

Optimasi Lampu Lalu Lintas Simpang Tabuik Kota Pariaman Menggunakan Graf *Fuzzy* Berbasis FIS Tipe Mamdani

Alda Wahyu Regita Cahyani¹, Media Rosha²

^{1,2} Program Studi Matematika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam, Universitas Negeri Padang (UNP)

Article Info

Article history:

Received August 01, 2023

Revised August 07, 2023

Accepted September 20, 2023

Keywords:

Congestion

Traffic Light

Fuzzy Graph

Fuzzy Inference System

Fuzzy Mamdani

Kata Kunci:

Kemacetan

Lampu Lalu Lintas

Graf *Fuzzy*

Fuzzy Inference System

Fuzzy Mamdani

ABSTRACT

Poor traffic light regulation is one of the causes of congestion. One of the factors contributing to congestion is inadequate traffic light control, especially at the Tabuik Kota Pariaman intersection. Fuzzy graph is a part of mathematical science that combines graph theory with fuzzy logic. Fuzzy graphs can be used as a method to solve congestion problems related to traffic light durations. This research aims to determine the duration of green light based on queue length. The data collected includes primary data on traffic duration, road width, and the number of vehicles passing through each leg of the intersection. The research results show that by using a fuzzy graph based on the Mamdani fuzzy inference system, the overall average at the Tabuik intersection, the total duration of green light obtained is 80 seconds, which is a decrease of 8.75% from the initial condition, while the total duration of red light obtained is 404 seconds, which is an increase of 1.76% from the initial condition.

ABSTRAK

Regulasi lampu lalu lintas yang buruk menjadi salah satu penyebab kemacetan. Salah satu penyebab kemacetan adalah faktor pengaturan lampu lalu lintas yang kurang baik khususnya pada simpang Tabuik Kota Pariaman. Graf *fuzzy* adalah bagian ilmu matematika yang menggabungkan teori graf dengan logika *fuzzy*. Graf *fuzzy* dapat digunakan sebagai metode penyelesaian masalah kemacetan terkait durasi lampu lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lama waktu lampu hijau berdasarkan panjang antrian. Data diambil adalah data primer meliputi data lama durasi lalu lintas, lebar jalan, dan banyaknya kendaraan yang melalui setiap kaki simpang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan graf *fuzzy* berbasis *fuzzy inference system* tipe Mamdani diperoleh rata-rata keseluruhan, pada simpang Tabuik durasi total seluruh waktu hijau yang diperoleh adalah 80 detik yaitu mengalami penurunan sebesar 8,75% dari kondisi awal, sedangkan durasi total seluruh waktu merah yang diperoleh adalah 404 detik yaitu mengalami kenaikan sebesar 1,76% dari kondisi awal.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis pertama

(Alda Wahyu Regita Cahyani)

Program Studi Matematika, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar barat, Padang Utara, Padang, Indonesia. Kode Pos: 25131

Email: aldaregita15@gmail.com



1. PENDAHULUAN

Hal yang menjadi kendala bagi setiap pengemudi yang terlibat dalam transportasi adalah adanya kemacetan lalu lintas. Kemacetan adalah suatu keadaan dimana arus lalu lintas berhenti karena terhambatnya pergerakan kendaraan [1]. Dalam kebanyakan kasus, ketidakseimbangan antara kepadatan kendaraan dan lebar jalan menjadi penyebab kemacetan [2]. Pengaturan lampu lalu lintas yang kurang baik merupakan salah satu dari banyak hal yang mungkin berkontribusi terhadap kemacetan lalu lintas [3]. Kemacetan terjadi ketika terlalu banyak kendaraan tidak sebanding dengan lebar jalan, atau ketika kendaraan tersebut bergerak pada waktu dan tempat yang sama. Kemacetan dapat mengurangi kecepatan yang dapat meningkatkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengemudi dan Biaya Operasional Kendaraan (BOK), hal ini juga membuat lebih sulit dalam beraktivitas dan terkadang bisa membuat kita menjadi stres [4].

Salah satu simpang yang mengalami kemacetan yaitu simpang Tabuik yang terletak di kota Pariaman. Simpang Tabuik adalah salah satu simpang yang cukup sering mengalami kemacetan di Kota Pariaman terutama pada jam sibuk pukul 17.30-18.30 WIB. Persimpangan ini ramai dilalui kendaraan karena persimpangan ini merupakan jalur akses menuju sekolah, stasiun kereta api, perkantoran, pasar, tempat wisata, perumahan masyarakat, dan lain lain. Pengendalian kemacetan yang diterapkan di persimpangan ini untuk mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas. Maka dari itu, persimpangan perlu memiliki sistem kontrol lampu lalu lintas yang efektif untuk menyesuaikan kondisi saat ini. Graf *fuzzy* adalah bagian dari ilmu matematika yang menggabungkan teori graf dengan logika *fuzzy*. Didalam logika *fuzzy* terdapat sistem inferensi dari logika *fuzzy* yang dinamakan *Fuzzy Inference System* (FIS). Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Kurniawan (2016) telah dilakukan penelitian tentang graf *fuzzy* dengan FIS yang diterapkan pada pengaturan lalu lintas. Oleh karena itu, penggunaan teori graf dan logika *fuzzy* dapat digunakan untuk mengatur pengaturan lampu lalu lintas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui optimasi waktu lampu lalu lintas menggunakan graf *fuzzy* berbasis *Fuzzy Inference System* atau tipe Mamdani, dan kemudian hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan durasi lampu lalu lintas pada kondisi sekarang ini.

2. DASAR TEORITIS KOMPREHENSIF

Salah satu cabang dari ilmu matematika yang membahas himpunan titik dan garis adalah Teori Graf. Graf didefinisikan sebagai sepasang himpunan (V, E), ditulis notasi $G = (V, E)$, dimana V ialah himpunan titik (*vertices*) sedangkan E ialah himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan sepasang titik [5]. Salah satu sub ilmu dari graf yaitu graf *fuzzy*. Graf *fuzzy* adalah graf yang terdiri dari himpunan titik dan himpunan sisi dengan nilai keanggotaan dengan interval tutup $[0,1]$ untuk setiap titik atau sisi [6].

Sebuah metodologi berhitung/komputasi yang dikenal adalah logika *Fuzzy* dimana menggunakan variabel bahasa sebagai pengganti bilangan yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan [7]. Walaupun tidak sepresisi bilangan, kata-kata yang digunakan berbuhungan dengan pemahaman manusia. Logika *fuzzy* berguna untuk memetakan masalah dari *input* menuju *output* [8]. *Fuzzy Inference System* (FIS) merupakan aplikasi modern dari logika *fuzzy*.

Fuzzy Inference System (FIS) merupakan cara untuk menghubungkan ruang *input* ke *output* menggunakan logika *fuzzy*. FIS merumuskan bahasa penalaran manusia dengan menggunakan logika *fuzzy* yaitu aturan *if x is A then y is B*. Sebelum aturan tersebut diterapkan, variabel *input* dan *output* harus dikaburkan dan dikonversi menggunakan fungsi keanggotaan [9]. FIS adalah sistem yang dapat menganalisis semua aturan (*rule*) secara bersamaan dan memberikan kesimpulan, urutan *rule* ini dapat berubah-ubah. Sebelum membangun FIS untuk menafsirkan aturan, Semua *rule* harus didefinisikan terlebih dahulu [10]. FIS memiliki beberapa metode, salah satunya metode Mamdani [7].

Salah satu sistem kontrol yang paling awal dikembangkan dengan FIS adalah metode Mamdani [11]. FIS tipe Mamdani telah banyak digunakan dalam beberapa disiplin ilmu, termasuk pengambilan keputusan dan sistem kontrol. Salah satu keunggulan dari FIS-Mamdani adalah kemampuan untuk menangani masalah yang tidak pasti. Selain itu, FIS-Mamdani menggunakan

aturan linguistik yang dapat dimengerti manusia, hasilnya memiliki kesalahan yang cenderung sedikit, serta memberikan hasil yang jelas dan mudah dianalisis dalam bentuk himpunan *fuzzy* sehingga membuatnya sesuai untuk digunakan dalam aplikasi pengambilan keputusan [12].

3. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dan berlokasi di simpang Tabuik dan simpang Amadin Kota Pariaman. Data primer adalah data yang langsung dievaluasi oleh peneliti, data yang dimaksud adalah data durasi lampu lalu lintas, data lebar jalan setiap simpang, dan data jumlah kendaraan yang melewati setiap simpang.

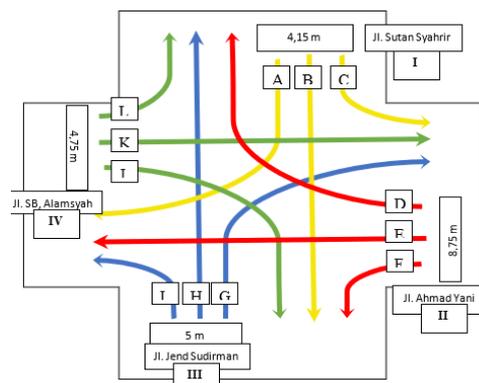
Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

1. Menggambar simpang Tabuik dan simpang Amadin termasuk fase arus lalu lintas yang terjadi di lapangan.
2. Identifikasi data kepadatan kendaraan motor dan mobil.
3. Pembentukan graf *fuzzy*
 - a. Menentukan variabel *input* dan *output* yang digunakan dalam graf *fuzzy*.
 - b. Menentukan fungsi keanggotaan (nilai keanggotaan) berdasarkan panjang antrian setiap arus.
 - c. Membuat graf kompatibel dengan pelabelan nilai keanggotaan *fuzzy* (graf berbobot).
 - d. Membuat subgraf lengkap kompatibel dengan pelabelan nilai keanggotaan *fuzzy* (graf berbobot).
4. Menghitung durasi lampu lalu lintas dengan menggunakan logika *fuzzy*.
 - a. Membentuk aturan *fuzzy* berdasarkan domain dari variabel *input* dan *output*.
 - b. Melakukan Perhitungan *Fuzzy Inference System* tipe Mamdani.
5. Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan kondisi awal di lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambar Simping Tabuik beserta Fase Arus Lalu Lintas

Berdasarkan data dari observasi di lapangan, simpang Tabuik memiliki 4 fase yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Arus Lalu Lintas Simping Tabuik

Pada Gambar 1, pada setiap kaki simpang memiliki masing-masing 3 arus yaitu arus belok kiri, arus lurus, dan arus belok kanan. Sehingga seluruhnya ada 12 arus yang ditandai dengan huruf A sampai L.

Data durasi dari lampu lalu lintas yang didapatkan dari observasi di lapangan pada simpang Tabuik dilihat pada Tabel 1.



Tabel 1. Durasi Lampu Lalu Lintas Simpang Tabuik

Ruas	Durasi Lampu Lalu Lintas (s)		
	Hijau (s)	Kuning (s)	Merah (s)
Jalan Sutan Syahrir	23	3	98
Jalan Ahmad Yani	23	3	98
Jalan SB. Alamsyah	18	3	103
Jalan Jend. Sudirman	23	3	98
Total Keseluruhan	124		

Sehingga diperoleh 29 siklus dalam satu jam pada simpang Tabuik.

4.2 Identifikasi Data Kepadatan Kendaraan

Panjang antrian kemudian harus ditentukan sebagai variabel *input* karena panjang antrian ini adalah masalah transportasi yang umum [13]. Rumus perhitungan panjang antrian yaitu:

$$\text{Panjang Antrian} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i c_i}{n \times l}$$

Keterangan:

a : Jumlah Kendaraan Ringan dan Berat

c : Luas Kendaraan Ringan dan Berat

n : Banyak Siklus Lampu Hijau dalam Satu Jam

l : Lebar Jalan

Sehingga diperoleh panjang antrian pada simpang Tabuik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Panjang Antrian

Simpang Tabuik			
Arus	KR	KB	Panjang Antrian
A	148	44	6,1 meter
B	130	58	6,9 meter
C	180	62	8,1 meter
D	230	122	6,6 meter
E	526	170	10,8 meter
F	256	108	6,2 meter
G	232	98	9,9 meter
H	163	98	9 meter
I	557	250	24,9 meter
J	216	143	13,5 meter
K	344	147	24,4 meter
L	209	86	7 meter

Keterangan:

KR : Kendaraan Ringan

KB : Kendaraan Berat

Arus A,B,C : Arus Fase Pertama Simpang Tabuik

Arus D,E,F : Arus Fase Kedua Simpang Tabuik

Arus G,H,I : Arus Fase Ketiga Simpang Tabuik

Arus J,K,L : Arus Fase Keempat Simpang Tabuik

Pada tabel 2, yang dimaksud kendaraan ringan yaitu sepeda motor. Sedangkan kendaraan ringan yaitu mobil.

4.3. Graf Fuzzy untuk menentukan Fase Arus Lalu Lintas

4.3.1. Variabel *Input* dan *Output*

Variabel *input* yang dipakai ialah panjang antrian pada setiap kaki simpang. Sedangkan untuk variabel *output* adalah lama durasi untuk lampu hijau. Data pengamatan kendaraan diolah ke dalam fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan atau (*membership function*) yaitu titik *input* data diubah menjadi nilai keanggotaan atau (derajat keanggotaan) dengan interval dari 0 sampai 1. Suatu metode untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan pendekatan fungsi [14]. Dua garis linear yang digabungkan disebut dengan kurva segitiga. Tiga parameter {a,b,c} membentuk fungsi keanggotaan segitiga [15].

$$\mu_{\text{sangat sepi}}(x; 0,0,20) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 0 \\ \frac{20-x}{20-0} & ; 0 \leq x \leq 20 \\ 0 & ; 20 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sepi}}(x; 10,30,50) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 10 \\ \frac{x-10}{30-10} & ; 10 \leq x \leq 30 \\ \frac{50-x}{50-30} & ; 30 \leq x \leq 50 \\ 0 & ; 50 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{\text{normal}}(x; 30,50,70) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 30 \\ \frac{x-30}{50-30} & ; 30 \leq x \leq 50 \\ \frac{70-x}{70-50} & ; 50 \leq x \leq 70 \\ 0 & ; 70 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{\text{ramai}}(x; 50,70,90) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 50 \\ \frac{x-50}{70-50} & ; 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{90-x}{90-70} & ; 70 \leq x \leq 90 \\ 0 & ; 90 \leq x \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sangat ramai}}(x; 70,100,100) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 70 \\ \frac{x-70}{100-70} & ; 70 \leq x \leq 100 \\ 1 & ; 100 \leq x \end{cases}$$

4.3.2 Nilai Keanggotaan pada *Input* dan *Output*

Untuk operasi yang digunakan adalah operasi *union* (*or*), nilai keanggotaan diperoleh dengan mencari nilai maksimum dari dua himpunan. Sehingga diperoleh bobot titik pada setiap arus di simpang Tabuik pada Tabel 3.

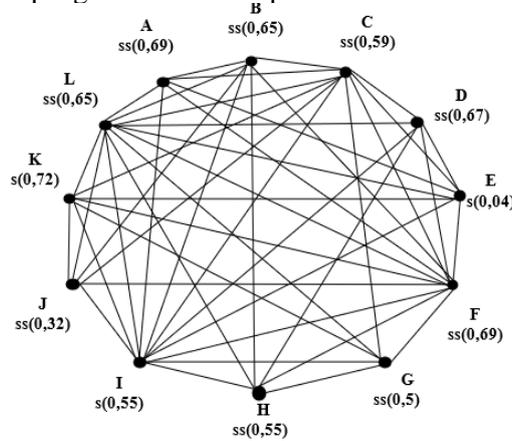
Tabel 3. Nilai Keanggotaan untuk Setiap Arus Simpang Tabuik

Arus	Nilai Keanggotaan
A	ss(0,69)
B	ss(0,65)
C	ss(0,59)
D	ss(0,67)
E	s(0,04)
F	ss(0,69)
G	ss(0,5)
H	ss(0,55)
I	s(0,74)
J	ss(0,32)
K	ss(0,72)
L	ss(0,65)

4.3.3. Graf Kompatibel dengan Pelabelan *Fuzzy*



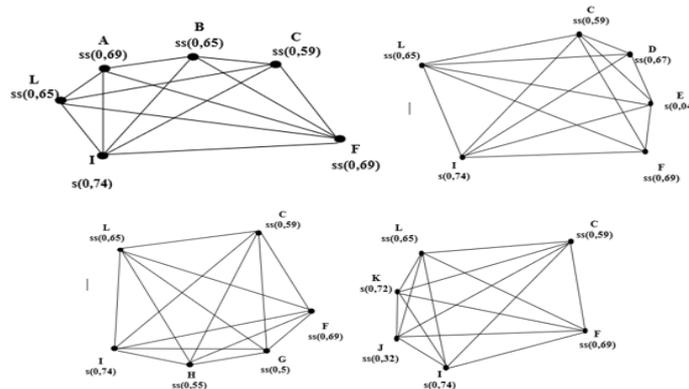
Membuat graf kompatibel berbobot secara keseluruhan sesuai dengan arus lalu lintas di simpang Tabuik, dimana bobot untuk titik-titik disesuaikan dengan Tabel 3. Graf kompatibel secara keseluruhan pada simpang Tabuik dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Graf Kompatibel Berbobot Simpang Tabuik

Graf kompatibel berbobot diperoleh dari arus yang aman dan tidak saling bertabrakan apabila berjalan bersamaan. Misalnya pada titik B ke titik E tidak terhubung dengan garis, dikarenakan pada arus B dan E apabila berjalan secara bersamaan akan saling bertabrakan, maka hal tersebut tidak dapat dikatakan kompatibel. Sedangkan arus B dan A terhubung oleh garis dikarenakan kedua arus tersebut apabila berjalan secara bersamaan tidak bertabrakan, sehingga dapat dikatakan kompatibel. Dapat disimpulkan bahwa titik-titik yang saling terhubung dengan garis merupakan titik-titik yang kompatibel.

Setelah diperoleh graf kompatibel berbobot, langkah selanjutnya adalah mencari seluruh subgraf dari graf yang kompatibel untuk arus lalu lintas di simpang Tabuik. Tujuan dari subgraf ini yaitu untuk mendefinisikan fase dari arus lalu lintas. Gambar 3 menggambarkan fase arus lalu lintas.



Gambar 3. Subgraf Lengkap Kompatibel Simpang Tabuik

Subgraf diperoleh dari arus lalu lintas yang bisa berjalan secara bersamaan. Misalnya dapat dilihat arus A,B,C dapat berjalan bersamaan dengan arus F,I,dan L tanpa terjadi tabrakan dikarenakan arus F,I, dan L merupakan arus belok kiri yang tidak mengikuti isyarat lampu lalu lintas. Berdasarkan subgraf diatas, diperoleh fase dari lalu lintas simpang Tabuik pada Tabel 4.

Tabel 4. Fase dari Arus Lalu Lintas simpang Tabuik			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
A,B,C,F,I,L	C,D,E,F,I,L	C,F,G,H,I,L	C,F,I,J,K,L

4.4. Perhitungan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Logika Fuzzy

4.4.1 Aturan Fuzzy Berdasarkan Domain dari Variabel Input dan Output

Logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan lampu lalu lintas. *Fuzzy Inference System Mamdani* merupakan tipe logika *fuzzy* yang akan digunakan. Variabel linguistik *input* dan *output* masing-masing adalah panjang antrian dan lama lampu hijau. Berikut tabel yang mencantumkan domain dari variabel *input* dan *output* yang digunakan berdasarkan [6] dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Domain Variabel *Input* dan *Output*

Fungsi	Variabel	Satuan	<i>Fuzzy</i>	Semesta	Domain
<i>Input</i>	Panjang Antrian	Meter	Sangat Sepi	[0,100]	[0,20]
			Sepi		[10,50]
			Normal		[30,70]
			Ramai		[50,90]
			Sangat Ramai		[70,100]
<i>Output</i>	Lama Waktu Lampu Hijau	Detik	Sangat Sebentar	[0,60]	[0,15]
			Sebentar		[5,25]
			Sedang		[20,40]
			Lama		[35,55]
			Sangat Lama		[50,60]

Pada tabel 5, dijelaskan bahwa dari *input* variabel panjang antrian dapat dikatakan sangat sepi apabila panjang antrian memiliki rentang 0 sampai 20 meter, dan begitu seterusnya. Sedangkan *output* variabel lama waktu lampu hijau dapat dikatakan sangat sebentar apabila lama waktu lampu hijau memiliki rentang 0 sampai 15 detik, dan begitu seterusnya. Dari Tabel 5, Aturan yang didapatkan dari variabel *input* dan *output* [6] dapat dilihat pada Tabel 6.

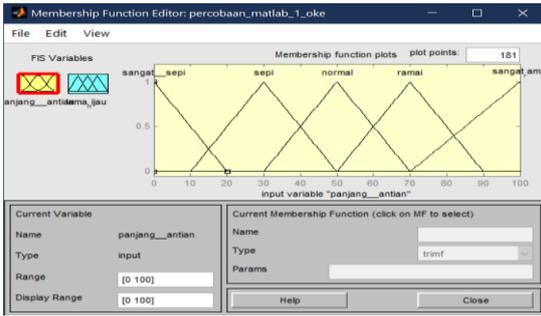
Tabel 6. Aturan (*Rule*)

Aturan	Panjang Antrian	Lama Waktu Lampu Hijau
R1	Sangat Sepi	Sangat Sebentar
R2	Sepi	Sebentar
R3	Normal	Sedang
R4	Ramai	Lama
R5	Sangat Ramai	Sangat Lama

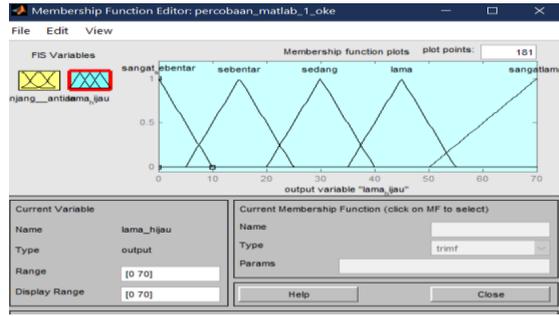
Dengan menggunakan aturan (*rule*) *if x is A then y is B* [9], maka aturan (*rule*) pada Tabel 6 adalah misalnya pada aturan R1 (*rule 1*) jika panjang antrian sangat sepi maka lama waktu lampu hijau sangat sebentar. Pada aturan R2 (*rule 2*) jika panjang antrian sepi maka lama waktu lampu hijau sebentar. Begitu seterusnya hingga R5 (*rule 5*).

4.4.2. Perhitungan *Fuzzy Inference System (FIS)* tipe Mamdani

Untuk melakukan perhitungan pada lampu lalu lintas simpang Tabuik akan digunakan logika *fuzzy* dalam bentuk *Fuzzy Inference System* tipe Mamdani. *Fuzzy Inference System* adalah memetakan *input* yang diberi kepada *output* menggunakan sistem inferensi dari logika *fuzzy* [16]. Untuk memudahkan perhitungan FIS, digunakan *MATLAB* versi R2013a dengan menggunakan aplikasi didalam *MATLAB* yaitu *Fuzzy Logic Toolbox*. Fungsi keanggotaan yang digunakan ialah fungsi segitiga dimana panjang antrian sebagai variabel *input* dan lama durasi hijau sebagai variabel *output*. Gambar 4 dan Gambar 5 masing-masing menunjukkan variabel *input* dan variabel *output*.

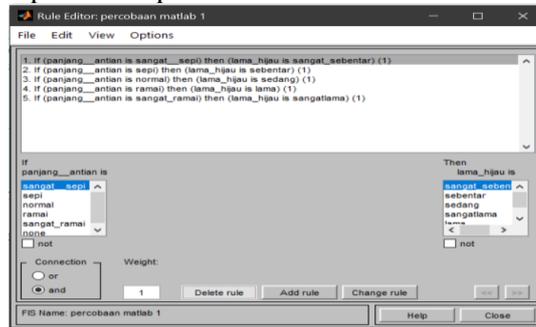


Gambar 4. Variabel Input



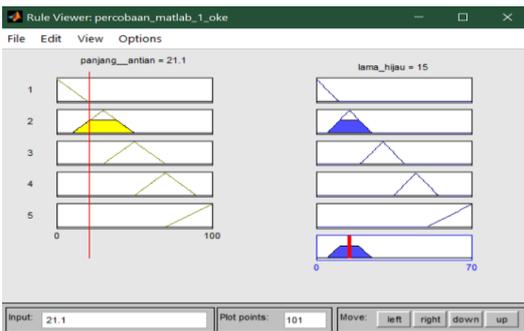
Gambar 5. Variabel Output

Selanjutnya untuk proses implikasi dengan *MATLAB*, dapat dilakukan dengan menu *Edit Rule*. Aturan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.

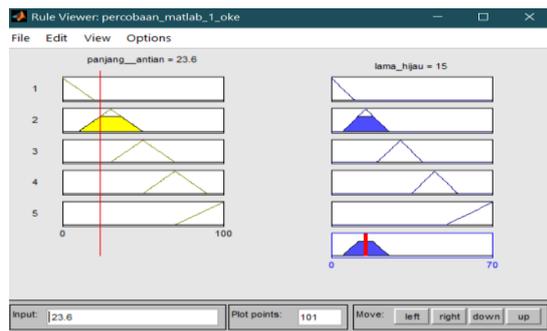


Gambar 6. Rule

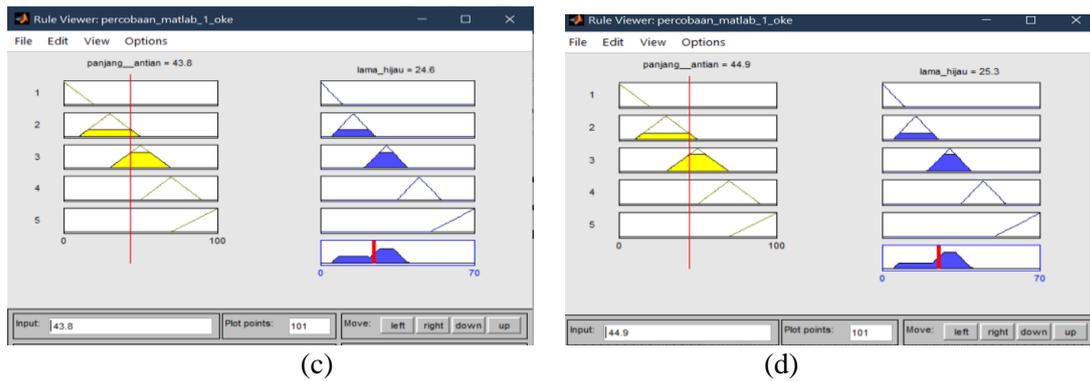
Berdasarkan proses dengan *Fuzzy Inference System* atau (FIS), sehingga hasil yang diperoleh adalah total panjang antrian untuk aliran simpang pertama arus A, B, dan C adalah 21,1 meter. Panjang antrian untuk aliran simpang kedua arus D, E, dan F adalah 23,6 meter. Panjang antrian untuk aliran simpang ketiga arus G, H, dan I adalah 43,8 meter. Dan panjang antrian untuk aliran simpang keempat arus J, K, dan L adalah 44,9 meter. Masukkan *input* panjang antrian pada *Rule viewer*, maka diperoleh *output* lama waktu hijau dilihat pada Gambar 7.



(a)



(b)



Gambar 7. Rule viewer Simpang Tabuik. (a) Rule viewer simpang 1 output sebesar 15 detik. (b) Rule viewer simpang 2 output sebesar 15 detik. (c) Rule viewer simpang 3 output sebesar 24,6 detik (dibulatkan menjadi 25 detik). (d) Rule viewer simpang 4 output 25,3 detik (dibulatkan menjadi 25 detik).

Sehingga, didapatkan lama waktu lampu hijau pada simpang Tabuik pada Tabel 7.

Tabel 7. Lama Waktu Hijau Setiap Simpang Tabuik dengan Logika Fuzzy

Arus	Lama Waktu Hijau
A, B, C	15 detik
D, E, F	15 detik
G, H, I	25 detik
J, K, L	25 detik

4.5 Perbandingan Durasi Lampu Lalu Lintas Saat ini dengan Metode Graf Fuzzy

Tabel 8. Perbandingan Lampu Lalu Lintas Saat Ini di Simpang Tabuik dengan Graf Fuzzy

No.	Ruas	Durasi Waktu Lampu Hijau (s)		Durasi Waktu Lampu Merah (s)		Keterangan
		Kondisi Saat Ini	Dengan Graf Fuzzy	Kondisi Saat Ini	Dengan Graf Fuzzy	
1	Jl. Sutan Syahrir/ Fase 1 (A,B,C)	23	15	98	106	Durasi waktu lampu hijau berkurang 34,7% dan durasi waktu lampu merah bertambah 8,16%.
2	Jl. Ahmad Yani/ Fase 2 (D,E,F)	23	15	98	106	Durasi waktu lampu hijau berkurang 34,7% dan durasi waktu lampu merah bertambah 8,16%.
3	Jl. SB Alamsyah/ Fase 3 (G,H,I)	18	25	103	96	Durasi waktu lampu hijau bertambah 38,8% dan durasi waktu lampu merah berkurang 6,79%.
4	Jl. Jend. Sudirman/ Fase 4 (J,K,L)	23	25	98	96	Durasi waktu lampu hijau bertambah 8,69% dan durasi waktu lampu merah berkurang 2,04%.
Total		87	80	397	404	



Rata-Rata	21,75	20	99,25	101
-----------	-------	----	-------	-----

Rumus perhitungan efektifitas durasi lampu lalu lintas baru yang dihitung sebagai perbandingan waktu antara hijau baru dan hijau lama serta merah baru dan merah lama adalah sebagai berikut [17]:

$$\frac{\text{total durasi baru} - \text{total durasi lama}}{\text{total durasi lama}} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 8, dengan menggunakan graf *fuzzy*, rata-rata keseluruhan yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Durasi waktu hijau: $\frac{(20-21,75)}{21,75} \times 100\% = -8,04\%$, karena bernilai negatif maka durasi waktu lampu hijau mengalami penurunan sebesar 8,04% dari kondisi awal.
2. durasi waktu merah: $\frac{(101-99,25)}{99,25} \times 100\% = 1,76\%$, karena bernilai positif maka durasi waktu lampu merah mengalami kenaikan sebesar 1,76% dari kondisi awal.

5. KESIMPULAN

Hasil optimasi waktu pengaturan lampu lalu lintas pada simpang Tabuik diperoleh rata-rata kenaikan atau penurunan keseluruhannya adalah durasi waktu hijau mengalami penurunan sebesar 8,75% dari kondisi awal, dan durasi waktu merah mengalami kenaikan sebesar 1,76% dari kondisi awal

UCAPAN TERIMAKASIH

Diucapkan terimakasih kepada Dinas Perhubungan Kota PARIAMAN dan seluruh pihak terkait yang sudah membantu dalam proses pengumpulan data maupun informasi dalam penyusunan tulisan ini.

REFERENSI

- [1] Sugiyanto, Manajemen Proyek Kontruksi dan Teknik Pengendalian Proyek, Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2021.
- [2] D. P. Utomo, "Permintaan Perjalanan Angkutan Umum Massal Kota Surabaya," *M.P.I*, pp. 73-82, 2013.
- [3] H. Prasetyo, "Implementasi Algoritma Logika Fuzzy untuk Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas menggunakan Mikrokontroler," *Techno*, pp. 1-8, 2014.
- [4] Risdiyanto, Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas: Teori dan Aplikasi, Yogyakarta: PT Leutika Nouvalitera, 2014.
- [5] R. Munir, Matematika Diskrit, Bandung: Informatika, 2010.
- [6] A. P. Kurniawan, "Aplikasi Graf Fuzzy dan Aljabar Max-Plus untuk Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Simpang Empat Beran," *Jurnal Matematika*, vol. 6, pp. 72-86, 2017.
- [7] H. P. Sri Kusumadewi, Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [8] Z. Zurzaq, "Prediksi Awal Ramadhan menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto," *ARITMATIKA: Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, vol. 1, pp. 88-95, 2020.
- [9] M. Akhoondzadeh, "Developing a Fuzzy Inference System Based on Multi-Sensor Data to Predict Powerful Earthquake Parameters," *remote sensing*, pp. 1-16, 2022.
- [10] Yulmaini, Logika Fuzzy, Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2018.
- [11] S. N. Sivanandam, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, India: Springer, 2007.
- [12] V. Barod, "Comparison of Mamdani and Sugeno Type Fuzzy Inference System on Enrollment Datasets," *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, pp. 704-712, 2016.
- [13] M. I. Mujahidin, "Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penyempitan Jalan (Bottleneck) pada Pembangunan Flyover Palur," *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, pp. 649-656, 2014.
- [14] S. Kusumadewi, "Fuzzy Multi-Criteria Decision Making," *Media Informatika*, vol. 3, pp. 25-38, 2005.
- [15] A. Setiawan, Logika Fuzzy dengan Matlab, Denpasar: Jayapangus Press, 2018.
- [16] D. A. Puryono, "Metode Fuzzy Inferensi System Mamdani untuk menentukan Bantuan Modal Usaha Bagi UMKM Ramah Lingkungan," *STMIKA*, vol. I, pp. 1-6, 2014.
- [17] D. Abdullah, "Aplikasi Pewarnaan Titik pada Graf untuk Optimalisasi Durasi Lampu Lalu Lintas di Simpang Jalan Jemursari Kota Surabaya," *MATHunesa*, vol. 10, no. 02, pp. 289-298, 2022.