

IMPLEMENTASI METODE *FUZZY* TSUKAMOTO UNTUK PENENTUAN DURASI FASE LALU LINTAS

Putrie Ninditha Gunawan¹, Kartika Yulianti², Cece Kustiawan³

^{1,2,3}Program Studi Statistika, FMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia

e-mail: putrie@upi.edu

Diterima: 3 Juli 2023 , disetujui: 10 Juli 2023, dipublikasi: 31 September 2023

Abstract: *The Soekarno Hatta - Ibrahim Adjie Intersection is an intersection that has a red light duration that is quite long, reaching 5 minutes. Setting the duration of traffic lights that are not adjusted to the density of vehicles against the capacity of the road can cause congestion which affects traffic violations by drivers such as running red lights which can cause accidents. Therefore, this study aims to optimize traffic management using the Tsukamoto fuzzy method. The data on the number of vehicles, road capacity, and traffic light duration are data taken from direct observation. Based on the results of the study, it was found that the Soekarno Hatta - Ibrahim Adjie intersection required a shorter total traffic phase duration to reduce vehicle waiting time thereby reducing congestion.*

Keywords: *Duration of Traffic Phase, Fuzzy Tsukamoto Method*

Abstrak: *Persimpangan Jalan Soekarno Hatta – Ibrahim Adjie merupakan persimpangan yang memiliki durasi lampu merah yang cukup lama yaitu mencapai 5 menit. Pengaturan durasi lampu lalu lintas yang tidak disesuaikan dengan kepadatan kendaraan terhadap daya tampung jalan dapat menyebabkan kemacetan yang berpengaruh pada pelanggaran lalu lintas oleh pengendara seperti menerobos lampu merah sehingga dapat menyebabkan kecelakaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengaturan lalu lintas menggunakan metode fuzzy Tsukamoto. Adapun data jumlah kendaraan, daya tampung jalan, serta durasi lampu lalu lintas merupakan data yang diambil dari observasi secara langsung. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa persimpangan Jalan Soekarno Hatta – Ibrahim Adjie membutuhkan total durasi fase lalu lintas yang lebih singkat untuk mereduksi waktu tunggu kendaraan sehingga mengurangi kemacetan.*

Kata Kunci: *Durasi Fase Lalu Lintas, Metode Fuzzy Tsukamoto*

PENDAHULUAN

Fase lalu lintas adalah bagian penting dalam transportasi. Karena mobilitas transportasi di pengaruhi oleh kepadatan fase lalu lintas. Semakin padat fase lalu lintas, maka mobilitas semakin terganggu. Lamanya durasi lampu lalu lintas menjadi salah satu penyebab terjadinya kepadatan lalu lintas [1]. Adapun upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari hal tersebut yaitu dengan cara mengatur durasi fase lampu lalu lintas di persimpangan. Secara umum, sistem manajemen lampu lalu lintas di Indonesia masih menggunakan sistem pewaktuan statis, dimana sistem ini bekerja dengan memberikan

alokasi sinyal hijau ke setiap jalur dalam satu persimpangan tanpa memperhatikan kepadatan di jalur lain [2].

Lamanya durasi fase lampu lalu lintas mempengaruhi karakter pengendara. Salah satu pelanggaran lalu lintas yang sering dilakukan oleh pengendara adalah menerobos lampu merah [3]. Pengendara yang tidak mengikuti aturan fase lalu lintas yang seharusnya dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan sehingga perlu dilakukannya suatu kajian mengenai pengaturan durasi fase lalu lintas dengan memperhatikan banyaknya kendaraan terhadap daya tampung jalan guna menghasilkan pengaturan lalu lintas yang optimal.

Persimpangan Jalan Soekarno Hatta-Ibrahim Adjie merupakan salah satu persimpangan yang sering terjadi kemacetan terutama pada jam-jam sibuk seperti pagi dan sore hari. Durasi waktu lampu merah yang cukup lama, membuat penumpukan kendaraan semakin panjang pada persimpangan tersebut. Sehingga perlu adanya pengoptimalan durasi lampu lalu lintas untuk memperlancar arus kendaraan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya masalah ini diselesaikan menggunakan metode *fuzzy* dengan penentuan komponen dasar sistem *fuzzy* yang selanjutnya menghasilkan nilai tegas dari defuzzifikasi. Berdasarkan uraian tersebut, dipilih metode *fuzzy* Tsukamoto untuk diimplementasikan dalam pengaturan durasi fase lalu lintas di persimpangan Jalan Soekarno Hatta – Ibrahim Adjie, Bandung karena sifatnya yang fleksibel dalam menangani masalah dengan data yang tidak pasti atau kurang tepat seperti data kepadatan lalu lintas yang dapat berubah-ubah [4].

METODOLOGI PENELITIAN

Sistem Inferensi Fuzzy Tsukamoto

Sistem inferensi *fuzzy* adalah sebuah kerangka komputasi berdasarkan penalaran *fuzzy*, teori himpunan *fuzzy* dan aturan *fuzzy* berbentuk IF-THEN [5]. Pada metode tsukamoto implikasi setiap aturan berbentuk implikasi “sebab-akibat” atau implikasi “input-ouput” yang mana antara antiseden dan konsekuen harus ada hubungannya [6]. Setiap aturan direpresentasikan menggunakan himpunan-himpunan fuzzy, dengan fungsi keanggotaan yang monoton [7]. Kemudian untuk menentukan hasil tegas (*crisp solution*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*) yang merupakan nilai keanggotaan baru dari operasi himpunan *fuzzy* [8] melalui defuzzifikasi.

Komponen Dasar Sistem Fuzzy

Beberapa istilah dalam komponen dasar sistem *fuzzy* yang perlu diketahui [9] adalah sebagai berikut:

- a. Variabel
Variabel *fuzzy* adalah variabel yang akan dibahas dalam sistem *fuzzy*.
- b. Himpunan *Fuzzy*
Himpunan *fuzzy* merupakan himpunan yang mewakili suatu keadaan tertentu pada variable *fuzzy*.
- c. Semesta Pembicaraan
Semesta pembicaraan adalah batas maksimal pada setiap variabel *input* maupun *output*. Semesta pembicaraan pada variabel *input* adalah banyaknya kendaraan pada saat lampu merah dibagi daya tampung lebar jalan, dengan satuan lebar berupa meter. Adapun ukuran motor (1,25m x 2,5m) dan ukuran mobil (2,5m x 5m). Sedangkan semesta pembicaraan untuk variabel *output* adalah durasi lampu hijau maksimal setiap jalur.

- d. Domain himpunan *fuzzy*
Domain himpunan *fuzzy* adalah setiap nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan dapat dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.
- e. Fungsi Keanggotaan
Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah kurva hasil titik yang dipetakan pada input-an (*universe of discourse*) ke dalam nilai keanggotaan (*derajat keanggotaan*) yang memiliki interval antara 0 dan 1. Fungsi keanggotaan ditentukan berdasarkan pemetaan data *input* ke nilai keanggotaan.

Defuzzifikasi

Defuzzifikasi yaitu proses mengubah output *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*) sesuai dengan fungsi keanggotaan yang ditentukan. Dalam metode tsukamoto menggunakan rata-rata terbobot [10], di mana proses ini hanya dapat digunakan jika keluaran fungsi keanggotaan dari beberapa proses *fuzzy* mempunyai bentuk yang sama [11]. Metode ini direpresentasikan dalam rumus pada persamaan (1).

$$Z = \frac{\sum x_i \cdot a_i}{\sum a_i}, i = 1, 2, 3, \dots, n \#(1)$$

Dengan

Z : nilai rata-rata terbobot

x_i : nilai konsekuen pada aturan ke- i

α_i : nilai α -predikat pada aturan ke- i

Simulasi Kejadian Diskrit (*Discrete Event Simulation*)

Simulasi kejadian diskrit (*Discrete Event Simulation*) adalah simulasi perubahan status yang terjadi pada titik-titik diskrit terhadap waktu akibat dari kejadian (*event*) [12]. Salah satu contohnya berupa simulasi antrian.

Simulasi antrian melibatkan pelanggan dan fasilitas pelayanan sebagai prinsip utamanya. Ketika pelanggan datang ke fasilitas pelayanan dari populasi tertentu, ada dua kemungkinan: pelanggan dapat segera dilayani tanpa menunggu, atau pelanggan harus menunggu dalam antrian jika fasilitas tersebut sedang sibuk [13]. Adapun distribusi kedatangan pelanggan biasanya diperoleh dari waktu antar kedatangan dua pelanggan secara terurut pada suatu pelayanan [14].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pengaturan durasi fase lalu lintas menggunakan metode *fuzzy* Tsukamoto membutuhkan data ukuran jalan, durasi lampu lalu lintas dan banyaknya kendaraan pada saat lampu merah setiap jalur. Data banyaknya kendaraan dihitung berdasarkan daya tampung jalan, sehingga yang dimaksud banyaknya kendaraan adalah banyaknya baris kendaraan yang mengantri ketika lampu merah. Banyaknya kendaraan terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata banyaknya kendaraan pada setiap jalur

Nama Jalan	Rata-Rata Banyaknya Kendaraan			
	Minggu Pagi	Minggu Sore	Senin Pagi	Senin Sore
Jln. Ibrahim Adjie	25	45	39	57
Jln. Soekarno Hatta dari Gede Bage	15	31	35	42
Jln. Soekarno Hatta dari Batununggal	17	21	33	50
Jln. Terusan Kiaracandong	12	21	46	25

Adapun ukuran lebar dari Jln. Ibrahim Adjie dan Jln. Terusan Kiaracandong dapat menampung 7 buah motor atau 2 buah mobil, sedangkan lebar ruas Jln. Soekarno Hatta dapat menampung hingga 14 motor atau 4 buah mobil. Karena terdapat 4 fase yang diatur dan setiap fase memiliki kepadatan serta durasi yang berbeda, maka akan dibentuk 4 kondisi, yaitu kondisi pertama dengan jalur yang diatur adalah Jln. Ibrahim Adjie, kondisi kedua dengan jalur yang diatur adalah Jln. Soekarno Hatta dari arah Gede Bage, dan seterusnya.

Sebagai contoh pada kondisi pertama, jalan yang diatur adalah Jalan Ibrahim Adjie, lalu jalur selanjutnya merupakan Jalan Soekarno Hatta dari Gede Bage. Untuk penentuan komponen dasar sistem *fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen dasar sistem fuzzy kondisi pertama

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain	Fungsi Keanggotaan	Parameter
Banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur	Lengang Normal Padat	[0,68]	[0,34] [17,51] [34,68]	Segitiga	(0;17;34) (17;34;51) (34;51;68)
Banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya	Lengang Normal Padat	[0,47]	[0,24] [12,36] [24,47]		(0;12;24) (12;24;36) (24;36;47)
Durasi lampu hijau	Cepat Lambat	[0,120]	[0,90] [30,120]		(0,30,90) (30,90,120)

Berdasarkan Tabel 2. pengambilan batas akhir untuk semesta pembicaraan didasarkan pada nilai maksimal di antara beberapa data yang diambil baik banyaknya kendaraan ataupun durasi lampu hijau. Semesta pembicaraan pada variabel *input* adalah banyaknya kendaraan pada saat lampu merah dibagi daya tampung lebar jalan. Sedangkan semesta pembicaraan untuk variabel *output* adalah durasi lampu hijau

maksimal setiap jalur. Penentuan fungsi keanggotaan dan parameter didasarkan pada penentuan domain. Apabila domain telah terbentuk maka fungsi keanggotaan dapat digambarkan dan parameter dapat ditentukan. Adapun penentuan domain yaitu dengan membagi rata nilai dari panjang interval pada semesta pembicaraan terhadap banyaknya himpunan *fuzzy* [15, 16, 17]. Jumlah aturan *fuzzy* ditentukan melalui banyaknya himpunan *fuzzy* setiap variable *input*. Dengan menggunakan operator AND diperoleh aturan sebagai berikut:

- 1) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** lengang **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** lengang **then** durasi lampu hijau **is** cepat.
- 2) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** lengang **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** normal **then** durasi lampu hijau **is** cepat.
- 3) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** lengang **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** padat **then** durasi lampu hijau **is** cepat.
- 4) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** normal **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** lengang **then** durasi lampu hijau **is** lambat.
- 5) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** normal **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** normal **then** durasi lampu hijau **is** cepat.
- 6) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** normal **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** padat **then** durasi lampu hijau **is** cepat.
- 7) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** padat **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** lengang **then** durasi lampu hijau **is** lambat.
- 8) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** padat **and** fase lanjut **is** normal **then** durasi lampu hijau **is** lambat.
- 9) **If** banyak kendaraan pada jalur yang diatur **is** padat **and** banyak kendaraan pada jalur selanjutnya **is** padat **then** durasi lampu hijau **is** lambat.

Adapun fungsi keanggotaan banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur, yaitu

$$\mu_L(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 34 \\ \frac{34-x}{17}, & 17 \leq x \leq 34 \\ 1, & x \leq 17 \end{cases}$$

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 51 \text{ atau } x \leq 17 \\ \frac{x-17}{17}, & 17 \leq x \leq 34 \\ \frac{51-x}{17}, & 34 \leq x \leq 51 \end{cases}$$

$$\mu_P(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 34 \\ \frac{x-34}{17}, & 34 \leq x \leq 51 \\ 1, & x \geq 51 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya, yaitu

$$\mu_L(y) = \begin{cases} 0, & y \geq 24 \\ \frac{24-y}{12}, & 12 \leq y \leq 24 \\ 1, & y \leq 12 \end{cases}$$

$$\mu_N(y) = \begin{cases} 0, & y \geq 36 \text{ atau } y \leq 12 \\ \frac{y-12}{12}, & 12 \leq y \leq 24 \\ \frac{36-y}{12}, & 24 \leq y \leq 36 \end{cases}$$

$$\mu_P(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 24 \\ \frac{y-24}{12}, & 24 \leq y \leq 36 \\ 1, & y \geq 36 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan durasi lampu hijau pada jalur yang diatur, yaitu

$$\mu_C(z) = \begin{cases} 0, & z \geq 90 \\ \frac{90-z}{60}, & 30 \leq z \leq 90 \\ 1, & z \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_L(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 30 \\ \frac{z-30}{60}, & 30 \leq z \leq 90 \\ 1, & z \geq 90 \end{cases}$$

Pengaturan durasi lampu hijau untuk kondisi satu dilakukan pada empat waktu sesuai dengan waktu pengambilan data. Untuk banyaknya kendaraan setiap fase diperoleh dari hasil rata-rata kendaraan dengan mempertimbangkan daya tampung jalan.

- Pengaturan Durasi Lampu Hijau Kondisi Satu Pada Minggu Pagi
Nilai keanggotaan banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur, yaitu

$$\mu_L(25) = 0,53$$

$$\mu_N(25) = 0,47$$

$$\mu_P(25) = 0$$

Nilai keanggotaan banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya, yaitu

$$\mu_L(15) = 0,6$$

$$\mu_N(15) = 0,25$$

$$\mu_P(15) = 0$$

Karena banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur **lengang atau normal** dan banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya **lengang atau normal** juga maka aturan yang berlaku 1,2,4 dan 5. Sehingga proses inferensi setiap aturan untuk menghasilkan α -predikat (nilai keanggotaan baru) adalah:

1. **If** banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur **is** lengang **and** banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya **is** lengang **then** durasi lampu hijau **is** cepat.

$$\alpha_1 = \min(\mu_L(25), \mu_L(15)) = 0,53$$

Karena aturan 1 menunjukkan bahwa durasi lampu hijau cepat maka

$$\frac{90 - z_1}{60} = 0,53 \rightarrow z_1 = 58,2$$

2. **If** banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur **is** lengang **and** banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya **is** normal **then** durasi lampu hijau **is** cepat.

$$\alpha_2 = \min(\mu_L(25), \mu_N(15)) = 0,25$$

Karena aturan 2 menunjukkan bahwa durasi lampu hijau cepat maka

$$\frac{90 - z_2}{60} = 0,25 \rightarrow z_2 = 75$$

3. **If** banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur **is** normal **and** banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya **is** lengang **then** durasi lampu hijau **is** lambat.

$$\alpha_4 = \min(\mu_N(25), \mu_L(15)) = 0,47$$

Karena aturan 4 menunjukkan bahwa durasi lampu hijau lambat maka

$$\frac{z_4 - 30}{60} = 0,47 \rightarrow z_4 = 58,2$$

4. **If** banyaknya kendaraan pada jalur yang diatur **is** normal **and** banyaknya kendaraan pada jalur selanjutnya **is** normal **then** durasi lampu hijau **is** cepat.

$$\alpha_5 = \min(\mu_N(25), \mu_N(15)) = 0,25$$

Karena aturan 5 menunjukkan bahwa durasi lampu hijau cepat maka

$$\frac{90 - z_5}{60} = 0,25 \rightarrow z_5 = 75$$

Setelah selesai proses inferensi aturan, *output fuzzy* tersebut akan diubah menjadi nilai tegas (*crisp*) melalui defuzzifikasi menggunakan rata-rata terbobot. Adapun proses perhitungannya, yaitu

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(\alpha_1 z_1) + (\alpha_2 z_2) + (\alpha_4 z_4) + (\alpha_5 z_5)}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_5} \\ &= \frac{(0,53 \times 58,2) + (0,25 \times 75) + (0,47 \times 58,2) + (0,25 \times 75)}{0,53 + 0,25 + 0,47 + 0,25} \\ &= 63,8 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa durasi lampu hijau untuk kondisi pertama pada Minggu pagi sebesar 63,8 detik.

Untuk perhitungan kondisi pertama pada waktu yang lain disesuaikan dengan cara perhitungan sebelumnya. Begitupun dengan kondisi kedua: jalan yang diatur adalah Jalan Soekarno Hatta dari Gede Bage, lalu jalur selanjutnya merupakan Jalan Soekarno Hatta dari Batununggal. Kondisi ketiga: jalan yang diatur adalah Jalan Soekarno Hatta dari Batununggal, lalu jalur selanjutnya merupakan Jalan Terusan Kiaracandong. Dan kondisi keempat: jalan yang diatur adalah Jalan Terusan Kiaracandong, lalu jalur selanjutnya merupakan Jalan Ibrahim Adjie cara perhitungannya sama seperti kondisi pertama. Sehingga singkatnya diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Durasi lampu hijau usulan untuk setiap kondisi

Nama Jalan	Durasi Lampu Hijau Usulan (Detik)			
	Minggu Pagi	Minggu Sore	Senin Pagi	Senin Sore
Jln. Ibrahim Adjie	63,8	64,16	46,56	90
Jln. Soekarno Hatta dari Gede Bage	128,55	144,02	173,47	214,5
Jln. Soekarno Hatta dari Batununggal	28,35	47,17	32,26	46,09
Jln. Terusan Kiaracondong	41,92	82,52	48,62	40,98

Berdasarkan hasil rangkuman perhitungan durasi fase lalu lintas usulan dibandingkan dengan saat ini dapat dilihat pada Tabel 4 sampai Tabel 7.

Tabel 4. Perbandingan durasi lampu lalu lintas Minggu pagi saat ini dengan hasil usulan

Fase	Durasi Lampu Lalu Lintas Saat Ini (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)	Durasi Lampu Lalu Lintas Usulan (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)
	Merah	Kuning	Hijau		Merah	Kuning	Hijau	
Fase 1	255	3	48	306	207,82	3	63,8	274,62
Fase 2	210	3	93	306	143,07	3	128,55	274,62
Fase 3	225	3	78	306	243,27	3	28,35	274,62
Fase 4	228	3	75	306	229,7	3	41,92	274,62

Tabel 5. Perbandingan durasi lampu lalu lintas Minggu sore saat ini dengan hasil usulan

Fase	Durasi Lampu Lalu Lintas Saat Ini (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)	Durasi Lampu Lalu Lintas Usulan (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)
	Merah	Kuning	Hijau		Merah	Kuning	Hijau	
Fase 1	325	3	59	387	282,71	3	64,16	349,87
Fase 2	228	3	156	387	202,85	3	144,02	349,87
Fase 3	310	3	74	387	299,7	3	47,17	349,87
Fase 4	298	3	86	387	264,35	3	82,52	349,87

Tabel 6. Perbandingan durasi lampu lalu lintas Senin pagi saat ini dengan hasil usulan

Fase	Durasi Lampu Lalu Lintas Saat Ini (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)	Durasi Lampu Lalu Lintas Usulan (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)
	Merah	Kuning	Hijau		Merah	Kuning	Hijau	
Fase 1	470	3	58	531	263,35	3	46,56	312,91
Fase 2	242	3	286	531	136,44	3	173,47	312,91
Fase 3	448	3	80	531	277,65	3	32,26	312,91
Fase 4	433	3	95	531	261,29	3	48,62	312,91

Tabel 7. Perbandingan durasi lampu lalu lintas Senin sore saat ini dengan hasil usulan

Fase	Durasi Lampu Lalu Lintas Saat Ini (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)	Durasi Lampu Lalu Lintas Usulan (dalam detik)			Total Durasi (dalam detik)
	Merah	Kuning	Hijau		Merah	Kuning	Hijau	
Fase 1	404	3	84	491	310,57	3	90	403,57
Fase 2	303	3	185	491	186,07	3	214,5	403,57
Fase 3	398	3	90	491	354,48	3	46,09	403,57
Fase 4	368	3	120	491	359,59	3	40,98	403,57

Berdasarkan Tabel 4 sampai Tabel 7, terlihat jelas bahwa durasi lampu lalu lintas usulan lebih singkat dibandingkan durasi lampu lalu lintas saat ini. Pada Minggu pagi rata-rata durasi lampu merah usulan setiap fase lebih cepat 26,01 detik, Minggu sore lebih cepat 27,84 detik, Senin pagi lebih cepat 163,56 detik, dan Senin sore lebih cepat 65,41 detik. Melalui validasi keoptimalan menggunakan simulasi kejadian diskrit, hasil sebagian besar rata-rata waktu tunggu data usulan memiliki durasi waktu tunggu (detik) lebih singkat dibandingkan data di lapangan, hal ini tercantum pada Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan hal tersebut dapat diartikan jika durasi lampu lalu lintas usulan dapat mengantisipasi para pengendara menunggu terlalu lama ketika lampu merah, dengan kata lain kemacetan dapat teratasi.

Tabel 8. Perbandingan rata-rata waktu tunggu (detik) menggunakan simulasi kejadian diskrit pada hari Minggu

Nama Jalan	Minggu Pagi		Minggu Sore	
	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Usulan	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Saat Ini	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Usulan	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Saat Ini
Jln. Ibrahim Adjie	105,6141467	157,4017933	150,5551615	197,6402538
Jalan Soekarno Hatta dari Gede Bage	61,2464808	145,7901705	180,7431941	194,9227262
Jln. Soekarno Hatta dari Batununggal	392,9169474	155,7402808	299,5069242	195,3696692
Jln. Terusan Kiaracandong	256,0593703	155,9093703	166,6667613	196,2820832

Tabel 9. Perbandingan rata-rata waktu tunggu (detik) menggunakan simulasi kejadian diskrit pada hari Senin

Nama Jalan	Senin Pagi		Senin Sore	
	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Usulan	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Saat Ini	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Usulan	Rata-Rata Waktu Tunggu Data Saat Ini
Jln. Ibrahim Adjie	116,3849948	271,3834524	148,9702395	249,5194757
Jalan Soekarno Hatta dari Gede Bage	155,0647035	266,4397648	10,9810181	212,8060796
Jln. Soekarno Hatta dari Batununggal	427,692803	269,9496171	515,967692	334,8842831
Jln. Terusan Kiaracandong	227,3312352	268,9070831	175,81977374	263,8842286

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi metode *fuzzy* Tsukamoto untuk durasi fase lalu lintas umumnya mempersingkat durasi lampu hijau guna meminimumkan total durasi untuk menghindari kemacetan dengan mempertimbangkan daya tampung kendaraan. Data durasi fase lalu lintas menggunakan metode *fuzzy* Tsukamoto sebagian besar lebih optimal dibandingkan data di lapangan. Hal ini ditunjukkan oleh rata-rata waktu tunggu kendaraan (detik) yang lebih cepat untuk Jln. Ibrahim Adjie sebesar 23,82% - 57,11%, Jln. Soekarno Hatta dari Gede Bage sebesar 7,27% - 57,99% dan Jln. Terusan Kiaracandong sebesar 53,30% - 58,43%. Sedangkan rata-rata waktu tunggu untuk Jln. Soekarno Hatta dari Batununggal tidak lebih cepat akibat dari durasi lampu hijau yang terlalu singkat sehingga kendaraan belum terurai seluruhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pungkas A. V. T. N. A. (2021). Pemodelan durasi nyala lampu lalu lintas di persimpangan Dago Bandung menggunakan aljabar max-plus. [Skripsi]. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- [2] Avianto, M. I., Putra, Y. H., Aria M. (2019). Perancangan Sistem Kendali Lampu Lalu Lintas Pada Dua Persimpangan Menggunakan Fuzzy Inference System. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*. 7(1): 1–10.
- [3] Dinas Perhubungan. (2015). 10 Pelanggaran Lalu Lintas Paling Sering Terjadi, Magelang. <https://dishub.magelangkota.go.id/berita/detail/29/18/06/2015/10-PELANGGARAN-LALU-LINTAS-PALING-SERING-TERJADI> [diakses 27 Maret 2023]

- [4] Caraka, A. A., Haryanto, H., Kusumaningrum, D. P., Astuti, S. (2015). Logika Fuzzy menggunakan metode Tsukamoto untuk prediksi perilaku konsumen di toko bangunan. *Techno. Com.* **14** (4): 255–265.
- [5] Rindengan, A. J., Langi, Y. A. R. (2019). *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo.
- [6] Zulfikri, Z. (2020). Sistem Pakar Diagnosa Gejala Penyakit Pada Perokok Pasif Menggunakan Fuzzy Tsukamoto. [Skripsi]. Pekanbaru: Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [7] Basriati, M. S. S., Safitri, M. M. E. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto dalam Menentukan Jumlah Produksi Tahu. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri.* **18**(1):120. doi: 10.24014/sitekin.v18i1.11022.
- [8] Syahroni, A. W., Rachmatullah, S. (2018). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Laptop pada Toko Onlinedengan Metode FuzzyTahani. *Sinkron: Jurnal & Penelitian Teknik Informatika.* **3**(1): 143–152.
- [9] Latief, M. M. K. (2019). Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Udara Di Ruang Terbuka Hijau Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Dengan Berbasis *Internet Of Things*. [Skripsi]. Tasikmalaya: Universitas Siliwangi.
- [10] Setiawan, A., Yanto, B., Yasdomi, K. (2018). *LOGIKA FUZZY Dengan MATLAB (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*. Bali: Jayapangus Press.
- [11] Nugroho, R. P., Setiawan, B. D., Furqon, M. T. (2019). Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Menentukan Harga Sewa Hotel (Studi Kasus: Gili Amor Boutique Resort, Dusun Gili Trawangan, Nusa Tenggara Barat). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.* **3**(3): 2581–2588.
- [12] Perdana, T. (2014). Simulasi Kejadian Diskret Pada Perancangan Manajemen Logistik Di Unit Layanan Logistik Pertanian: Studi Kasus Di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung. *Sosiohumaniora.* **16**(1): 14–21.
- [13] Sismetha, R. , Aritonang, M., Kiftiah, M. (2017). Analisis Model Distribusi Jumlah Kedatangan Dan Waktu Pelayanan Pasien Instalasi Rawat Jalan Rumah Sakit. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya.* **6**(1):51–60.
- [14] Sugito, S., Hoyyi, A. (2013). Proses Antrian Dengan Kedatangan Berdistribusi Poisson Dan Pola Pelayanan Berdistribusi General. *MEDIA STATISTIKA.* **6**(1). doi: 10.14710/medstat.6.1.51-60.
- [15] Dewayani, K. T., Martini, S., Roswitha, M. (2016). Penerapan Logika Fuzzy Menggunakan Sistem Inferensi Metode Tsukamoto Pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas Di Perempatan Mandan Kabupaten Sukoharjo. *digilibs.uns.ac.id*.

- [16] Maslim, M., Dwiandiyanta, B. Y., Susilo, N. V. (2018). Implementasi Metode Logika Fuzzy dalam Pembangunan Sistem Optimalisasi Lampu Lalu Lintas. *Jurnal Buana Informatika*. **9(1)**: 11–20. doi: 10.24002/jbi.v9i1.1661.
- [17] Arini, N. R. (2022). Pengaturan Lalu Lintas Menggunakan Algoritma Bee Colony Dengan Metode Fuzzy Mamdani: Studi Kasus di Simpang Jalan Soekarno-Hatta Gedebage Kota Bandung. [Skripsi]. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.