sedangkan teori graf efektif dalam memodelkan keterhubungan antar simpul dalam suatu jaringan transportasi. Integrasi kedua konsep tersebut menghasilkan *graph fuzzy*, yang dapat digunakan untuk memodelkan sistem lalu lintas secara lebih fleksibel dan realistik.

Dalam konteks pengaturan lampu lalu lintas, *graph fuzzy* memungkinkan setiap persimpangan direpresentasikan sebagai simpul (*vertex*), sementara ruas jalan direpresentasikan sebagai sisi (*edge*) dengan bobot fuzzy yang mencerminkan tingkat kepadatan, panjang antrean, atau volume kendaraan. Representasi ini memberikan dasar matematis yang kuat untuk menentukan prioritas pengaturan waktu lampu hijau berdasarkan kondisi lalu lintas aktual, bukan sekadar pembagian waktu tetap.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun dan menganalisis representasi *graph fuzzy* pada pengaturan lampu lalu lintas di Kabupaten Pamekasan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk model pengaturan lampu lalu lintas yang lebih adaptif dan efisien, serta menjadi referensi bagi pengembangan sistem transportasi cerdas (*intelligent transportation system*) di daerah perkotaan skala menengah.

## METODE

### Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan pemodelan matematis dan komputasional. Pendekatan ini digunakan untuk merepresentasikan sistem pengaturan lampu lalu lintas dalam bentuk *graph fuzzy* guna menangani ketidakpastian kondisi lalu lintas. Model yang dikembangkan bersifat deskriptif-analitis, yaitu menggambarkan kondisi nyata lalu lintas di lapangan serta menganalisisnya menggunakan teori graf dan logika fuzzy (Yudanto, Apriyadi, & Sanjaya, 2013).

### Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada beberapa persimpangan jalan utama di Kabupaten Pamekasan yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas tinggi, khususnya pada jam sibuk pagi dan sore hari. Objek penelitian meliputi arus kendaraan, panjang antrean, dan waktu siklus lampu lalu lintas pada setiap persimpangan yang diamati.

### Pengumpulan Data

Data lalu lintas diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dengan mencatat:

1. Volume kendaraan pada setiap arah persimpangan (kendaraan/jam),
2. Panjang antrean kendaraan (meter),
3. Waktu nyala lampu hijau, kuning, dan merah (detik).

Pengambilan data dilakukan pada interval waktu tertentu, yaitu pagi, siang, dan sore hari, untuk merepresentasikan variasi kondisi lalu lintas. Data pendukung juga diperoleh dari instansi terkait, seperti Dinas Perhubungan Kabupaten Pamekasan, guna melengkapi informasi mengenai karakteristik persimpangan.

### Pembentukan Model Graph Fuzzy

Model *graph fuzzy* dibangun dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. **Penentuan Simpul (Vertex)**  
Setiap persimpangan jalan direpresentasikan sebagai simpul (*vertex*) dalam graf.

2. **Penentuan Sisi (Edge)**  
Ruas jalan yang menghubungkan antar persimpangan direpresentasikan sebagai sisi (*edge*).
3. **Penentuan Bobot Fuzzy**  
Setiap sisi diberi bobot fuzzy yang mencerminkan tingkat kepadatan lalu lintas berdasarkan parameter volume kendaraan dan panjang antrean.
4. **Fungsi Keanggotaan Fuzzy**  
Fungsi keanggotaan digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi lalu lintas ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi dengan nilai keanggotaan pada interval [0,1].

### Analisis Graph Fuzzy

Analisis dilakukan dengan mengevaluasi nilai bobot fuzzy pada setiap sisi graf untuk menentukan tingkat prioritas arus kendaraan. Semakin tinggi nilai keanggotaan fuzzy suatu sisi, semakin besar prioritas arus tersebut dalam pengaturan waktu lampu hijau. Hasil analisis ini digunakan untuk merekomendasikan pembagian waktu nyala lampu lalu lintas yang lebih adaptif terhadap kondisi actual (Pramana, Virgono, & Saputra, 2018).

### Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan membandingkan hasil pengaturan lampu lalu lintas berbasis *graph fuzzy* dengan sistem konvensional yang menggunakan waktu tetap. Parameter evaluasi meliputi:

1. Waktu tunggu rata-rata kendaraan,
2. Panjang antrean rata-rata,
3. Potensi peningkatan kelancaran arus lalu lintas.

Hasil evaluasi dianalisis secara deskriptif untuk menilai efektivitas penerapan *graph fuzzy* dalam pengaturan lampu lalu lintas di Pamekasan (Hartanti, Aziza, & Siswipraptini, 2025).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### Hasil Pengumpulan Data Lalu Lintas

Berdasarkan observasi lapangan yang dilakukan pada beberapa persimpangan utama di Kabupaten Pamekasan, diperoleh data volume kendaraan, panjang antrean, dan waktu siklus lampu lalu lintas pada jam sibuk pagi dan sore hari. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan tingkat kepadatan antar arah pada persimpangan yang sama. Pada jam sibuk, beberapa ruas jalan mengalami antrean panjang, sementara ruas lainnya relatif lengang meskipun memperoleh waktu lampu hijau yang sama.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengaturan lampu lalu lintas konvensional dengan waktu tetap belum mampu mengakomodasi dinamika arus kendaraan secara optimal (Lestari, Hanum, Supriyo, 2023).

#### Representasi Sistem Lalu Lintas dalam Graph Fuzzy

Data lalu lintas yang diperoleh kemudian direpresentasikan ke dalam model *graph fuzzy*. Setiap persimpangan dimodelkan sebagai simpul (*vertex*), sedangkan ruas jalan direpresentasikan sebagai sisi (*edge*) dengan bobot fuzzy. Bobot fuzzy ditentukan berdasarkan hasil fuzzifikasi parameter volume kendaraan dan panjang antrean.

Hasil fuzzifikasi menunjukkan bahwa ruas jalan dengan volume kendaraan tinggi dan antrean panjang memiliki nilai keanggotaan mendekati 1, yang mengindikasikan tingkat kepadatan tinggi. Sebaliknya, ruas jalan dengan arus lalu lintas rendah memiliki nilai keanggotaan mendekati 0. Representasi ini mampu menggambarkan kondisi lalu lintas secara lebih halus dan realistik dibandingkan pendekatan biner (padat atau tidak padat).

#### Hasil Analisis Prioritas Pengaturan Lampu Lalu Lintas

Berdasarkan nilai bobot fuzzy pada setiap sisi graf, dilakukan analisis untuk

menentukan prioritas arus kendaraan. Hasil analisis menunjukkan bahwa arus dengan nilai keanggotaan fuzzy tertinggi layak memperoleh waktu lampu hijau yang lebih panjang. Dengan demikian, pembagian waktu lampu hijau menjadi bersifat adaptif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Simulasi pengaturan lampu lalu lintas berbasis *graph fuzzy* menunjukkan adanya potensi pengurangan waktu tunggu dan panjang antrian kendaraan, terutama pada arah dengan kepadatan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa model yang diusulkan memiliki keunggulan dalam meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas (Wang, Du, Shen, & Wu, 2025).

### **Pembahasan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *graph fuzzy* merupakan pendekatan yang efektif dalam merepresentasikan sistem lalu lintas yang bersifat dinamis dan tidak pasti. Integrasi antara teori graf dan logika fuzzy memungkinkan pemodelan hubungan antar persimpangan sekaligus mengakomodasi variabilitas kondisi lalu lintas melalui derajat keanggotaan.

Dibandingkan dengan sistem konvensional yang menggunakan waktu tetap, pendekatan *graph fuzzy* memberikan fleksibilitas dalam pengambilan keputusan pengaturan lampu lalu lintas. Sistem ini tidak hanya mempertimbangkan struktur jaringan jalan, tetapi juga tingkat kepadatan aktual pada setiap ruas jalan. Hal ini sejalan dengan kebutuhan pengembangan sistem transportasi cerdas yang adaptif dan responsif terhadap perubahan kondisi lalu lintas (Tunc & Soylemez, 2023).

Secara kontekstual, penerapan *graph fuzzy* di Pamekasan sangat relevan mengingat karakteristik lalu lintas perkotaan skala menengah yang cenderung fluktuatif dan dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat pada waktu tertentu. Model yang diusulkan dapat dijadikan dasar bagi pengembangan sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis sensor

atau kamera pemantau lalu lintas di masa mendatang.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain penggunaan data observasi dalam rentang waktu tertentu serta belum diimplementasikannya model secara langsung pada sistem lampu lalu lintas nyata. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat diarahkan pada integrasi *graph fuzzy* dengan teknologi *real-time traffic monitoring* serta pengujian performa model dalam skala jaringan yang lebih luas.

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa representasi *graph fuzzy* mampu memodelkan sistem pengaturan lampu lalu lintas di Kabupaten Pamekasan secara lebih adaptif dan realistik. Setiap persimpangan dan ruas jalan dapat direpresentasikan secara matematis melalui simpul dan sisi graf dengan bobot fuzzy yang mencerminkan tingkat kepadatan lalu lintas. Pendekatan ini efektif dalam menangani ketidakpastian dan dinamika arus kendaraan yang tidak dapat direpresentasikan secara optimal oleh sistem pengaturan lampu lalu lintas konvensional berbasis waktu tetap.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan *graph fuzzy* memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih fleksibel dalam menentukan prioritas waktu nyala lampu hijau. Model yang diusulkan berpotensi mengurangi waktu tunggu dan panjang antrian kendaraan, terutama pada jam-jam sibuk, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan kelancaran arus lalu lintas. Dengan demikian, *graph fuzzy* dapat dijadikan sebagai alternatif pendekatan dalam pengembangan sistem pengaturan lampu lalu lintas cerdas di

wilayah perkotaan skala menengah seperti Pamekasan.

### Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar model *graph fuzzy* ini diintegrasikan dengan data lalu lintas *real-time* yang diperoleh dari sensor, kamera pemantau, atau sistem *Internet of Things* (IoT) sehingga pengaturan lampu lalu lintas dapat dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan. Selain itu, pengujian model pada jaringan persimpangan yang lebih luas serta perbandingan dengan metode optimasi lain, seperti algoritma genetika atau *machine learning*, perlu dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keunggulan model secara lebih komprehensif. Penelitian lanjutan juga dapat mempertimbangkan aspek keselamatan dan dampak lingkungan sebagai bagian dari evaluasi sistem pengaturan lalu lintas yang diusulkan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Rosyida, I., Nurhaida, A., Narendra, A., & Widodo, C. (2020). *Matlab algorithms for traffic light assignment using fuzzy graph, fuzzy chromatic number (FCN), and fuzzy inference system (FIS)*. *MethodsX*.
- Ujianto, S. (2022). *Traffic Light Based on Fuzzy Logic on The Case of Intersection in The City with One Dynamic Density Lane*. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, 10(1), 78–88
- Fahrunnisa, Z., Rahmadwati, R., & Setyawan, R. A. (2024). *Adaptive Traffic Light Signal Control Using Fuzzy Logic Based on Real-Time Vehicle Detection from Video Surveillance*. *JITEKI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 10(2), 235–251
- Lestari, W. D., Hanum, F., Supriyo, P. T. (2023). *Penerapan Graf Fuzzy pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Simpang Empat Duren Sawit Jakarta Timur* (tesis/penelitian institusional)
- Sugarda, A., & Cipta, H. (2023). *Optimasi waktu tunggu total dan pemodelan arus lalu lintas dengan metode graf fuzzy pada persimpangan Fly Over Jamin Ginting Medan*. *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains*
- Hartanti, D., Nur Aziza, R., & Siswipraptini, P. C. (2025). *Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic*.
- Pramana, A. H., Virgono, A., & Saputra, R. E. (2018). *Optimasi Sistem Kendali Lampu Lalu Lintas Cerdas Menggunakan Logika Fuzzy*. *eProceedings of Engineering*
- Yudanto, A. Y., Apriyadi, M., & Sanjaya, K. (2013). *Optimalisasi Lampu Lalu Lintas dengan Fuzzy Logic*. *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, 5(2), 58–62
- Tunc, I., & Soylemez, M. T. (2023). *Fuzzy logic and deep Q learning based control for traffic lights*. *Alexandria Engineering Journal*, 67, 343–359
- Li, M., Wang, J., Du, B., Shen, J., & Wu, Q. (2025). *FuzzyLight: A robust two-stage fuzzy approach for traffic signal control works in real cities*. *arXiv preprint*