

Optimalisasi Fase Dan Durasi Lampu Lalu Lintas Bundaran Digulis Pontianak

Harry Evendy Sijabat¹⁾, Nilamsari Kusumastuti²⁾, Fransiskus Fran³⁾

^{1,2,3} Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura

email: ¹⁾h1011201036@student.untan.ac.id

²⁾nilamsari@math.untan.ac.id

³⁾frnsiskusfran@math.untan.ac.id

Abstrak

Bundaran Digulis Pontianak merupakan salah satu persimpangan yang memiliki arus lalu lintas cukup padat sehingga sering kali terjadi kemacetan pada persimpangan tersebut. Oleh karena, itu perlu dilakukan pengoptimalan fase dan durasi lampu lalu lintas yaitu dengan penerapan graf *fuzzy* $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$ untuk mengurangi kemacetan di Bundaran Digulis Pontianak. Pada penelitian ini, arus lalu lintas direpresentasikan sebagai simpul dan arus yang bersilangan atau berpotongan direpresentasikan sebagai sisi, selanjutnya derajat keanggotaan simpul direpresentasikan sebagai kepadatan arus lalu lintas dan derajat keanggotaan sisi direpresentasikan sebagai tingkat konflik antar dua arus kendaraan yang dapat menimbulkan konflik lalu lintas. Berdasarkan representasi tersebut diperoleh graf *fuzzy* $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$ yang terdiri dari 14 simpul dan 42 sisi. Selanjutnya pembentukan graf *fuzzy* dimodelkan sebagai masalah pewarnaan graf *fuzzy*. Pewarnaan graf *fuzzy* menggunakan konsep Eslachi dan Onagh (2006) dan menghasilkan bilangan kromatik untuk setiap α , yaitu $\alpha_{\tilde{T}}$, $\alpha_{\tilde{S}}$, dan $\alpha_{\tilde{R}}$ dan bilangan kromatik terbesar adalah 4, artinya terdapat 4 fase lalu lintas yang diperoleh di Bundaran Digulis Pontianak. Selanjutnya dicari durasi optimal setiap fase menggunakan metode Webster. Diperoleh durasi lampu hijau untuk setiap fase Bundaran Digulis Pontianak yaitu, jalan Jenderal A Yani 2 selama 53 detik, jalan Jenderal A Yani 1 selama 46 detik, jalan Daya Nasional selama 15 detik, jalan Prof. Hadari Nawawi selama 18 detik.

Kata Kunci: kemacetan, graf *fuzzy* $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$, pewarnaan graf *fuzzy*, metode Webster

Abstract

Digulis Roundabout Pontianak is one of the intersections that has a fairly heavy traffic flow that often causes congestion at this intersection. Therefore, it is necessary to optimise the phase and duration of traffic lights by applying fuzzy graph $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$ to reduce congestion at thy are. In this study, traffic flows are represented as vertices and flows that cross or intersect are represented as edges, then the degree of membership of the vertices is represented as the density of the traffic flow and the degree of membership of the edges is represented as the level of conflict between two vehicle flows that can cause traffic conflicts. Based on this representation, a fuzzy graph $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$ consisting of 14 vertices and 42 edges is obtained. Furthermore, fuzzy graph formation is modelled as a fuzzy graph colouring problem. Fuzzy graph colouring using the concept of Eslachi and Onagh (2006) produces chromatic numbers for α , namely $\alpha_{\tilde{T}}$, $\alpha_{\tilde{S}}$, and $\alpha_{\tilde{R}}$ and the largest chromatic number is 4, meaning that there are 4 traffic phases obtained at Digulis Roundabout Pontianak. Next the optimal duration of each phase was found using the Webster method. The green light duration for each phase of Digulis Roundabout Pontianak is obtained, namely, Jenderal A Yani 2 street for 53 seconds, Jenderal A Yani 1 street for 46 seconds, Daya Nasional street for 15 seconds, Prof. Hadari Nawawi street for 18 seconds

Keywords : traffic jam, fuzzy graph $\tilde{G} = (\tilde{V}, \tilde{E})$, fuzzy graph colouring, Webster method

1. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan yang sering ditemui di kota-kota besar maupun kota yang sedang berkembang yang ada di Indonesia, semakin bertambahnya penduduk dan pembangunan di sebuah kota maka akan semakin bertambah kemacetan lalu lintas yang terjadi karena kenaikan jumlah kendaraan. Menurut BAPPEDA

Kota Pontianak, saat ini terdapat kecenderungan berkurangnya jumlah angkutan publik di dalam kota, karena harga kendaraan pribadi, khususnya motor relatif murah, sehingga masyarakat lebih memilih untuk memiliki kendaraan pribadi. Selain itu, angkutan publik menjadi kurang nyaman, yang menyebabkan popularitas moda ini menurun.

Salah satu simpang yang sering mengalami kemacetan adalah Bundaran Digulis yang berada di kota Pontianak. Bundaran Digulis menjadi simpang yang sering mengalami kemacetan pada hari kerja yaitu jam sibuk pukul 15.30 – 16.30 WIB, persimpangan ini ramai karena merupakan akses utama menuju sekolah, kampus, perkantoran, bandara, perumahan masyarakat dan lain-lain. Tercatat sebanyak 17.157 melintas di Bundaran Digulis Pontianak, pada 15 Mei 2024 pukul 15.30-16.30 WIB, jumlah kendaraan ini terbilang tinggi di Pontianak sehingga memicu terjadi kemacetan. Kemacetan juga disebabkan oleh lampu lalu lintas, Avin et al pada (Alkhatib dkk, 2022). Untuk mengurangi tingkat kemacetan yang terjadi maka dilakukan pengendalian untuk mengoptimalkan fase dan durasi persimpangan dengan menggunakan lampu lalu lintas, dimana sebelumnya fase Bundaran Digulis sebanyak 2 fase dan berdasarkan pengamatan di lokasi penelitian, penggunaan 2 fase ini sering menimbulkan penumpukan kendaraan jika ada volume kendaraan yang tinggi dari arah berbeda tetapi harus menunggu fase yang sama saat peralihan fase di sisi Bundaran (Tugu Bambu) dikarenakan dalam 1 fase terdapat 2 pendekat/arah arus yang berjalan secara bersamaan. Sehingga perlu dilakukan pengoptimalan pada fase untuk meminimalisir penumpukan yang mengakibatkan kemacetan. Pengoptimalan tersebut dapat diselesaikan menggunakan ilmu matematika yaitu penerapan teori graf. Teori graf diperkenalkan oleh Leonhard Euler matematikawan Swiss pada tahun 1736 yang digunakan untuk memecahkan masalah jembatan Königsberg di Prussia. Suatu graf G dapat dinyatakan sebagai pasangan $G = (V, E)$ dimana $V(E)$ adalah himpunan simpul dan $E(G)$ adalah himpunan sisi dari graf G . Seiring berkembangnya ilmu maka bertambah satu teori graf yaitu teori graf *fuzzy* yang ditemukan pada tahun 1736 yang dapat digunakan pada pengoptimalan lampu lalu lintas.

Pengoptimalan lampu lalu lintas di Bundaran Digulis pada penelitian ini menggunakan graf *fuzzy*. Graf *fuzzy* adalah bagian dari ilmu matematika yang menggabungkan logika *fuzzy* dengan teori graf (Cahyani, 2023). Graf *fuzzy* telah banyak digunakan untuk membuat keputusan dalam banyak penelitian dan proyek. Metode ini dapat diimplementasikan untuk menavigasi AR Drone Quadrotor, menjadwalkan pengisian akumulator, membantu manuver kapal, dan mengendalikan pencahayaan dalam ruangan (Hartanti et al., 2019). Berdasarkan hal tersebut, graf fuzzy dianggap sebagai salah satu opsi yang akurat juga untuk mengendalikan pergerakan lalu lintas di kota-kota besar (Nasmirayanti, 2019). Kepadatan arus lalu lintas di setiap arus simpang Bundaran Digulis berbeda beda. Oleh karena itu, fase pengaturan lampu lalu lintas dicari dengan menggunakan pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(V, \mu, \sigma)$. Menurut Dey & Pal, (2012), bilangan kromatik hasil pewarnaan graf fuzzy $\tilde{G}(V, \mu, \sigma)$ menyatakan fase pengaturan lampu lalu lintas.

Metode yang digunakan untuk pengoptimalan lampu lalu lintas yaitu metode Webster. Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk menghitung durasi lampu lalu lintas yang dikembangkan oleh F.V. Webster di Inggris pada 1960. Kelebihan dari metode ini adalah penggunaan dari metode ini cukup mudah dipahami dalam pengerjaannya, selain itu pada metode ini untuk jalan dengan volume kendaraan yang tinggi akan terjadi penambahan lama waktu lampu lalu lintas (Poernamasari et al., 2019). Graf *fuzzy* dan metode Webster mampu menyelesaikan permasalahan optimalisasi dengan baik. Oleh karena itu pada penelitian ini kedua metode tersebut digunakan untuk mengoptimalkan fase dan durasi lampu lalu lintas.

2. KAJIAN TEORI

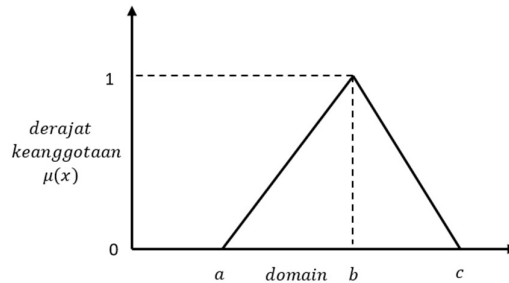
a. Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, serta logika baru yang selanjutnya dikenal dengan logika *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* adalah pengelompokan sesuatu yang didasarkan pada variabel bahasa, yang dinyatakan dalam bentuk U dan disertai dengan fungsi keanggotaan. Keanggotaan dalam suatu nilai dinyatakan dalam derajat keanggotaan yang berada diantara 0 sampai 1 (Irsan dkk., 2019). Himpunan *fuzzy* juga dapat didefinisikan sebagai himpunan yang setiap elemen pembentuknya memiliki derajat keanggotaan (Davvaz dkk., 2021).

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan yaitu melalui pendekatan fungsi (Kusumadewi, 2010). Salah satu fungsi keanggotaan *fuzzy* yakni, fungsi keanggotaan segitiga yang mempunyai 3 parameter $a, b, c \in \mathbb{R}$ dimana $a < b < c$, yang dinyatakan dengan aturan.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Grafik fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Representasi grafik kurva segitiga

Himpunan *fuzzy* memiliki 3 operator dasar. Operasinya didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasikan dan memodifikasi himpunan *fuzzy*.

1. Operator AND (*union*)

Operator AND berkaitan dengan operasi interseksi pada himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan \tilde{B} dinyatakan $\tilde{A} \cap \tilde{B}$, fungsi keanggotaannya didefinisikan sebagai $\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$

2. Operator OR (*intersection*)

Operator OR berkaitan dengan operasi gabungan pada himpunan *fuzzy* \tilde{A} dan \tilde{B} dinyatakan $\tilde{A} \cup \tilde{B}$, fungsi keanggotaannya didefinisikan sebagai $\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$

3. Operator NOT (*complement*)

Operator NOT berkaitan dengan operasi komplemen pada himpunan *fuzzy*. Fungsi keanggotaannya dinyatakan sebagai: $\mu_{\tilde{A}'}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$

b. Graf Fuzzy

Menurut Sulastri dkk., (2014), sebuah graf merupakan salah satu alat yang sesuai untuk menyelesaikan beberapa permasalahan, seperti penjadwalan dan penentuan rute terpendek. Oleh karena bertambahnya ilmu teknologi, sekarang graf sudah dikombinasikan

dengan *fuzzy* yang menghasilkan graf *fuzzy*. Graf *fuzzy* $G(V, E)$ bisa juga dituliskan dengan $\tilde{G} = (V, \sigma, \mu)$, lebih lanjut dijelaskan pada Definisi 1.

Definisi 1 (Mathew dkk., 2018), Graf *fuzzy* $\tilde{G} = (V, \sigma, \mu)$ merupakan tiga elemen yang terdiri dari himpunan V takkosong bersama dengan sepasang fungsi $\sigma: V \rightarrow [0,1]$ dan $\mu: E \rightarrow [0,1]$, sehingga $\mu(x, y) \leq \sigma(x) \wedge \sigma(y), \forall x, y \in V$. Himpunan *fuzzy* σ disebut himpunan simpul *fuzzy* dari G dan himpunan *fuzzy* μ adalah himpunan sisi *fuzzy* dari G .

Pewarnaan graf *fuzzy* pada pengaturan lalu lintas ini menggunakan konsep dari Eslachi dan Onagh (2006) dalam menentukan bilangan kromatik graf *fuzzy*. Pada penelitian Eslahchi & Onagh, (2006) bilangan kromatik graf *fuzzy* didefinisikan sebagai bilangan asli terkecil k sedemikian sehingga semua simpul pada graf *fuzzy* dapat diwarnai dengan k warna berbeda dimana setiap dua simpul bertetangga (*adjacent*) tidak menggunakan warna yang sama.

Definisi 2 (Eslahchi & Onagh, 2006), Suatu keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_k\}$ dari himpunan *fuzzy* di V disebut k -pewarnaan *fuzzy* pada $\tilde{G} = (V, \sigma, \mu)$

$$1 \quad \gamma_1 \cup \gamma_2 \cup \gamma_3 \cup \dots, \gamma_k = V$$

$$2 \quad \gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, \quad \gamma_i, i = 1, 2, 3, \dots, k \text{ dan } \gamma_j, j = 1, 2, 3, \dots, k \text{ adalah keluarga pewarnaan graf fuzzy dimana setiap anggotanya yakni simpul-simpulnya tidak saling bertetangga (adjacent).}$$

Untuk suatu graf *fuzzy* $\tilde{G} = (V, \sigma, \mu)$, bilangan kromatiknya dilambangkan dengan $x(G) = \{x_\alpha\}$ dengan x_α adalah bilangan kromatik dari G_x dan nilai α berbeda-beda tergantung pada nilai keanggotaan simpul dan sisi dari keluarga pada graf *fuzzy*. Sehingga dalam kasus ini maka perlu digunakan aturan keluarga $\alpha - cut$. $\alpha - cut$ dari graf *fuzzy* $G_\alpha = (V_\alpha, E_\alpha, \sigma, \mu)$ dengan $V_\alpha = \{v \in V | \sigma_L(v) \geq \alpha\}$, $E_\alpha = \{e \in E | \mu_L(e) \geq \alpha\}$. Dengan $\mu: V \rightarrow I$ dan $\alpha \in I$ dengan $I = \{\tilde{T} \text{ (Tinggi)}, \tilde{S} \text{ (Sedang)}, \text{ dan } \tilde{R} \text{ (Rendah)}\}$. Urutan dalam pewarnaan graf *fuzzy* dimulai dari $\alpha = \tilde{T}$ kemudian $\alpha = \tilde{S}$ dan terakhir $\alpha = \tilde{R}$.

c. Metode Webster

F. V. Webster mengembangkan sebuah persamaan yang digunakan untuk menghitung penundaan rata-rata kendaraan ketika ingin melalui persimpangan dan juga menurunkan persamaan untuk menghitung waktu siklus ideal, persamaan tersebut menghasilkan penundaan kendaraan yang paling minimum. Langkah-langkah metode webster.

- 1) Arus jenuh (s) adalah banyaknya kendaraan yang melintas di persimpangan yang sebelumnya berada dalam suatu antrian pada suatu pendekatan pada saat lampu hijau menyala.

Tabel 1. Arus Jenuh Persimpangan dengan lebar Pendekat/arrah kurang dari 5,5 meter

Lebar jalan (m)	3,05	3,35	3,65	3,95	4,25	4,60	4,90	5,20
Arus jenuh (smp/jam)	1.850	1.875	1.900	1.950	2.075	2.250	2.475	2.700

Jika lebar jalan lebih besar dari nilai yang telah ditetapkan pada Tabel 1, maka arus jenuh (s) = lebar jalan \times 525 smp/jam.

- 2) Tingkat arus lalu lintas dapat dinyatakan dengan nilai y dan dihitung menggunakan rumus

$$y = \frac{q}{s}$$

dengan q : arus normal, s : arus jenuh

- 3) Waktu hilang (L) merupakan lama waktu satu siklus penuh sampai tidak ada kendaraan

$$L = 2n + R$$

dengan n : banyak fase, R : durasi lampu merah dan lampu kuning

- 4) Waktu Siklus Optimal (C_0) dan Waktu Hijau Efektif untuk Persimpangan (g).

$$C_0 = \frac{1,5L + 5}{1 - Y}$$

dengan C_0 menyatakan waktu siklus optimal (detik), L : total waktu hilang per siklus (detik), Y : jumlah nilai $y_i, i = 1, \dots, k$ untuk semua fase, y_i : perbandingan arus lalu lintas (q) dengan arus jenuh (s).

Berdasarkan waktu siklus optimal, selanjutnya dihitung lamanya waktu hijau efektif. Waktu hijau efektif adalah waktu yang efektif dimana kendaraan bergerak melewati simpang selama periode hijau, dapat dihitung menggunakan rumus.

$$g = C_0 - L$$

- 5) Waktu hijau efektif

$$\text{Waktu hijau efektif fase} = \frac{y_T \times \text{jumlah waktu hijau efektif}}{Y}$$

- 6) Waktu merah efektif fase

$$\text{Waktu merah efektif fase} = C_0 - \text{waktu hijau efektif fase} - \text{waktu kuning}$$

3. METODE PENELITIAN

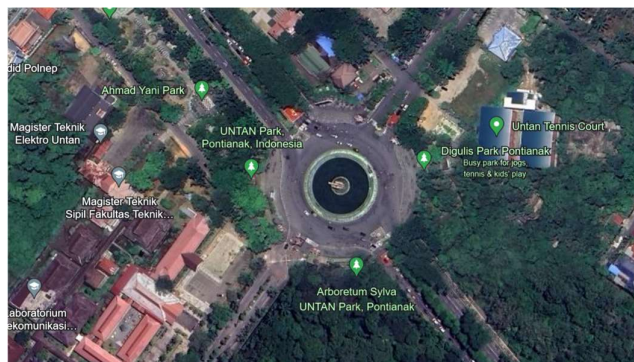
Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah studi pustaka serta observasi. Studi Pustaka yang dilakukan yaitu dengan mencari literatur-literatur yang berhubungan dengan graf *fuzzy*, metode Webster dan pewarnaan graf di buku, artikel dan jurnal. Kemudian observasi yang dilakukan yaitu dengan pengamatan langsung di lokasi penelitian yaitu Bundaran Digulis Pontianak. Observasi dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh data primer dan data sekunder. Data sekunder yang diperoleh adalah data durasi lampu lalu lintas saat ini dan lebar jalan di setiap pendekatan Bundaran Digulis Pontianak dari Dinas Perhubungan Kota Pontianak. Data primer yang diperoleh berupa data arus lalu lintas dan jumlah kendaraan yang melintas di Bundaran Digulis berdasarkan jenis kendaraan yakni kendaraan ringan (LV), kendaraan berat (HV), sepeda motor (MC), yang diperoleh dengan pengamatan langsung dan bantuan rekaman video menggunakan *handphone*.

Data arus kendaraan yang diperoleh kemudian direpresentasikan ke dalam bentuk gambar. Selanjutnya dilakukan identifikasi simpul graf *fuzzy* beserta nilai keanggotaannya, nilai keanggotaan simpul ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah diklasifikasikan menjadi tiga, Rendah (\tilde{R}), Sedang (\tilde{S}), dan Tinggi (\tilde{T}). Berdasarkan nilai keanggotaan simpul selanjutnya dicari identifikasi sisi graf *fuzzy* beserta nilai keanggotaannya, sisi graf *fuzzy* menghubungkan dua simpul yang menimbulkan konflik arus lalu lintas. Dari nilai keanggotaan yang didapat, arus Bundaran Digulis direpresentasikan dalam bentuk graf *fuzzy*, kemudian dilanjutkan dengan pewarnaan graf *fuzzy* untuk menentukan jumlah fase yang optimal. Dari fase yang diperoleh selanjutnya dicari durasi lampu lalu lintas yang optimal menggunakan metode webster.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bundaran digulis merupakan salah satu persimpangan yang menjadi lokasi penting dalam mobilitas lalu lintas di Kota Pontianak, bundaran digulis juga sebagai penghubung antara jalur di kota Pontianak dan jalur yang mengarah ke kabupaten Kubu Raya (Bandara

Supadio). Gambaran umum Bundaran Digulis dan arus lalu lintas persimpangan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bundaran Digulis Pontianak

Berdasarkan Gambar 2, simpul pada graf *fuzzy* menggambarkan arus lalu lintas kendaraan atau pergerakan dari suatu jalur ke jalur lain. Terdapat 14 simpul pada penelitian ini yaitu simpul *A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N*. Tabel 2 menyatakan simpul pergerakan arus di Bundaran Digulis Pontianak.

Tabel 2. Arus Kendaraan di Bundaran Digulis Pontianak

Pendekat	Arus	Keterangan
Timur	<i>A</i>	jalan Jenderal A. Yani 2 – jalan Daya Nasional
	<i>B</i>	jalan Jenderal A Yani 2 – jalan Jenderal A Yani 1
	<i>C</i>	jalan Jenderal A Yani 2 – jalan Prof. Hadari Nawawi
	<i>D</i>	jalan Jenderal A Yani 2 - jalan Jenderal A Yani 2
Barat	<i>E</i>	jalan Jenderal A Yani 1 – jalan Daya Nasional
	<i>F</i>	jalan Jenderal A Yani 1 – jalan Jenderal A yani 2
	<i>G</i>	Jalan Jenderal A Yani 1 – jalan Prof. Hadari Nawawi
	<i>H</i>	jalan Jenderal A Yani 1 - jalan Jenderal A Yani 1
Utara	<i>I</i>	jalan Daya Nasional – jalan Jenderal A Yani 1
	<i>J</i>	jalan Daya Nasional – jalan Prof. Hadari Nawawi
	<i>K</i>	jalan Daya Nasional – jalan Jenderal A Yani 2
Selatan	<i>L</i>	jalan Prof. Hadari Nawawi – jalan Jenderal A Yani 2
	<i>M</i>	jalan Prof. Hadari Nawawi – jalan Daya Nasional
	<i>N</i>	jalan Prof. Hadari Nawawi – jalan Jenderal A Yani 1

Berdasarkan hasil pengamatan langsung, banyaknya kendaraan yang melewati Bundaran Digulis pada 15 Mei 2024 pukul 15.30 WIB hingga pukul 16.30 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Arus Lalu Lintas di Bundaran Digulis Pontianak

Pendekat	Simpul	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)	Sepeda Motor (MC)	Total (Kendaraan/jam)
Timur	<i>A</i>	102	3	731	836
	<i>B</i>	1199	16	3967	5182
	<i>C</i>	9	0	120	129
	<i>D</i>	41	5	226	272
	<i>E</i>	79	0	360	439
Barat	<i>F</i>	1312	30	4128	5470
	<i>G</i>	46	0	214	260

Pendekat	Simpul	Kendaraan Ringan (LV)	Kendaraan Berat (HV)	Sepeda Motor (MC)	Total (Kendaraan/jam)
Utara	<i>H</i>	164	1	490	655
	<i>I</i>	205	2	554	761
	<i>J</i>	37	3	501	541
Selatan	<i>K</i>	96	2	598	696
	<i>L</i>	51	1	634	686
	<i>M</i>	36	0	895	931
	<i>N</i>	62	0	237	299

Jenis kendaraan yang melintasi Bundaran Digulis juga merupakan kendaraan dengan jenis yang berbeda-beda berdasarkan jumlah roda, panjang, lebar mobil dan lain lain, sehingga perlu dilakukan konversi. Konversi dilakukan dengan menggunakan ekivalensi kendaraan. Arus lalu lintas akan dikonversi menjadi satuan mobil penumpang (smp) berdasarkan ekivalensi mobil penumpang (emp).

$$\begin{aligned}
 q &= q_{LV} \times emp_{LV} + q_{HV} \times emp_{HV} + q_{MC} \times emp_{MC} \\
 &= 102 (1) + 3 (1,3) + 731 (0,4) \\
 &= 398,3 \approx 398 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

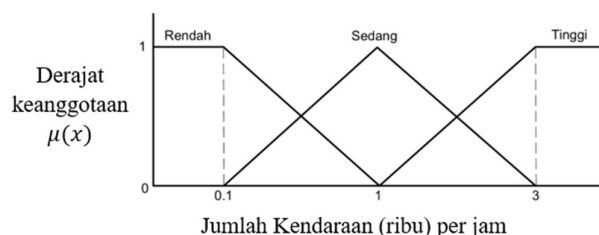
Dengan melakukan langkah yang sama dengan simpul *A* maka diperoleh konversi simpul untuk arus di Bundaran Digulis Pontianak pada Tabel 4.

Tabel 4 Arus Lalu Lintas Total di Bundaran Digulis Pontianak

Simpul	Arus normal (<i>q</i>)
<i>A</i>	398
<i>B</i>	2807
<i>C</i>	57
<i>D</i>	138
<i>E</i>	223
<i>F</i>	3002
<i>G</i>	132
<i>H</i>	361
<i>I</i>	429
<i>J</i>	240
<i>K</i>	338
<i>L</i>	306
<i>M</i>	394
<i>N</i>	157

Lebar jalan setiap arah/pendekat di Bundaran Digulis Pontianak, jalan Jenderal A Yani 2 adalah 9,9 meter, jalan Jenderal A Yani 1 adalah 9,6 meter, jalan Daya Nasional adalah 9,5 meter, jalan Prof. Hadari Nawawi adalah 6 meter.

Fungsi keanggotaan dibedakan menjadi tiga kategori yakni Rendah (\tilde{R}), Sedang(\tilde{S}) dan Tinggi (\tilde{T}). Untuk menentukan nilai atau derajat keanggotaan simpul (σ) diberikan kurva.

**Gambar 3.** Grafik Fungsi Keanggotaan Simpul (σ)

Gambar 3 merupakan kurva dari ketiga fungsi keanggotaan simpul yang digunakan untuk mengidentifikasi nilai keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. Berdasarkan kurva diatas diperoleh fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy* yakni Rendah (\tilde{R}), Sedang (\tilde{S}) dan Tinggi (\tilde{T}). Sehingga persamaan fungsi keanggotaan simpul diperoleh sebagai berikut.

$$\sigma_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 100 \\ \frac{1000 - x}{1000 - 100} & 100 < x < 1000 \\ 0 & x \geq 1000 \end{cases} \quad (1)$$

$$\sigma_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 100 \text{ atau } x \geq 3000 \\ \frac{x - 100}{1000 - 100} & 100 < x < 1000 \\ \frac{3000 - x}{3000 - 1000} & 1000 \leq x \leq 3000 \end{cases} \quad (2)$$

$$\sigma_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 1000 \\ \frac{x - 1000}{3000 - 1000} & 1000 < x < 3000 \\ 1 & x \geq 3000 \end{cases} \quad (3)$$

Berdasarkan Persamaan (1) - (3) ditentukan derajat keanggotaan simpul yakni sebagai berikut:

Dimisalkan untuk arus lalu lintas untuk simpul A adalah $x = 398$ kendaraan/jam, maka klasifikasi arus lalu lintasnya adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{(\tilde{R})}(398) = \frac{1000 - 398}{1000 - 100} = 0,67$$

$$\sigma_{(\tilde{S})}(398) = \frac{398 - 100}{1000 - 100} = 0,33$$

$$\sigma_{(\tilde{T})}(398) = 0$$

Dengan demikian derajat keanggotaan simpul graf *fuzzy* lainnya dicari dengan cara yang sama seperti simpul A, maka diperoleh seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Derajat Keanggotan Simpul Graf *Fuzzy* di Bundaran Digulis

Simpul	q	$\sigma_{(\tilde{R})}$	$\sigma_{(\tilde{S})}$	$\sigma_{(\tilde{T})}$
A	398	0,67	0,33	0
B	2807	0	0,09	0,9
C	57	1	0	0
D	138	0,96	0,04	0

Simpul	q	$\sigma(\tilde{R})$	$\sigma(\tilde{S})$	$\sigma(\tilde{T})$
E	223	0,86	0,14	0
F	3002	0	0	1
G	132	0,96	0,04	0
H	361	0,71	0,29	0
I	429	0,63	0,36	0
J	240	0,84	0,16	0
K	338	0,74	0,26	0
L	306	0,77	0,23	0
M	394	0,67	0,33	0
N	157	0,94	0,06	0

Sehingga nilai keanggotaan simpul diperoleh dari operasi *union* dengan aturan sebagai berikut.

$$\sigma_{\tilde{R} \cup \tilde{S} \cup \tilde{T}} = \max\{\sigma_{\tilde{R}}(x), \sigma_{\tilde{S}}(x), \sigma_{\tilde{T}}(x)\}$$

Nilai keanggotaan simpul A dengan $x = 398$ adalah

$$\begin{aligned}\sigma_{Rendah \cup Sedang \cup Tinggi}(398) &= \max\{\sigma_{Rendah}(398), \sigma_{Sedang}(398), \sigma_{Tinggi}(398)\} \\ &= \sigma_{Rendah}(398)\end{aligned}$$

Jadi nilai keanggotaan linguistik untuk simpul A adalah Rendah. Dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai keanggotaan simpul pada graf *fuzzy* $\tilde{G}(\tilde{V}, \tilde{E})$ dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Keanggotaan Simpul Graf *Fuzzy* di Bundaran Digulis Pontianak

simpul	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
q	398	2807	57	138	223	3002	132	361	429	240	338	306	394	157
$\sigma(x)$														
Numeris	0,67	0,9	1	0,96	0,86	1	0,96	0,71	0,63	0,84	0,74	0,77	0,67	0,94
$\sigma(x)$														
Linguistik	\tilde{R}	\tilde{T}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{T}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}	\tilde{R}

Penentuan nilai keanggotaan sisi graf *fuzzy* didefinisikan berdasarkan nilai keanggotaan simpul graf *fuzzy*. Menurut Dey & Pal, (2012) nilai keanggotaan diklasifikasikan menjadi tiga bagian sama seperti pengklasifikasian pada simpul, ketiga bagian itu adalah Rendah (\tilde{R}), Sedang (\tilde{S}) dan Tinggi (\tilde{T}) yang disajikan pada persamaan berikut.

$$\mu_{(v_i, v_j)} = \begin{cases} \tilde{R}, & \text{jika } (\sigma(v_i) = \sigma(v_j) = \tilde{R}) \text{ atau } (\sigma(v_i) = \tilde{R} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{S}) \text{ atau} \\ & (\sigma(v_i) = \tilde{S} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{R}) \text{ atau } (\sigma(v_i) = \tilde{T} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{R}) \\ & \text{atau } (\sigma(v_i) = \tilde{R} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{T}) \\ \tilde{S}, & \text{jika } (\sigma(v_i) = \tilde{S} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{T}) \text{ atau } (\sigma(v_i) = \tilde{T} \wedge \sigma(v_j) = \tilde{S}) \\ & \text{atau } (\sigma(v_i) = \sigma(v_j) = \tilde{S}) \\ \tilde{T}, & \text{jika } (\sigma(v_i) = \sigma(v_j) = \tilde{T}) \end{cases} \quad (4)$$

Berdasarkan Persamaan (4), maka ditentukan nilai keanggotaan linguistik sisi graf *fuzzy* di Bundaran Digulis Pontianak.

Tabel 7. Nilai Keanggotaan Linguistik Sisi Graf *Fuzzy* di Bundaran Digulis Pontianak

Sisi	$\mu(v_1, v_2)$	Sisi	$\mu(v_1, v_2)$	Sisi	$\mu(v_1, v_2)$
AG	\tilde{R}	DK	\tilde{R}	AJ	\tilde{R}
AM	\tilde{R}	EJ	\tilde{R}	AF	\tilde{R}
BI	\tilde{R}	FK	\tilde{R}	AI	\tilde{R}

Sisi	$\mu(v_1, v_2)$	Sisi	$\mu(v_1, v_2)$	Sisi	$\mu(v_1, v_2)$
BN	\tilde{R}	GM	\tilde{R}	BJ	\tilde{R}
BH	\tilde{R}	HN	\tilde{R}	BL	\tilde{R}
CE	\tilde{R}	HI	\tilde{R}	BM	\tilde{R}
CJ	\tilde{R}	IN	\tilde{R}	BE	\tilde{R}
DL	\tilde{R}	KL	\tilde{R}	EI	\tilde{R}
DF	\tilde{R}	AL	\tilde{R}	EM	\tilde{R}
DJ	\tilde{R}	DI	\tilde{R}	DEi	\tilde{R}
HM	\tilde{R}	HA	\tilde{R}	HL	\tilde{R}
EL	\tilde{R}	FM	\tilde{R}	FI	\tilde{R}
FJ	\tilde{R}	IM	\tilde{R}	JL	\tilde{R}

Pewarnaan graf *fuzzy* pada Bundaran Digulis ini bertujuan untuk mengoptimalkan fase dengan mencari bilangan kromatik tertinggi. Pewarnaan graf *fuzzy* ini digunakan untuk meminimalkan konflik lalu lintas yang terjadi. Pewarnaan pada graf *fuzzy* ini menggunakan konsep yang diperkenalkan Eslachi dan Onagh dalam menentukan bilangan kromatik graf *fuzzy*.

Berdasarkan nilai keanggotaan simpul dan nilai keanggotaan sisi yang terdapat pada Tabel 6 dan Tabel 7, didapat himpunan linguistik derajat simpul (σ_L) dan himpunan linguistik derajat sisi (μ_L) sebagai berikut.

$$L_\sigma = \{ R, S, T \}$$

$$L_\mu = \{ R, S, T \}$$

Untuk $\alpha = T$ maka diperoleh $G_T = (V_T, E_T, \sigma_L, \mu_L)$ dengan anggota himpunannya

$$V_T = \{v_i | \sigma_L(v_i) = T\} = \{B, F\}$$

$$E_T = \{(x, y) | \mu_L(x, y) = T\} = \emptyset$$

Diperoleh bentuk dan pewarnaan pada graf *fuzzy* untuk $\alpha = T$ atau graf G_T adalah sebagai berikut, simpul B dan F memiliki warna simpul yang sama karena kedua simpul tidak saling terhubung sisi atau tidak bertetangga (*adjacent*).



Gambar 4. Pewarnaan Graf *Fuzzy* G_T

Gambar 4 merupakan hasil pewarnaan graf *fuzzy* pada graf G_T , dengan $V = \{v_2, v_6\}$ dan dibentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_2, \gamma_6\}$ dengan

$$\gamma_2 = \{v_2, v_6\}$$

$$\gamma_6 = \{v_6, v_2\}$$

Diperoleh γ_2 dan γ_6 sama, maka ambil γ_2 untuk diwarnai dengan warna biru. Karena kedua simpul telah terwarnai dengan baik maka diperoleh hasil pewarnaan simpul menunjukkan bahwa bilangan kromatik pada graf G_T adalah $X_T = 1$.

Sama seperti langkah untuk $\alpha = T$, selanjutnya untuk $\alpha = S$ maka diperoleh $G_S = (V_S, E_S, \sigma_L, \mu_L)$, diperoleh graf *fuzzy* dengan $V = \{\emptyset\}$ dan dibentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\emptyset\}$. Anggota keluarga untuk $\alpha = S$ merupakan himpunan kosong maka bilangan kromatik pada graf G_S adalah $X_S = 0$.

Untuk $\alpha = R$ maka diperoleh $G_R = (V_R, E_R, \sigma_L, \mu_L)$ dengan anggota himpunannya

$$V_R = \{v_i | \sigma_L(v_i) \geq R\} = \{A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N\}$$

$$E_R = \{(x, y) | \mu_L(x, y) \geq R\} = \left\{ \begin{array}{l} AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AL, AM, BE, BH, \\ BI, BJ, BL, BM, BN, CE, CJ, DE, DF, DI, DJ, \\ DK, DL, EI, EJ, EL, EM, FI, FJ, FK, FL, FM, \\ GM, HI, HL, HM, HN, IL, IM, IN, JL, KL \end{array} \right\}$$

Jumlah simpul yang terdapat pada graf *fuzzy* Bundaran Digulis Pontianak sebanyak 14 simpul, dengan penotasian yang baru yaitu sebagai berikut.

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}\}$$

Selanjutnya dibentuk keluarga himpunan dengan memisalkan sebuah keluarga Γ adalah sebagai berikut.

$$\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_8, \gamma_9, \gamma_{10}, \gamma_{11}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}\}$$

Selanjutnya dari keluarga himpunan yang ada, diambil simpul yang tidak bertetangga ke dalam satu himpunan γ masing masing anggotanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= \{v_1, v_2, v_3, v_4\} \\ \gamma_2 &= \{v_2, v_3, v_4, v_7\} \\ \gamma_3 &= \{v_3, v_4, v_7, v_8\} \\ \gamma_4 &= \{v_4, v_7, v_8, v_3\} \\ \gamma_5 &= \{v_5, v_6, v_7, v_8\} \\ \gamma_6 &= \{v_6, v_7, v_8, v_3\} \\ \gamma_7 &= \{v_7, v_8, v_{10}, v_{11}\} \\ \gamma_8 &= \{v_8, v_{10}, v_{11}, v_7\} \\ \gamma_9 &= \{v_9, v_{10}, v_{11}, v_7\} \\ \gamma_{10} &= \{v_{10}, v_{11}, v_{13}, v_{14}\} \\ \gamma_{11} &= \{v_{11}, v_{13}, v_{14}, v_3\} \\ \gamma_{12} &= \{v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_3\} \\ \gamma_{13} &= \{v_{13}, v_{14}, v_3, v_4\} \\ \gamma_{14} &= \{v_{14}, v_1, v_3, v_4\} \end{aligned}$$

Berdasarkan pembentukan anggota himpunan diatas terdapat beberapa γ yang memiliki anggota himpunan yang sama, yaitu $\gamma_3 = \gamma_4$ dan $\gamma_7 = \gamma_8$. Karena ada 4 γ yang memiliki anggota yang sama maka kita ambil salah satu, sehingga dapat dituliskan sebagai.

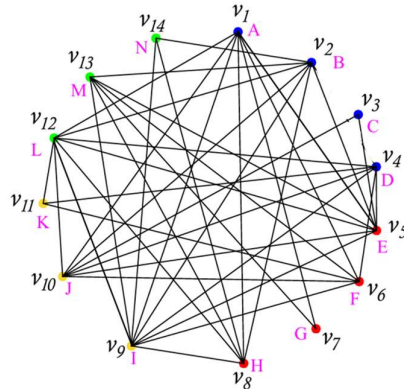
$$\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_9, \gamma_{10}, \gamma_{11}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}\}$$

Keluarga Γ harus memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset ; i \neq j ; i, j = 1, 2, \dots, k$. Sehingga diperoleh 23 kemungkinan yang memenuhi syarat, yaitu $\gamma_1 \cap \gamma_5, \gamma_1 \cap \gamma_7, \gamma_1 \cap \gamma_9, \gamma_1 \cap \gamma_{10}, \gamma_2 \cap \gamma_{10}, \gamma_5 \cap \gamma_{10}, \gamma_5 \cap \gamma_{11}, \gamma_5 \cap \gamma_{12}, \gamma_5 \cap \gamma_{13}, \gamma_5 \cap \gamma_{14}, \gamma_6 \cap \gamma_{10}, \gamma_7 \cap \gamma_{12}, \gamma_7 \cap \gamma_{13}, \gamma_7 \cap \gamma_{14}, \gamma_9 \cap \gamma_{12}, \gamma_9 \cap \gamma_{13}, \gamma_9 \cap \gamma_{14}$, jumlah anggota irisan simpul adalah 8 yang bernilai maksimum. Dari Γ kemungkinan yang memenuhi syarat kita ambil $\gamma_1 \cap \gamma_5$, untuk dilakukan pewarnaan, sehingga diperoleh keluarga himpunan yang baru $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_5\}$, γ_1 diwarnai dengan warna biru dan γ_5 diwarnai dengan warna merah. Untuk mewarnai simpul lainnya dilakukan dengan cara.

$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}\} - \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8\} \\ &= \{v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}\} \end{aligned}$$

Diperoleh sebanyak 6 simpul yang belum terwarnai sehingga dibentuk keluarga baru untuk melakukan pewarnaan $\Gamma' = \{\gamma_9^*, \gamma_{10}^*, \gamma_{11}^*, \gamma_{12}^*, \gamma_{13}^*, \gamma_{14}^*\}$ dengan anggota

himpunannya adalah simpul yang tidak bertetangga untuk suatu himpunan sama seperti Langkah sebelumnya hingga semua simpul terwarnai dengan baik.



Gambar 5. Pewarnaan Graf Fuzzy G_R di Bundaran Digulis Pontianak

Karena semua simpul telah diwarnai dengan baik dengan keluarga himpunan yang telah diwarnai yaitu $F = \{\gamma_1, \gamma_5, \gamma_{11}^*, \gamma_{12}^*\}$ sehingga diperoleh bilangan kromatik pada graf G_S adalah $X_S = 4$.

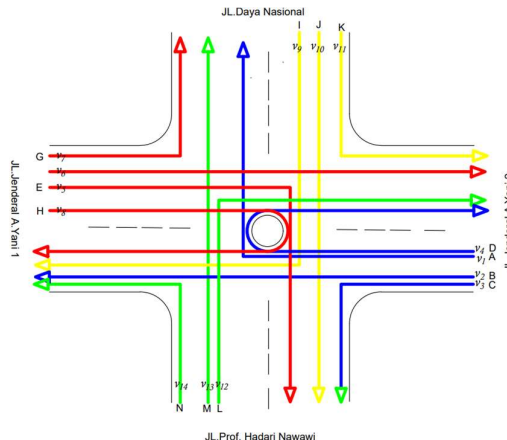
$$\begin{aligned} \gamma_1(i) &= \begin{cases} T & \text{jika } i = B \\ R & \text{jika } i = A, C, D \end{cases} \\ \gamma_5(i) &= \begin{cases} T & \text{jika } i = F \\ R & \text{jika } i = E, G, H \end{cases} \\ \gamma_{11}^*(i) &= R & \text{jika } i = I, J, K \\ \gamma_{12}^*(i) &= R & \text{jika } i = L, M, N \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh fase lalu lintas berdasarkan pewarnaan fuzzy di Bundaran Digulis dengan bilangan kromatik $x(G_R) = 4$, yang ditunjukkan Tabel 8.

Tabel 8. Fase Lalu Lintas di Bundaran Digulis Pontianak Berdasarkan Graf Fuzzy

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
v_1, v_2, v_3, v_4 atau A, B, C, D	v_5, v_6, v_7, v_8 atau E, F, G, H	v_9, v_{10}, v_{11} atau I, J, K	v_{12}, v_{13}, v_{14} atau L, M, N

Pewarnaan graf tersebut dapat di aplikasikan ke dalam ruas lalu lintas pada kondisi nyata di Bundaran Digulis Pontianak. Warna pada graf merepresentasikan fase arus lalu lintas yang terjadi di bundaran digulis Pontianak. Lebih jelasnya pergerakan lalu lintas dengan 4 fase, lebih jelasnya pada Gambar 6.



Gambar 6. Rute Jalur atau arah lalu lintas dengan Pewarnaan Graf *Fuzzy* di Bundaran Digulis Pontianak

Telah diperoleh fase lalu lintas menggunakan pewarnaan graf *fuzzy*, langkah berikutnya adalah perhitungan durasi lampu lalu lintas.

- a. Waktu Hilang (R)
 Waktu hilang (R) ditetapkan 5 detik, dengan ketentuan yang dipakai yaitu 3 detik untuk rata-rata waktu hilang per fase dan 2 detik untuk waktu kuning.
- b. Arus jenuh di tiap Pendekat/arah di Bundaran Digulis Pontianak
 1. Arus pendekat Timur (Jalan Jenderal Ayani 2)
 $l_T = 9,6$ meter, $s_T = l_T \times 525 = 9,6 \times 525 = 5040$ smp/jam
 2. Arus pendekat Barat (Jalan Jenderal Ayani 1)
 $l_B = 9,9$ meter, $s_B = l_B \times 525 = 9,9 \times 525 = 5197,5$ smp/jam
 3. Arus pendekat Utara (Jalan Daya Nasional)
 $l_U = 9,5$ meter, $s_U = l_U \times 525 = 9,5 \times 525 = 4987,5$ smp/jam
 4. Arus pendekat Selatan (Jalan Prof. Hadari Nawawi)
 $l_S = 6$ meter, $s_S = l_S \times 525 = 6 \times 525 = 3150$ smp/jam
- c. Arus lalu lintas di setiap pendekat/arah di Bundaran Digulis Pontianak
 1. Pendekat Timur (arus A, B, C, D)
 $q_T = 1351 (1,0) + 24 (1,3) + 5044 (0,2) = 2391$ smp/jam
 2. Pendekat Barat (arus E, F, G, H)
 $q_B = 1061 (1,0) + 31 (1,3) + 5160 (0,2) = 2133,3$ smp/jam
 3. Pendekat Utara (arus I, J, K)
 $q_U = 338 (1,0) + 7 (1,3) + 1658 (0,2) = 678,7$ smp/jam
 4. Pendekat Selatan (arus L, M, N)
 $q_S = 149 (1,0) + 1 (1,3) + 1766 (0,2) = 503,5$ smp/jam
- d. Tingkat arus lalu lintas yang terjadi di setiap pendekat Bundaran Digulis Pontianak
 1. Pendekat Timur (Jln Jenderal Ayani 2), $y_T = \frac{q_T}{s_T} = \frac{2391}{5040} = 0,47$ smp/jam
 2. Pendekat Barat (Jln Jenderal Ayani 1), $y_B = \frac{q_B}{s_B} = \frac{2133,3}{5197,5} = 0,41$ smp/jam
 3. Pendekat Utara (Jln Daya Nasional), $y_U = \frac{q_U}{s_U} = \frac{678,7}{4987,5} = 0,13$ smp/jam
 4. Pendekat Selatan (Jln Prof. Hadari Nawawi), $y_S = \frac{q_S}{s_S} = \frac{503,5}{3150} = 0,16$ smp/jam

Sehingga rasio kemacetan atau total kemacetan semua pendekat di Bundaran Digulis Pontianak adalah sebagai berikut.

$$Y = \sum y_i = 0,47 + 0,41 + 0,13 + 0,16 = 1,17$$

Jika nilai Y mendekati atau lebih dari 1 maka simpang tersebut adalah lewat jenuh (arus lalu lintas melebihi kapasitas simpang) dan rumus akan menghasilkan nilai waktu siklus optimal yang sangat tinggi atau negatif (MKJI 1997). Sehingga perlu dilakukan pengalihan arus pada saat jam padat untuk meminimalisir kemacetan.

- e. Waktu hilang total per siklus (L)

$$L = 2n + R = 2(4) + 5 = 13 \text{ detik}$$

Diperoleh waktu siklus optimal C_0 untuk semua pendekat di Bundaran Digulis Pontianak yaitu.

$$C_0 = \frac{1,5 L + 5}{1 - Y} = \frac{1,5 (13) + 5}{1 - 1,17} = \frac{24,5}{-0,17} = -144 \text{ detik}$$

dalam perhitungan C_0 bernilai negatif sehingga digunakan nilai absolut untuk mendapatkan durasi sebenarnya yaitu 144 detik.

f. Waktu hijau efektif = $C_0 - L = 144 - 13 = 131$ detik

g. Waktu hijau efektif setiap fase

$$\text{Fase 1} = \frac{Y_T \times \text{jumlah waktu hijau efektif}}{Y} = \frac{0,47 \times 131}{1,17} = 52,6 \approx 53 \text{ detik}$$

Untuk lebih jelasnya durasi lampu lalu lintas untuk setiap fase/pendekat (fase 1, fase 2, fase 3 dan fase 4) di Bundaran Digulis Pontianak dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Perhitungan Durasi Lampu Lalu Lintas di Bundaran Digulis

Pendekat (jalan)	Lampu Hijau	Lampu Kuning	Lampu Merah	Total
Jenderal A Yani 2	53 detik	2 detik	89 detik	144 detik
Jenderal A Yani 1	46 detik	2 detik	96 detik	144 detik
Daya Nasional	15 detik	2 detik	127 detik	144 detik
Prof. Hadari Nawawi	18 detik	2 detik	124 detik	144 detik

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 Metode *graf fuzzy* digunakan untuk menganalisis dan menentukan fase optimal di Bundaran Digulis. Dengan mempertimbangkan hubungan antar pendekat dan volume kendaraan, metode ini menghasilkan empat fase optimal. Keberadaan empat fase ini memastikan setiap pendekat mendapatkan prioritas waktu yang sesuai untuk mengurangi konflik antar-arus lalu lintas, terutama di titik simpang bundaran. Fase optimal yang dihasilkan mencerminkan kondisi lalu lintas yang telah disederhanakan secara matematis dengan pendekatan *fuzzy* untuk meminimalkan antrean dan waktu tunggu di setiap pendekat. Selanjutnya Metode Webster digunakan untuk menghitung durasi lampu lalu lintas berdasarkan data parameter seperti volume kendaraan, waktu hilang (*lost time*), dan tingkat saturasi pada setiap pendekat. Metode Webster secara teoritis memberikan durasi siklus optimal yang dapat meminimalkan total waktu tundaan kendaraan dan memaksimalkan kapasitas simpang. Hasil yang diperoleh dapat di implementasikan di lokasi penelitian.

Implementasi Empat Fase Optimal, dengan empat fase yang dihasilkan dari metode *graf fuzzy*, pengaturan lampu lalu lintas dapat langsung diterapkan untuk memastikan arus lalu lintas berjalan lancar. Setiap fase harus diterapkan sesuai urutan yang optimal untuk mengurangi potensi konflik antar-arus, terutama di pendekat dengan volume tinggi seperti Jalan Jenderal Ahmad Yani. Penggunaan Sistem Adaptif untuk mendukung hasil dari metode ini, dapat diterapkan sistem pengendalian adaptif seperti ATCS (Area Traffic Control System). Sistem ini memungkinkan durasi lampu lalu lintas untuk menyesuaikan secara dinamis dengan perubahan volume kendaraan, tanpa mengganggu urutan fase optimal.

5. KESIMPULAN

Representasi Bundaran Digulis Pontianak membentuk simpul sebanyak 14 simpul dan sisi sebanyak 42 sisi yang merepresentasikan pergerakan kendaraan. Pewarnaan dari graf *fuzzy* dari data sore hari pukul 15.30-16.30 WIB diperoleh bilangan kromatik sebanyak 4, yang artinya terdapat 4 fase lalu lintas di Bundaran Digulis Pontianak yaitu fase 1 simpul A, B, C, D (jalan Jalan Jenderal A Yani 2) fase 2 simpul E, F, G, H (Jalan Jenderal A Yani 1) fase 3 simpul I, J, K (Jalan Daya Nasional) fase 4 simpul L, M, N (Jalan Prof. Hadari Nawawi).

Perhitungan durasi lampu lalu lintas diperoleh menggunakan metode Webster berdasarkan lebar jalan, jumlah arus dan fase lalu lintas yang telah diperoleh. Dari perhitungan tersebut diperoleh durasi lampu hijau di setiap pendekat Bundaran Digulis Pontianak yaitu Jalan Jenderal A Yani 2 selama 53 detik, Jalan Jenderal A Yani 1 selama

46 detik, Jalan Daya Nasional selama 15 detik dan Jalan Prof. Hadari Nawawi selama 18 detik.

6. REFERENSI

- Alkhatib, A. A. A., Maria, K. A., AlZu'bi, S., & Maria, E. A. (2022). Smart Traffic Scheduling for Crowded Cities Road Networks. *Egyptian Informatics Journal*, 23(4). <https://doi.org/10.1016/j.eij.2022.10.002>
- Cahyani, A. W. R. (2023). Optimasi Lampu Lalu Lintas Simpang Tabuik Kota Pariaman Menggunakan Graf Fuzzy Berbasis FIS Tipe Mamdani. *Journal of Mathematics UNP*.
- Davvaz, B., Mukhlash, I., & Soleha, S. (2021). Himpunan Fuzzy dan Rough Sets. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 18(1). <https://doi.org/10.12962/limits.v18i1.7705>
- Dey, A., & Pal, A. (2012). *Vertex Coloring Of A Fuzzy Graph Using Alpha Cut*. <http://www.ijmra.us>
- Eslahchi, C., & Onagh, B. N. (2006). Vertex-strength of fuzzy graphs. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 2006. <https://doi.org/10.1155/IJMMS/2006/43614>
- Hartanti, D., Aziza, R. N., & Siswipraptini, P. C. (2019). Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(1), 320–327. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i1.10129>
- Irsan, M. Y. T., Kasau, M. I., & Simbolon, I. P. (2019). Penggunaan Fuzzy Logic & Metode Mamdani untuk Menghitung Pembelian, Penjualan dan Persediaan. *JAAF (Journal of Applied Accounting and Finance)*, 3(1). <https://doi.org/10.33021/jaaf.v3i1.677>
- Kusumadewi, S., & Purnomo H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Mendukung Keputusan*. Graha Ilmu.
- Mathew, S., Mordeson, J. N., & Malik, D. S. (2018). *Fuzzy Graph Theory* (1st ed., Vol. 363). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71407-3>
- MKJI 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Nasmirayanti, R. (2019). Perencanaan Ulang Pengaturan Fase Alat Pengatur Lalu Lintas Pada Persimpangan Bersinyal di Persimpangan JL. Jend. Sudirman – Kis Mangun Sarkoro. *Rang Teknik Journal*, 2(1). <https://doi.org/10.31869/rtj.v2i1.775>
- Poernamasari, I., Tumilaar, R., & Montolalu, C. E. J. C. (2019). Optimasi Pengaturan Lampu Lalu Lintas dengan menggunakan Metode Webster (Studi Kasus Persimpangan Jalan Babe Palar). *D'CARTESIAN*, 8(1). <https://doi.org/10.35799/dc.8.1.2019.24590>
- Sulastri, Darmaji, & Irawan, M. I. (2014). Aplikasi Pewarnaan Graf Fuzzy untuk Mengklasifikasi Jalur Lalu Lintas di Persimpangan Jalan Insinyur Soekarno Surabaya. *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, 3(2).