

Optimisasi *Delay* Lampu Hijau Lalu Lintas menggunakan *Fuzzy* Metode Mamdani dan Metode Sugeno

Reka Septiani*, Khusnul Novianingsih dan Entit Puspita

Departemen Pendidikan Matematika
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Pendidikan Indonesia
*Surel: septianireka@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini membahas tentang optimisasi penjadwalan *delay* lampu hijau pada persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa dan Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung dengan menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno. Optimisasi penjadwalan *delay* lampu hijau dilakukan agar penumpukan kendaraan berkurang saat lampu merah menyala. Penjadwalan *delay* lampu hijau yang optimal adalah runtunan siklus *delay* lampu hijau terpendek dengan kendala tertentu. Dalam penelitian ini, logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno digunakan untuk memperoleh *delay* lampu hijau yang optimal. Logika *fuzzy* adalah kaidah berpikir samar yang memiliki penalaran cukup adil. Sedangkan metode Mamdani dan Sugeno adalah metode yang bekerja berdasarkan aturan-aturan *fuzzy* yang ditetapkan peneliti. Hasil implementasi menunjukkan bahwa metode Sugeno lebih optimal dibandingkan metode Mamdani dengan rata-rata satu siklus *delay* lampu hijau selama 234 detik pada metode Sugeno dan 239 detik pada metode Mamdani.

Kata Kunci: *delay* lampu hijau, logika *fuzzy*, metode Mamdani, metode Sugeno

An Optimization of the Green Traffic Light Timer Using the Fuzzy Logic Mamdani Method and the Sugeno Method

Abstract. *This research discusses the scheduling optimization of a green traffic light timer at the intersection of P.H.H. Mustofa Street and Jend. Ahmad Yani Street Bandung using fuzzy logic Mamdani and Sugeno methods. The scheduling optimization of the green traffic light timer can reduce vehicle buildup when the red traffic light is on. We define optimal scheduling of the green traffic light timer as the shortest cycle of green traffic light timer with some constraints. In this research the fuzzy logic Mamdani and Sugeno methods are used to obtain the optimal green traffic light timer. Fuzzy logic is a vague principle of thinking that has a fair enough reasoning. The Mamdani and Sugeno methods based on fuzzy rules set by the researcher. The computational results show that the Sugeno method is more optimal than the Mamdani method. The average of one cycle of green traffic light timer is 234 seconds for the Sugeno method and 239 seconds for the Mamdani method.*

Keywords: *Green traffic light timer, fuzzy logic, Mamdani method, Sugeno method*

1. PENDAHULUAN

Lampu lalu lintas atau Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL) adalah perangkat elektronik dengan menggunakan isyarat lampu yang dapat dilengkapi dengan isyarat bunyi untuk mengatur lalu lintas orang dan/atau kendaraan di persimpangan atau pada ruas jalan [1]. Adanya lampu lalu lintas adalah untuk mengatur antrean kendaraan saat melaju di suatu persimpangan dan/atau mengatur pejalan kaki yang akan menyebrang di persimpangan tersebut. Lama waktu menyala lampu lalu lintas biasa disebut *delay* lampu lalu lintas [2].

Pengaturan *delay* lampu lalu lintas dilakukan agar tidak terjadi antrean kendaraan yang sangat panjang serta pengendara dan pejalan kaki yang akan menyeberang tidak menunggu lama. Setiap persimpangan memiliki *delay* lampu hijau masing-masing. Begitu pun pada masing-masing fase tiap persimpangan memiliki *delay* yang berbeda-beda. Fase adalah ruas jalan dari masing-masing arah di suatu persimpangan. Sehingga perlu diatur penjadwalan *delay* lampu hijau pada masing-masing fase di setiap persimpangan, bergantung pada volume kendaraan yang melintas di persimpangan tersebut pada waktu tertentu [2].

Terdapat dua tipe pengaturan *delay* lampu hijau yang umum digunakan, yaitu sistem *networking* berbasis komputer dan sistem *stand-alone*. Pada sistem *networking* berbasis komputer, pengaturannya cenderung otomatis, menggunakan bantuan CCTV. Sedangkan pada sistem *stand-alone*, pengaturannya cenderung manual dengan memprediksi jam sibuk dan jam normal yang telah diatur sebelumnya. Salah satu teknik pengaturan sistem *stand-alone* adalah dengan menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS).

FIS adalah sistem penarikan kesimpulan dari sekumpulan logika *fuzzy* [3]. Logika *fuzzy* adalah kaidah berpikir samar. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965 [4]. Jika logika tegas hanya mengenal nilai 0 dan 1 (salah dan benar), pada logika *fuzzy* dikenalkan nilai 0 sampai 1. Sehingga terdapat kesamaran, ketidaktepatan, atau ketidakpastian di dalamnya. Untuk kasus *delay* lampu hijau tidak hanya lama dan sebentar saja, tetapi memungkinkan sangat lama atau sangat sebentar [5].

Terdapat tiga metode yang dapat digunakan untuk membangun FIS, yaitu Sugeno, Mamdani, atau Tsukamoto [6,7,8]. Proses-proses di dalamnya terdiri atas: fuzzifikasi (pembentukan himpunan *fuzzy* dari himpunan tegas), aplikasi operator *fuzzy*, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi (pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke dalam nilai tegas). Kelebihan menggunakan metode Mamdani adalah memungkinkan peneliti untuk menggambarkan pengetahuan dengan cara yang lebih intuitif [6,7], sedangkan kelebihan menggunakan metode Sugeno adalah efektif secara komputasi serta optimisasi bekerja dengan baik dan adaptif

[6,8]. Metode Mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 [7], sedangkan metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno-Kang pada tahun 1985 [8]. Ciri khas metode Mamdani adalah pada fungsi implikasi dan komposisi aturan. Aplikasi fungsi implikasi yang digunakan adalah min dan komposisi aturan yang digunakan adalah max. Oleh karena itu, metode Mamdani ini dikenal juga dengan metode Min-Max atau Max-Min. Sedangkan ciri khas pada metode Sugeno adalah output-nya bukan merupakan himpunan *fuzzy*, tetapi berupa singleton. Selain itu, metode defuzzifikasi yang digunakan pada metode Sugeno adalah *weighted average* (rata-rata terbobot). Metode Sugeno juga dikenal dengan metode TSK [6].

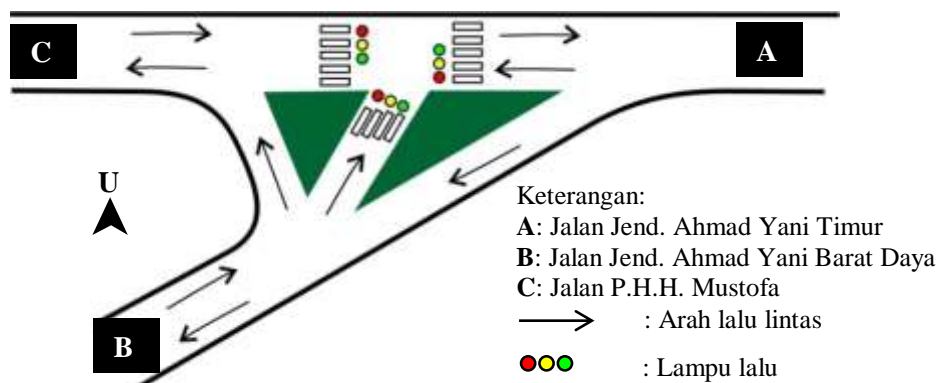
Pada penelitian ini, logika *fuzzy* metode Mamdani dan metode Sugeno akan diterapkan untuk menentukan penjadwalan *delay* lampu hijau di persimpangan Jalan P.H.H. Mustofa dan Jalan Jend. Ahmad Yani Bandung atau yang dikenal dengan pertigaan Cicaheum. Pertigaan ini memiliki tiga fase, yaitu fase dari arah barat, timur, dan barat daya. Kemacetan di persimpangan ini sering terjadi pada sore hari.

2. METODE

Dalam penelitian ini, metodologi yang digunakan adalah observasi. Berikut tahapan dalam mengolah data yang diperoleh berdasarkan hasil observasi tersebut.

2.1 PERTIGAAN CICAHEUM

Penelitian ini mencari penjadwalan *delay* lampu hijau lalu lintas yang optimal pada pertigaan Cicaheum dengan menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan metode Sugeno. Pertigaan Cicaheum memiliki tiga fase. Masing-masing fase memiliki satu arah yang melewati aturan *delay* lampu lalu lintas pertigaan tersebut. Bentuk pertigaan dan penempatan lampu lalu lintas pada pertigaan Cicaheum digambarkan pada Gambar 1, sedangkan pengoperasian arah fase pada pertigaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Bentuk Pertigaan dan Penempatan Lampu Lalu Lintas Cicaheum

Tabel 1. Keterangan Arah Fase

Fase	Arah Lalu Lintas	Keterangan
A	→	Siklus arus kendaraan dari Jalan Jend. Ahmad Yani Timur menuju Jalan P.H.H. Mustofa.
B	↗→	Siklus arus kendaraan dari Jalan Jend. Ahmad Yani Barat Daya menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur.
C	←	Siklus arus kendaraan dari Jalan Jalan P.H.H. Mustofa menuju Jalan Jend. Ahmad Yani Timur.

2.2 DATA DELAY LAMPU HIJAU DAN REKAMAN CCTV

Berdasarkan observasi yang telah dilakukan, diperoleh data-data yang berhubungan dengan pertigaan Cicaheum. Data tersebut adalah data yang ditetapkan oleh Dinas Perhubungan (Dishub) Kota Bandung dan rekaman CCTV di pertigaan Cicaheum. *Delay* lampu hijau lalu lintas yang diatur Dishub adalah *delay* lampu hijau lalu lintas yang ditetapkan oleh Dinas Perhubungan Kota Bandung pada pertigaan Cicaheum secara berkelanjutan. Pada rekaman CCTV, diperoleh volume kendaraan. Volume kendaraan yang dimaksud adalah banyaknya kendaraan roda empat atau lebih yang melewati pertigaan Cicaheum dari Jalan Jend. Ahmad Yani Timur saat lampu hijau setiap siklusnya (90 detik). Data tersebut diamati dari rekaman CCTV pada tanggal 1-7 Juli 2019, pukul 15.00-20.00 WIB. Berdasarkan kedua data tersebut, peneliti menentukan *delay* lampu hijau lalu lintas yang optimal dan selanjutnya dijadikan runtunan siklus lampu lalu lintas yang menggambarkan perpindahan giliran lampu hijau menyala pada pukul 15.00-20.00 WIB.

Berdasarkan data tersebut, diperoleh dua variabel input dan satu variabel output. Variabel input terdiri atas *delay* lampu hijau yang ditetapkan Dishub (DD) dan volume kendaraan (DK), sedangkan variabel output, yaitu *delay* lampu hijau optimal (DO).

2.3 MODEL DELAY LAMPU HIJAU LALU LINTAS

Pada tahap ini dibangun model matematika yang sesuai untuk optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas. Berdasarkan pengamatan, *delay* lampu hijau fase A sama dengan fase C (baik durasi maupun waktunya). Maka pada model matematika hanya dua fase yang dilibatkan (fase A dan fase B) karena fase C sudah diwakili oleh fase A. Sedangkan pada volume kendaraan, hanya fase A yang dapat dicatat dari rekaman CCTV.

Misalkan F himpunan fase, yaitu $F = \{\text{fase A, fase B}\}$, maka untuk setiap fase $i \in F$ didefinisikan parameter-parameter berikut.

p_i adalah *delay* lampu hijau yang diberikan oleh Dishub untuk fase i (detik).

q adalah *delay* akibat volume kendaraan pada fase A.

α_i adalah bobot *delay* lampu hijau yang diberikan Dishub untuk fase i (detik).

β adalah bobot *delay* akibat volume kendaraan pada fase A.

Masalah optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas dapat dimodelkan sebagai berikut.

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in F} d_i \quad (1)$$

Terhadap:

$$d_i = \alpha_i p_i + \beta q, i \in F$$

$$d_i \geq 30, i \in F$$

$$d_i \leq 120, i \in F \quad (2)$$

$$p_i, q, \alpha_i, \beta \geq 0, i \in F$$

Pada Persamaan (1), *delay* lampu hijau yang optimal (d_i) adalah *delay* lampu hijau dalam satu siklus yang minimum terhadap kendala yang ada pada Persamaan (2). Kendala tersebut diturunkan berdasarkan *delay* lampu hijau terpendek dan terpanjang yang diberikan oleh Dishub serta volume kendaraan. *Delay* lampu hijau yang optimal dalam satu siklus adalah penjumlahan *delay* lampu hijau yang diberikan Dishub (p) dan *delay* akibat volume kendaraan (q) dengan bobot masing-masing pada fase A dan fase B yang pada kenyataannya, bobot tersebut (α_i dan β) tidak diketahui dengan pasti. Pada penelitian ini, kedua nilai tersebut diestimasi dengan menerapkan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno.

2.4 LOGIKA FUZZY METODE MAMDANI

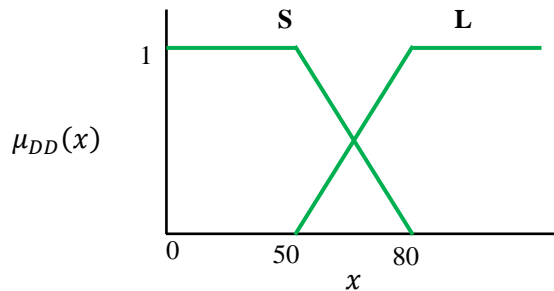
Output diperoleh melalui tahapan berikut.

2.4.1 Fuzzifikasi

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu dua variabel *input* dan satu variabel *output*. Variabel *input* tersebut adalah *delay* lampu hijau lalu lintas oleh Dishub dan volume kendaraan. Sedangkan variabel *output* adalah *delay* lampu hijau lalu lintas optimal untuk setiap fase. Berikut masing-masing variabel yang dibagi menjadi beberapa himpunan *fuzzy* beserta fungsi keanggotaannya.

1. Delay Lampu Hijau Lalu Lintas oleh Dishub (DD)

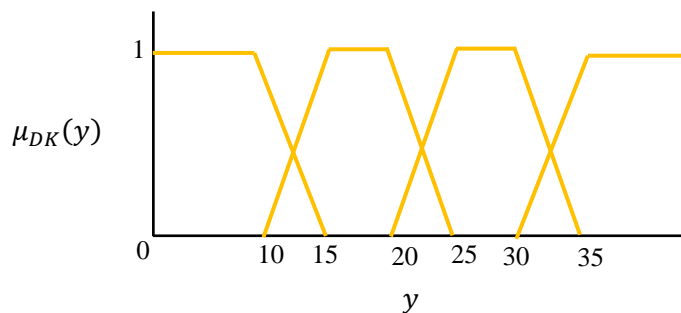
Variabel DD dibagi menjadi dua himpunan *fuzzy*, yaitu sebentar (*S*) dan lama (*L*). Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* DD diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Fungsi Keanggotaan DD

2. Volume Kendaraan (DK)

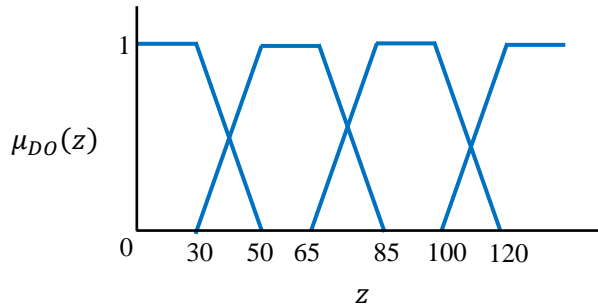
Variabel DK dibagi menjadi empat himpunan *fuzzy*, yaitu sangat sedikit (*SSd*), sedikit (*Sd*), banyak (*B*), dan sangat banyak (*SB*). Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input* DK diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Fungsi Keanggotaan DK

3. Delay Lampu Hijau Lalu Lintas Optimal (DO)

Variabel DO dibagi menjadi empat himpunan *fuzzy*, yaitu sangat sebentar (*SS*), sebentar (*S*), lama (*L*), dan sangat lama (*SL*). Kurva yang merepresentasikan fungsi keanggotaan dari variabel *input DK* diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Fungsi Keanggotaan *DO*

2.4.2 Aplikasi Operator *Fuzzy*

Untuk memperoleh *delay* lampu lalu lintas yang optimal, peneliti mengaplikasikan operator *and* pada aturan *fuzzy* yang berarti mengambil irisan dari himpunan-himpunan. Berikut aturan-aturan *fuzzy* yang ditetapkan.

Tabel 2. Aturan *Fuzzy* pada Metode Mamdani

Aturan		<i>Delay Dishub</i>		Volume Kendaraan		<i>Delay Optimal</i>
R1	<i>if</i>	Sebentar	<i>and</i>	Sangat Sedikit	<i>then</i>	Sangat Sebentar
R2		Sebentar		Sedikit		Sangat Sebentar
R3		Sebentar		Banyak		Sebentar
R4		Sebentar		Sangat Banyak		Sebentar
R5		Lama		Sangat Sedikit		Sangat Sebentar
R6		Lama		Sedikit		Sebentar
R7		Lama		Banyak		Lama
R8		Lama		Sangat Banyak		Sangat Lama

2.4.3 Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada logika *fuzzy* metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*. Fungsi ini akan memotong *output* himpunan *fuzzy* [2].

2.4.4 Komposisi Aturan

Metode komposisi aturan yang digunakan pada logika *fuzzy* metode Mamdani adalah metode *max*. Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan mengambil aturan nilai maksimum, lalu menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator *or* [2].

2.4.5 Defuzzifikasi

Pada penelitian ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *centroid*. Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan mengambil titik pusat daerah *fuzzy* [2].

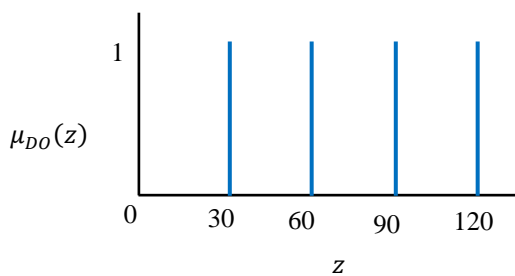
2.5 LOGIKA FUZZY METODE SUGENO

Pada metode Sugeno, output tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan konstanta atau persamaan linear [8]. Langkah-langkah dalam metode ini adalah sebagai berikut.

2.5.1 Fuzzifikasi

Perbedaan metode Mamdani dan Sugeno adalah pada himpunan *fuzzy* variabel *output*. Pada metode Sugeno, variabel *output* berupa *singleton* (lihat Gambar 5). Berikut masing-masing *singleton* yang ditentukan peneliti.

Sangat Sebentar	= 30 detik
Sebentar	= 60 detik
Lama	= 90 detik
Sangat Lama	= 120 detik



Gambar 5. *Singleton* pada DO

2.5.2 Aplikasi Operator *Fuzzy*

Pada tahap ini, pengaplikasian operator *fuzzy* metode Sugeno sama dengan pengaplikasian operator *fuzzy* metode Mamdani, yaitu menggunakan operator *and* pada semua aturan (lihat Tabel 2)

2.5.3 Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada logika *fuzzy* metode Sugeno, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min* [8].

2.5.4 Komposisi Aturan

Metode komposisi aturan yang digunakan pada logika *fuzzy* metode Mamdani adalah metode *max*.

2.5.5 Defuzzifikasi

Pada penelitian ini, metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode *weighted average* (rata-rata terbobot) [9].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

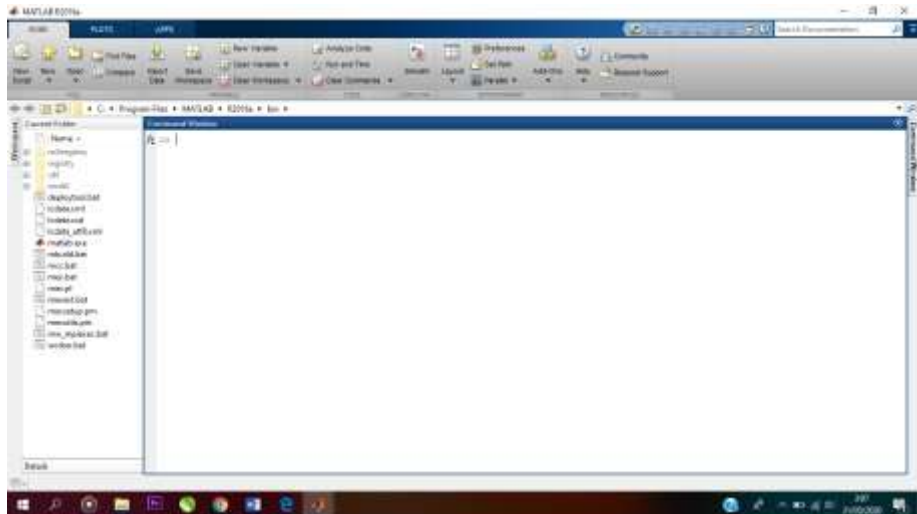
Berdasarkan data yang diperoleh dari Dishub, *delay* lampu hijau yang ditetapkan pada pukul 14.00-21.00 WIB dari hari Senin hingga Sabtu diatur dengan *delay* lampu hijau yang sama, yaitu 90 detik untuk fase A dan 60 detik untuk fase B. Sedangkan pada hari Minggu diatur dengan *delay* yang sama tetapi hanya sampai pukul 20.00 WIB. Oleh karena itu, *delay* satu siklus yang ditetapkan oleh Dishub adalah 150 detik.

Berdasarkan pengamatan rekaman CCTV, tercatat banyaknya siklus pada hari Senin (1 Juli 2019) sebanyak 112 siklus, pada hari Selasa (2 Juli 2019) sebanyak 114 siklus, pada hari Rabu (3 Juli 2019) sebanyak 94 siklus, pada hari Kamis (4 Juli 2019) sebanyak 104 siklus, pada hari Jumat (5 Juli 2019) sebanyak 116 siklus, pada hari Sabtu (6 Juli 2019) sebanyak 96 siklus, dan pada hari Minggu (7 Juli 2019) sebanyak 112 siklus. Total banyaknya siklus yang peneliti amati adalah 748 siklus. Selain itu, berdasarkan pengamatan, *delay* lampu hijau fase A sama dengan fase C (baik durasi maupun waktunya). Oleh karena itu, pada penelitian ini peneliti mengaplikasikan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno terhadap 748 siklus untuk fase A dan fase B.

3.1 Penyelesaian Menggunakan Software Matlab (Metode Mamdani)

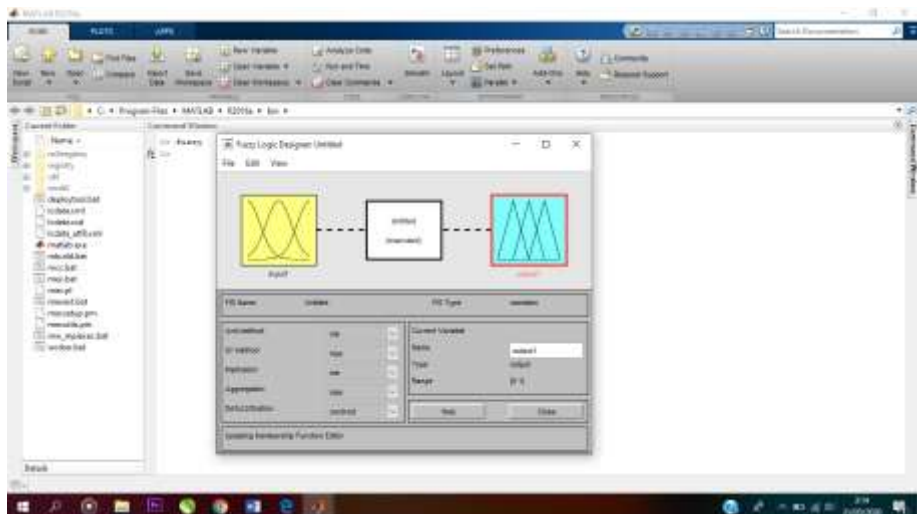
Data di atas diolah untuk memperoleh *delay* lampu hijau yang optimal menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan metode Sugeno dengan bantuan *software* Matlab R2016a. Berikut langkah penyelesaian pada Matlab menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani [10].

1. Buka program aplikasi Matlab sehingga muncul tampilan utama seperti pada Gambar 6.



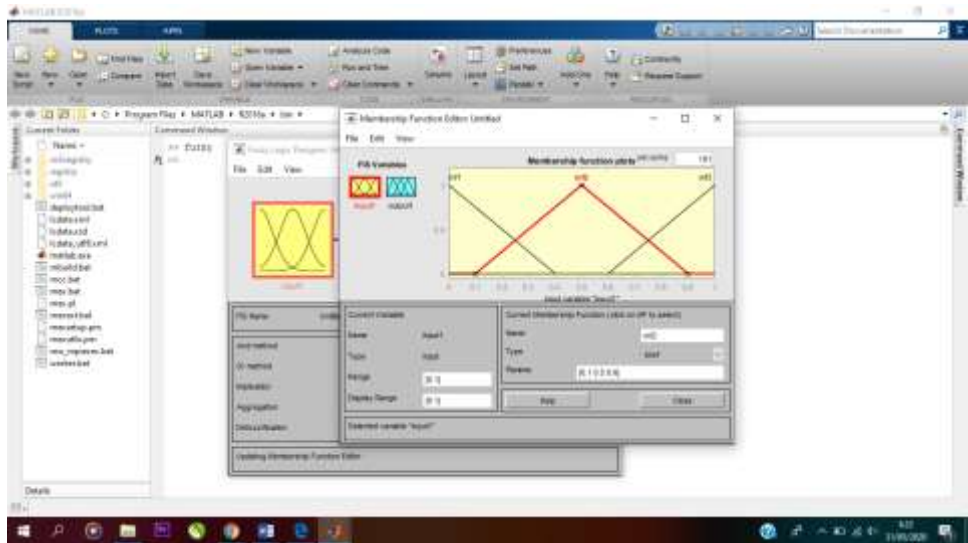
Gambar 6. Tampilan utama aplikasi Matlab

2. Pada kotak *Command Windows*, tulis kata *fuzzy*. Kemudian tekan tombol *enter* pada *keyboard*. Setelah itu, otomatis muncul kotak dialog *Fuzzy Logic Designer* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kotak dialog *Fuzzy Logic Designer*

3. Klik kotak *input1* atau *output1* dua kali untuk membuat fungsi keanggotaan variabel *input* dan variabel *output* sehingga muncul kotak dialog *Membership Function Editor* seperti pada Gambar 8.

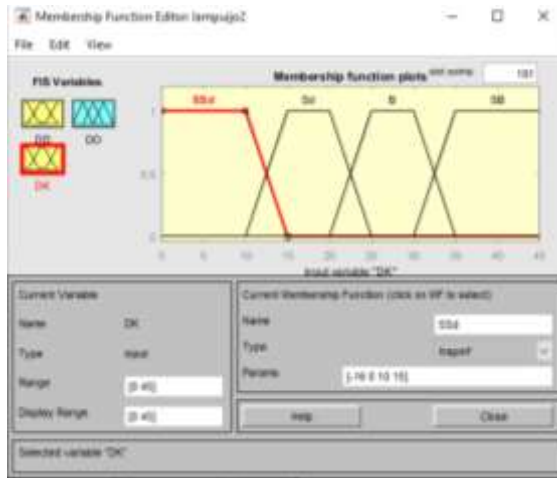


Gambar 8. Kotak dialog *Membership Function Editor*

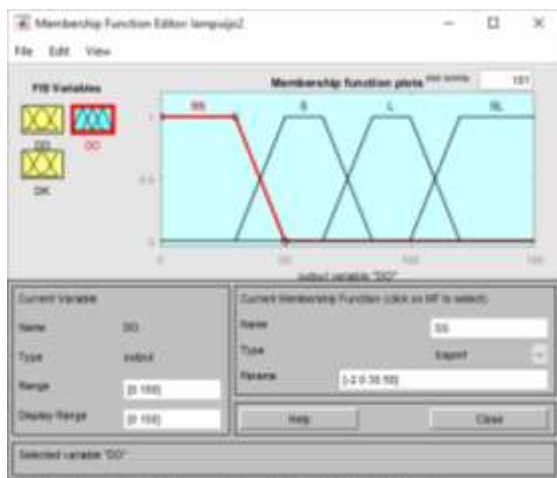
4. Membuat fungsi keanggotaan variabel *input* dan *output* sesuai data yang telah dibuat. Fungsi keanggotaan variabel DD dan variabel DK ditunjukkan oleh Gambar 9 dan Gambar 10. Sedangkan variabel DO ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 9. Membuat fungsi keanggotaan variabel DD

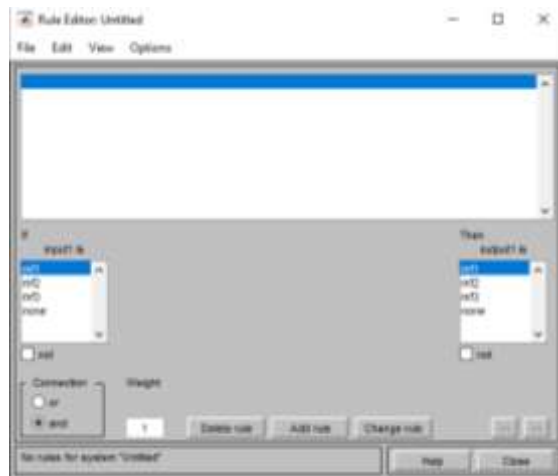


Gambar 10. Membuat fungsi keanggotaan variabel DK



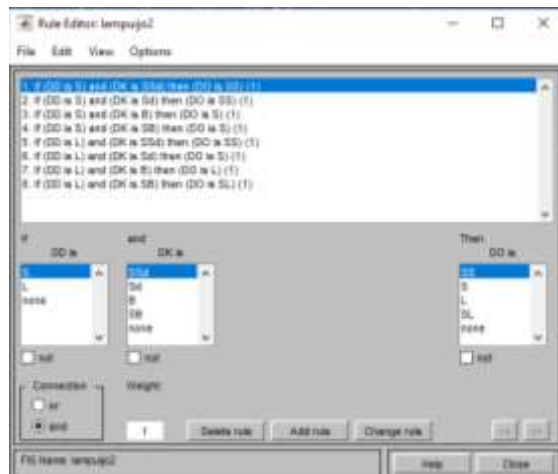
Gambar 11. Membuat fungsi keanggotaan variabel DO

5. Kemudian klik dua kali pada kotak di antara *input1* dan *output1* (mamdani) pada kotak dialog *Fuzzy Logic Designer* sehingga muncul kotak dialog *Rule Editor* untuk membuat aturan *fuzzy*. Tampilannya seperti pada Gambar 12.



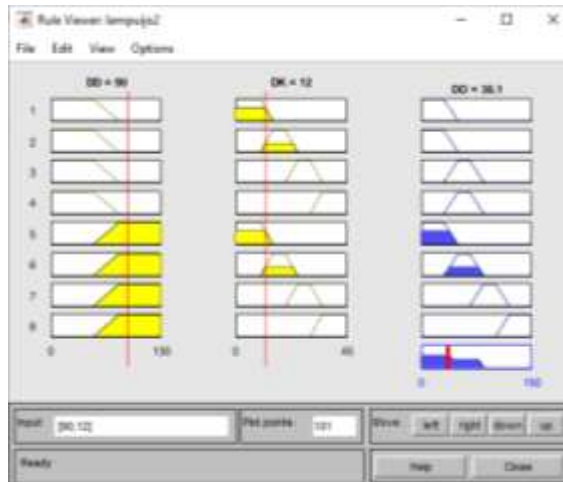
Gambar 12. Kotak dialog *Rule Editor*

6. Masukkan aturan *fuzzy* yang telah dibuat. Gambar 13 merupakan tampilan aturan *fuzzy* sesuai Tabel 2.



Gambar 13. Aturan *fuzzy* pada *Rule Editor*

7. Setelah semua selesai, variabel DO bisa diketahui dengan memasukkan angka pada fungsi keanggotaan variabel DD dan DK dengan mengklik *View*, lalu *Rules* pada kotak dialog *Fuzzy Logic Designer*. Setelah itu akan muncul kotak dialog *Rule Viewer* seperti Gambar 14. Masukkan angka pada kotak *Input* (bawah-kiri) atau dengan menggeser garis merah. Contoh yang dimasukkan adalah 90 untuk variabel DD dan 12 untuk variabel DK. Angka pada variabel DO (*output*) akan muncul otomatis. Pada Gambar 14, *output* yang diperoleh adalah 36,1.



Gambar 14. Kotak dialog *Rule Viewer*

3.2 Penyelesaian Menggunakan Software Matlab (Metode Sugeno)

Penyelesaian menggunakan logika *fuzzy* metode Sugeno pada Matlab tidak berbeda jauh dengan logika *fuzzy* metode Mamdani. Dari tujuh langkah di atas, hanya langkah ke-4 yang berbeda. Pada langkah ini, cara membuat fungsi keanggotaan variabel *input* sama dengan metode Mamdani. Berbeda cara membuat *output*-nya. Pada metode Sugeno, variabel *output* berupa singleton. Sehingga hanya memasukkan angka ke dalam kotak *Params* (kanan-bawah) seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Membuat variabel *output* pada *fuzzy* metode Sugeno

3.3 Hasil Implementasi Menggunakan Logika *Fuzzy* Metode Mamdani dan Metode Sugeno

Dengan menggunakan penyelesaian di atas, diperoleh hasil bahwa metode Sugeno lebih optimal dibandingkan metode Mamdani. Berikut perbandingan rata-rata *delay* lampu hijau dalam satu siklus.

Tabel 3. Rata-rata *Delay* Lampu Hijau oleh Dishub, Metode Mamdani, dan Metode Sugeno

Dishub	Mamdani	Sugeno
240 detik	239 detik	234 detik

Berdasarkan Tabel 3, peneliti merekomendasikan *delay* lampu hijau lalu lintas di pertigaan Cicaheum berdasarkan penyelesaian menggunakan logika *fuzzy* metode Sugeno dengan mengambil rata-rata *delay* lampu hijau optimal berdasarkan waktu pengambilan data (per jam). Dari hasil implementasi tersebut, peneliti membedakan penjadwalan pada *weekday* dan *weekend*. Berikut tabel penjadwalan tersebut.

Tabel 4. Penjadwalan *Delay* Lampu Hijau Berdasarkan Logika *Fuzzy* Metode Sugeno

Hari	Jam	Fase A		Fase B		Fase C	
		<i>DD</i>	<i>DO</i>	<i>DD</i>	<i>DO</i>	<i>DD</i>	<i>DO</i>
<i>Weekday</i> (Senin-Jumat)	15-16	90	91	60	67	90	91
	16-17	90	88	60	64	90	88
	17-18	90	79	60	58	90	79
	18-19	90	74	60	54	90	74
	19-20	90	74	60	53	90	74
<i>Weekend</i> (Sabtu & Minggu)	15-16	90	100	60	71	90	100
	16-17	90	98	60	71	90	98
	17-18	90	107	60	75	90	107
	18-19	90	86	60	63	90	86
	19-20	90	90	60	66	90	90

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, pembangunan model matematika, serta implementasi logika *fuzzy* metode Mamdani dan metode Sugeno pada masalah optimisasi *delay* lampu hijau di pertigaan Cicaheum, berikut kesimpulan yang diperoleh.

1. Masalah optimisasi penjadwalan *delay* lampu hijau dapat dimodelkan sebagai model program linear dengan fungsi tujuan meminimumkan total *delay* lampu hijau untuk semua fase. Model ini dapat diselesaikan dengan menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno. Tahapan logika *fuzzy*, yaitu fuzzifikasi, aplikasi operator *fuzzy*, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi.

2. Penjadwalan *delay* lampu hijau hasil implementasi logika *fuzzy* metode Mamdani dan Tsukamoto tidak jauh berbeda dengan penjadwalan yang ditetapkan Dishub. Penjadwalan yang dilakukan Dishub saat ini sudah cukup optimal. Rata-rata *delay* lampu hijau satu siklus yang ditetapkan Dishub adalah 240 detik, sedangkan hasil implementasi menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani dan Sugeno adalah 239 detik dan 234 detik. Dengan demikian, logika *fuzzy* metode Sugeno lebih optimal dibandingkan metode Mamdani pada masalah optimisasi *delay* lampu hijau lalu lintas di pertigaan Cicaheum. *Delay* lampu hijau lalu lintas yang direkomendasikan pada pertigaan Cicaheum pada pukul 15.00-20.00 WIB adalah 74-107 detik untuk fase A dan fase C, serta 53-75 detik untuk fase B.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009. tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Jakarta.
- [2] Bonneson, J., Sunkari, S. R., Pratt, M., & Songchitruksa, P. (2011). *Traffic signal operations handbook* (No. FHWA/TX-11/0-6402-P1). Texas. Dept. of Transportation. Research and Technology Implementation Office.
- [3] Kazeminezhad, M. H., Etemad-Shahidi, A., & Mousavi, S. J. (2005). Application of fuzzy inference system in the prediction of wave parameters. *Ocean Engineering*, 32(14-15), 1709-1725.
- [4] Zadeh, L. A. (1988). Fuzzy logic. *Computer*, 21(4), 83-93.
- [5] Chiu, S. (1992, June). Adaptive traffic signal control using fuzzy logic. In *Proceedings of the Intelligent Vehicles92 Symposium* (pp. 98-107). IEEE.
- [6] Saepullah, A., & Wahono, R. S. (2015). Comparative analysis of mamdani, sugeno and tsukamoto method of fuzzy inference system for air conditioner energy saving. *Journal of Intelligent Systems*, 1(2), 143-147.
- [7] Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.
- [8] Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information sciences*, 36(1-2), 59-83.
- [9] Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(05), 635-652.
- [10] Sivanandam, S. N., Sumathi, S., & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB* (Vol. 1). Berlin: Springer.