

Aplikasi Pewarnaan Graf Fuzzy dan FIS Tipe Sugeno untuk Menentukan Fase dan Durasi Tiap Fase pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas

Siti Muzaroah^{a*}, Mulyono^b, Muh. Fajar Syafaatullah^c, Isnaini Rosyida^d

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang,
Gedung D7 Lt. 1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229, Indonesia

* Alamat Surel: siti.muzaroah.4111414024@gmail.com

Abstrak

Arus lalu lintas dan panjang antrian pada saat kondisi sibuk pagi dari Jl. Brigjen Sudharto dan Jl. Lamper di simpang Lamper Gajah Kota Semarang termasuk dalam klasifikasi sangat padat dan panjang. Sehingga harus dilakukan penyesuaian fase dan durasi lampu lalu lintas dengan kepadatan arus lalu lintas dan panjang antrian. Arus dinyatakan sebagai simpul dengan derajat keanggotaan simpul $\sigma(x)$ menyatakan kepadatan arus lalu lintas dan dua arus yang bersilangan atau menyatu dinyatakan sebagai sisi dengan derajat keanggotaan sisi $\mu(x)$ menyatakan tingkat kemungkinan dua arus menimbulkan konflik. Sedangkan bilangan kromatik hasil pewarnaan graf fuzzy menyatakan fase pengaturan lampu lalu lintas. Fase pengaturan lampu lalu lintas hasil pewarnaan graf fuzzy berbeda dengan fase pengaturan lampu lalu lintas di simpang lamper Gajah saat ini. Hasil pewarnaan graf fuzzy berupa 4 fase pengaturan lampu lalu lintas. Panjang antrian pada 4 fase tersebut merupakan empat variabel linguistik input yang digunakan untuk menentukan durasi lampu hijau menggunakan FIS tipe sugeno orde-nol dengan bantuan program matlab R2014a. Durasi lampu lalu lintas terbaik dapat diketahui melalui waktu siklus yang layak. Waktu siklus yang layak pada pengaturan lampu lalu lintas dengan empat fase adalah 80-130 detik. Jika siklus pengaturan lampu lalu lintas hasil FIS tipe sugeno orde-nol dan yang digunakan saat ini di simpang Lamper Gajah sebesar 138 detik dan 170 detik, jelas siklus pengaturan lampu lalu lintas hasil FIS tipe sugeno orde-nol lebih mendekati layak. Dengan demikian, pengaturan lampu lalu lintas dari hasil penelitian ini di simpang Lamper Gajah Kota Semarang lebih optimal dari yang digunakan saat ini.

Kata kunci:

Graf fuzzy, pewarnaan graf fuzzy, FIS, fase, durasi lampu lalu lintas.

© 2019 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Teori graf merupakan cabang dari matematika yang telah ada lebih dari dua puluh dekade yang lalu. Jurnal pertama tentang teori graf muncul pada tahun 1736 oleh matematikawan terkenal dari Swiss bernama Euler (Budayasa, 2007). Pada tahun 1852, ahli matematika Francis Guthrie lulusan Universitas Perguruan Tinggi London merupakan orang pertama yang melakukan penelitian tentang pewarnaan graf. Pewarnaan graf bukan hanya mewarnai simpul-simpul bertetangga dengan warna yang berbeda, akan tetapi warna yang dihasilkan minimum. Algoritma yang sering digunakan adalah algoritma *Welch-Powell*.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan bertambah lagi satu bahasan dalam matematika yaitu himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy pertama kali dikenalkan oleh Zadeh (1965). Tahun 1975, Azriel Rosenfeld memperkenalkan penelitiannya mengenai himpunan fuzzy dan graf yang dikenal dengan graf fuzzy. Rosenfeld mengenalkan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ yang terdiri dari himpunan simpul fuzzy dan himpunan sisi fuzzy. Sedangkan graf fuzzy $\tilde{G}(V, \tilde{E})$ yang terdiri dari himpunan simpul tegas dan himpunan sisi fuzzy telah dikenalkan oleh Kaufman pada tahun 1973 (Munoz, dkk, 2005).

To cite this article:

Muzaroah, S., Mulyono, Safaatullah, M. F., & Rosyida, I. (2019). Aplikasi pewarnaan graf fuzzy dan FIS tipe sugeno untuk menentukan fase dan durasi tiap fase pada pengaturan lampu lalu lintas. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika 2*, 516-525

Banyak konsep-konsep dasar pada graf yang telah digeneralisasikan untuk graf fuzzy, diantaranya konsep pewarnaan. Bershtein dan Bozhenuk (2001), Munoz (2005), Cioban (2007), dan Rosyida, dkk (2015) memberikan konsep pewarnaan pada graf fuzzy $\tilde{G}(V, \tilde{E})$ beserta bilangan kromatiknya. Sedangkan Eslahchi dan Onagh (2005), Dey dan Anita (2012), serta Kishore dan Sunitha (2013) memberikan konsep pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ beserta bilangan kromatiknya. Saat ini pewarnaan graf fuzzy banyak mendapat perhatian diantaranya Firouzian dan Jouybari (2011), Dey dan Anita (2013), Sulastri, dkk (2014), Myna (2015), Kurniawan (2017) yang digunakan untuk menentukan fase pada pengaturan lampu lalu lintas.

Jika fase pengaturan lampu lalu lintas berubah maka durasi lampu hijau juga berubah. Penentuan durasi lampu hijau dapat dicari menggunakan salah satu aplikasi logika fuzzy yaitu *Fuzzy Inference System* (FIS). Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 memperkenalkan FIS dengan fungsi keanggotaan output berupa persamaan linear atau konstanta yang dikenal dengan FIS tipe Sugeno. FIS tipe Sugeno orde-nol fungsi keanggotaan outputnya berupa konstanta dan FIS tipe Sugeno orde-satu fungsi keanggotaan outputnya berupa persamaan linear. Saat ini FIS banyak mendapat perhatian diantaranya Prasetyo, dkk (2015), Fadhillah (2015), Blej dan Azizi (2016), dan Prasetyo (2016) yang melakukan penelitian menggunakan FIS untuk menentukan durasi lampu hijau pada pengaturan lampu lalu lintas.

Arus lalu lintas dan panjang antrian pada saat kondisi sibuk pagi dari Jl. Brigjen Sudharto dan Jl. Lamper di simpang Lamper Gajah Kota Semarang termasuk dalam klasifikasi sangat padat dan panjang. Sehingga pada pagi hari, dilakukan penambahan satu lajur untuk arus dari Jl. Brigjen Sudharto (timur). Selain itu, polisi yang bertugas sesekali melakukan rekayasa pada Jl. Lamper dengan meminta pengendara untuk memenuhi seluruh badan jalan pada saat arus dari jalan Brigjen Sudharto ke arah barat dan timur melintas. Sehingga harus dilakukan perubahan fase dan durasi pengaturan lampu lalu lintas sesuai dengan kondisi arus lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang.

Kepadatan arus lalu lintas dari setiap arus di simpang Lamper Gajah tidak sama sehingga tingkat konflik dari dua arus yang bersilangan atau menyatu juga tidak sama. Oleh karena itu, fase pengaturan lampu lalu lintas dapat diperoleh dengan konsep pewarnaan simpul pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ yang diberikan oleh Dey dan Anita (2013). Dey dan Anita merepresentasikan simpul sebagai arus dengan derajat keanggotaan simpul menyatakan kepadatan arus lalu lintas dan sisi sebagai dua arus yang bersilangan atau menyatu dengan derajat keanggotaan sisi sebagai tingkat kemungkinan dua arus menimbulkan konflik. Sedangkan bilangan kromatik hasil pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ menyatakan fase pengaturan lampu lalu lintas.

Fase pengaturan lampu lalu lintas hasil pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ digunakan untuk menentukan durasi lampu hijau. Karena lebar jalan di simpang Lamper Gajah bervariasi antara 10 – 17 m, berdasarkan nilai normal waktu antar hijau (MKJI, 1997) waktu yang diperlukan kendaraan untuk melintasi paling sedikit 5 detik. Sehingga variabel inputnya berupa interval panjang antrian dalam bentuk himpunan fuzzy dan variabel outputnya berupa durasi lampu hijau dalam bentuk fuzzy point. Dengan demikian, penentuan durasi lampu hijau dapat menggunakan FIS tipe sugeno orde-nol dengan bantuan program Matlab R2014a.

2. Metode Penelitian

Peneliti mengambil kasus pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang pada saat kondisi sibuk pagi. Berikut ini tahapan penelitian untuk menentukan fase dan durasi lampu lalu lintas.

2.1. Studi pustaka

Dalam penelitian ini dilakukan studi pustaka yang berhubungan dengan pewarnaan graf fuzzy menggunakan *cut- α* , FIS tipe sugeno orde-nol, program matlab R2014a, dan pengaturan lampu lalu lintas.

2.2. Analisis kebutuhan penelitian

Dari hasil studi putaka diperoleh data-data yang dibutuhkan yaitu arus lalu lintas, fase dan durasi pengaturan lampu lalu lintas yang digunakan pada saat kondisi sibuk pagi, lebar jalan, dan luas kendaraan.

2.3. Metode pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan tinjauan langsung di simpang Lamper Gajah Kota Semarang. Selain itu, dapat diperoleh dengan metode wawancara, observasi, dan dokumentasi.

- (1) Metode wawancara
Wawancara dilakukan dengan pegawai Dinas Perhubungan Kota Semarang khususnya di ruangan CC room ATCS untuk menentukan persimpangan yang memiliki arus lalu lintas padat dan antrian yang panjang, serta masyarakat sekitar simpang Lamper Gajah untuk mengetahui kondisi arus lalu lintas dari berbagai waktu.
- (2) Metode observasi
Pengamatan secara langsung di simpang Lamper Gajah dan di ruang CC room ATCS untuk menentukan waktu pengambilan data pada saat arus lalu lintas lengang, ramai, dan padat.
- (3) Metode dokumentasi
Pengumpulan data dengan mengambil data primer berupa arus lalu lintas pada setiap arus di simpang Lamper Gajah Kota Semarang yang diperoleh dari video dokumentasi. Pengambilan data dilakukan selama 5 hari (senin – jumat), pada pukul 05.00-06.00, 06.30-07.30, 12.00-13.00, dan 16.00-17.00.

2.4. Penyelesaian Masalah

Adapun langkah-langkah untuk menentukan fase dan durasi pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah pada saat kondisi sibuk pagi sebagai berikut.

- (1) Mengkonstruksikan simpang Lamper Gajah ke dalam graf fuzzy
- (2) Pewarnaan graf fuzzy
- (3) Membangun FIS tipe sugeno orde-nol

2.5. Analisis hasil dan penarikan kesimpulan

Hasil akhir penelitian berupa fase dan durasi pengaturan lampu lalu lintas yang disesuaikan dengan kepadatan arus lalu lintas dan panjang antrian, serta perbandingan pengaturan lampu lalu lintas dari hasil penelitian dengan yang digunakan saat ini agar diketahui pengaturan yang lebih optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan diperoleh data berupa arus lalu lintas (Q) dengan satuan kendaraan per-jam yang digunakan sebagai dasar penentuan fase pengaturan lampu lalu lintas. Karena tipe kendaraan yang melintas berbeda, maka dilakukan konversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam menggunakan rumus berikut (MKJI,1997).

$$Q = Q_{LV} + Q_{HV} \times emp_{HV} + Q_{MC} \times emp_{MC}$$

Ekivalensi mobil penumpang untuk pendekat terlindung diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ekivalensi Mobil Penumpang untuk Pendekat Terlindung

Klasifikasi emp	Jenis Kendaraan	Emp
Kendaraan ringan (LV)	Mobil, pick up, mobil box, truk, truk tangki, truk box, mini bus, bis kecil	1,0
Kendaraan Berat (HV)	Bus besar, truk lebih dari 2 as	1,3
Sepeda Motor (MC)	Sepeda motor roda 2 dan 3	0,2

Karena lebar jalan untuk setiap arus di simpang Lamper Gajah kota Semarang bervariasi sehingga untuk dijadikan dasar penentuan durasi lampu hijau arus lalu lintas harus diubah ke dalam panjang antrian menggunakan rumus berikut (Kurniawan, 2017).

$$QL = \frac{\sum_{i=1}^8 (L_i \times Q_i)}{S \times l}, i = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$$

- Keterangan : QL = panjang antrian kendaraan (m)
 L_i = luas kendaraan (m^2)
 Q_i = arus lalu lintas (satuan kendaraan/jam)
 S = banyak siklus lampu hijau dalam satu jam
 l = lebar jalan (m)
 i = tipe kendaraan

Data lebar jalan untuk setiap arus di simpang Lamper Gajah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lebar Jalan untuk Setiap Arus Di Simpang Lamper Gajah

Arus	Lebar Jalan (m)	Arus	Lebar Jalan (m)
UB	4	ST	3
US	4	SU	3
TU	6	BS	3
TB	5,5	BT	5,5

Sedangkan tipe dan luas kendaraan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tipe dan Luas Kendaraan

Tipe	Kendaraan	Luas (m ²)	Tipe	Kendaraan	Luas (m ²)
1	Sepeda motor	2	5	Bis kecil	18,75
2	Tosya	6	6	Truk	15
3	Mobil	8	7	Bis besar	39
4	Elf	13,75	8	Truk besar	36

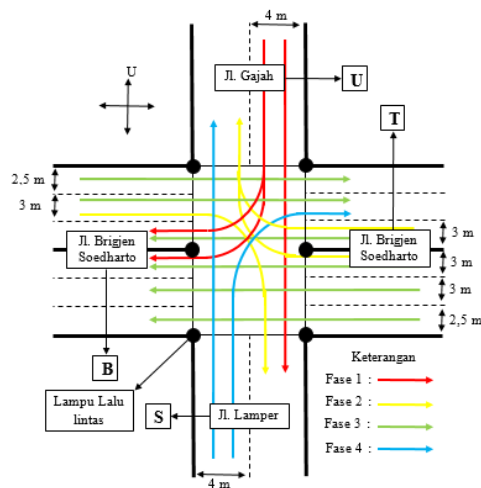
Banyaknya siklus pengaturan lampu lalu lintas dalam satu jam dari berbagai waktu berbeda. Berikut data banyaknya siklus pengaturan lampu lalu lintas yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Siklus Pengaturan Lampu Lalu Lintas dalam Satu jam

Waktu	Senin	Selasa	Rabo	Kamis	Jumat
05.00 – 06.00	32	34	32	31	29
06.30 – 07.30	20	20	20	20	20
12.00 – 13.00	24	24	24	24	24
16.00 – 17.00	21	18	20	21	21

3.1. Mengkonstruksikan simpang Lamper Gajah ke dalam graf fuzzy

Fase pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang pada saat kondisi sibuk pagi yang digunakan saat ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Fase Pengaturan Lampu Lalu Lintas Saat Ini

Arus lalu lintas dari setiap arus di simpang Lamper Gajah berbeda sehingga tingkat konflik dari dua arus yang bersilangan atau menyatu juga berbeda. Oleh karena itu, kasus tersebut dapat diselesaikan dengan pewarnaan simpul graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$. Setiap arus direpresentasikan sebagai simpul dengan derajat

keanggotaan simpul menyatakan kepadatan arus lalu lintas dan dua arus yang bersilangan atau menyatu direpresentasikan sebagai sisi dengan derajat keanggotaan sisi menyatakan tingkat konflik dari kedua arus.

Berdasarkan Gambar 1 terdapat 8 arus pada simpang Lamper Gajah, artinya terdapat 8 simpul yang dapat digunakan untuk membangun graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$. Data survei rata-rata arus lalu lintas untuk setiap arus pada saat kondisi sibuk pagi dinyatakan sebagai nilai x pada setiap simpul disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Arus Lalu Lintas untuk Setiap Arus Sebagai Nilai x pada Setiap Simpul

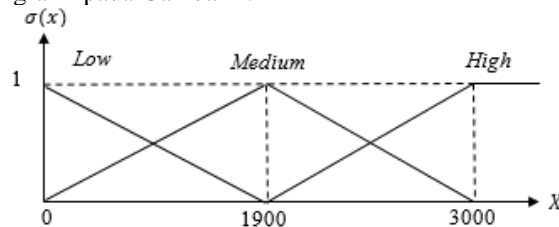
No.	Arus	Simpul	Arus Lalu Lintas (x)
1	Jl. Gajah – Jl. Brigjen Sudharto (barat)	UB	442
2	Jl. Gajah – Jl. Lamper	US	244
3	Jl. Brigjen Sudharto (timur) – Jl. Gajah	TU	94
4	Jl. Brigjen Sudharto (timur) – Barat	TB	2678
5	Jl. Lamper – Jl. Brigjen Sudharto (timur)	ST	349
6	Jl. Lamper – Jal. Gajah	SU	318
7	Jl. Brigjen Sudharto (barat) – Jl. Lamper	BS	115
8	Jl. Brigjen Sudharto (barat) – timur	BT	730

Derajat keanggotaan simpul dapat diperoleh menggunakan fungsi keanggotaan simpul (σ) berikut:

$$\sigma_{Low}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{1900-x}{1900-0}, & 0 \leq x \leq 1900 \\ 1, & 1900 \leq x \end{cases} \quad \sigma_{Medium}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{1900}, & 0 \leq x \leq 1900 \\ \frac{3000-x}{3000-1900}, & 1900 \leq x \leq 3000 \\ 0, & 3000 \leq x \end{cases}$$

$$\sigma_{High}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1900 \\ \frac{x-1900}{3000-1900}, & 1900 \leq x \leq 3000 \\ 1, & 3000 \leq x \end{cases}$$

yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan simpul (σ)

Derajat keanggotaan simpul UB dengan $x = 442$ untuk setiap klasifikasi adalah :

$$\sigma_{Low}(442) = \frac{1900 - 442}{1900} = \frac{1458}{1900} = 0,77$$

$$\sigma_{Medium}(442) = \frac{442}{1900} = 0,23$$

$$\sigma_{High}(442) = 0$$

sehingga derajat keanggotaan simpul dari *union* dua himpunan fuzzy diperoleh dengan aturan berikut.

$$\sigma_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max\{\sigma_{\tilde{A}}(x), \sigma_{\tilde{B}}(x)\}$$

Derajat keanggotaan simpul UB dengan nilai $x = 442$ yaitu

$$\sigma_{Low \cup Medium}(442) = \max\{\sigma_{Low}(442), \sigma_{Medium}(442)\} = \max\{0,77; 0,23\} = 0,77.$$

Jadi derajat keanggotaan untuk simpul UB adalah $\sigma(UB) = 0,77 = L$.

Begitupun juga derajat keanggotaan simpul lainnya pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Derajat Keanggotaan Simpul pada Graf Fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$

Simpul	UB	US	TU	TB	ST	SU	BS	BT
x	442	244	94	2678	349	318	115	730
$\sigma(x)$ numeris	0,77	0,87	0,95	0,71	0,82	0,83	0,94	0,62

$\sigma(x)$ linguistik	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>
------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Berdasarkan Gambar 1 terdapat 21 pasang arus yang saling bersilangan atau menyatu artinya terdapat 21 sisi pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ yang disajikan pada Tabel 7. Derajat keanggotaan sisi menyatakan tingkat kemungkinan dua arus menimbulkan konflik. Kemungkinan dua arus menimbulkan konflik tidak dapat diketahui secara pasti. Dengan demikian harus dilakukan pengklasifikasian tingkat kemungkinan dua arus menimbulkan konflik. Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan derajat keanggotaan sisi $\mu(v_1, v_2)$ linguistik sebelum menentukan derajat keanggotaan sisi $\mu(v_1, v_2)$ numeris.

Menurut Dey dan Anita (2013) jika $\sigma(v_1) = \sigma(v_2) = H$ atau $\sigma(v_1) = H$ dan $\sigma(v_2) = M$ maka $\mu(v_1, v_2) = H$. Jika $\sigma(v_1) = \sigma(v_2) = M$ atau $\sigma(v_1) = H$ dan $\sigma(v_2) = L$ maka $\mu(v_1, v_2) = M$. Jika $\sigma(v_1) = \sigma(v_2) = L$ atau $\sigma(v_1) = M$ dan $\sigma(v_2) = L$ maka $\mu(v_1, v_2) = L$. Derajat keanggotaan sisi $\mu(v_1, v_2)$ numeris diperoleh dengan aturan berikut.

$$\mu(v_1, v_2) = \sigma_{\tilde{A}}(v_1) \cap \sigma_{\tilde{A}}(v_2) = \min\{\sigma_{\tilde{A}}(v_1), \sigma_{\tilde{A}}(v_2)\}$$

Perhitungan derajat keanggotaan sisi TB-BS (timur barat – barat selatan).

Simpul	<i>x</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
TB	2678	0	0,29	0,71
BS	115	0,94	0,06	0

Karena $\sigma(TB) = 1 = H$ dan $\sigma(BS) = 0,85 = L$ sehingga $\mu(TB, BS) = M$.

Jelas $\mu(TB, BS) = \min\{\sigma_{Medium}(TB), \sigma_{Medium}(BS)\} = \min\{0,29; 0,06\} = 0,06$.

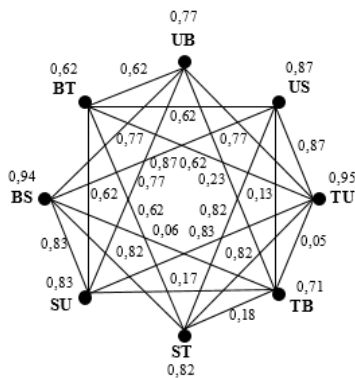
Jadi derajat keanggotaan sisi TB-BS adalah $\mu(TB, BS) = M = 0,06$.

Begitupun juga derajat keanggotaan sisi lainnya pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Derajat Keanggotaan sisi Graf Fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$

Sisi	UB-TU	UB-TB	UB-SU	UB-BS	UB-BT	US-TU	US-TB
$\mu(v_1, v_2)$	0,77	0,62	0,77	0,77	0,62	0,87	0,13
Sisi	US-ST	US-BS	US-BT	TU-ST	TU-SU	TU-BT	TB-ST
$\mu(v_1, v_2)$	0,82	0,87	0,62	0,82	0,83	0,62	0,18
Sisi	TB-SU	TB-BS	ST-BS	ST-BT	SU-BS	SU-BT	TU-TB
$\mu(v_1, v_2)$	0,17	0,06	0,82	0,62	0,83	0,62	0,05

Graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ lengkap dengan derajat keanggotaan simpul dan sisi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$

3.2. Pewarnaan graf fuzzy

Pada penelitian ini penentuan fase pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah pada saat kondisi sibuk pagi menggunakan konsep pewarnaan graf fuzzy dengan $cut-\alpha$. Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 diperoleh himpunan level pada himpunan fuzzy \tilde{V} dan \tilde{E} sebagai berikut.

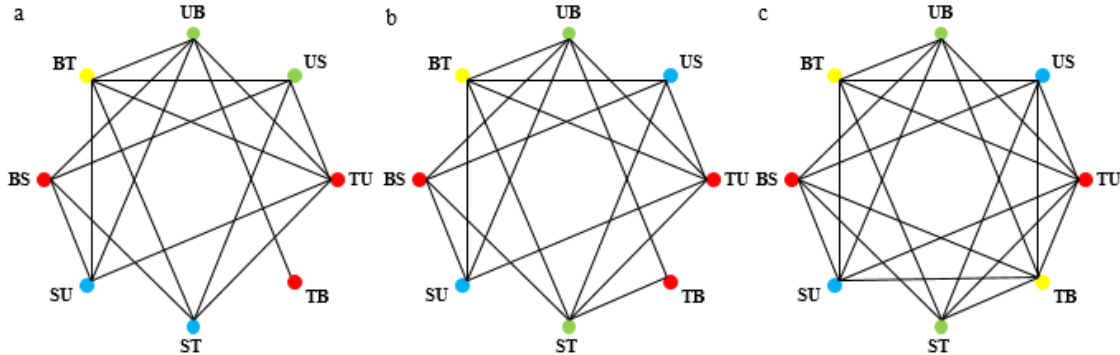
$$L_{\tilde{V}} = (0,95; 0,94; 0,87; 0,83; 0,82; 0,77; 0,71; 0,62)$$

$$L_{\tilde{E}} = \{0,87; 0,83; 0,82; 0,77; 0,71; 0,62; 0,23; 0,18; 0,17; 0,13; 0,06; 0,05\}$$

Sehingga himpunan fundamental graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ sebagai berikut.

$$L = L_{\tilde{V}} \cup L_{\tilde{E}} = \{0,95; 0,94; 0,87; 0,83; 0,82; 0,77; 0,71; 0,62; 0,23; 0,18; 0,17; 0,13; 0,06; 0,05\}$$

Cut- α pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ didefinisikan sebagai $G_\alpha = (V_\alpha, E_\alpha)$ dimana $V_\alpha = \{v \in V | \sigma(v) \geq \alpha\}$ dan $E_\alpha = \{e \in E | \mu(e) \geq \alpha\}$, dilanjutkan proses pewarnaan G_α menggunakan algoritma Welch Powell.



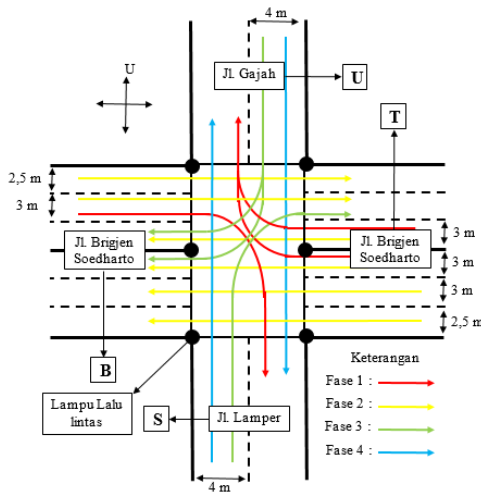
Gambar 4. (a) $G_{0,23}$; (b) $G_{0,18}$; (c) $G_{0,05}$

Diperoleh bilangan kromatik untuk setiap α yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Bilangan Kromatik untuk Setiap α

α	0,95	0,94	0,87	0,83	0,82	0,77	0,71	0,62	0,23	0,18	0,17	0,13	0,06	0,05
χ_α	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4

Bilangan kromatik pada graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ didefinisikan sebagai $\chi(\tilde{G}) = \max\{\chi_\alpha | \alpha \in L\}$, dimana $\chi_\alpha = \chi(G_\alpha)$ (Kishore dan Sunitha, 2013). Dengan demikian, $\chi(\tilde{G}) = \max\{1,1,2,2,3,3,3,4,4,4,4,4,4,4,4\} = 4$. Jadi, fase pengaturan lampu lalu lintas hasil pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ di simpang Lamper Gajah terdiri atas 4 fase yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fase Pengaturan Lampu Lalu Lintas Hasil Pewarnaan Graf Fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$

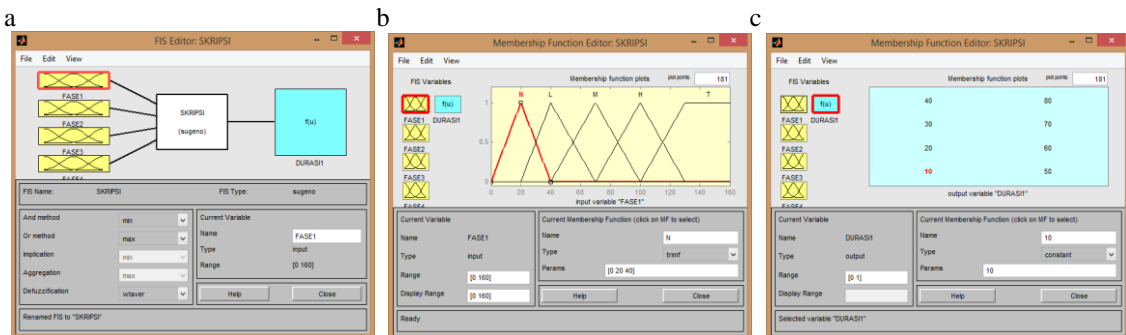
Fase pertama pada pengaturan lampu lalu lintas yang digunakan saat ini yaitu arus dari Jl. Gajah menuju barat dan selatan. Arus dari Jl. Gajah menuju barat kompatibel dengan arus dari Jl. Gajah menuju utara dan arus dari Jl. Lamper menuju timur. Sedangkan arus dari Jl. Gajah menuju selatan kompatibel dengan arus dari Jl. Gajah menuju barat dan arus dari Jl. Lamper menuju utara. Artinya fase pertama ada kaitannya dengan fase keempat.

Arus dari jalan Gajah menuju barat dan selatan serta arus dari Jl. Lamper menuju timur dan utara direpresentasikan sebagai simpul UB dan US serta ST dan SU. Derajat keanggotaan simpul UB, US, ST, dan SU yaitu $\sigma(UB) = 0,77 = L$, $\sigma(US) = 0,87 = L$, $\sigma(ST) = 0,82 = L$, dan $\sigma(SU) = 0,83 = L$. Berdasarkan derajat keanggotaan terbesar maka $\sigma(US) > \sigma(SU) > \sigma(ST) > \sigma(UB)$. Jelas derajat keanggotaan simpul yang saling berdekatan yaitu derajat keanggotaan simpul US dengan SU dan ST

dengan UB. Artinya arus dari Jl. Gajah menuju selatan dan arus dari Jl. Lamper menuju utara memiliki tingkat kepadatan yang berdekatan sehingga dua arus tersebut seharusnya memiliki fase sama. Begitupun juga arus dari Jl. Gajah menuju barat dan arus dari Jl. Lamper menuju timur. Dengan demikian fase pengaturan lampu lalu lintas yang digunakan saat ini belum sesuai dengan kepadatan arus lalu lintas.

3.3. Membangun FIS tipe Sugeno orde-nol

Untuk memudahkan perhitungan FIS digunakan aplikasi Matlab R2014a dengan bantuan GUI *fuzzy logic toolbox*. Karena pengaturan lampu lalu lintas hasil penelitian terdiri dari 4 fase, artinya banyaknya variabel linguistik input adalah 4. Pada *FIS editor* operator *AND* menunjukkan fungsi min dan operator *OR* menunjukkan fungsi max seperti pada Gambar 6 (a). Variabel input panjang antrian diklasifikasikan menjadi 5 yaitu antrian sangat pendek, pendek, sedang, panjang, dan sangat panjang yang dinyatakan dengan himpunan fuzzy *Null, Low, Medium, High, dan Total* disajikan pada Gambar 6 (b). Sedangkan, variabel output terdiri dari 8 fuzzy point yaitu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 detik disajikan pada Gambar 6 (c).

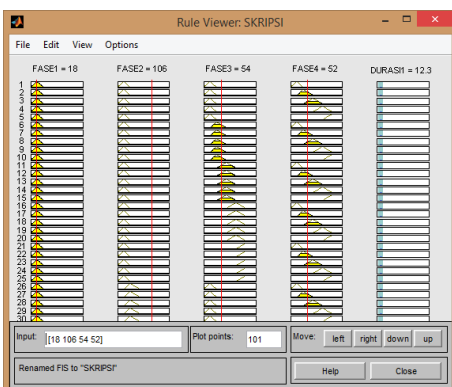


Gambar 6. (a) *FIS editor*; (b) Fungsi keanggotaan input; (c) Fungsi keanggotaan output.

Karena variabel input sebanyak empat dan setiap variabel terdapat 5 himpunan fuzzy maka banyaknya *rule* adalah $5^4 = 625$. Jika panjang antrian fase 1 pada kondisi *Null* maka durasi lampu hijaunya sekitar 10 atau 20 detik. Jika kondisi *Low* maka durasi lampu hijaunya sekitar 20 atau 30 detik. Jika kondisi *Medium* maka durasi lampu hijaunya sekitar 30, 40, atau 50 detik. Jika kondisi *High* maka durasi lampu hijaunya sekitar 50 atau 60 detik. Jika kondisi *Total* maka durasi lampu hijaunya sekitar 70 atau 80 detik.

Hasil perhitungan durasi lampu hijau untuk setiap fase pada pengaturan lampu lalu lintas di simpang Lamper Gajah menggunakan *Fuzzy Inference System* dengan bantuan matlab R2014a sebagai berikut.

- (1) Kedua arus pada fase 1 terletak pada jalur berbeda sehingga panjang antriannya $\max\{7,18\} = 18$ m. Dengan demikian, durasi lampu hijaunya sebesar $12,3 = 12$ detik seperti pada Gambar 7.
- (2) Kedua arus pada fase 2 terletak pada jalur berbeda sehingga panjang antriannya $\max\{60,106\} = 106$ m. Dengan demikian, durasi lampu hijaunya sebesar $56,2 = 56$ detik.
- (3) Kedua arus pada fase 3 terletak pada jalur berbeda sehingga panjang antriannya $\max\{54,50\} = 54$ m. Dengan demikian, durasi lampu hijaunya sebesar $24,9 = 25$ detik.
- (4) Kedua arus pada fase 4 terletak pada jalur berbeda sehingga panjang antriannya $\max\{29,52\} = 52$ m. Dengan demikian, durasi lampu hijaunya sebesar $24,6 = 25$ detik.



Gambar 7. Durasi lampu hijau hasil penelitian untuk fase 1

Dari hasil FIS tipe sugeno orde-nol diperoleh siklus pengaturan lampu lalu lintas hasil penelitian di simpang Lamper Gajah Kota Semarang yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Siklus Pengaturan Lampu Lalu Lintas Hasil Penelitian

Fase	Durasi Lampu Hijau (detik)	Durasi Lampu Kuning (detik)	Durasi Clear (detik)	Durasi Lampu Merah (detik)
1	12	2	3	124
2	56	2	3	80
3	25	2	3	111
4	25	2	3	111
Total	138			

Karena fase pengaturan lampu lalu lintas dari hasil penelitian berbeda dengan fase pengaturan lampu lalu lintas saat ini, sehingga untuk mengetahui durasi lampu lalu lintas terbaik diantara keduanya dapat diketahui melalui siklus pengaturan lampu lalu lintas. Berdasarkan MKJI (1997) waktu siklus yang layak pada pengaturan lampu lalu lintas dengan empat fase adalah 80-130 detik. Jika siklus pengaturan lampu lalu lintas dari hasil penelitian dan yang digunakan saat ini di simpang Lamper Gajah sebesar 138 detik dan 170 detik, jelas siklus pengaturan lampu lalu lintas hasil penelitian lebih mendekati layak. Dengan demikian, pengaturan lampu lalu lintas hasil penelitian di simpang Lamper Gajah Kota Semarang pada saat kondisi sibuk pagi lebih optimal dari fase pengaturan lampu lalu lintas yang digunakan saat ini.

4. Simpulan

Pengaturan lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang direpresentasikan ke dalam graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ yang terdiri dari 8 simpul beserta derajat keanggotaan simpul dan 21 sisi beserta derajat keanggotaan sisi. Hasil pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ berupa empat fase pengaturan lampu lalu lintas hasil penelitian yang dapat digunakan untuk mengatur arus lalu lintas di simpang Lamper Gajah Kota Semarang. Fase pertama yaitu arus dari Jl. Brigjen Sudharto (timur) menuju utara dan Jl. Brigjen Sudharto (barat) menuju selatan dengan durasi lampu hijau sebesar 12 detik. Fase kedua yaitu arus dari Jl. Brigjen Sudharto (timur) menuju barat dan Jl. Brigjen Sudharto (barat) menuju timur dengan durasi lampu hijau sebesar 56 detik. Fase ketiga yaitu arus dari Jl. Gajah menuju selatan dan Jl. Lamper menuju utara dengan durasi lampu hijau sebesar 25 detik. Fase keempat yaitu arus dari Jl. Gajah menuju barat dan Jl. Lamper menuju timur dengan durasi lampu hijau sebesar 25 detik.

Hasil penelitian menunjukkan jika kepadatan dari dua arus lalu lintas berdekatan maka kedua arus tersebut harus memiliki fase yang sama sehingga antrian kendaraan dapat berkurang sebelum dilakukan penguraian. Jika antrian kendaraan berkurang maka durasi lampu hijau akan berkurang sehingga waktu tunggu dan panjang antrian untuk arus lain yang mendapat lampu merah juga berkurang. Dengan demikian, arus lalu lintas akan semakin cepat terurai.

Daftar Pustaka

- Bershtein, L.S. dan Bozhenuk, A. V. (2001). Maghout Method for Determination of Fuzzy Independent, Dominating Vertex Set and Fuzzy Graph Kernels. *International Journal of General Systems*. Vol 1, Issue 30.
- Blej, M. dan Azizi, M. (2016). Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference System for Fuzzy Real Time Scheduling. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 Volume 11, Nomer 22.
- Cioban, V. (2007). On Independent Set of Vertices of Graph. *Studia Univ Babeş-Bolyai Informatica LII 1*.
- Dey, A. dan P. Anita (2012). Vertex Coloring of Fuzzy Graph Using Alpha Cut. *International Journal of Management, IT and Engineering*. Volume 2, Issue 8, ISSN 2249-0558.

- Dey, A. dan P. Anita (2013). An Application of Fuzzy Graph in Traffict Light Control. *Mathematic Science Internatioanl Research Journal*, Volume 2, Issue 2, ISSN 2278-8697.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: PT. Bina Karya (Persero).
- Eslahchi, C. dan B. N. Onagh (2005). Vertex Strength of Fuzzy Gaphs. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences* 436:1-9.
- Fadhillah, M. R. (2016). Simulasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas Menggunakan Fuzzy Inference System Metode Mamdani pada MATLAB. *Prosiding Matematika*, ISSN 2460-6464. Universitas Islam Bandung.
- Firouzian, S. dan M. N. Jouybari (2011). Coloring Fuzzy Graph and Traffic Light Problem. *The Journal of Mathematics and Computer Science*. Volume 3, No 2.
- Kishore, A. dan M. S. Sunitha (2013). Chromatic Number of Fuzzy Graph. *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*. ISSN 2093-9310.
- Kurniawan, A. P. (2017). Aplikasi Graf Fuzzy dan Aljabar Max-Plus untuk Pengaturan Lampu Lalu Lintas di Simpang Empat Beran. *Jurnal Matematika*. Volume 6, No 2.
- Munoz, S. M. Teresa Ortuna, Javier Ramirez, dan Javier yanez (2005). Coloring Fuzzy Graph. *Omega: The International Journal of Management Science* 33: 211-221.
- Myna, R. (2015). Application of Fuzzy Graph in Traffic. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Volume 6, Issue 2.
- Prasetyo, E. E. Oyas Wahyunggoro, dan Selo Sulisty (2015). Design and Simulation of Adaptive Traffic Light Controller Using Fuzzy Logic Control Sugeno Method. *International Journal of Scientific and Research Publication*. Volume 5, Issue 4.
- Prasetyo, E.E. (2016). Perbandingan Kinerja Lampu Lalu lintas Metode Fuzzy Tipe Sugeno dengan Metode Waktu Tetap. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*. ISSN 2302-2803.
- Rosyida, dkk. 2015. A New Approach for Determining Fuzzy Chromatic Number of Fuzzy graph. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 28.
- Sulastri, Darmaji, dan Mohammad Isa Irawan (2014). Aplikasi Pewarnaan Graf Fuzzy untuk mengklasifikasikan Jalur Lalu Lintas di Persimpangan Jalan Insinyur Soekarno Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni pomits*, Volume 3, No 2.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Set. *Information and Control*. 33, 338-353.