
ANALISIS DURASI LAMPU LALU LINTAS MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DENGAN SIMULASI ECLIPSE SUMO STUDI KASUS SIMPANG TELING KOTA MANADO

Christian Ronaldo Henry Tampi¹⁾, Eliasta Ketaren²⁾, Benny Pinontoan³⁾

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Bahu, Manado, Sulawesi Utara

e-mail: christiantampi106@student.unsrat.ac.id¹⁾, eliasketaren@unsrat.ac.id²⁾, bpinonto@yahoo.com³⁾

Abstrak

Kemacetan pada simpang bersinyal merupakan salah satu permasalahan utama di wilayah perkotaan, terutama ketika pengaturan durasi lampu lalu lintas masih menggunakan sistem fixed-time. Sistem fixed-time memberikan durasi hijau yang tetap pada setiap ruas jalan tanpa mempertimbangkan perubahan volume kendaraan dan panjang antrean. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis durasi lampu lalu lintas adaptif menggunakan metode fuzzy Mamdani dengan simulasi Eclipse SUMO pada Simpang Teling, Kota Manado. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan berupa volume kendaraan, panjang antrean, dan durasi lampu lalu lintas eksisting. Sistem fuzzy dirancang menggunakan dua variabel input, yaitu volume kendaraan dan panjang antrean, serta satu variabel output, yaitu durasi lampu hijau. Proses fuzzy Mamdani meliputi fuzzifikasi, evaluasi aturan, agregasi, dan defuzzifikasi menggunakan metode centroid. Model simulasi dibangun pada Eclipse SUMO dan diintegrasikan dengan Python serta TraCI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem fuzzy Mamdani dapat menghasilkan durasi lampu hijau secara dinamis sesuai kondisi lalu lintas. Pada contoh perhitungan Jalan Lumimuut, sistem menghasilkan durasi hijau 31 detik dibandingkan durasi fixed-time eksisting sebesar 15 detik.

Kata kunci : Durasi sinyal; Logika fuzzy Mamdani; Simulasi lalu lintas; SUMO; Simpang Teling.

1. Pendahuluan

Jumlah kendaraan bermotor di wilayah perkotaan terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan mobilitas masyarakat dan perkembangan ekonomi. Peningkatan jumlah kendaraan tersebut berdampak langsung terhadap kinerja lalu lintas, terutama pada simpang jalan yang memiliki volume kendaraan tinggi. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada simpang bersinyal adalah kemacetan akibat pengaturan durasi lampu lalu lintas yang belum adaptif terhadap kondisi nyata di lapangan. Sistem pengaturan lampu lalu lintas yang bersifat tetap dapat menyebabkan ketidakseimbangan arus kendaraan, yaitu satu ruas jalan mengalami antrean panjang, sedangkan ruas lainnya relatif lebih lengang.

Provinsi Sulawesi Utara memiliki jumlah kendaraan bermotor yang cukup tinggi. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor di Sulawesi Utara mencapai 1.198.068 unit, dengan Kota Manado sebagai penyumbang terbesar, yaitu sekitar 449.679 unit atau 37,53% dari total kendaraan di provinsi tersebut [1]. Kondisi ini menunjukkan bahwa Kota Manado memiliki tingkat mobilitas masyarakat yang tinggi sehingga membutuhkan sistem manajemen lalu lintas yang lebih cerdas dan responsif.

Simpang Teling merupakan salah satu simpang utama di Kota Manado yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas cukup tinggi, terutama pada jam sibuk pagi dan sore hari. Simpang ini menghubungkan beberapa ruas jalan penting, yaitu Jalan 14 Februari, Jalan Toar, Jalan Diponegoro, dan Jalan Lumimuut. Lokasinya yang strategis sebagai penghubung pusat kota, kawasan pemukiman, kawasan pendidikan, dan aktivitas masyarakat menyebabkan volume kendaraan pada setiap ruas jalan dapat berubah-ubah. Kondisi tersebut sering menimbulkan antrean kendaraan karena distribusi durasi lampu lalu lintas belum sepenuhnya menyesuaikan kondisi lalu lintas aktual.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah logika fuzzy, khususnya metode Mamdani. Metode ini mampu merepresentasikan proses pengambilan keputusan manusia dalam kondisi yang tidak pasti dan tidak linier. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol lampu lalu lintas berbasis fuzzy dapat menyesuaikan durasi sinyal berdasarkan kepadatan lalu lintas. Kadhim et al. menunjukkan bahwa kontrol sinyal lalu lintas berbasis fuzzy dapat meningkatkan efisiensi dibandingkan sistem konvensional [2]. Chandra dan Lee juga menunjukkan bahwa integrasi metode Mamdani dengan deteksi kendaraan berbasis sensor mampu mengurangi panjang antrean kendaraan [3]. Selain itu, Ahmed et al. mengembangkan sistem kontrol lampu lalu lintas dengan pengolahan citra video dan fuzzy logic untuk menyesuaikan durasi lampu hijau secara lebih presisi [4].

Untuk mengevaluasi sistem kontrol lalu lintas adaptif, dibutuhkan lingkungan simulasi yang mampu menggambarkan kondisi lalu lintas secara realistis. Eclipse SUMO atau Simulation of Urban Mobility merupakan perangkat lunak simulasi lalu lintas mikroskopis yang dapat digunakan untuk memodelkan jaringan jalan, perilaku kendaraan, dan pengaturan sinyal lalu lintas. Dengan mengintegrasikan metode fuzzy Mamdani ke dalam SUMO, sistem dapat membaca kondisi lalu lintas dari simulasi dan menghasilkan durasi lampu hijau yang lebih adaptif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis durasi lampu lalu lintas menggunakan metode fuzzy Mamdani dengan simulasi Eclipse SUMO pada Simpang Teling, Kota Manado. Sistem yang dikembangkan menggunakan volume kendaraan dan panjang antrean sebagai input, sedangkan output yang dihasilkan adalah durasi lampu hijau. Hasil

penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran penerapan teknologi berbasis kecerdasan buatan dalam pengaturan durasi lampu lalu lintas secara adaptif.

2. Landasan Teori

Sistem Lampu Lalu Lintas

Sistem lampu lalu lintas merupakan perangkat pengatur arus kendaraan dan pejalan kaki pada persimpangan. Sistem ini bertujuan untuk mengatur pergerakan kendaraan agar tidak terjadi konflik antararah lalu lintas. Secara umum, lampu lalu lintas terdiri dari tiga fase utama, yaitu merah sebagai tanda berhenti, kuning sebagai tanda persiapan, dan hijau sebagai tanda berjalan. Pada banyak persimpangan, durasi lampu lalu lintas masih ditentukan menggunakan metode fixed-time, yaitu durasi sinyal yang tetap berdasarkan perhitungan atau pola lalu lintas sebelumnya. Sistem ini kurang mampu merespons perubahan volume kendaraan secara langsung, sehingga dapat menyebabkan antrean panjang pada salah satu ruas jalan.

Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan yang dapat menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam data. Konsep fuzzy diperkenalkan oleh Zadeh dan banyak digunakan dalam sistem kontrol karena mampu mengolah nilai linguistik seperti rendah, sedang, tinggi, pendek, dan panjang [12]. Dalam konteks pengaturan lampu lalu lintas, logika fuzzy dapat digunakan untuk mengolah variabel seperti volume kendaraan dan panjang antrean, kemudian menghasilkan keputusan berupa durasi lampu hijau. Contoh aturan fuzzy yang digunakan adalah: jika volume kendaraan tinggi dan panjang antrean panjang, maka durasi lampu hijau panjang

Metode Fuzzy Mamdani

Metode fuzzy Mamdani merupakan salah satu metode inferensi fuzzy yang banyak digunakan dalam sistem kontrol. Metode ini dikenal juga sebagai metode Max-Min. Proses dalam metode Mamdani terdiri atas empat tahap utama, yaitu pembentukan himpunan fuzzy, penerapan fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

Tahap pertama adalah fuzzifikasi, yaitu proses mengubah nilai crisp menjadi derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy. Tahap kedua adalah evaluasi aturan menggunakan aturan IF-THEN. Tahap ketiga adalah agregasi, yaitu penggabungan seluruh hasil aturan fuzzy yang aktif. Tahap terakhir adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah keluaran fuzzy menjadi nilai tegas atau crisp. Pada penelitian ini, defuzzifikasi dilakukan menggunakan metode centroid karena metode ini mempertimbangkan seluruh bentuk daerah keluaran fuzzy sehingga menghasilkan nilai akhir yang lebih seimbang dan proporsional.

Eclipse SUMO

Eclipse SUMO merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk melakukan simulasi lalu lintas mikroskopis. SUMO memungkinkan pengguna untuk membangun jaringan jalan, mengatur pergerakan kendaraan, membuat rute kendaraan, dan menguji skenario pengaturan lampu lalu lintas. Melalui TraCI, SUMO dapat diintegrasikan dengan algoritma eksternal seperti fuzzy logic atau machine learning. Dalam penelitian ini, SUMO digunakan untuk memodelkan Simpang Teling dan menguji pengaturan durasi lampu hijau berbasis fuzzy Mamdani.

Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy merupakan dasar pengambilan keputusan dalam sistem fuzzy Mamdani. Penelitian ini menggunakan dua variabel input, yaitu volume kendaraan dan panjang antrean. Volume kendaraan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Panjang antrean dibagi menjadi pendek, sedang, dan panjang. Output berupa durasi lampu hijau juga dibagi menjadi pendek, sedang, dan panjang. Dengan dua variabel input yang masing-masing memiliki tiga himpunan fuzzy, maka diperoleh 9 aturan fuzzy.

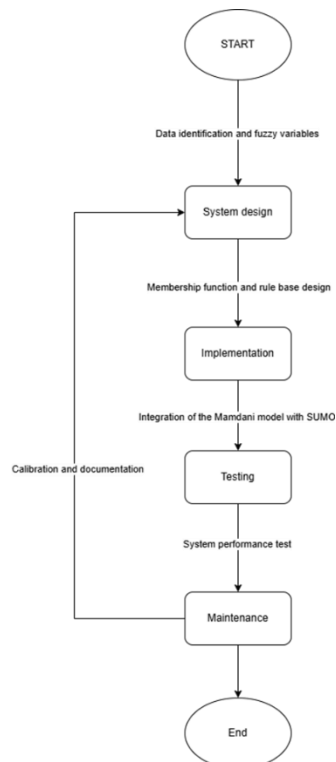
Tabel 1. Aturan Fuzzy Mamdani

NO	Volume Kendaraan	Panjang Antrean	Durasi Hijau
R1	Rendah	Pendek	Pendek
R2	Rendah	Sedang	Sedang
R3	Rendah	Panjang	Sedang
R4	Sedang	Pendek	Sedang
R5	Sedang	Sedang	Sedang
R6	Sedang	Panjang	Panjang
R7	Tinggi	Pendek	Sedang
R8	Tinggi	Sedang	Panjang
R9	Tinggi	Panjang	Panjang

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif dan eksperimental. Penelitian dilakukan untuk merancang dan menguji sistem pengaturan durasi lampu lalu lintas menggunakan metode fuzzy Mamdani. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini mengolah data numerik berupa volume kendaraan, panjang antrian, dan durasi lampu lalu lintas. Pendekatan eksperimental digunakan karena sistem diuji melalui simulasi menggunakan Eclipse SUMO.

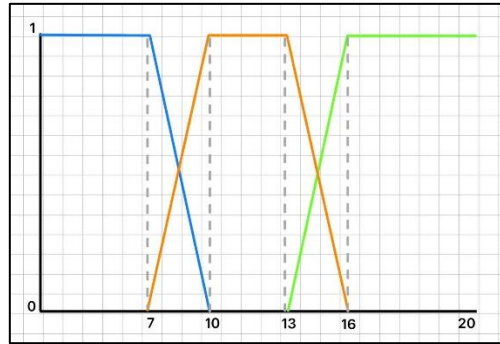
Lokasi penelitian berada di Simpang Teling, Kota Manado. Simpang ini dipilih karena memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi dan menghubungkan empat ruas jalan utama, yaitu Jalan 14 Februari, Jalan Toar, Jalan Diponegoro, dan Jalan Lumimuut. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, yaitu pengamatan volume kendaraan, panjang antrian saat lampu merah, dan durasi lampu lalu lintas eksisting. Data sekunder diperoleh dari instansi terkait, literatur, jurnal ilmiah, dan referensi yang mendukung penelitian.



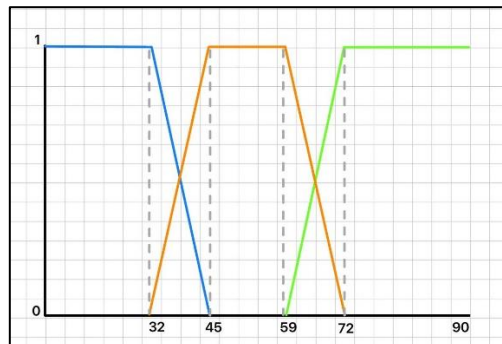
Gambar 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan model. Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan identifikasi data lalu lintas dan parameter yang digunakan dalam sistem fuzzy. Pada tahap perancangan, dibuat rancangan variabel input dan output, fungsi keanggotaan, serta aturan fuzzy. Pada tahap implementasi, sistem fuzzy Mamdani diterapkan menggunakan Python dan diintegrasikan dengan Eclipse SUMO melalui TraCI. Pada tahap pengujian, sistem diamati untuk melihat kemampuan dalam menghasilkan durasi lampu hijau adaptif berdasarkan perubahan volume kendaraan dan panjang antrian.

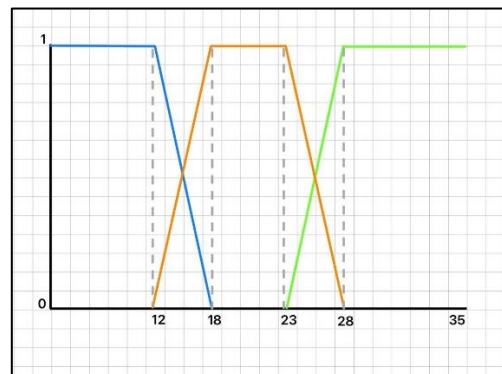
Variabel input pertama adalah volume kendaraan, yaitu jumlah kendaraan dalam satu siklus lampu lalu lintas. Pada sistem fuzzy, domain volume kendaraan ditentukan pada rentang 0 sampai 20 kendaraan per siklus. Variabel input kedua adalah panjang antrian, yaitu panjang antrian kendaraan pada saat fase merah dengan domain 0 sampai 90 meter. Variabel output adalah durasi lampu hijau dengan rentang 0 sampai 35 detik. Rentang tersebut disesuaikan dengan durasi lampu hijau eksisting yang diamati di Simpang Teling, yaitu antara 15 sampai 35 detik.



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan Volume Kendaraan



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan Panjang Antrean



Gambar 4. Grafik Fungsi Keanggotaan Durasi Lampu Hijau

Metode analisis data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan durasi lampu hijau fixed-time dengan durasi lampu hijau yang dihasilkan oleh sistem fuzzy Mamdani. Analisis kualitatif dilakukan dengan mengamati perilaku sistem dalam menyesuaikan durasi lampu hijau terhadap perubahan kondisi lalu lintas pada simulasi SUMO.

4. Hasil Penelitian

Eclipse SUMO

Data observasi diperoleh dari pengamatan langsung pada Simpang Teling. Pengamatan dilakukan pada beberapa periode waktu yang mewakili kondisi lalu lintas harian, yaitu pagi hari, siang hari, dan sore hari. Data yang dikumpulkan meliputi volume kendaraan, panjang antrean, dan durasi lampu lalu lintas eksisting.



Gambar 5. Dokumentasi Pengambilan Data di Lapangan

Tabel 2. Data Volume Kendaraan

Arah Simpang	Pagi 07.00–09.00	Siang 12.00–14.00	Sore 16.00–18.00	Rata-rata
14 Februari	1.245	980	1.310	1.178
Lumimuut	1.120	905	1.250	1.092
Toar	875	720	940	845
Diponegoro	790	655	860	768

Berdasarkan Tabel 2, volume kendaraan tertinggi terdapat pada Jalan 14 Februari dengan rata-rata 1.178 kendaraan, sedangkan Jalan Lumimuut memiliki rata-rata 1.092 kendaraan. Data ini menunjukkan bahwa kedua ruas tersebut memiliki beban lalu lintas yang lebih tinggi dibandingkan Jalan Toar dan Jalan Diponegoro.

Tabel 3. Data Panjang Antrean Kendaraan

Arah Simpang	Pagi 07.00–09.00	Siang 12.00–14.00	Sore 16.00–18.00	Rata-rata
14 Februari	78 m	52 m	85 m	71,7 m
Lumimuut	72 m	48 m	80 m	66,7 m
Toar	55 m	36 m	60 m	50,3 m
Diponegoro	49 m	30 m	54 m	44,3 m

Berdasarkan Tabel 3, panjang antrean tertinggi terjadi pada Jalan 14 Februari dan Jalan Lumimuut. Hal ini sejalan dengan data volume kendaraan yang menunjukkan bahwa kedua ruas jalan tersebut memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi. Panjang antrean menjadi salah satu parameter penting dalam sistem fuzzy karena dapat menunjukkan tingkat kepadatan kendaraan pada saat fase merah.

Tabel 4. Data Durasi Lampu Lalu Lintas Eksisting

No	Arah Simpang	Hijau	Kuning	Merah
1	14 Februari	35 detik	3 detik	97 detik
2	Toar	35 detik	3 detik	97 detik
3	Diponegoro	30 detik	3 detik	102 detik
4	Lumimuut	15 detik	3 detik	117 detik

Berdasarkan Tabel 4, sistem lampu lalu lintas eksisting masih menggunakan durasi tetap. Jalan Lumimuut memperoleh durasi hijau paling singkat, yaitu 15 detik, meskipun data observasi menunjukkan bahwa ruas tersebut memiliki volume kendaraan dan panjang antrean yang cukup tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem fixed-time belum mampu menyesuaikan durasi lampu hijau dengan kebutuhan lalu lintas aktual.

Perancangan Sistem Fuzzy Mamdani

Sistem fuzzy Mamdani dirancang dengan dua variabel input dan satu variabel output. Variabel input terdiri dari volume kendaraan dan panjang antrean, sedangkan variabel output adalah durasi lampu hijau. Setiap variabel dibagi ke dalam tiga kategori linguistik. Volume kendaraan terdiri dari rendah, sedang, dan tinggi. Panjang antrean terdiri dari pendek, sedang, dan panjang. Durasi lampu hijau terdiri dari pendek, sedang, dan panjang. Proses inferensi Mamdani dilakukan melalui empat tahap. Pertama, nilai input dari simulasi dikonversi menjadi derajat keanggotaan melalui proses fuzzifikasi. Kedua, sistem mengevaluasi aturan fuzzy berdasarkan kombinasi volume

kendaraan dan panjang antrean. Ketiga, hasil aturan yang aktif digabungkan melalui proses agregasi. Keempat, hasil agregasi diubah menjadi nilai crisp menggunakan metode centroid sehingga diperoleh durasi lampu hijau dalam satuan detik.

Contoh perhitungan manual dilakukan pada Jalan Lumimuut. Pada periode sore hari, Jalan Lumimuut memiliki volume kendaraan 1.250 kendaraan selama dua jam dan panjang antrean 80 meter. Durasi siklus lampu lalu lintas eksisting adalah 135 detik. Karena periode observasi dua jam sama dengan 7.200 detik, maka jumlah siklus dalam periode tersebut adalah:

$$\text{Jumlah siklus} = \frac{7.200}{135} = 53,33 \text{ siklus} \quad (1)$$

Volume kendaraan per siklus dihitung sebagai berikut

$$\text{Volume kendaraan per siklus} = \frac{1.250}{53,33} = 23,44 \text{ kendaraan per siklus} \quad (2)$$

Karena domain volume kendaraan pada sistem fuzzy dibatasi dari 0 sampai 20 kendaraan per siklus, maka nilai 23,44 kendaraan per siklus diperlakukan sebagai nilai maksimum, yaitu 20 kendaraan per siklus. Dengan demikian, input volume kendaraan masuk sepenuhnya pada kategori tinggi. Panjang antrean sebesar 80 meter juga masuk sepenuhnya pada kategori panjang. Oleh karena itu, aturan fuzzy yang aktif adalah “R9: Jika volume kendaraan tinggi dan panjang antrean panjang, maka durasi lampu hijau panjang”. Karena kedua input memiliki derajat keanggotaan 1, firing strength dihitung dengan operator MIN sebagai berikut:

$$\alpha = \min(\mu\text{Tinggi}(20), \mu\text{Panjang}(80)) \quad (3)$$

$$\alpha = \min(1, 1) \quad (4)$$

$$\alpha = 1 \quad (5)$$

Output yang aktif adalah durasi hijau kategori Panjang dengan derajat keanggotaan 1. Pada fungsi keanggotaan durasi hijau, kategori Panjang dimulai dari 23 detik, mencapai derajat penuh pada 30 detik, dan tetap penuh sampai 35 detik. Oleh karena itu, defuzzifikasi centroid dihitung pada area 23-35 detik. Denominator atau luas area output fuzzy dihitung sebagai berikut:

$$A = \int_{23}^{30} \frac{z - 23}{7} dz + \int_{23}^{35} 1 dz \quad (6)$$

$$A = 3,5 + 5 = 8,5 \quad (7)$$

Numerator atau momen area output fuzzy dihitung sebagai berikut:

$$M = \int_{23}^{30} \frac{z - 23}{7} z dz + \int_{23}^{35} z dz \quad (8)$$

$$M = 96,83 + 162,50 = 259,33 \quad (9)$$

Nilai crisp durasi hijau diperoleh dari pembagian momen terhadap luas area:

$$z^* = \frac{M}{A} = z^* = \frac{259,33}{8,5} = 30,51 \text{ detik} \approx 31 \text{ detik} \quad (10)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, sistem fuzzy Mamdani merekomendasikan durasi lampu hijau sebesar 31 detik untuk Jalan Lumimuut pada kondisi volume kendaraan tinggi dan antrean panjang. Nilai ini lebih besar dibandingkan durasi hijau eksisting sebesar 15 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem fuzzy mampu memberikan durasi hijau yang lebih proporsional pada ruas jalan dengan kebutuhan lalu lintas yang lebih tinggi.

Tabel 5. Hasil perhitungan fuzzy pada Jalan Lumimuut

Keterangan	Nilai
Volume observasi	1.250 kendaraan / 2 jam
Volume per siklus	23,44 kendaraan/siklus
Input fuzzy volume	20 kendaraan/siklus
Panjang antrean	80 meter

Aturan aktif	Tinggi dan Panjang -> Durasi Hijau Panjang
Durasi hijau eksisting	15 detik
Durasi hijau fuzzy	31 detik
Selisih	+16 detik

Perbandingan hasil pada beberapa ruas menunjukkan bahwa sistem fixed-time memberikan durasi hijau yang konstan, sedangkan sistem fuzzy dapat menghasilkan durasi yang berbeda sesuai kondisi input. Dengan demikian, sistem fuzzy tidak selalu menambah durasi hijau, tetapi menyesuaikan durasi berdasarkan volume kendaraan dan panjang antrian yang terbaca.

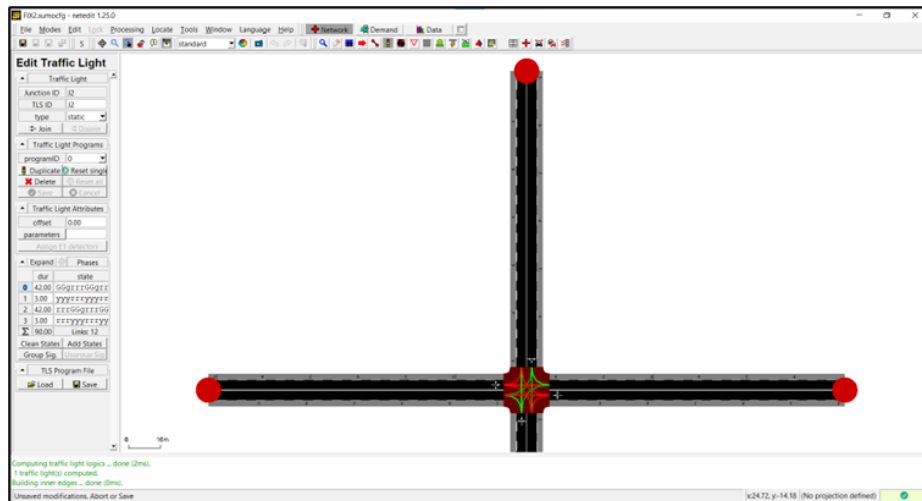
Tabel 6. Perbandingan contoh durasi fixed-time dan fuzzy

Keterangan	Durasi Hijau
Sistem fixed-time eksisting	15 detik
Sistem fuzzy Mamdani	31 detik
Selisih	+16 detik

Hasil 31 detik pada Jalan Lumimuut harus dipahami sebagai contoh perhitungan pada satu kondisi lalu lintas, bukan evaluasi menyeluruh seluruh persimpangan. Evaluasi kinerja menyeluruh seperti rata-rata waktu tunggu, rata-rata panjang antrian, dan jumlah kendaraan terlayani dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

Implementasi Sistem pada SUMO

Implementasi sistem dilakukan menggunakan Eclipse SUMO sebagai lingkungan simulasi lalu lintas. Model Simpang Teling dibangun berdasarkan empat ruas jalan utama, yaitu Jalan 14 Februari, Jalan Toar, Jalan Diponegoro, dan Jalan Lumimuut. Setiap ruas dimodelkan sebagai jalur masuk dan jalur keluar, sedangkan bagian tengah simpang dikonfigurasi sebagai simpang yang dikendalikan oleh lampu lalu lintas.



Gambar 6. Model Simulasi Simpang Teling pada Eclipse SUMO

Sistem simulasi dibagi menjadi dua skenario. Skenario pertama adalah sistem fixed-time, yaitu pengaturan lampu lalu lintas sesuai kondisi eksisting. Skenario kedua adalah sistem adaptif berbasis fuzzy Mamdani, yaitu sistem yang menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan volume kendaraan dan panjang antrian. Integrasi antara fuzzy Mamdani dan SUMO dilakukan menggunakan Python dan TraCI. Melalui TraCI, sistem dapat membaca data kendaraan dari simulasi, memproses data tersebut menggunakan sistem fuzzy, kemudian menerapkan hasil durasi hijau ke dalam simulasi.

```

SYSTEM FIX TIME > teing.edg.xml
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <edges>
3 <!-- 14 Februari = kiri/barat -->
4 <edge id="14feb_in" from="W_14FEB" to="J0" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
5 <edge id="14feb_out" from="J0" to="W_14FEB" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
6
7 <!-- Toar = atas/utara -->
8 <edge id="toar_in" from="N_TOAR" to="J0" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
9 <edge id="toar_out" from="J0" to="N_TOAR" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
10
11 <!-- Diponegoro = kanan/timur -->
12 <edge id="diponegoro_in" from="E_DIPONEGORO" to="J0" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
13 <edge id="diponegoro_out" from="J0" to="E_DIPONEGORO" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
14
15 <!-- Lumimuut = bawah/selatan -->
16 <edge id="lumimuut_in" from="S_LUMIMUUT" to="J0" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
17 <edge id="lumimuut_out" from="J0" to="S_LUMIMUUT" priority="1" numLanes="2" speed="13.9"/>
18 </edges>
19
    
```

Gambar 7. Integrasi Python dan TraCI dengan SUMO

Hasil Simulasi dan Perbandingan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem fixed-time memberikan durasi hijau yang tetap pada setiap ruas jalan tanpa memperhatikan perubahan kondisi lalu lintas. Sebaliknya, sistem fuzzy Mamdani menghasilkan durasi hijau yang berbeda-beda sesuai dengan volume kendaraan dan panjang antrean yang terdeteksi selama simulasi.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
-----
Time : 40 seconds
Road Name : Lumimuut
Vehicle Volume : 5 vehicles/cycle
Queue Length : 22.50 meters
Vehicle Category : Low
Queue Length Category : Short
Active Rule : IF Vehicle is Low AND Queue is Short THEN Green Duration is Short
Fuzzy Green Duration : 5.30 seconds
Fuzzy Green Duration : 7 seconds
Fixed-Time Duration : 15 seconds
-----
Time : 53 seconds
Road Name : 14 Februari
Vehicle Volume : 9 vehicles/cycle
Queue Length : 30.00 meters
Vehicle Category : Medium
Queue Length Category : Short
Active Rule : IF Vehicle is Medium AND Queue is Short THEN Green Duration is Medium
Fuzzy Green Duration : 16.47 seconds
Fuzzy Green Duration : 16 seconds
Fixed-Time Duration : 35 seconds
-----
Time : 75 seconds
Road Name : Toar
Vehicle Volume : 10 vehicles/cycle
Queue Length : 52.50 meters
Vehicle Category : Medium
Queue Length Category : Medium
Active Rule : IF Vehicle is Medium AND Queue is Medium THEN Green Duration is Medium
Fuzzy Green Duration : 22.00 seconds
Fuzzy Green Duration : 23 seconds
Fixed-Time Duration : 35 seconds
-----
Time : 104 seconds
Road Name : Diponegoro
Vehicle Volume : 12 vehicles/cycle
Queue Length : 52.50 meters
Vehicle Category : Medium
Queue Length Category : Medium
Active Rule : IF Vehicle is Medium AND Queue is Medium THEN Green Duration is Medium
Fuzzy Green Duration : 22.00 seconds
Fuzzy Green Duration : 23 seconds
Fixed-Time Duration : 30 seconds
    
```

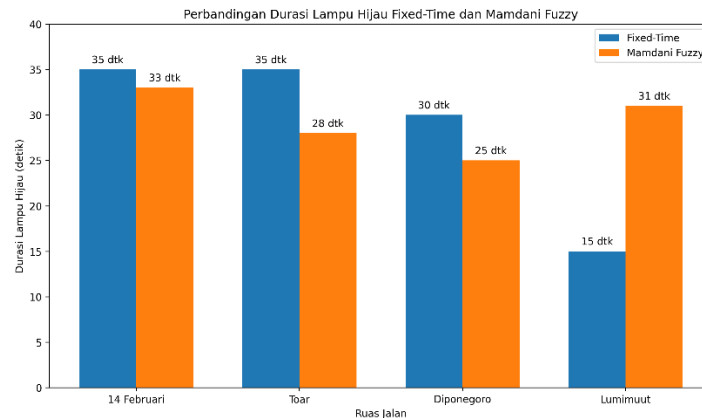
Gambar 8. Output Sistem Fuzzy pada Command Prompt

Tabel 7. Perbandingan Output Fixed-Time dan Fuzzy Mamdani

No	Nama Jalan	Kondisi Lalu Lintas	Fixed-Time	Output Fuzzy	Selisih
1	14 Februari	Tinggi	35 detik	33 detik	-2 detik
2	Toar	Sedang	35 detik	28 detik	-7 detik
3	Diponegoro	Sedang	30 detik	25 detik	-5 detik
4	Lumimuut	Tinggi	15 detik	31 detik	+16 detik

Berdasarkan Tabel 7, sistem fixed-time memberikan durasi lampu hijau yang tetap pada setiap ruas jalan. Jalan 14 Februari dan Jalan Toar sama-sama memperoleh durasi hijau 35 detik, sedangkan Jalan Lumimuut hanya memperoleh durasi hijau 15 detik. Padahal, Jalan Lumimuut memiliki volume kendaraan dan panjang antrean yang tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem fixed-time belum mempertimbangkan kebutuhan lalu lintas aktual pada setiap ruas jalan.

Sistem fuzzy Mamdani menghasilkan durasi hijau yang lebih adaptif. Ruas jalan dengan kondisi lalu lintas sedang memperoleh durasi hijau yang lebih pendek, seperti Jalan Toar sebesar 28 detik dan Jalan Diponegoro sebesar 25 detik. Sementara itu, Jalan Lumimuut memperoleh durasi hijau 31 detik karena memiliki volume kendaraan tinggi dan antrean panjang. Dengan demikian, sistem fuzzy Mamdani dapat memberikan prioritas lebih besar kepada ruas jalan yang memiliki kebutuhan lalu lintas lebih tinggi.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Antara Metode Fuzzy dan Fixed-Time

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode fuzzy Mamdani mampu menghasilkan durasi lampu hijau yang lebih fleksibel dibandingkan sistem fixed-time. Sistem fixed-time hanya menggunakan durasi yang telah ditentukan sebelumnya, sedangkan sistem fuzzy menghitung durasi lampu hijau berdasarkan kondisi aktual lalu lintas. Mekanisme adaptif ini memungkinkan distribusi waktu hijau yang lebih proporsional pada setiap ruas jalan di Simpang Teling.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan simulasi, metode fuzzy Mamdani dapat diterapkan untuk menentukan durasi lampu lalu lintas adaptif pada Simpang Teling, Kota Manado. Sistem menggunakan dua variabel input, yaitu volume kendaraan dan panjang antrian, serta satu variabel output, yaitu durasi lampu hijau. Sistem fixed-time menggunakan durasi lampu hijau yang tetap dan tidak merespons perubahan volume kendaraan maupun panjang antrian. Sebaliknya, sistem fuzzy Mamdani dapat menyesuaikan durasi lampu hijau berdasarkan kondisi lalu lintas pada setiap ruas jalan.

Pada contoh perhitungan Jalan Lumimuut, sistem fuzzy Mamdani menghasilkan durasi lampu hijau sebesar 31 detik pada kondisi volume kendaraan tinggi dan antrian panjang. Nilai ini lebih besar dibandingkan durasi lampu hijau eksisting sebesar 15 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem fuzzy Mamdani dapat memberikan waktu hijau yang lebih proporsional pada ruas jalan dengan kebutuhan lalu lintas yang lebih tinggi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa fuzzy Mamdani dapat digunakan sebagai pendekatan adaptif dalam pengaturan durasi lampu lalu lintas berbasis simulasi. Namun, penelitian ini masih terbatas pada perhitungan durasi hijau dan output simulasi sampel. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan evaluasi yang lebih komprehensif dengan melibatkan seluruh lengan simpang, waktu tunggu rata-rata, panjang antrian rata-rata, jumlah kendaraan yang terlayani, dan kinerja simpang secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, "Jumlah kendaraan bermotor menurut kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Utara tahun 2024," BPS Provinsi Sulawesi Utara, Manado, 2024.
- [2] A. Kadhim, H. Al-Mamoori, and A. Ali, "Fuzzy logic-based traffic light control system for real-time traffic management," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 210–217, 2021.
- [3] P. Chandra and C. H. Lee, "Adaptive traffic control system using Mamdani fuzzy inference and sensor based vehicle detection," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 26, no. 7, pp. 1153–1164, 2022.
- [4] R. Ahmed, S. Khan, and M. Rahman, "Intelligent traffic signal control using fuzzy logic and video image processing," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 58439–58451, 2024.
- [5] D. Sutanto and B. Pradana, "Implementasi sistem kontrol lampu lalu lintas berbasis logika fuzzy untuk peningkatan efisiensi arus kendaraan," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 6, pp. 1230–1240, 2020.
- [6] G. Sahuilawane, S. Y. R. Rompis, and L. I. R. Lefrandt, "Analisis kinerja simpang bersignal di Jalan Bethesda – Jalan Santo Yoseph Kota Manado," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 5, 2024.
- [7] M. Jafari, M. Naderi, and H. Khosravi, "Lyapunov-fuzzy control approach for adaptive traffic light systems," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2021, pp. 1–13, 2021.
- [8] A. Ujjianto, "Rancang bangun sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis logika fuzzy Mamdani pada persimpangan satu jalur dinamis," *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 185–193, 2022.
- [9] R. Yadav, P. Singh, and S. Kumar, "Real-time optimization of urban traffic signals using fuzzy logic and

- IoT sensors,” *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, vol. 149, no. 4, 2023.
- [10] N. Fahrunnisa, D. Rahmawati, and A. Nurhadi, “Penerapan logika fuzzy berbasis deteksi kendaraan menggunakan YOLO untuk pengaturan durasi lampu lalu lintas adaptif pada simulasi SUMO,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 45–53, 2024.
- [11] International Telecommunication Union Research Group, *Fuzzy-based traffic signal optimization for urban mobility systems*. Geneva: ITU Publications, 2021.
- [12] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [13] M. Abdou, R. Hassan, and A. Mohamed, “Fuzzy logic-based traffic light control system for adaptive signal timing under adverse weather conditions,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 5, pp. 112–120, 2022.
- [14] A. Najm Abood, “Comparison between traditional and fuzzy logic controllers in urban traffic management systems,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 223–231, 2024.
- [15] W. Li, X. Zhao, and H. Wang, “Simulation of urban traffic signal optimization based on fuzzy control using SUMO,” *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 417–424, 2021.
- [16] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner’s Approach*, 9th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2020.