

APLIKASI PEWARNAAN GRAF FUZZY UNTUK MENGLASIFIKASI JALUR LALU LINTAS DI PERSIMPANGAN JALAN INSINYUR SOEKARNO SURABAYA

Nama Mahasiswa : Sulastri
NRP : 1210 100 070
Jurusan : Matematika FMIPA-ITS
Pembimbing : 1. Dr. Darmaji, S.Si, MT
2. Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT

Abstrak

Jalan Insinyur Soekarno menempati urutan pertama sebagai jalan rawan kecelakaan di Kota Surabaya. Salah satu cara untuk mengurangi tingkat kecelakaan yang terjadi adalah dengan mengklasifikasikan jalur lalu lintas sehingga dapat memperlancar arus lalu lintas dan tidak terjadi kemacetan. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengklasifikasian jalur lalu lintas dengan menggunakan metode pewarnaan graf fuzzy. Terdapat 12 simpul yang menggambarkan arus lalu lintas dan 28 sisi mengintepretasikan jalur lalu lintas yang memiliki potensi terjadinya kecelakaan. Hasil yang diperoleh Tugas Akhir ini adalah 4 bilangan kromatik yang mengakibatkan terbentuknya 4 fase lampu lalu lintas dan waktu lampu hijau maksimal yakni 42 detik saat pagi, 40 detik saat siang, dan 43 detik saat sore.

Kata-kunci: *Pewarnaan graf fuzzy, Klasifikasi jalur lalu lintas, Durasi lampu hijau*

APPLICATION OF FUZZY GRAPH COLOURING TO CLASSIFY TRAFFIC-LANE IN THE JUNCTION OF INSINYUR SOEKARNO ROAD SURABAYA

Name : Sulastri
NRP : 1210 100 070
Department : Mathematics FMIPA-ITS
Supervisors : 1. Dr. Darmaji, S.Si, MT
2. Prof. DR. Mohammad Isa Irawan, MT

Abstract

Insinyur Soekarno road is the most dangerous road which has the highest of accident numbers in Surabaya. One way to decrease amount of accident is classifying traffic-lane, in order to accelerate, there are no congestion, and no accident. In this final project, it is done the classification of traffic-lane by using method of fuzzy graph colouring. There are 12 vertices as traffic flow and 28 edges as traffic-accident. The result of this final project is 4 chromatic numbers as 4 phases traffic lamp and it is obtain the maximum duration of green lamp for 42 seconds in the morning, 40 seconds in the afternoon, and 43 seconds in the evening.

Key-words: *Fuzzy graph colouring, Classification of traffic-lane, Duration of green lamp*

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Graf tak berarah G_1 (1) dan Graf berarah G_2 (2) | 7 |
| Gambar 2.2 | Interval Fungsi Keanggotaan Trapesium | 9 |
| Gambar 2.3 | Sistem Lalu Lintas pada Sebuah Perempatan Jalan | 11 |
| Gambar 2.4 | Graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$ | 11 |
| Gambar 2.5 | (d) $\alpha - cut(E_l)$, (e) $\alpha - cut(E_m)$, dan (f) $\alpha - cut(E_h)$ | 13 |
| | | |
| Gambar 3.1 | Peta Geometrik Persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah | 18 |
| | | |
| Gambar 4.1 | Peta Geografis Persimpangan Jalan | 22 |
| Gambar 4.2 | Fase Arus Lalu Lintas | 24 |
| Gambar 4.3 | Aturan Nilai Keanggotaan sisi | 32 |
| Gambar 4.4 | Grafik Fungsi Keanggotaan $\mu(x)$ | 34 |
| Gambar 4.5 | Graf Fuzzy saat Minggu Pagi | 38 |
| Gambar 4.6 | Graf Fuzzy saat Minggu siang | 41 |
| Gambar 4.7 | Graf Fuzzy saat Minggu Sore | 45 |
| Gambar 4.8 | Graf Fuzzy saat Senin Pagi | 48 |
| Gambar 4.9 | Grafik Fungsi Keanggotaan <i>high</i> | 50 |
| Gambar 4.10 | Graf Fuzzy saat Senin Siang | 54 |
| Gambar 4.11 | Graf Fuzzy saat Senin Sore | 57 |
| Gambar 4.12 | Pewarnaan Graf dalam Kondisi Nyata | 59 |
| Gambar 4.13 | Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi | 61 |
| Gambar 4.14 | Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi | 64 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.15 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi..... | 65 |
| Gambar 4.16 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi..... | 68 |
| Gambar 4.17 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi..... | 71 |
| Gambar 4.18 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi..... | 74 |
| Gambar 4.19 Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi | 75 |
| Gambar 4.20 Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi | 76 |
| Gambar 4.21 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi | 77 |
| Gambar 4.22 Graf Fuzzy G_h Minggu Siang | 78 |
| Gambar 4.23 Pewarnaan Graf Fuzzy G_h Minggu Siang | 79 |
| Gambar 4.24 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_h saat Minggu Siang | 79 |
| Gambar 4.25 Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Minggu Siang | 81 |
| Gambar 4.26 Graf Fuzzy G_m Minggu Sore | 82 |
| Gambar 4.27 Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Sore | 83 |
| Gambar 4.28 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Sore | 84 |
| Gambar 4.29 Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Minggu Sore | 86 |
| Gambar 4.30 Graf Fuzzy G_h Senin Pagi..... | 87 |
| Gambar 4.31 Graf Fuzzy G_m Senin Pagi | 88 |
| Gambar 4.32 Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Pagi . | 91 |
| Gambar 4.33 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Pagi | 92 |
| Gambar 4.34 Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Senin Pagi .. | 94 |
| Gambar 4.35 Graf Fuzzy G_h Senin Siang..... | 95 |
| Gambar 4.36 Pewarnaan Graf Fuzzy G_h Senin Siang | 96 |
| Gambar 4.37 Graf Fuzzy G_m Senin Siang | 97 |
| Gambar 4.38 Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Siang | 99 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.39 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Siang | 100 |
| Gambar 4.40 Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Senin Siang . | 102 |
| Gambar 4.41 Graf Fuzzy G_m Senin Sore | 104 |
| Gambar 4.42 Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Sore . | 106 |
| Gambar 4.43 Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Sore | 107 |
| Gambar 4.44 Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Senin Sore . . | 109 |
| Gambar 4.45 Tampilan Awal Software | 110 |
| Gambar 4.46 Pewarnaan Graf Fuzzy | 111 |

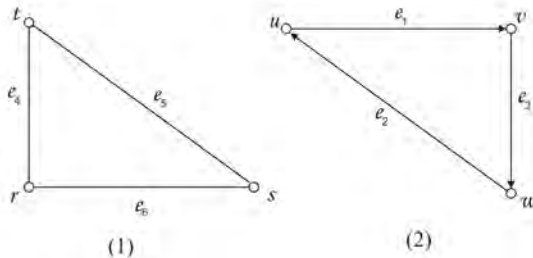
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Graf

Definisi 2.1.1. Sebuah graf G adalah pasangan himpunan (V, E) dimana V adalah himpunan elemen berhingga tidak kosong dan E adalah sebuah himpunan berhingga pasangan tidak berurutan dari elemen-elemen V . Elemen-elemen dari V disebut simpul (*vertex*) dan elemen-elemen dari E disebut sisi (*edge*) [9].

Definisi 2.1.2. Berdasarkan orientasi arah pada sisi, graf dibedakan atas dua jenis, yakni graf berarah dan graf tidak berarah. G disebut graf berarah atau *directed graph (digraph)* jika setiap sisinya merupakan pasangan terurut dari simpul (setiap sisinya memiliki arah yang disebut *arc*). Graf tidak berarah adalah graf yang sisinya tidak memiliki arah [1].



Gambar 2.1: Graf tak berarah G_1 (1) dan Graf berarah G_2 (2)

Misalkan graf berarah G_2 seperti pada Gambar 2.1, *arc* $e_1 = (u, v)$ berawal dari simpul u dan berakhir pada simpul v , *arc* $e_2 = (w, u)$ berawal dari simpul w dan berakhir pada simpul u , dan *arc* $e_3 = (v, w)$ berawal dari simpul v dan berakhir pada simpul w .

2.2 Himpunan Fuzzy

Definisi 2.2.1. Berdasarkan [11], himpunan fuzzy A pada semesta V dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan (set of ordered pairs)

$$A = \{(v, \mu(v)) | v \in V\} \quad (2.1)$$

dengan:

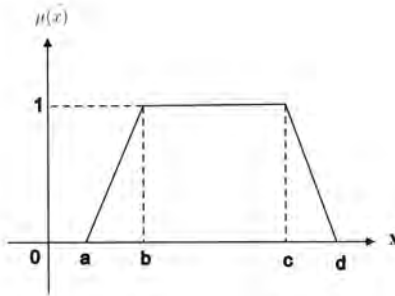
Fungsi keanggotaan $\mu : V \rightarrow I$ untuk setiap $v \in V$ dan nilai $\mu(v) =$ derajat keanggotaan (*membership value*) dari unsur v atau ukuran yang menyatakan sejauh mana unsur v termasuk dalam himpunan A .

Himpunan fuzzy adalah himpunan yang unsur-unsurnya memiliki derajat keanggotaan pada selang I yang berupa:

- a. Variabel numerik yakni selang $I = [0, 1]$
- b. Variabel linguistik yakni himpunan dengan unsur-unsur yang terurut bukan numerik seperti $I = \{null, low, medium, high, \dots\}$

dengan menggunakan fungsi keanggotaan trapesium dalam persamaan (2) dan Gambar 2.2 sebagai berikut

$$\mu(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2)$$



Gambar 2.2: Interval Fungsi Keanggotaan Trapesium

Definisi 2.2.2. Gabungan dari 2 *membership function* didefinisikan [13] sebagai

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, x \in R$$

Definisi 2.2.3. α -*cut* dari sebuah himpunan fuzzy A pada semesta V dinyatakan [11] sebagai himpunan

$$A_\alpha = \{x \in V \mid \mu(x) \geq \alpha\}. \text{ Dengan } \mu : V \rightarrow I \text{ dan } \alpha \in I$$

Misalkan himpunan sisi fuzzy $A = \{(ab, 0.1), (ac, 0.5), (bc, 0.8)\}$ mempunyai 3 elemen, yaitu:

1. sisi ab dengan derajat keanggotaan $\mu(ab) = 0.1$,

2. sisi ac dengan derajat keanggotaan $\mu(ac) = 0.5$,

3. sisi bc dengan derajat keanggotaan $\mu(bc) = 0.8$.

Maka α -cut dari himpunan fuzzy A untuk $\alpha = 0.5$ adalah $A_{0.5} = \{ac, bc\}$

2.2.1 Graf Fuzzy

Definisi 2.2.4. Graf $\tilde{G} = (V, \tilde{E})$ adalah graf fuzzy, dimana V adalah himpunan simpul, dinotasikan dengan $V = (i, j) \forall i, j \in V$ dan \tilde{E} adalah himpunan sisi fuzzy yang dinotasikan dengan matriks

$$\mu = \mu_{\tilde{E}}(\{i, j\}) \quad \forall i, j \in V \quad \text{sedemikian hingga } i \neq j \quad (3)$$

dan $\mu_E : V \times V \rightarrow I$ adalah fungsi keanggotaan. Dalam hal ini, graf fuzzy juga bisa dinotasikan dengan $\tilde{G} = (V, \mu)$ [8].

2.3 Pewarnaan Graf Fuzzy

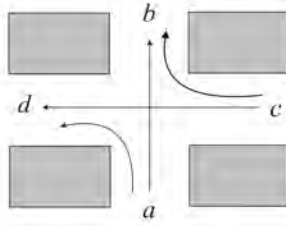
Pada masalah pewarnaan graf fuzzy ini akan ditentukan bilangan kromatik dari graf fuzzy.

Definisi 2.3.1. Bilangan kromatik graf fuzzy \tilde{G} merupakan bilangan asli terkecil k sedemikian hingga simpul-simpul pada sebuah graf fuzzy dapat diwarnai dengan k warna berbeda. Later Eslachi dan Onagh memperkenalkan pewarnaan graf fuzzy sebagai berikut. Sebuah keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3\}$ dari himpunan fuzzy di V disebut k -pewarnaan fuzzy pada $G = (V, \sigma, \mu)$ jika

1. $\bigvee \Gamma = \sigma$,
2. $\gamma_i \wedge \gamma_j = 0$. Dengan $\gamma_i, i = 1, 2, 3, \dots, k$ dan $\gamma_j, j = 1, 2, 3, \dots, k$ adalah keluarga pewarnaan graf fuzzy yang setiap anggotanya yakni simpulnya tidak saling berhubungan (bertetangga).
3. Untuk setiap sisi kuat (x, y) (i.e $\mu(x, y) > 0$) di G , $\min \{\gamma_i(x), \gamma_i(y)\} = 0 (1 \leq i \leq k)$.

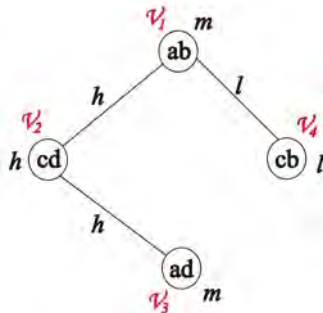
2.3.1 Contoh Pewarnaan Graf Fuzzy

Berikut ini diberikan salah satu contoh aplikasi pewarnaan graf fuzzy pada sebuah perempatan jalan. Misalkan terdapat suatu sistem lalu lintas pada perempatan jalan seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3: Sistem Lalu Lintas pada Sebuah Perempatan Jalan

Gambar 2.3 di atas dibentuk kembali ke dalam gambar graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$ dengan satu simpul mewakili satu jalur seperti Gambar 2.4 di bawah ini



Gambar 2.4: Graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$

dengan:

$$V = \{ab, ad, cb, cd\}$$

$$E = \{ab\ cd, cd\ ad, ab\ cb\}$$

$$I = \{low(l), medium(m), high(h)\}$$

Berdasarkan Gambar 2.4 diperoleh nilai σ (Tabel 2.1) dan μ (Tabel 2.2) pada setiap simpul seperti berikut ini

Tabel 2.1: Nilai fungsi keanggotaan simpul (σ)

| Simpul | ab | ad | cb | cd |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| σ | 0.5 | 0.3 | 0.6 | 0.9 |
| α | m | l | m | h |

Tabel 2.2: Nilai fungsi keanggotaan sisi (μ)

| Sisi | ab cd | ab cb | cd ad |
|-------|-------|-------|-------|
| μ | h | l | h |

Tabel 2.2 diatas dapat dibentuk menjadi sebuah matriks μ

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & l & h \\ 0 & 0 & 0 & h \\ l & 0 & 0 & 0 \\ h & h & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Bilangan kromatik graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$ dapat dilihat dari 3 dibawah ini

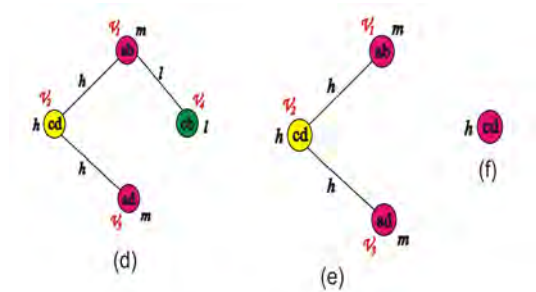
Tabel 2.3: Bilangan Kromatik Graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$ dengan pembagian klasifikasinya

| α | V_α | E_α | $C_\alpha(ab)$ | $C_\alpha(ad)$ | $C_\alpha(cb)$ | $C_\alpha(cd)$ | χ_α |
|----------|------------------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| l | {ab,ad cb,cd} | {ab cd}, {ab cb}, {cd ad}, {ab bc} | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| m | {ab,ad cd} | {ab cd}, {ab cb}, {cd ad} | 1 | 1 | - | 2 | 2 |
| h | cd | {} | - | - | - | 1 | 1 |

ket: 1= Warna merah, 2= Warna kuning, 3= Warna hijau

Berdasarkan tabel diatas diperoleh bilangan kromatik untuk graf fuzzy $\tilde{G} = (V, \mu)$ adalah $\chi_\alpha(\tilde{G}) = \{(1, h), (2, m), (3, l)\}$

Adapun $\alpha - cut$ tiap klasifikasi tergambar pada Gambar 2.5



Gambar 2.5: (d) $\alpha - cut(E_l)$, (e) $\alpha - cut(E_m)$, dan (f) $\alpha - cut(E_h)$

2.4 Langkah-Langkah Mengklasifikasi Daerah Rawan Kecelakaan dengan Pewarnaan Graf Fuzzy

1. Gambar jalur lalu lintas jalan yang akan diklasifikasi. Kemudian gambar kembali jalur tersebut ke dalam bentuk graf fuzzy lengkap dengan notasi setiap simpul, sisi dan bobotnya.

Jika dua simpul adalah bertetangga maka terdapat kemungkinan kecelakaan. Jadi kemungkinan kecelakaan bergantung pada nilai keanggotaan simpul yang bertetangga yang merepresentasikan angka pada simpul di jalan.

2. Tentukan keluarga himpunan α -cut dari graf fuzzy sesuai dengan definisi 2.2.3.
3. Tentukan bilangan kromatik graf fuzzy sesuai klasifikasi yang sudah terbentuk.
4. Analisa intepretasi bilangan kromatik graf fuzzy (χ_α).

2.5 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

GLBB merupakan gerak lurus dengan percepatan konstan, dimana kecepatan berubah teratur selama gerak berlangsung[7].

$$v_t = v_0 + at \quad (2.2)$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as \quad (2.3)$$

$$t = \frac{2s}{v_t} \times 3600 \quad (2.4)$$

Dengan:

- V_0 = Kecepatan awal (kondisi awal disaat lampu merah/
kendaraan berhenti yakni 0 km/jam)
- V_t = Kecepatan Konstan (kecepatan kendaraan melaju
diasumsikan sama, yakni sebesar 20 km/jam)
- S = Panjang antrian kendaraan+lebar jalan menuju persimpangan
tujuan (km)
- t = Waktu lampu hijau (detik)

2.6 Lalu Lintas

Lalu lintas di dalam Undang-undang No 22 tahun 2009 didefinisikan sebagai gerak Kendaraan dan orang di Ruang Lalu Lintas Jalan.

2.7 Persimpangan Jalan

Persimpangan jalan adalah tempat bertemunya beberapa jalan dengan jumlah paling sedikit tiga jalan hingga tak terbatas. Persimpangan jalan juga merupakan tempat berpindahnya satu jalan ke satu jalan yang lain, oleh karena itu di persimpangan jalan sering terjadi antrian kendaraan yang panjang. Salah satu penyebab antrian tersebut adalah adalah tidak proporsional pengaturan waktu nyala lampu lalu lintas (traffic light) di persimpangan jalan. Lama waktu nyala lampu lalu-lintas dipengaruhi oleh banyaknya kendaraan yang datang pada jalur pada saat lampu merah menyala dan banyaknya kendaraan yang mampu keluar pada jalur tersebut pada saat lampu hijau. Jika kendaraan yang datang lebih banyak daripada yang keluar, maka dipastikan terjadi antrian yang panjang di jalur tersebut[2]

2.8 Fase(*Phase*)

Fase adalah suatu urutan atau tahapan lampu lalu lintas dalam satuan waktu dimana satu atau lebih arus lalu lintas mendapatkan kesempatan bergerak. Fase merupakan bagian dari siklus lampu lalu lintas, disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas. Fase lampu lalu lintas memiliki peran penting dalam arus lalu lintas. Penentuan fase lampu lalu lintas pada suatu persimpangan jalan diharapkan seefisien mungkin sehingga diharapkan dapat mengurangi atau mengatasi masalah arus lalu lintas[5].

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

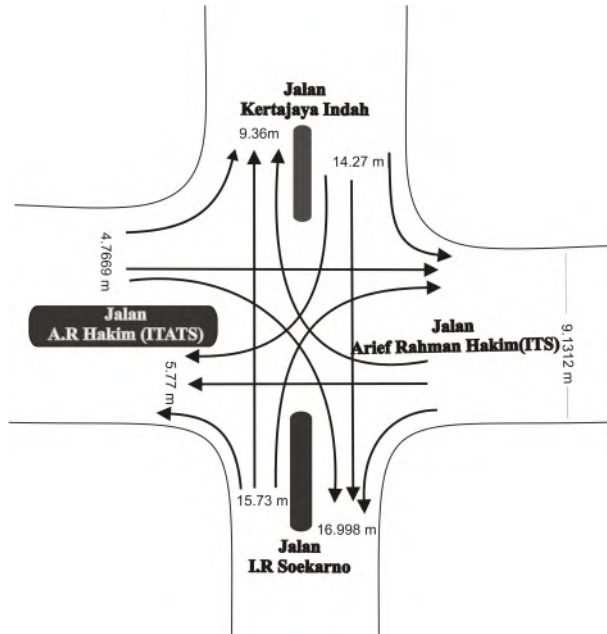
1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan dipelajari lebih mendalam literatur-literatur mengenai pewarnaan graf fuzzy.

2. Pengumpulan Data dan Analisa Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengamatan langsung pada persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah, sehingga dapat diperoleh data-data yang dibutuhkan sebagai berikut:

- a. Peta atau gambar dan lebar jalan persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya ditunjukkan pada Gambar 2.4. Data ini digunakan sebagai pengidentifikasi awal masalah kecelakaan lalu lintas yang telah terjadi di persimpangan jalan tersebut.



Gambar 3.1: Peta Geometrik Persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah

- b. Arus lalu lintas persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan. Data ini digunakan dalam menentukan simpul pada graf fuzzy.
- c. Jumlah kendaraan yang melewati perempatan lalu lintas Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah didapatkan dari pengamatan langsung dalam waktu 2 hari (Minggu dan Senin), khususnya pada jam-jam sibuk yakni 6.30-7.30, 12.30-13.30, dan 16.30-17.30. Hari

minggu dipilih mewakili hari libur dan hari Senin dipilih karena mewakili hari aktif lainnya yakni selasa sampai dengan jum'at. Pemilihan di jam-jam sibuk karena pada saat itu volume kendaraan meningkat daripada jam-jam lainnya sehingga kemacetan dan kecelakaan kemungkinan bisa terjadi. Penelitian dilakukan selama 1 jam pada masing-masing jalur lalu lintas. Data ini digunakan untuk menentukan bilangan kromatik dengan pewarnaan graf fuzzy.

3. Penyelesaian Masalah

Pada tahap ini dilakukan langkah-langkah mengklasifikasi jalur lalu lintas pada daerah rawan kecelakaan di Kota Surabaya dengan menentukan bilangan kromatik graf fuzzy pada perempatan atau pertigaan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah. Penentuan bilangan kromatik graf fuzzy ini menggunakan pewarnaan graf fuzzy.

4. Pengembangan Software

Berdasarkan analisa penyelesaian masalah akan dilakukan pengembangan software matlab, bentuk tampilan software dan pengujian data volume kendaraan yang diperoleh berdasarkan hasil *survey traffic counting*.

5. Analisa Hasil dan Penarikan Simpulan

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah graf fuzzy lengkap dengan pembobotan simpul dan sisi, pewarnaan graf fuzzy pada persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah, bilangan kromatik graf fuzzy, fase lampu lalu lintas sesuai pewarnaan, dan waktu lampu hijau maksimal.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai klasifikasi jalur lalu lintas persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah. Kemudian akan dijelaskan juga mengenai langkah-langkah untuk mengklasifikasi jalur lalu lintas dengan menggunakan metode pewarnaan graf fuzzy.

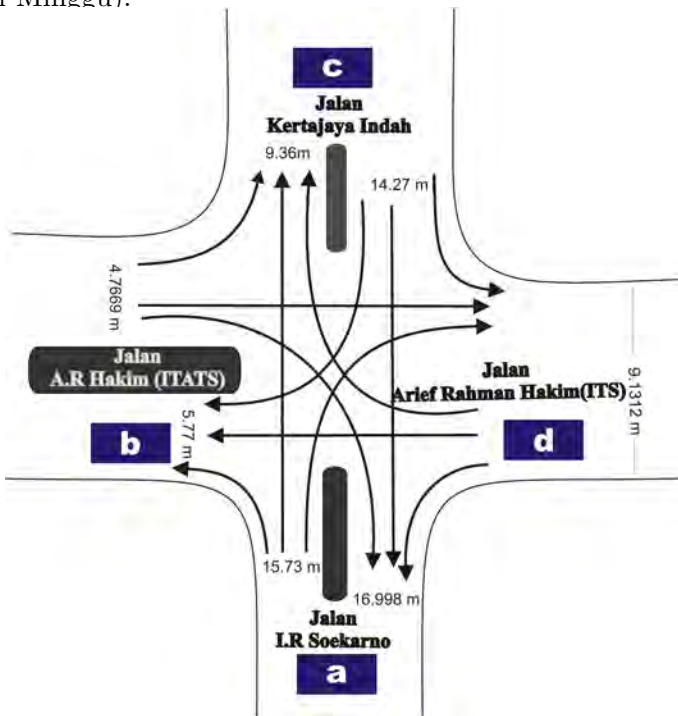
4.1 Hasil Studi Penelitian

Jalur lalu lintas persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah merupakan salah satu jalur rawan kecelakaan di kota Surabaya karena menurut data Polrestabes Surabaya jalan Insinyur Soekarno menempati urutan pertama sebagai daerah rawan kecelakaan setelah jalan Darmo, jalan Ahmad Yani dan jalan Raya Manstrip berdasarkan riwayat kecelakaan yang telah terjadi selama bulan Maret sampai Desember 2013, dapat dilihat pada Tabel 4.1 .

Tabel 4.1: Riwayat Kecelakaan yang Terjadi di Kota Surabaya

| No | Nama Jalan | Jumlah Kecelakaan |
|----|---------------------|-------------------|
| 1. | Jalan Ir. Soekarno | 40 |
| 2. | Jalan Darmo | 38 |
| 3. | Jalan Ahmad Yani | 35 |
| 4. | Jalan Raya Manstrip | 35 |

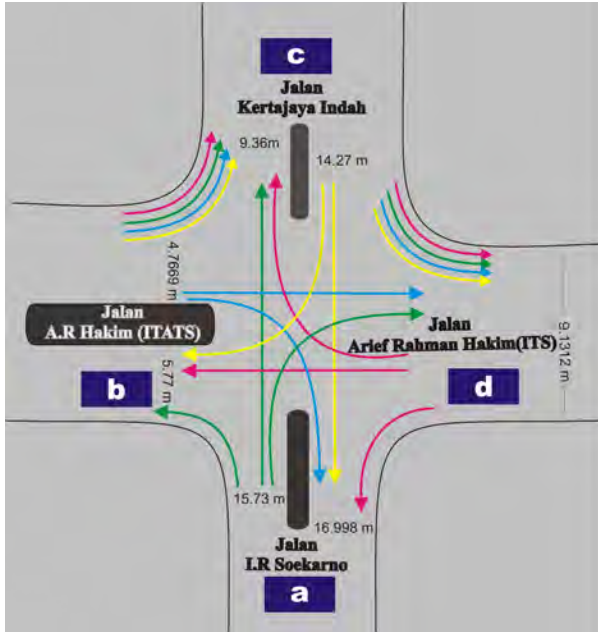
Perbedaan tingkat kepadatan arus lalu lintas pada persimpangan jalan tersebut sangat berpengaruh pada penelitian ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih jam-jam sibuk yakni di pagi hari (pukul 6.30-7.30), siang hari (pukul 13.00-14.00), sore hari (pukul 17.00-18.00) di hari kerja (hari Senin sampai hari Jum'at) dan hari libur (hari Sabtu dan hari Minggu).



Gambar 4.1: Peta Geografis Persimpangan Jalan

Persimpangan lalu lintas pada Gambar 4.1 memiliki 12 jalur yang dapat dilewati oleh pengguna jalan. Jalur tersebut akan dinotasikan kembali menjadi

- ab = Arus dari Jalan Ir. Soekarno menuju jalan Arief Rahman Hakim (ITATS)
- ac = Arus dari Jalan Ir. Soekarno menuju jalan Kertajaya Indah
- ad = Arus dari Jalan Ir. Soekarno menuju jalan Arief Rahman Hakim (ITS)
- ba = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) menuju Jalan Ir. Soekarno
- bc = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) menuju Jalan Kertajaya Indah
- ca = Arus dari Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno
- cb = Arus dari Jalan Kertajaya Indah menuju jalan Arief Rahman Hakim (ITATS)
- bd = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) menuju Jalan Arief Rahman Hakim (ITS)
- cd = Arus dari Jalan Kertajaya Indah menuju jalan Arief Rahman Hakim (ITS)
- da = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Ir. Soekarno
- db = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS)
- dc = Arus dari Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Kertajaya Indah



Gambar 4.2: Fase Arus Lalu Lintas

Persimpangan Jalan Ir. Soekarno-Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya Indah pada kondisi nyata memiliki 4 fase dalam satu siklus lampu lalu lintas. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa jalur yang memiliki warna yang sama bisa berjalan bersama-sama sehingga jalur bc dan cd memiliki empat warna karena pada dua jalur tersebut pengguna jalan dapat menggunakan dua jalur itu tanpa menghiraukan lampu lalu lintas. Fase pertama arus lalu lintas adalah $da-db-dc-bc-cd$, fase kedua adalah $ab-ac-ad-bc-cd$, fase ketiga adalah $ba-bc-bd-cd$, dan fase keempat adalah $ca-cb-cd-bc$. Siklus berjalan dari fase pertama kemudian lanjut ke fase kedua, fase ketiga, dan fase keempat secara berurutan.

Hasil pengamatan langsung di lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.7 di bawah ini

Tabel 4.2: Jumlah Kendaraan saat Minggu Pagi

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 373 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 1442 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 203 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 252 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 358 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 353 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 101 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 1078 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 148 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 104 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 378 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 466 |

Dari Tabel 4.2 diperoleh hasil bahwa jumlah kendaraan pada hari Minggu pagi relatif sedikit. Jumlah kendaraan tertinggi adalah sebesar 1442 yakni rute jalur dari Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah. Sedangkan jumlah kendaraan terkecil adalah pada jalur Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) menuju Jalan Ir. Soekarno dengan jumlah kendaraan sebesar 101.

Tabel 4.3: Jumlah Kendaraan saat Minggu Siang

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 513 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 2148 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 488 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 462 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 368 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 543 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 208 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 2093 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 224 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 149 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 471 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 495 |

Pada Tabel 4.3 diperoleh bahwa jumlah kendaraan saat Minggu siang mengalami peningkatan daripada Minggu pagi. Jumlah kendaraan tertinggi adalah sebesar 2148 yakni rute jalur dari Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah. Sedangkan jumlah kendaraan terkecil adalah pada jalur Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) dengan jumlah kendaraan sebesar 149.

Tabel 4.4: Jumlah Kendaraan saat Minggu Sore

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 447 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 1715 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 208 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 404 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 386 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 508 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 162 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 1079 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 210 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 113 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 515 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 518 |

Jumlah kendaraan Minggu Sore mengalami peningkatan dan penurunan pada beberapa jalur. Terlihat pada Tabel 4.4 bahwa jumlah kendaraan tertinggi adalah sebesar 1715 yakni rute jalur dari Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah. Sedangkan jumlah kendaraan terkecil adalah pada jalur Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Arief Rahman Hakim (ITATS) dengan jumlah kendaraan sebesar 113.

Tabel 4.5: Jumlah Kendaraan saat Senin Pagi

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 817 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 4739 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 589 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 652 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 768 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 665 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 193 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 3204 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 83 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 169 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 892 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 796 |

Hari Senin merupakan hari efektif bagi masyarakat kota Surabaya untuk bekerja,sekolah, ataupun kegiatan lainnya. Terlihat pada Tabel 4.5 bahwa jumlah kendaraan mayoritas mengalami peningkatan yang sangat drastis kecuali pada jalur Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Ir. Soekarno yang mengalami penurunan dibandingkan Minggu Sore karena memiliki jumlah kendaraan sebesar 83. Sedangkan jumlah kendaraan tertinggi masih ditempati rute jalur dari Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah yakni sebesar 4739.

Tabel 4.6: Jumlah Kendaraan saat Senin Siang

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 487 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 2143 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 769 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 365 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 275 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 599 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 220 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 1885 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 133 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 188 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 542 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 582 |

Pada Tabel 4.6 diperoleh hasil bahwa terjadi berbagai perubahan juga pada jumlah kendaraan saat Senin siang. Pengguna jalan masih harus waspada pada rute jalur dari Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah karena memiliki jumlah kendaraan tertinggi yakni sebesar 2143. Sedangkan jumlah kendaraan terkecil adalah pada jalur Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Ir. Soekarno dengan jumlah kendaraan sebesar 133.

Tabel 4.7: Jumlah Kendaraan saat Senin Sore

| No | Nama Jalan | Jumlah Kendaraan |
|-----|--|------------------|
| 1. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Kertajaya Indah | 616 |
| 2. | Ir. Soekarno-Kertajaya Indah | 3013 |
| 3. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Kertajaya Indah | 580 |
| 4. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Arief Rahman Hakim (ITS) | 474 |
| 5. | Ir. Soekarno- Arief Rahman Hakim (ITS) | 334 |
| 6. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITS) | 734 |
| 7. | Arief Rahman Hakim (ITATS)- Ir. Soekarno | 294 |
| 8. | Kertajaya Indah- Ir. Soekarno | 3252 |
| 9. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Ir. Soekarno | 155 |
| 10. | Ir. Soekarno-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 168 |
| 11. | Kertajaya Indah-Arief Rahman Hakim (ITATS) | 861 |
| 12. | Arief Rahman Hakim (ITS)- Arief Rahman Hakim (ITATS) | 739 |

Dari Tabel 4.7 diperoleh hasil bahwa pada hari Senin sore, pengguna jalan harus berhati-hati saat melewati jalur Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno karena memiliki jumlah kendaraan tertinggi yakni sebesar 3252. Hal ini berbeda dengan pengamatan saat hari Minggu (pagi, siang, sore) dan hari Senin (pagi,siang) yang mayoritas memiliki kepadatan jumlah kendaraan tertinggi adalah pada jalur Jalan Ir. Soekarno menuju Jalan Kertajaya Indah. Sedangkan jumlah kendaraan terkecil masih ditempati oleh jalur Jalan Arief Rahman Hakim (ITS) menuju Jalan Ir. Soekarno dengan jumlah kendaraan sebesar 155.

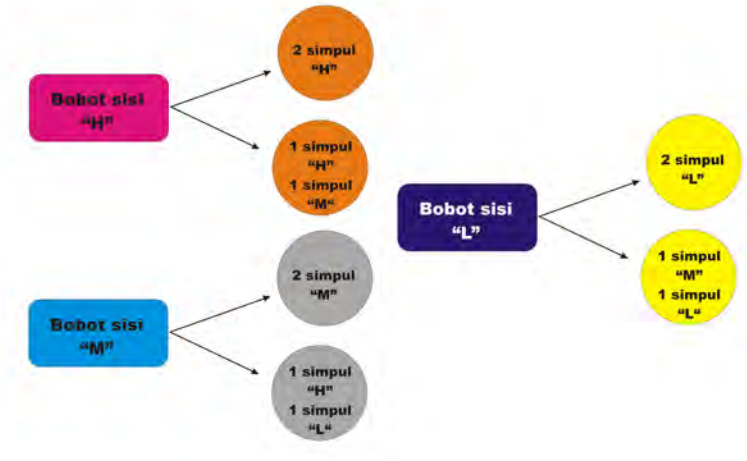
4.2 Pembentukan Graf Fuzzy

Pada permasalahan kontrol lalu lintas di persimpangan jalan Ir. Soekarno ini, setiap arus lalu lintas direpresentasikan sebagai simpul pada graf fuzzy dan nilai keanggotaan bergantung pada jumlah kendaraan yang melewati jalur tersebut. sebuah *edge* (sisi) yang menghubungkan dua simpul merepresentasikan setiap kemungkinan kecelakaan. Dua simpul dikatakan bertetangga (terhubung) jika arus lalu lintas saling bersilangan dan bersinggungan satu sama lain. Karena arus lalu lintas yang saling bersilangan maka terdapat kemungkinan terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu, metode yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah menggunakan graf fuzzy.

Adapun metode graf yang lain seperti planning graf kurang bisa merepresentasikan permasalahan ini karena dengan membentuk graf baru dari graf planar berarah (*arc*) yang saling bersilangan dirasa terlalu rumit. Pada metode planning graf hanya jalur yang saling bersilangan saja yang diperhatikan, namun jalur yang saling bersinggungan tidak diperhatikan padahal jalur tersebut masih terdapat kemungkinan terjadinya kecelakaan, sedangkan di graf fuzzy jalur yang saling bersinggungan dan saling berpotongan semuanya diperhatikan sehingga bisa melihat semua kemungkinan jalur yang bisa menimbulkan kecelakaan.

Berikut ini aturan pembobotan sisi graf fuzzy yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Jika nilai keanggotaan dua simpul adalah *high*(h), atau salah satu simpul memiliki nilai keanggotaan *high*(h) dan satu simpul yang lain nilai keanggotaannya *medium*(m) maka nilai keanggotaan simpul tersebut adalah *high*(h). Jika nilai keanggotaan dua simpul adalah *medium*(m) atau salah satu simpul memiliki nilai keanggotaan *high*(h) dan satu simpul yang lain nilai keanggotaannya *low*(l) maka nilai keanggotaan

simpul tersebut adalah $medium(m)$. Jika nilai keanggotaan dua simpul adalah $low(l)$, atau salah satu simpul memiliki nilai keanggotaan $low(l)$ dan satu simpul yang lain nilai keanggotaannya $medium(m)$ maka nilai keanggotaan simpul tersebut adalah $low(l)$.



Gambar 4.3: Aturan Nilai Keanggotaan sisi

Berdasarkan Definisi 2.2.4 Graf $\tilde{G} = (V, \tilde{E})$ adalah graf fuzzy, dimana V adalah himpunan simpul, dinotasikan dengan $V = (i, j) \forall i, j \in V$ dan \tilde{E} adalah himpunan sisi fuzzy yang dinotasikan dengan matriks

$$\mu = \mu_{\tilde{E}}(\{i, j\}) \quad \forall i, j \in V \quad \text{sedemikian hingga } i \neq j \quad (3)$$

dan $\mu_{\tilde{E}} : V \times V \rightarrow I$ adalah fungsi keanggotaan dengan $I = \{Low(l), medium(m), high(h)\}$. Dalam hal ini, graf fuzzy juga bisa dinotasikan dengan $\tilde{G} = (V, \mu)$.

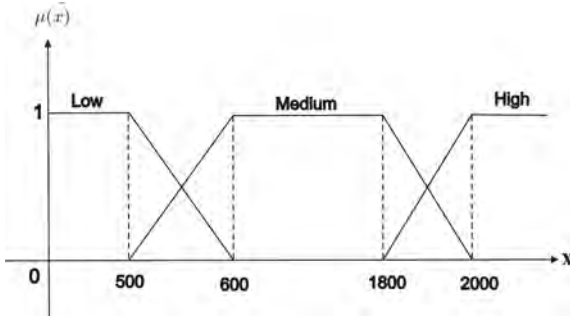
Fungsi keanggotaan ditentukan berdasarkan data hasil pengamatan pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.7. Dari keenam tabel tersebut dapat disusun pengelompokan tiga fungsi klasifikasi menjadi seperti Tabel 4.8 dan grafik pada Gambar 4.4.

Tabel 4.8: Tiga Fungsi Keanggotaan Berdasarkan Jumlah Kendaraan

| Jumlah Kendaraan | <i>Low</i> | <i>Medium</i> | <i>High</i> |
|------------------|------------|---------------|-------------|
| 0 | Y* | N | N |
| 500 | Y* | Y | N |
| 600 | Y | Y* | N |
| 1800 | N | Y* | Y |
| 2000 | N | Y | Y* |

dengan

- Y : Tingkat kepadatan kendaraan yang masuk dalam interval
($0 < \mu_A(x) < 1$)
- Y^* : Tingkat kepadatan kendaraan dalam kondisi ideal
($\mu_A(x) = 1$)
- N : Tingkat kepadatan kendaraan yang tidak masuk dalam
selang interval($\mu_A(x) = 0$)



Gambar 4.4: Grafik Fungsi Keanggotaan $\mu(x)$

dengan rumus tiap klasifikasi adalah sebagai berikut

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

$$\mu_{high}(x : 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \\ \frac{x - 1800}{2000 - 1800} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 1 & x \geq 2000 \end{cases}$$

Karena terdapat 6 pembagian waktu (Minggu pagi, Minggu siang, Minggu sore, Senin pagi, Senin siang, dan Senin sore), maka akan dibentuk 6 graf fuzzy.

4.2.1 Graf Fuzzy saat Minggu Pagi

Nilai keanggotaan untuk simpul bergantung pada jumlah kendaraan hasil survei dan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut nilai fungsi keanggotaan simpul pada saat Minggu pagi.

Tabel 4.9: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Minggu Pagi

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 104 | 1442 | 358 | 101 | 203 | 252 |
| σ | l | m | l | l | l | l |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 1078 | 578 | 353 | 148 | 466 | 373 |
| σ | m | m | l | l | l | l |

Jumlah kendaraan simpul cb adalah sebesar 578. Artinya, simpul cb masuk dalam dua fungsi keanggotaan yakni μ_{low} dan μ_{medium} dan bisa diklasifikasikan sebagai kategori l(*low*) atau m(*medium*). Oleh karena itu, untuk menentukan klasifikasi yang tepat, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} dan μ_{medium} .

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 578$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{578 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.22 \end{aligned}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 578$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{578 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.78 \end{aligned}$$

Nilai μ gabungan adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.22, 0.78\} \\ &= 0.78 \end{aligned}$$

Jadi nilai μ gabungan untuk simpul bc dengan $x = 578$ adalah 0.78 dan masuk dalam klasifikasi $m(\text{medium})$.

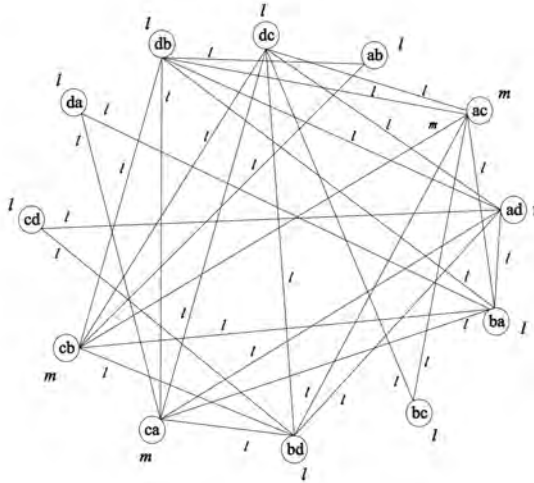
Setelah memperoleh nilai keanggotaan simpul, kemudian disusun nilai keanggotaan untuk sisi seperti Tabel 4.10 di bawah ini dan dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ .

Tabel 4.10: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Minggu Pagi

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | l | l | l | l | l | m | l |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | l | l | l | l | l | l | l |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | l | l | l | l | l | l | l |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | l | l | l | l | l | l | l |

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & l & l & 0 & m & 0 & 0 & l & l & l \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & l & l & 0 & l & 0 & l & l & l \\ 0 & l & l & 0 & 0 & 0 & l & l & 0 & l & l & 0 & 0 \\ 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & l & l & l & 0 & 0 & l & l & l & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & l & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & l & l & l \\ l & m & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & l \\ 0 & 0 & l & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l & l & l & l & 0 & 0 & l & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l & l & 0 & l & l & l & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks ketertanggaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Graf Fuzzy saat Minggu Pagi

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk jalur ac dan cb masuk kategori m (*medium*), dan untuk jalur lalu lintas yang lainnya memiliki kategori l (*low*).

4.2.2 Graf Fuzzy saat Minggu Siang

Berikut ini nilai keanggotaan simpul dari graf fuzzy saat Minggu Siang yang ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Karena jumlah kendaraan untuk simpul cd adalah 543 masuk dalam klasifikasi *low* dan *medium*, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} dan μ_{medium} .

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Tabel 4.11: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Minggu Siang

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 149 | 2148 | 368 | 208 | 488 | 462 |
| σ | l | h | l | l | l | l |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 2093 | 471 | 543 | 224 | 495 | 513 |
| σ | h | l | l | l | l | l |

Untuk $x = 543$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low} &= \frac{543 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.57\end{aligned}$$

$$\mu_{med}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 600 \leq x \leq 1800 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 543$ maka nilai μ_{med} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{medium} &= \frac{543 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.43\end{aligned}$$

Nilai μ gabungan adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.57, 0.43\} \\ &= 0.57\end{aligned}$$

Jadi nilai μ gabungan untuk simpul cd dengan $x = 543$ adalah 0.57 dan masuk dalam klasifikasi l(*low*).

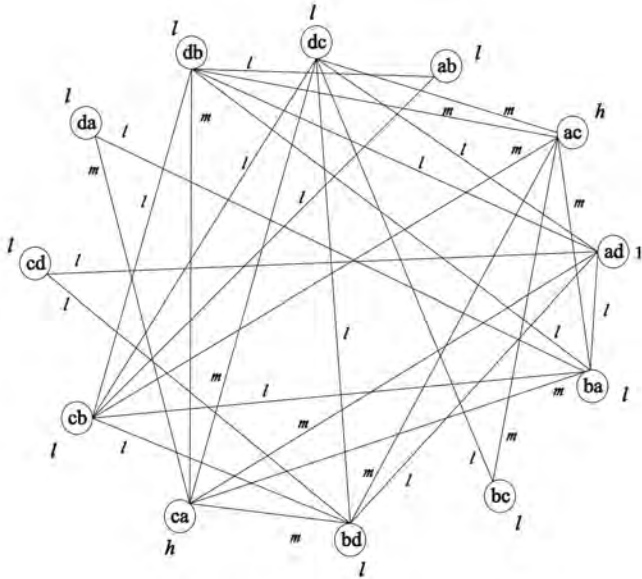
Nilai keanggotaan untuk sisi dapat dilihat pada Tabel 4.12 yang dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ .

Tabel 4.12: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Minggu Siang

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | l | l | m | m | m | m | m |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | m | l | l | m | l | l | l |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | m | l | l | l | l | m | l |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | l | l | m | m | m | l | l |

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & m & m & 0 & l & 0 & 0 & m & m \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & l & m & 0 & l & 0 & l & l \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & m & l & 0 & l & l & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & m & l & l & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & m & m & 0 & m & 0 & 0 & 0 & m & m & m \\ l & m & 0 & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & l & l \\ 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l & m & l & l & 0 & 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & l & 0 & l & l & m & l & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks ketertangaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6: Graf Fuzzy saat Minggu siang

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk jalur (da, ca) , (db, ca) , (dc, ca) , (db, ac) , (dc, ac) , (ac, cb) , (ac, ba) , (ba, ca) , (ad, ca) , (ac, bc) , (ac, bd) , (ca, bd) masuk kategori m (*medium*), dan untuk jalur lalu lintas yang lainnya memiliki kategori l (*low*).

4.2.3 Graf Fuzzy saat Minggu Sore

Nilai keanggotaan simpul saat Minggu sore disajikan pada Tabel 4.13 di bawah ini

Tabel 4.13: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Minggu Sore

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 113 | 1715 | 386 | 162 | 208 | 404 |
| σ | l | m | l | l | l | l |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 1709 | 515 | 508 | 210 | 518 | 447 |
| σ | m | l | l | l | l | l |

Karena jumlah kendaraan untuk simpul $cb = 515$, $cd = 508$ dan $db = 518$ masuk dalam klasifikasi *low* dan *medium*, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} dan μ_{medium} .

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 515$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{515 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

Untuk $x = 508$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{508 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.92 \end{aligned}$$

Untuk $x = 518$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{518 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.82 \end{aligned}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 515$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{515 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.15 \end{aligned}$$

Untuk $x = 508$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{508 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

Untuk $x = 518$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{518 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.18 \end{aligned}$$

Nilai μ gabungan adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.85, 0.15\} \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.92, 0.08\} \\ &= 0.92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\
&= \max\{0.82, 0.18\} \\
&= 0.82
\end{aligned}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa simpul cb, cd dan db masuk dalam klasifikasi l_{low}

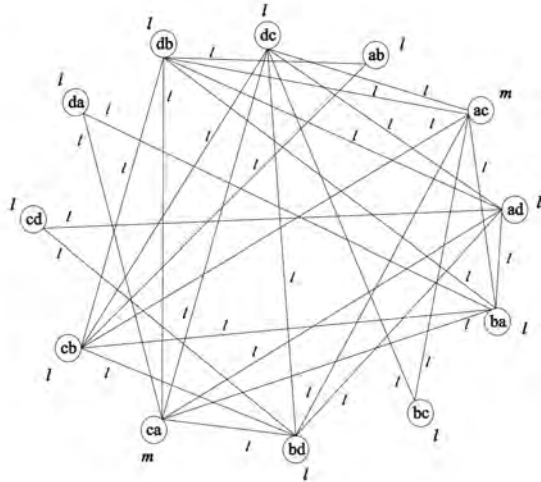
Nilai keanggotaan untuk sisi pada Tabel 4.14 dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ .

Tabel 4.14: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Minggu Sore

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$\mu = \begin{bmatrix}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\
0 & 0 & 0 & l & l & l & 0 & l & 0 & 0 & l & l \\
0 & 0 & 0 & l & 0 & l & l & 0 & l & 0 & l & l \\
0 & l & l & 0 & 0 & 0 & l & l & 0 & l & l & 0 \\
0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\
0 & l & l & 0 & 0 & 0 & l & l & l & 0 & 0 & l \\
0 & 0 & l & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & l & l & l \\
l & l & 0 & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & l & l \\
0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
l & l & l & l & 0 & 0 & l & l & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & l & l & 0 & l & l & l & l & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}$$

Matriks ketertanggaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Graf Fuzzy saat Minggu Sore

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan semua jalur masuk dalam kategori $l(low)$.

4.2.4 Graf Fuzzy saat Senin Pagi

Jumlah kendaraan pada hari Senin pagi mengalami peningkatan yang drastis daripada hari Minggu baik Minggu pagi, siang ataupun sore. Pada Tabel 4.15 dapat dilihat pembobotan nilai keanggotaan simpul graf fuzzy Senin pagi.

Karena jumlah kendaraan untuk simpul bc adalah 589 masuk dalam klasifikasi low dan $medium$, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} dan μ_{medium} .

Tabel 4.15: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Senin Pagi

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 169 | 4739 | 768 | 193 | 589 | 652 |
| σ | l | h | m | l | m | m |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 3204 | 892 | 665 | 83 | 796 | 817 |
| σ | h | m | m | l | m | m |

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 589$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{589 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.11 \end{aligned}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 589$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{589 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.89 \end{aligned}$$

Nilai μ gabungan adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.57, 0.43\} \\ &= 0.57\end{aligned}$$

Jadi nilai μ gabungan untuk simpul bc dengan $x = 589$ adalah 0.89 dan masuk dalam klasifikasi $m(\text{medium})$.

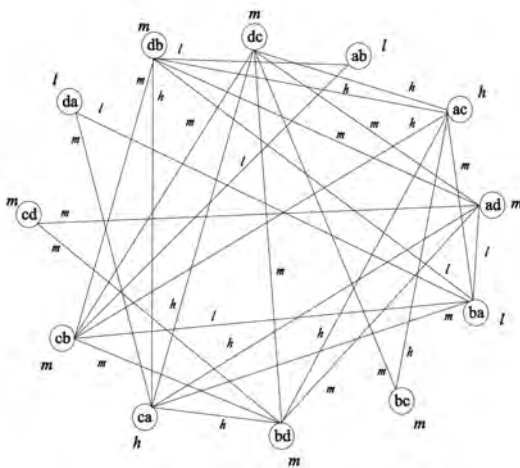
Tabel 4.16 menunjukkan nilai keanggotaan untuk sisi yang dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ seperti di bawah ini

Tabel 4.16: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Senin Pagi

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | l | l | m | h | h | h | h |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | h | m | m | m | m | m | m |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | m | l | l | l | m | h | m |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | m | m | m | h | h | m | m |

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & h & h & 0 & h & 0 & 0 & h & h \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & m & h & 0 & m & 0 & m & m \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & m & l & 0 & l & l & 0 \\ 0 & h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \\ 0 & h & m & 0 & 0 & 0 & h & m & m & 0 & 0 & m \\ 0 & 0 & h & m & 0 & h & 0 & 0 & 0 & m & h & h \\ l & h & 0 & l & 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & m & m \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l & h & m & l & 0 & 0 & h & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h & m & 0 & m & m & h & m & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks ketertangaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Graf Fuzzy saat Senin Pagi

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk jalur (dc, ac) , (db, ac) , (ac, bd) , (ad, ca) , (bc, ac) , (bd, ac) , (ca, ad) , (cb, ac) , (dc, ca) , masuk kategori h (*high*), sedangkan untuk jalur (da, ba) , (db, ba) , (db, ab) , (ab, cb) , (ba, cb) masuk kategori l (*low*), dan untuk jalur lalu lintas yang lainnya memiliki kategori m (*medium*).

4.2.5 Graf Fuzzy saat Senin Siang

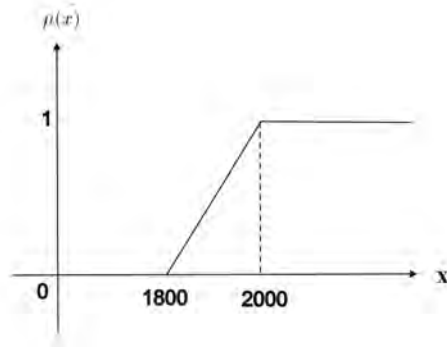
Jumlah kendaraan pada hari Senin siang mengalami penurunan daripada Senin pagi. Tabel 4.17 menunjukkan nilai kenggotaan simpulnya.

Tabel 4.17: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Senin Siang

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 188 | 2143 | 275 | 220 | 769 | 365 |
| σ | l | h | l | l | m | l |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 1885 | 542 | 599 | 133 | 582 | 487 |
| σ | m | l | m | l | m | l |

Karena jumlah kendaraan simpul $ca = 1885$, $cb = 542$, $cd = 599$ dan $db = 582$, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} , μ_{medium} dan μ_{high} .

$$\mu_{high}(x : 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \\ \frac{x - 1800}{2000 - 1800} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 1 & x \geq 2000 \end{cases}$$



Gambar 4.9: Grafik Fungsi Keanggotaan *high*

Untuk $x = 1885$ maka nilai μ_{high} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{high} &= \frac{1885 - 1800}{2000 - 1800} \\ &= 0.425\end{aligned}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 1885$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{medium} &= \frac{1885 - 2000}{1800 - 2000} \\ &= 0.575\end{aligned}$$

Untuk $x = 542$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{medium} &= \frac{542 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.42\end{aligned}$$

Untuk $x = 599$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{medium} &= \frac{599 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.99\end{aligned}$$

Untuk $x = 582$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{medium} &= \frac{582 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.82\end{aligned}$$

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 542$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low} &= \frac{542 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.58\end{aligned}$$

Untuk $x = 599$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low} &= \frac{599 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.01\end{aligned}$$

Untuk $x = 582$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low} &= \frac{582 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.18\end{aligned}$$

Nilai μ gabungan untuk $x = 1885$, $x = 542$, $x = 599$ dan $x = 582$ adalah

$$\begin{aligned}\mu_{high \cup medium} &= \max\{\mu_{high}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.425, 0.575\} \\ &= 0.575\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.58, 0.42\} \\ &= 0.58\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.01, 0.99\} \\ &= 0.99\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.18, 0.82\} \\ &= 0.82\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai μ gabungan diperoleh kesimpulan bahwa untuk simpul ca , cd dan db masuk dalam klasifikasi *medium*, sedangkan untuk simpul cb masuk dalam klasifikasi (*low*).

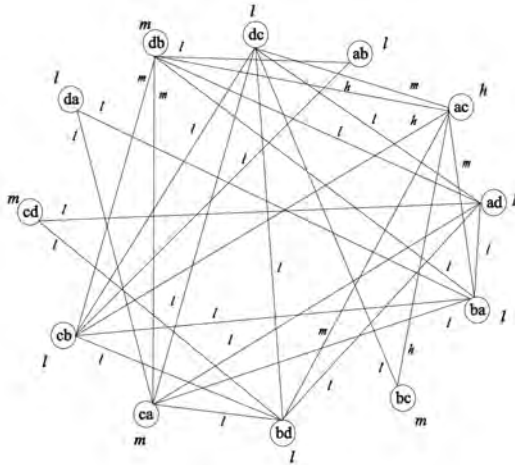
Tabel 4.18 menunjukkan nilai keanggotaan untuk sisi yang dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ .

Tabel 4.18: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Senin siang

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | l | l | m | h | m | m | h |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | m | l | l | l | l | l | l |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | l | l | l | l | l | l | l |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | l | l | l | m | l | l | l |

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & h & m & 0 & m & 0 & 0 & h & m \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & l & l & 0 & l & 0 & l & l \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & l & l & 0 & l & l & 0 \\ 0 & h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & l & l & l & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & l & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & l & m & l \\ l & m & 0 & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & l & l \\ 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l & l & l & l & 0 & 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l & l & 0 & l & l & l & l & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks ketertanggaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Graf Fuzzy saat Senin Siang

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk jalur (db, ac) , (cb, ac) , dan (ac, bc) , masuk kategori h (*high*), sedangkan untuk jalur (dc, ac) , (ba, ac) , (ca, ba) , (cb, db) , dan (db, ca) masuk kategori m (*medium*) dan untuk jalur lalu lintas yang lainnya memiliki kategori l (*low*).

4.2.6 Graf Fuzzy saat Senin Sore

Jumlah kendaraan pada Senin sore mengalami peningkatan dari Senin siang tapi peningkatan tidak melebihi Senin pagi. Tabel 4.19 menunjukkan nilai kenggotaan simpulnya.

Jumlah kendaraan untuk simpul bc adalah 580, masuk dalam klasifikasi *low* dan *medium*, maka perlu dihitung nilai keanggotaan gabungan μ_{low} dan μ_{medium} .

Tabel 4.19: Nilai Keanggotaan Simpul (σ) Graf Fuzzy saat Senin Sore

| | | | | | | |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Simpul | ab | ac | ad | ba | bc | bd |
| Jumlah kendaraan | 168 | 3013 | 334 | 294 | 580 | 474 |
| σ | l | h | l | l | m | l |
| Simpul | ca | cb | cd | da | db | dc |
| Jumlah kendaraan | 3252 | 861 | 734 | 155 | 739 | 616 |
| σ | h | m | m | l | m | m |

$$\mu_{low}(x : 0, 500, 600) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 600}{500 - 600} & 500 \leq x \leq 600 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 589$ maka nilai μ_{low} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{low} &= \frac{580 - 600}{500 - 600} \\ &= 0.20 \end{aligned}$$

$$\mu_{medium}(x : 500, 600, 1800, 2000) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 500 \\ \frac{x - 500}{600 - 500} & 500 \leq x \leq 600 \\ 1 & 600 \leq x \leq 1800 \\ \frac{x - 2000}{1800 - 2000} & 1800 \leq x \leq 2000 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ yang lain} \end{cases}$$

Untuk $x = 580$ maka nilai μ_{medium} adalah

$$\begin{aligned} \mu_{medium} &= \frac{580 - 500}{600 - 500} \\ &= 0.80 \end{aligned}$$

Nilai μ gabungan adalah

$$\begin{aligned}\mu_{low \cup medium} &= \max\{\mu_{low}, \mu_{medium}\} \\ &= \max\{0.2, 0.8\} \\ &= 0.57\end{aligned}$$

Jadi nilai μ gabungan untuk simpul bc dengan $x = 580$ adalah 0.8 dan masuk dalam klasifikasi $m(\text{medium})$.

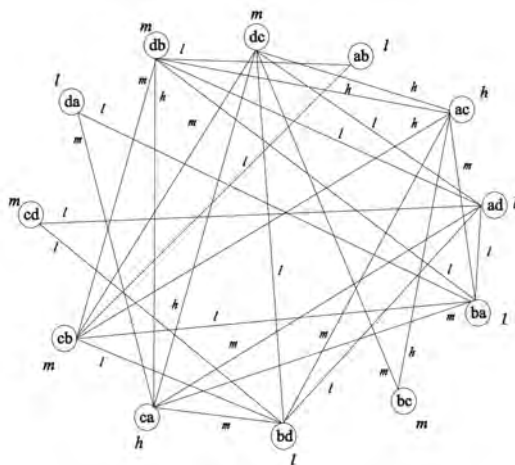
Tabel 4.20 menunjukkan nilai keanggotaan untuk sisi yang dibentuk kembali dalam bentuk matriks μ .

Tabel 4.20: Nilai Keanggotaan Sisi (μ) Graf Fuzzy saat Senin Sore

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sisi | ab cb | ab db | ac ba | ac bc | ac bd | ac cb | ac db |
| μ | l | l | m | h | m | h | h |
| Sisi | ac dc | ad ba | ad bd | ad ca | ad cd | ad db | ad dc |
| μ | h | l | l | m | l | l | l |
| Sisi | ba ca | ba cb | ba da | ba db | bc dc | bd ca | bd cb |
| μ | m | l | l | l | m | m | l |
| Sisi | bd cd | bd dc | ca da | ca db | ca dc | cb db | cb dc |
| μ | l | l | m | h | h | m | m |

$$\mu = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & h & m & 0 & h & 0 & 0 & h & h \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & l & m & 0 & l & 0 & l & l \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & m & l & 0 & l & l & 0 \\ 0 & h & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \\ 0 & m & l & 0 & 0 & 0 & m & l & l & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & m & m & 0 & m & 0 & 0 & 0 & m & h & h \\ l & h & 0 & l & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & m & m \\ 0 & 0 & l & 0 & 0 & l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l & 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ l & h & l & l & 0 & 0 & h & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h & l & 0 & l & l & h & m & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks ketertanggaan μ di atas dibentuk ke dalam gambar graf fuzzy lengkap dengan pembobotan nilai keanggotaan simpul dan sisi seperti Gambar 4.11.



Gambar 4.11: Graf Fuzzy saat Senin Sore

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk jalur (db, ca) , (db, ac) , (dc, ac) , (cb, ac) , (bc, ac) , dan (ca, dc) masuk kategori $h(\text{high})$, sedangkan untuk jalur (dc, cb) , (db, cb) , (da, ca) , (ca, bd) , (ca, ba) , (ca, ad) , (bd, ac) , (bc, dc) dan (ba, ac) masuk kategori $m(\text{medium})$ dan untuk jalur lalu lintas yang lainnya memiliki kategori $l(\text{low})$.

4.3 Pewarnaan Graf Fuzzy

Pewarnaan graf fuzzy pada masalah lalu lintas ini menggunakan konsep dari *Eslachi* dan *Onagh*. Mereka mendefinisikan bilangan kromatik graf fuzzy sebagai bilangan asli terkecil k sedemikian hingga simpul-simpul pada sebuah graf fuzzy dapat diwarnai dengan k warna berbeda.

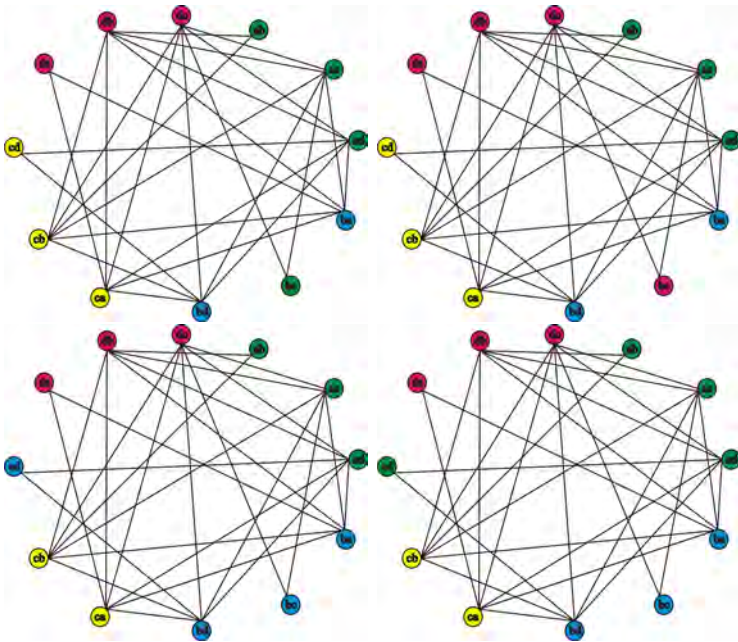
Later *Eslachi* dan *Onagh* memperkenalkan pewarnaan graf fuzzy sebagai berikut. Sebuah keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3\}$ dari himpunan fuzzy di V disebut k -pewarnaan fuzzy pada $G = (V, \sigma, \mu)$ jika

1. $\bigvee \Gamma = \sigma$,
2. $\gamma_i \wedge \gamma_j = 0$.
3. Untuk setiap sisi kuat (x, y) (i.e $\mu(x, y) > 0$) di G , $\min \{\gamma_i(x), \gamma_i(y)\} = 0 (1 \leq i \leq k)$.

Diberikan sebuah graf fuzzy $G = (V, \sigma, \mu)$, bilangan kromatiknya adalah $\chi(G) = \{\chi_\alpha\}$ dengan χ_α adalah bilangan kromatik dari G_α dan nilai α berbeda-beda tergantung pada nilai keanggotaan dari simpul dan sisi dari graf fuzzy G . Dalam hal ini, perlu digunakan aturan keluarga α -cut.

α -cut dari sebuah graf fuzzy $G_\alpha = (V_\alpha, E_\alpha, \sigma, \mu)$ dengan $V_\alpha = \{v \in V | \sigma \geq \alpha\}$ $E_\alpha = \{e \in E | \mu \geq \alpha\}$. Dengan $\mu : V \rightarrow I$ dan $\alpha \in I$ dengan $I = \{l(\text{low}), m(\text{medium}), \text{dan } h(\text{high})\}$

Arus lalu lintas seperti Gambar 4.2 akan menimbulkan kemungkinan adanya kemacetan yang berakibat pada kecelakaan. Simpul yang bertetangga dengan warna yang sama tidak diperbolehkan karena akan menimbulkan kecelakaan, sedangkan pada Gambar 4.2 yang digambar kembali menjadi graf fuzzy seperti Gambar 4.12.



Gambar 4.12: Pewarnaan Graf dalam Kondisi Nyata

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibentuk pewarnaan graf fuzzy berdasarkan banyaknya arus lalu lintas dan jumlah kendaraan yang melalui arus tersebut guna meminimalisir terjadinya kecelakaan. Pewarnaan dibagi menjadi enam graf fuzzy sesuai dengan data pengamatan yang telah diperoleh.

4.3.1 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Minggu Pagi

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy saat Minggu pagi.

Untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

$$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\} \text{ dan}$$

$$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, \\ ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, \\ ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, \\ ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Jumlah simpul graf fuzzy untuk $\alpha = l$ adalah 12 buah dengan penotasian yang baru

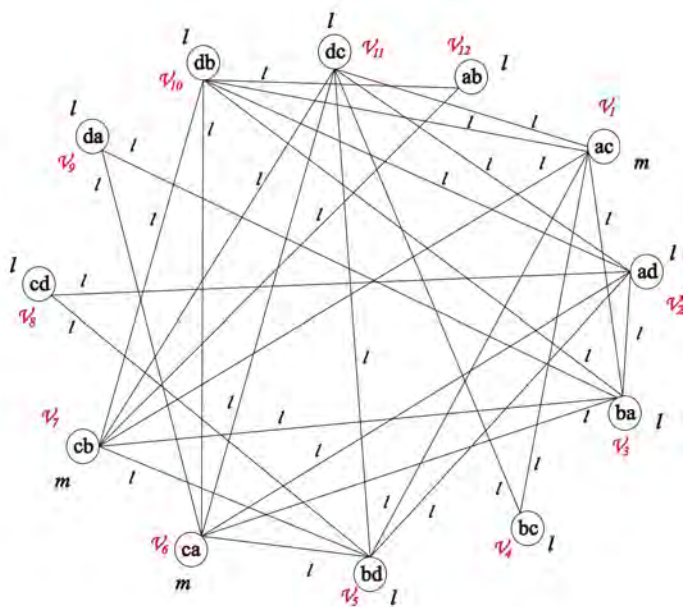
$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}\}$$

Untuk sementara akan dimisalkan sebuah keluarga Γ sebagai berikut

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

Dengan melihat Gambar 4.13 kita masukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu himpunan γ dengan pembobotan simpul yang sama. Di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga.

Terdapat beberapa γ yang memiliki anggota himpunan yang sama. Yakni, $\gamma_8 = \gamma_9 = \gamma_{10}$, sedangkan $\gamma_4 = \gamma_5$, dan $\gamma_1 = \gamma_{12}$. Jadi sekarang kita punya keluarga Γ yang baru, beranggotakan $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_8, \gamma_{11}\}$. Sejumlah anggota Γ tersebut harus memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k = |\gamma_j|$ adalah maksimum.



Gambar 4.13: Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi

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

Diperoleh 4 kemungkinan yang memenuhi syarat di atas. $\gamma_8 \cap \gamma_3, \gamma_5 \cap \gamma_{11}, \gamma_1 \cap \gamma_6$ dan $\gamma_2 \cap \gamma_{11}$. Dan jumlah anggota semua irisan γ adalah maksimum, yakni sejumlah 8 simpul. Dalam hal ini diambil $\gamma_1 \cap \gamma_6$. Jadi $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_6\}$. Sehingga γ_1 diwarnai misalkan dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwarnai dengan C_2 (kuning). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

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

Sekarang kita peroleh 4 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_3^*, \gamma_5^*, \gamma_{10}^*, \gamma_{11}^*\}$ dengan

$$\begin{aligned} \gamma_3^* &= \{v_3, v_5\} & \gamma_{10}^* &= \{v_{10}, v_{11}\} \\ \gamma_5^* &= \{v_5, v_3\} & \gamma_{11}^* &= \{v_{11}, v_{10}\} \end{aligned}$$

Karena $\gamma_3^* = \gamma_5^*$ dan $\gamma_{10}^* = \gamma_{11}^*$, maka bisa diambil keluarga $\Gamma = \{\gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum. Sehingga γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda)

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.3.1.

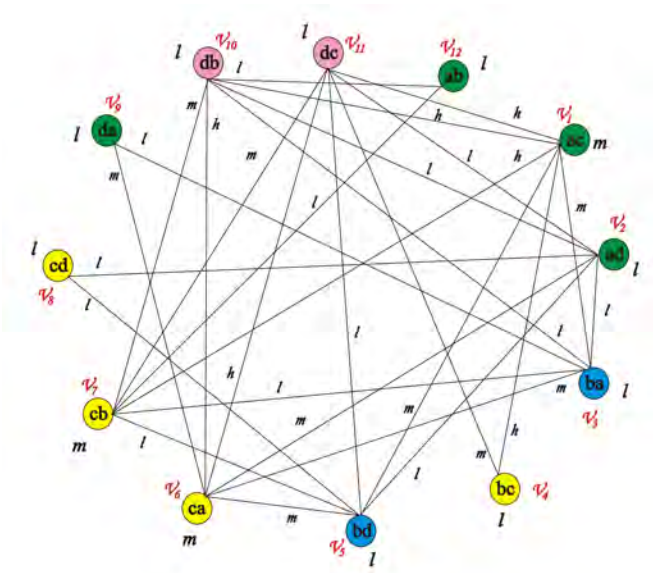
$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cb \\ l, & \text{jika } i = cd \\ l, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_i dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Arus Lalu Lintas pada Minggu Pagi

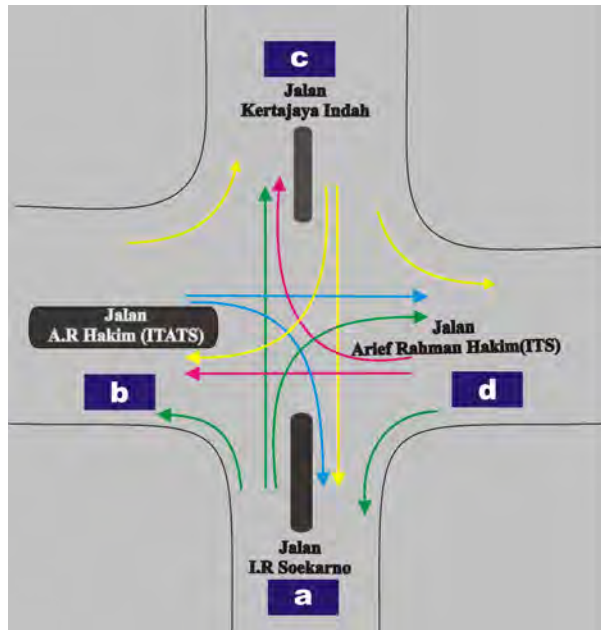
| Arus Lalu Lintas yang Berjalan | | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|--------|
| Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 |
| ac,ad,da,ab | ca,cb,cd,bc | ba, bd | db,dc |



Gambar 4.14: Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi

Gambar 4.14 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Anak panah yang berwarna sama bisa berjalan bersama-sama. Dalam hal ini warna hijau mewakili jalan di fase 1. Jadi arus (dari Ir. Soekarno menuju A.R Hakim (ITATS), dari Ir. Soekarno menuju Kertajaya Indah, dari Ir. Soekarno menuju A.R Hakim (ITS), dan dari A.R Hakim (ITS) menuju Ir. Soekarno) berjalan bersamaan, warna biru mewakili jalan di fase 3. Jadi arus (dari A.R Hakim (ITATS) menuju Ir. Soekarno ,dan menuju A.R Hakim (ITATS) menuju A.R Hakim (ITS)) berjalan bersamaan, warna kuning mewakili jalan di fase 2. Jadi arus (dari A.R Hakim (ITATS) menuju Kertajaya Indah, dari Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno, dari Kertajaya Indah menuju A.R

Hakim (ITS), dan dari Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITATS)) berjalan bersamaan, dan warna merah mewakili jalan di fase 4. Jadi arus (dari A.R Hakim (ITS) menuju Kertajaya Indah ,dan menuju A.R Hakim (ITS) menuju A.R Hakim (ITATS)) berjalan bersamaan.



Gambar 4.15: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi

Sisa 3 kemungkinan yang lain adalah $\gamma_8 \cap \gamma_3$, $\gamma_5 \cap \gamma_{11}$ dan $\gamma_2 \cap \gamma_{11}$. Dalam hal ini diambil $\gamma_8 \cap \gamma_3$. Jadi $\Gamma' = \{\gamma_8, \gamma_3\}$. Sehingga γ_3 diwarnai misalkan dengan C_1 (biru) dan γ_8 diwarnai dengan C_2 (merah muda). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_{4,5}, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}\} - \\ &\quad \{v_3, v_4, v_5, v_{12}, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}\} \\ &= \{v_1, v_2, v_6, v_7\} \end{aligned}$$

Sekarang kita peroleh 4 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \gamma_6^*, \gamma_7^*\}$ dengan

$$\begin{aligned} \gamma_1^* &= \{v_1, v_2\} & \gamma_6^* &= \{v_6, v_7\} \\ \gamma_2^* &= \{v_2, v_1\} & \gamma_7^* &= \{v_7, v_6\} \end{aligned}$$

Karena $\gamma_1^* = \gamma_2^*$ dan $\gamma_6^* = \gamma_7^*$, maka bisa diambil keluarga $\Gamma = \{\gamma_1^*, \gamma_6^*\}$ yang telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum. Sehingga γ_1^* diwarnai dengan C_3 (hijau) dan γ_6^* dengan C_4 (kuning)

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_3, \gamma_8, \gamma_1^*, \gamma_6^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.3.1.

$$\gamma_3(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bc \\ l, & \text{jika } i = bd \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_8(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = cd \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

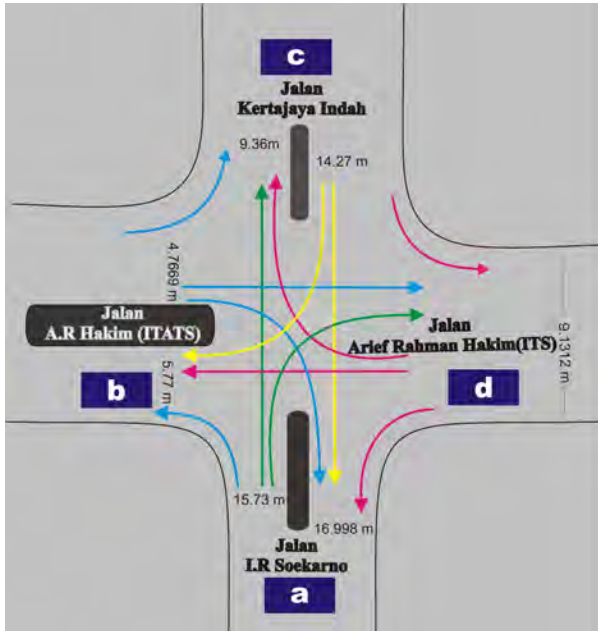
$$\gamma_1^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ca \\ l, & \text{jika } i = cb \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22: Arus Lalu Lintas pada Minggu Pagi

| Arus Lalu Lintas yang Berjalan | | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|--------|
| Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 |
| ba,bc,bd,ab | cd,da,db,dc | ac, ad | ca,cb |

Kondisi nyata ruas jalan sesuai klasifikasi pewarnaan graf fuzzy dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_t saat Minggu Pagi

Sisa 2 kemungkinan yang lain adalah $\gamma_5 \cap \gamma_{11}$ dan $\gamma_2 \cap \gamma_{11}$. Dalam hal ini diambil $\gamma_5 \cap \gamma_{11}$. Jadi $\Gamma' = \{\gamma_5, \gamma_{11}\}$. Sehingga γ_5 diwarnai misalkan dengan C_1 (merah muda) dan γ_{11} diwarnai dengan C_2 (biru). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_{4,5}, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}\} - \\ &\quad \{v_5, v_9, v_{10}, v_4, v_{11}, v_{12}, v_3, v_8\} \\ &= \{v_1, v_2, v_6, v_7\} \end{aligned}$$

Sekarang kita peroleh 4 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \gamma_6^*, \gamma_7^*\}$ dengan

$$\begin{aligned} \gamma_1^* &= \{v_1, v_2\} & \gamma_6^* &= \{v_6, v_7\} \\ \gamma_2^* &= \{v_2, v_1\} & \gamma_7^* &= \{v_7, v_6\} \end{aligned}$$

Karena $\gamma_1^* = \gamma_2^*$ dan $\gamma_6^* = \gamma_7^*$, maka bisa diambil keluarga $\Gamma = \{\gamma_1^*, \gamma_6^*\}$ yang telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum. Sehingga γ_1^* diwarnai dengan C_3 (hijau) dan γ_6^* dengan C_4 (kuning).

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_3, \gamma_8, \gamma_1^*, \gamma_6^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.3.1.

$$\gamma_5(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = bd \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{11}(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = dc \\ l, & \text{jika } i = ab \\ l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = cd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

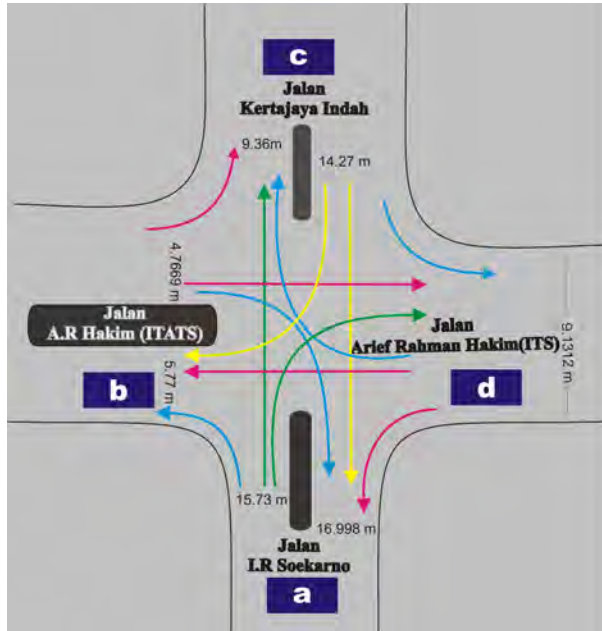
$$\gamma_1^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cb \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23: Arus Lalu Lintas pada Minggu Pagi

| Arus Lalu Lintas yang Berjalan | | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|--------|
| Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 |
| bd,da,db,bc | dc,ab,ba,cd | ac, ad | ca,cb |

Kondisi nyata ruas jalan sesuai klasifikasi pewarnaan graf fuzzy bisa dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_l saat Minggu Pagi

Sisa 1 kemungkinan yang terakhir yakni $\gamma_2 \cap \gamma_{11}$. Jadi $\Gamma' = \{\gamma_2, \gamma_{11}\}$. Sehingga γ_2 diwarnai misalkan dengan C_1 (hijau) dan γ_{11} diwarnai dengan C_2 (merah muda). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_{4,5}, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}\} - \\ &\quad \{v_2, v_4, v_7, v_9, v_3, v_8, v_{11}, v_{12}\} \\ &= \{v_1, v_5, v_6, v_{10}\} \end{aligned}$$

Sekarang kita peroleh 4 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_1^*, \gamma_5^*, \gamma_6^*, \gamma_{10}^*\}$ dengan

$$\begin{aligned} \gamma_1^* &= \{v_1, v_6\} & \gamma_5^* &= \{v_5, v_{10}\} \\ \gamma_6^* &= \{v_6, v_1\} & \gamma_{10}^* &= \{v_{10}, v_5\} \end{aligned}$$

Karena $\gamma_1^* = \gamma_6^*$ dan $\gamma_5^* = \gamma_{10}^*$, maka bisa diambil keluarga $\Gamma = \{\gamma_1^*, \gamma_5^*\}$ yang telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum. Sehingga γ_1^* diwarnai dengan C_3 (kuning) dan γ_5^* dengan C_4 (biru)

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_3, \gamma_8, \gamma_1^*, \gamma_6^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.3.1.

$$\gamma_2(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = bc \\ m, & \text{jika } i = cb \\ l, & \text{jika } i = da \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{11}(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = dc \\ l, & \text{jika } i = ab \\ l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

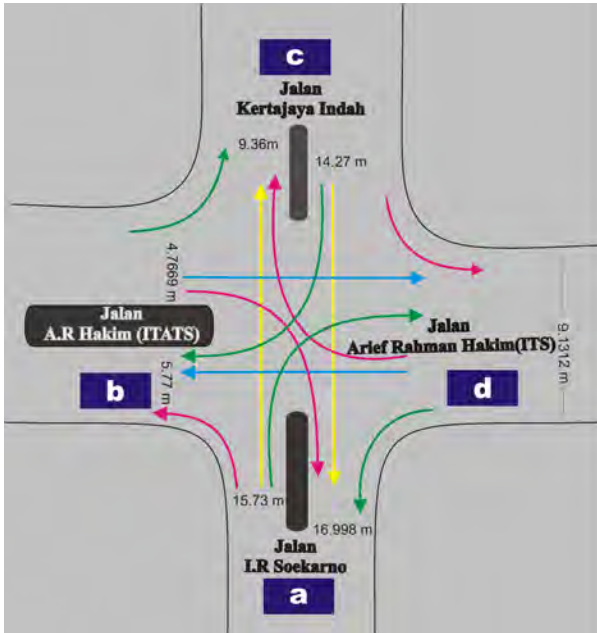
$$\gamma_1^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ m, & \text{jika } i = ca \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_5^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = bd \\ l, & \text{jika } i = db \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24: Arus Lalu Lintas pada Minggu Pagi

| Arus Lalu Lintas yang Berjalan | | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|--------|
| Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 |
| ad,bc,cb,da | dc,ab,ba,ab | ac, ca | bd,db |

Kondisi nyata ruas jalan sesuai klasifikasi pewarnaan graf fuzzy dapat dilihat pada Gambar 4.18.

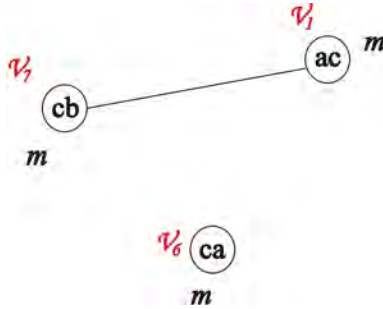


Gambar 4.18: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_t saat Minggu Pagi

Karena terdapat 4 model pewarnaan graf fuzzy, maka keempat pewarnaan tersebut bisa menjadi pertimbangan Dinas Perhubungan Kota Surabaya dalam mengontrol siklus lalu lintas. Namun penulis merekomendasikan model pewarnaan yang pertama pada Gambar 4.15 karena model pewarnaan ini dianggap paling sesuai untuk diterapkan pada persimpangan Jalan Ir. Soekarno-A.R Hakim-Kertajaya Indah dilihat dari efisiensi lampu lalu lintas yang sudah ada.

Sedangkan untuk $\alpha = m \rightarrow G_m = (V_m, E_m)$ dengan

$V_m = \{ac, ca, cb | \sigma \geq m\}$ dan $E_l = \{ac | \mu \geq m\}$



Gambar 4.19: Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi

Dari Gambar 4.19 diperoleh simpul $V = \{v_1, v_6, v_7\}$ dan dimisalkan sebuah keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_7\}$. Kemudian dimasukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu himpunan γ dan di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga.

$$\gamma_1 = \{v_1, v_6\}$$

$$\gamma_6 = \{v_6, v_7\}$$

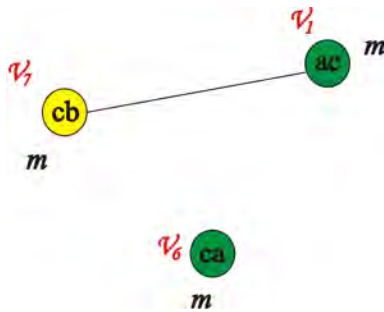
$$\gamma_7 = \{v_7, v_6\}$$

Karena $\gamma_6 = \gamma_7$, maka terbentuk keluarga Γ yang baru, yakni $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_6\}$. Semua anggota keluarga Γ' telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k = |\gamma_j|$ adalah maksimum, maka γ_1 dapat diwarnai dengan C_1 (hijau) sedangkan γ_6 diwarnai dengan C_2 (kuning) seperti gambar 4.16 yang diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti gambar 4.17.

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_m) = 2$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

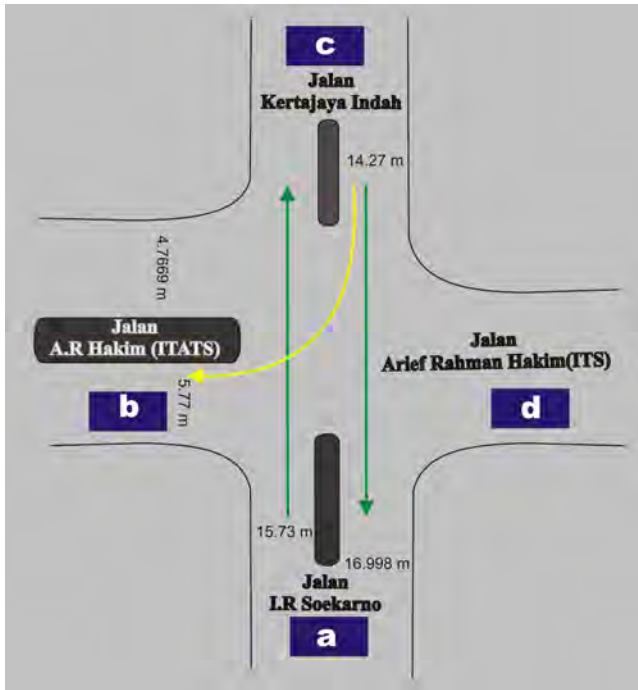
$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ m, & \text{jika } i = ca \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$

$$\gamma_6(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = cb \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$



Gambar 4.20: Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi

Pewarnaan graf fuzzy dengan klasifikasi m (*medium*) ditunjukkan pada Gambar 4.20. Jalur dengan warna yang sama dapat berjalan bersama-sama karena tidak akan mengakibatkan kecelakaan. Jadi pengguna jalan dapat menggunakan jalur dengan aman ketika melalu jalur berwarna sama.



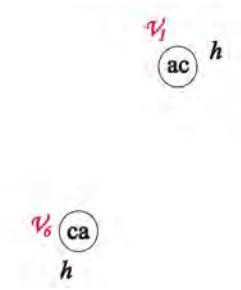
Gambar 4.21: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Pagi

4.3.2 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Minggu Siang

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy saat Minggu Siang.

Untuk $\alpha = h \rightarrow G_h = (V_h, E_h)$ dengan

$$V_h = \{ac, ca | \sigma \geq h\} \text{ dan } E_h = \{|\mu \geq h\}$$

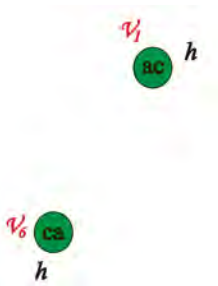


Gambar 4.22: Graf Fuzzy G_h Minggu Siang

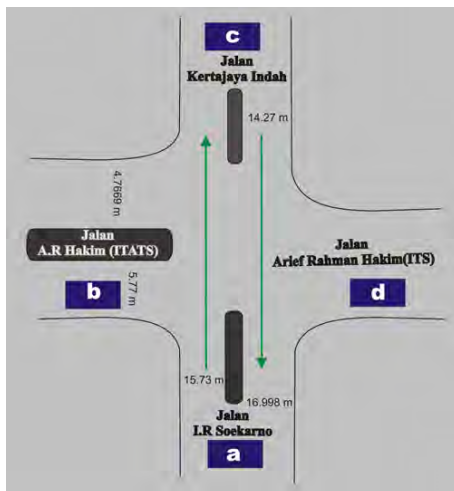
Graf fuzzy ini tidak mempunyai sisi, maka dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_h) = 1$, dengan $V = \{v_1, v_6\}$ dan dibentuk $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6\}$ dengan $\gamma_1 = \{v_1, v_6\}$ telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k, \sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum, memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1. Sehingga γ_1 dapat diwarnai dengan C_1 (hijau).

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ h, & \text{jika } i = ca \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$

Pewarnaan graf fuzzy dengan klasifikasi h (*high*) ditunjukkan pada Gambar 4.23 dan arus lalu lintas terlihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.23: Pewarnaan Graf Fuzzy G_h Minggu Siang



Gambar 4.24: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_h saat Minggu Siang

Sedangkan untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

$$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\} \text{ dan}$$

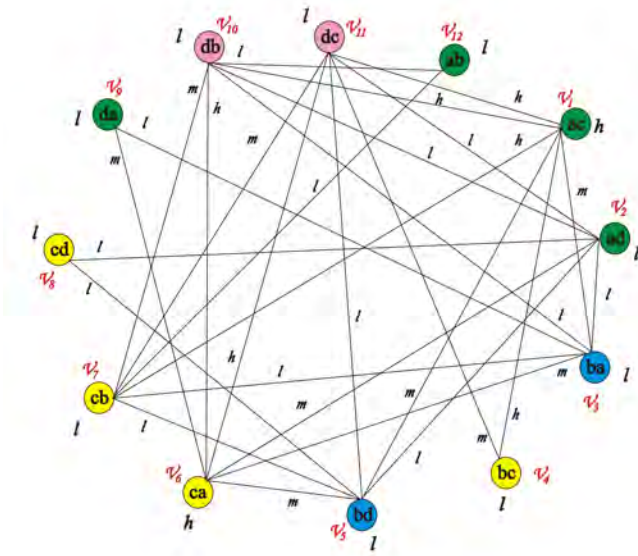
$$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, \\ ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, \\ ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, \\ ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Sama seperti pembahasan klasifikasi untuk $\alpha = l$ pada graf fuzzy minggu pagi, dari 12 anggota keluarga Γ direduksi menjadi $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

γ_1 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwanai dengan C_2 (kuning), γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda). Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ca \\ l, & \text{jika } i = cb \\ l, & \text{jika } i = cd \\ l, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.25: Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Minggu Siang

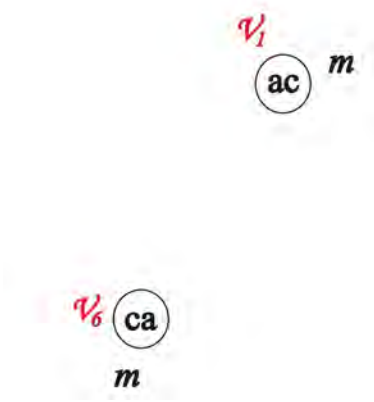
Gambar 4.25 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

4.3.3 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Minggu Sore

Berdasarkan Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy Minggu sore.

Untuk $\alpha = m \rightarrow G_m = (V_m, E_m)$ dengan

$$V_m = \{ac, ca | \sigma \geq m\} \text{ dan } E_l = \{|\mu \geq m\}$$



Gambar 4.26: Graf Fuzzy G_m Minggu Sore

Dari Gambar 4.26 diperoleh simpul $V = \{v_1, v_6\}$ dan dimisalkan sebuah keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6\}$. Kemudian dimasukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu himpunan dan di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga. $\gamma_1 = \{v_1, v_6\}$. Semua anggota keluarga Γ telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k, \sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum, maka γ_1 dapat diwarnai dengan C_1 (hijau).

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_m) = 1$ karena telah terbentuk keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi

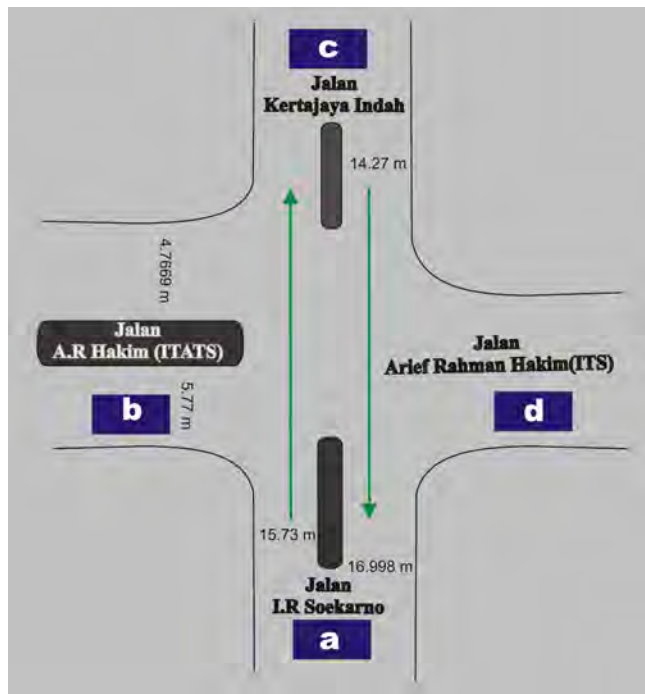
definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ m, & \text{jika } i = ca \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$



Gambar 4.27: Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Sore

Gambar 4.27 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.28.



Gambar 4.28: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Minggu Sore

Sedangkan untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

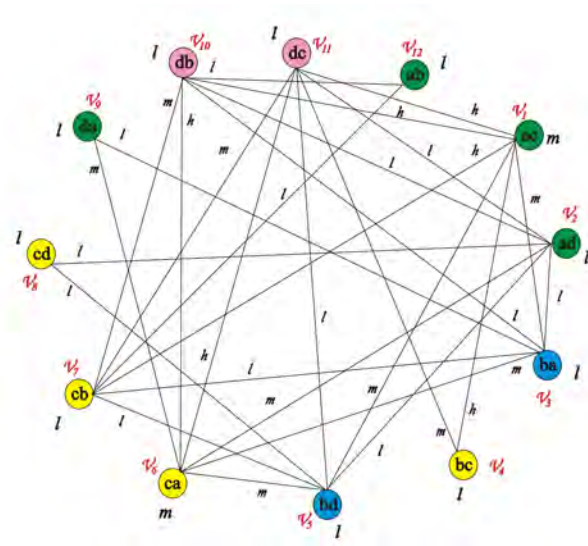
$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\}$ dan

$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$

Sama seperti pembahasan klasifikasi untuk $\alpha = l$ pada graf fuzzy Minggu pagi dan Minggu siang dari 12 anggota keluarga Γ direduksi menjadi $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1. γ_1 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwanai dengan C_2 (kuning), γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda). Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ca \\ l, & \text{jika } i = cb \\ l, & \text{jika } i = cd \\ l, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.29: Pewarnaan Graf Fuzzy G_I Minggu Sore

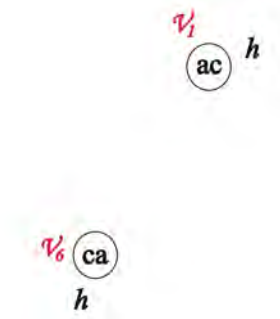
Gambar 4.29 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_I dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

4.3.4 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Senin Pagi

Berdasarkan Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy Senin pagi.

Untuk $\alpha = h \rightarrow G_h = (V_h, E_h)$ dengan

$$V_h = \{ac, ca | \sigma \geq h\} \text{ dan } E_h = \{|\mu \geq h\}$$



Gambar 4.30: Graf Fuzzy G_h Senin Pagi

Pewarnaan graf fuzzy G_h Senin pagi dapat dilihat pada pembahasan pewarnaan graf fuzzy G_h Minggu siang dengan kesimpulan bahwa $\chi(G_h) = 1$.

Sedangkan untuk $\alpha = m \rightarrow G_m = (V_m, E_m)$ dengan

$$V_m = \{ac, ad, bc, bd, ca, cb, cd, db, dc | \sigma \geq m\} \text{ dan}$$

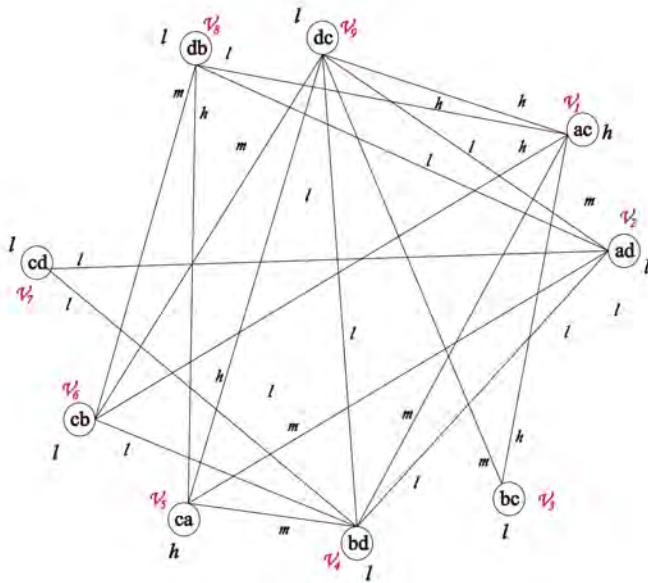
$$E_m = \{ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, ad\ bd, \\ ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, bc\ dc, bd\ ca, \\ bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, ca\ db, ca\ dc, cb\ db, \\ cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Jumlah simpul graf fuzzy untuk $\alpha = m$ adalah 9 buah dengan penotasian yang baru

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9\}$$

Untuk sementara akan dimisalkan sebuah keluarga Γ sebagai berikut

$$\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7, \gamma_8, \gamma_9\}$$



Gambar 4.31: Graf Fuzzy G_m Senin Pagi

Dengan melihat Gambar 4.31 di atas, kita masukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu

$$\begin{array}{ll}
\gamma_1 & = \{v_1, v_2\} & \gamma_7 & = \{v_7, v_8, v_9\} \\
\gamma_2 & = \{v_2, v_3, v_6\} & \gamma_8 & = \{v_8, v_9, v_7\} \\
\gamma_3 & = \{v_3, v_4, v_8\} & \gamma_9 & = \{v_9, v_7, v_8\} \\
\gamma_4 & = \{v_4, v_5, v_8, v_3\} \\
\gamma_5 & = \{v_5, v_6, v_7, v_3\} \\
\gamma_6 & = \{v_6, v_7, v_3, v_5\}
\end{array}$$

himpunan γ . Di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga.

Terdapat beberapa γ yang memiliki anggota himpunan yang sama. Yakni, $\gamma_7 = \gamma_8 = \gamma_9$ dan $\gamma_5 = \gamma_6$. Jadi sekarang kita punya keluarga Γ yang baru, beranggotakan $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_5, \gamma_7\}$. Anggota-anggota Γ' tersebut harus memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum.

Diperoleh 4 kemungkinan yang memenuhi syarat di atas. $|\gamma_1 \cup \gamma_3| = 5$, $|\gamma_1 \cup \gamma_5| = 6$, $|\gamma_1 \cup \gamma_7| = 5$ dan $|\gamma_2 \cup \gamma_7| = 6$. Karena yang memiliki jumlah maksimum simpul 6 ada dua, maka bisa diambil salah sampel yang akan digunakan untuk pewarnaan. Dalam hal ini diambil $\gamma_2 \cap \gamma_7$. Jadi $\Gamma'' = \{\gamma_2, \gamma_7\}$. Sehingga γ_2 diwarnai misalkan dengan C_1 (hijau) dan γ_7 diwarnai dengan C_2 (kuning). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

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

Sekarang kita peroleh 3 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk

kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_1^*, \gamma_4^*, \gamma_5^*\}$ dengan

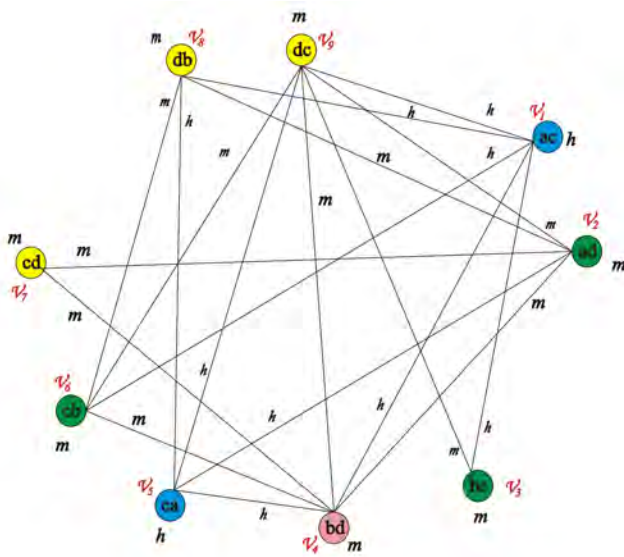
$$\begin{aligned}\gamma_1^* &= \{v_1, v_5\} \\ \gamma_4^* &= \{v_4\} \\ \gamma_5^* &= \{v_5, v_1\}\end{aligned}$$

Karena $\gamma_1 = \gamma_5$, maka terbentuk keluarga Γ yang baru, yakni $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_4\}$. Semua anggota keluarga Γ' telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k, \sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum, maka γ_1 dapat diwarnai dengan C_1 (biru) sedangkan γ_6 diwarnai dengan C_2 (merah muda).

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_m) = 4$ dengan keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_2, \gamma_7, \gamma_1, \gamma_5\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

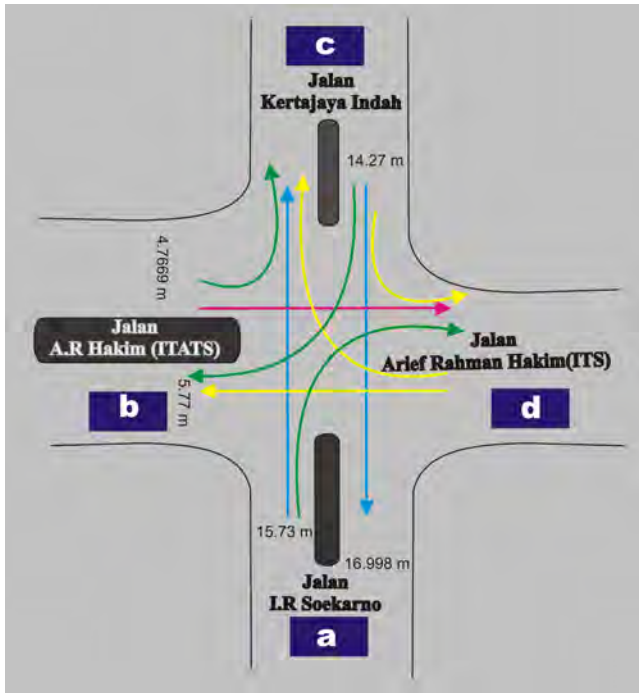
$$\gamma_2(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ad \\ m, & \text{jika } i = bc \\ m, & \text{jika } i = cb \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_7(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = cd \\ m, & \text{jika } i = db \\ m, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ h, & \text{jika } i = ca \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases} \quad \gamma_5(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = cb \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.32: Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Pagi

Gambar 4.32 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.33.



Gambar 4.33: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Pagi

Sedangkan untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

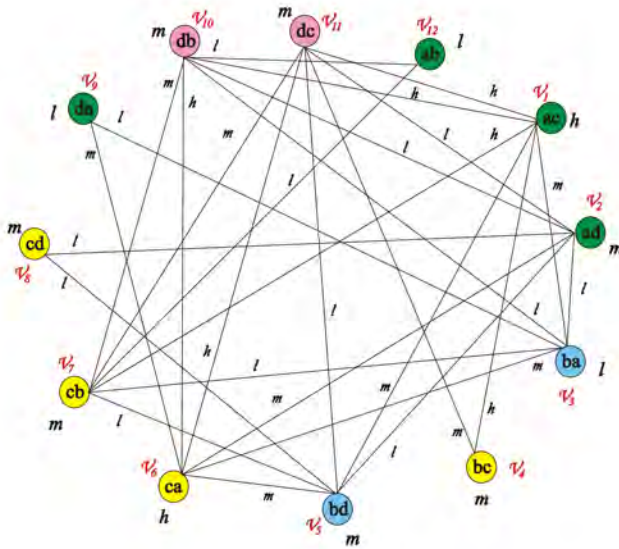
$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\}$ dan

$$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, \\ ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, \\ ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, \\ ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Sama seperti pembahasan klasifikasi untuk $\alpha = l$ pada graf fuzzy Minggu pagi, Minggu siang, dan Minggu sore bahwa dari 12 anggota keluarga Γ direduksi menjadi $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1. γ_1 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwarnai dengan C_2 (kuning), γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda). Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ m, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cb \\ m, & \text{jika } i = cd \\ m, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ m, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = db \\ m, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.34: Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Senin Pagi

Gambar 4.34 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

4.3.5 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Senin Siang

Berdasarkan Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy Senin siang.

Untuk $\alpha = h \rightarrow G_h = (V_h, E_h)$ dengan

$$V_h = \{ac | \sigma \geq h\} \text{ dan } E_h = \{|\mu \geq h\}$$



Gambar 4.35: Graf Fuzzy G_h Senin Siang

Pada Gambar 4.35 graf fuzzy untuk $\alpha = h$ hanya memiliki satu simpul dan tidak memiliki sisi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_h) = 1$ seperti Gambar 4.36

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$



Gambar 4.36: Pewarnaan Graf Fuzzy G_h Senin Siang

Sedangkan untuk $\alpha = m \rightarrow G_m = (V_m, E_m)$ dengan

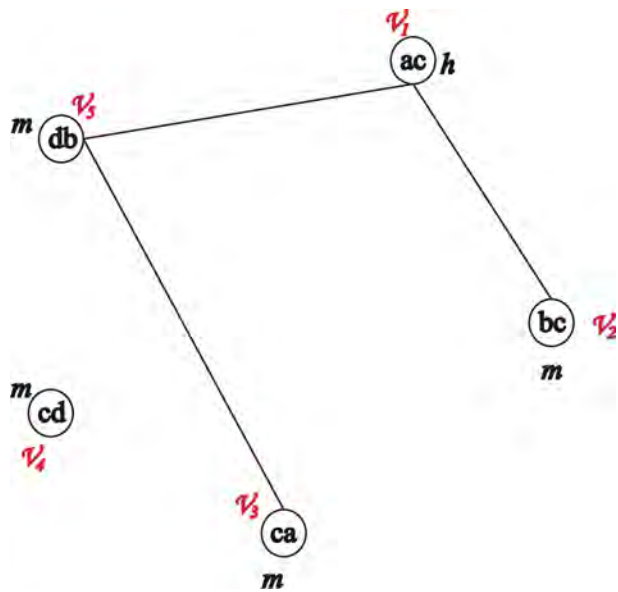
$$V_m = \{ac, bc, ca, cd, db | \sigma \geq m\}$$

$$E_m = \{ac bc, ac db, bd ca | \mu \geq l\}$$

Jumlah simpul graf fuzzy untuk $\alpha = m$ adalah 5 buah dengan penotasian yang baru $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$. Misalkan sebuah keluarga $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5\}$

Dengan melihat Gambar 4.37 di atas, kita masukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu himpunan γ . Di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga.

$$\begin{array}{ll} \gamma_1 = \{v_1, v_3, v_4\} & \gamma_4 = \{v_4, v_5, v_2\} \\ \gamma_2 = \{v_2, v_3, v_4\} & \gamma_5 = \{v_5, v_2, v_4\} \\ \gamma_3 = \{v_3, v_4, v_1\} & \end{array}$$



Gambar 4.37: Graf Fuzzy G_m Senin Siang

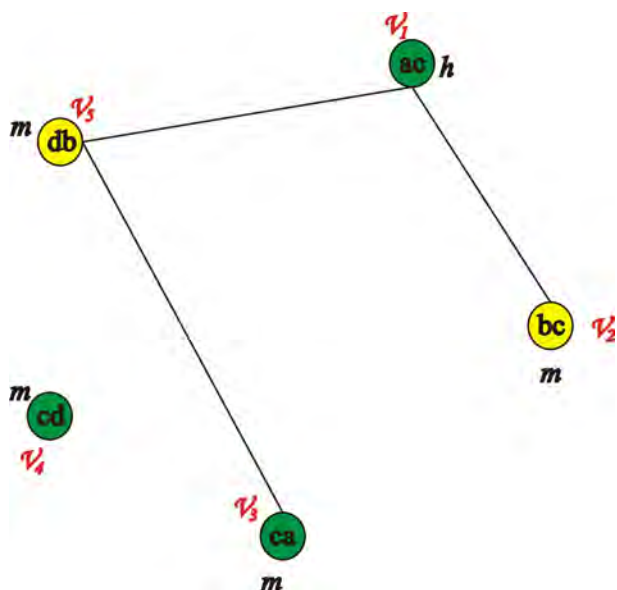
Terdapat beberapa γ yang memiliki anggota himpunan yang sama. Yakni, $\gamma_1 = \gamma_3$ dan $\gamma_4 = \gamma_5$. Jadi sekarang kita punya keluarga Γ yang baru, beranggotakan $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_4\}$. Karena irisan dari dua anggota Γ tidak ada yang memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j|$ adalah maksimum, maka bisa diambil salah sampel yang akan digunakan untuk pewarnaan. Dalam hal ini diambil γ_1 . Dinotasikan kembali $\Gamma'' = \{\gamma_1\}$. Sehingga γ_1 diwarnai misalkan dengan C_1 (hijau) dan sisa simpul yang lainnya diwarnai dengan cara misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} - \{v_1, v_3, v_4\} \\ &= \{v_2, v_5\} \end{aligned}$$

Sekarang kita peroleh 2 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. Oleh karena itu perlu dibentuk kembali menjadi keluarga $\Gamma^* = \{\gamma_2^*\}$ dengan $\gamma_2^* = \{v_2, v_5\}$. Semua anggota keluarga Γ^* telah memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k |\gamma_j^*|$ adalah maksimum, maka γ_2^* dapat diwarnai dengan C_2 (kuning).

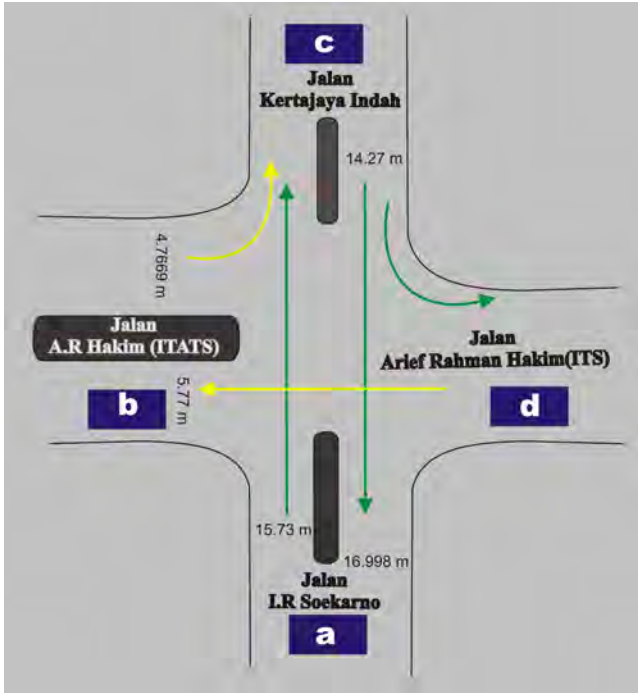
Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_m) = 2$ dengan keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ m, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_2^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = bc \\ m, & \text{jika } i = db \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.38: Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Siang

Pada klasifikasi $m(\text{medium})$ jalur dengan warna yang sama dapat berjalan bersama-sama karena tidak akan mengakibatkan kecelakaan. Jadi pengguna jalan dapat menggunakan jalur dengan aman ketika melalu jalur berwarna sama.



Gambar 4.39: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Siang

Sedangkan untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

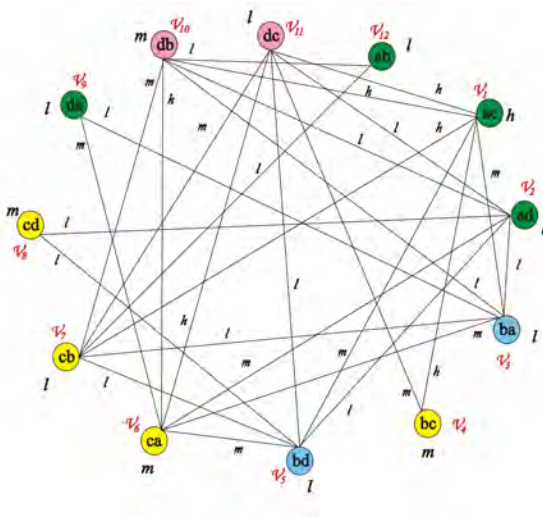
$$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\} \text{ dan}$$

$$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, \\ ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, \\ ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, \\ ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Sama seperti pembahasan klasifikasi untuk $\alpha = l$ pada graf fuzzy Minggu pagi, Minggu siang, dan Minggu sore bahwa dari 12 anggota keluarga Γ direduksi menjadi $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1. γ_1 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwarnai dengan C_2 (kuning), γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda). Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = ca \\ l, & \text{jika } i = cb \\ m, & \text{jika } i = cd \\ m, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = db \\ l, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.40: Pewarnaan Graf Fuzzy G_I Senin Siang

Gambar 4.40 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_I dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

4.3.6 Pewarnaan Graf Fuzzy saat Senin Sore

Berdasarkan Tabel 4.19 dan Tabel 4.20 akan ditentukan himpunan α -cut dari graf fuzzy Senin sore.

Untuk $\alpha = h \rightarrow G_h = (V_h, E_h)$ dengan

$$V_h = \{ac, ca | \sigma \geq h\} \text{ dan } E_h = \{|\mu \geq h\}$$

Pewarnaan graf fuzzy G_h Senin sore dapat dilihat pada pembahasan pewarnaan graf fuzzy G_h Minggu siang dengan kesimpulan bahwa $\chi(G_h) = 1$.

Sedangkan untuk $\alpha = m \rightarrow G_m = (V_m, E_m)$ dengan

$$V_m = \{ac, bc, ca, cb, cd, db, dc | \sigma \geq m\} \text{ dan}$$

$$E_m = \{ac\ bc, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, bc\ dc, ca\ db, ca\ dc, \\ cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

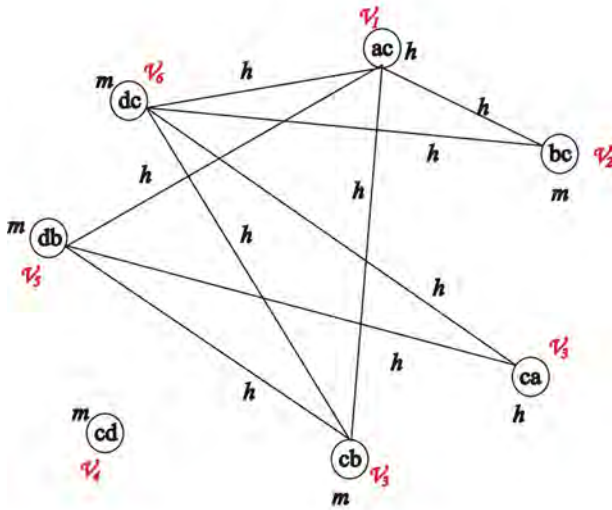
Jumlah simpul graf fuzzy untuk $\alpha = m$ adalah 7 buah dengan penotasian yang baru

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$$

Untuk sementara akan dimisalkan sebuah keluarga Γ sebagai berikut

$$\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6, \gamma_7\}$$

Dengan melihat Gambar 4.41 berikut ini, kita masukkan simpul yang tidak bertetangga masuk ke dalam satu himpunan γ . Di antara simpul yang sudah masuk dalam anggota himpunan juga tidak boleh saling bertetangga.

Gambar 4.41: Graf Fuzzy G_m Senin Sore

$$\begin{array}{ll}
 \gamma_1 = \{v_1, v_3, v_7\} & \gamma_5 = \{v_5, v_6\} \\
 \gamma_2 = \{v_2, v_3, v_4, v_7\} & \gamma_6 = \{v_6, v_5\} \\
 \gamma_3 = \{v_3, v_4, v_2\} & \gamma_7 = \{v_7, v_1, v_3\} \\
 \gamma_4 = \{v_4, v_2, v_3\} &
 \end{array}$$

Terdapat beberapa γ yang memiliki anggota himpunan yang sama. Yakni, $\gamma_3 = \gamma_4$, $\gamma_5 = \gamma_6$ dan $\gamma_1 = \gamma_7$. Jadi sekarang kita punya keluarga Γ yang baru, beranggotakan $\Gamma' = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_5\}$. Anggota-anggota Γ' tersebut harus memenuhi syarat $\gamma_i \cap \gamma_j = \emptyset$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$ dan $\sum_{j=1}^k = |\gamma_j|$ adalah maksimum.

Diperoleh 4 kemungkinan yang memenuhi syarat di atas. $|\gamma_1 \cup \gamma_5| = 5$, $|\gamma_2 \cup \gamma_5| = 6$, dan $|\gamma_3 \cup \gamma_5| = 5$. Karena yang

memiliki jumlah maksimum simpul 6 adalah $\gamma_2 \cup \gamma_5$ maka dinotasikan kembali $\Gamma''' = \{\gamma_2, \gamma_5\}$. Sehingga γ_2 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_5 diwarnai dengan C_2 (kuning). Untuk mewarnai simpul yang lainnya, misalkan $S = V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j$, maka

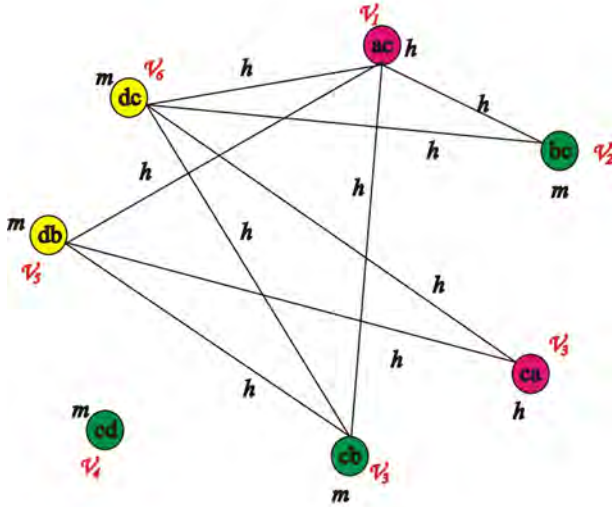
$$\begin{aligned} S &= V - \bigcup_{j=1}^k \gamma_j \\ &= \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\} - \{v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\} \\ &= \{v_1\} \end{aligned}$$

Sekarang kita peroleh 1 simpul yang masih belum terwarnai dengan baik. $\Gamma^* = \{\gamma_1^*\}$ dengan $\gamma_1^* = \{v_1\}$. Kemudian γ_1^* diwarnai dengan C_3 (merah muda).

Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_m) = 3$ dengan keluarga himpunan $\Gamma = \{\gamma_2, \gamma_5, \gamma_1^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1.

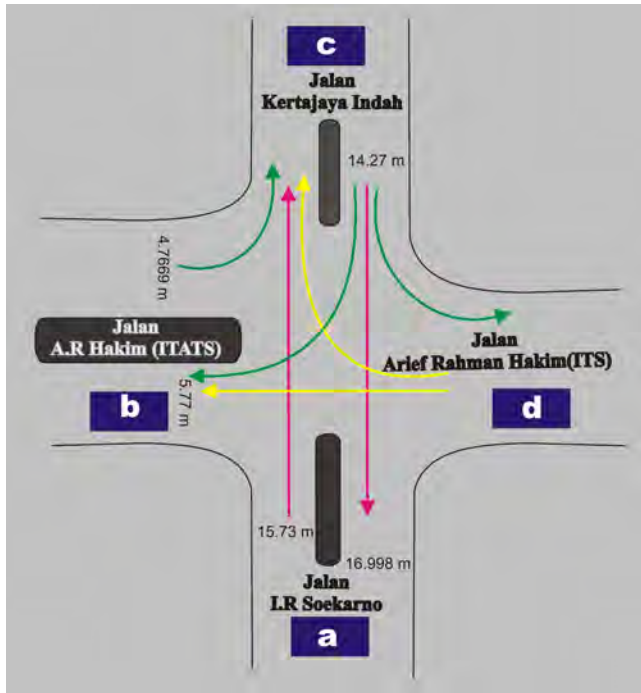
$$\gamma_2(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = bc \\ h, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cb \\ m, & \text{jika } i = cd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_5(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = db \\ m, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_1^*(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang lain} \end{cases}$$



Gambar 4.42: Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Sore

Gambar 4.42 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.43.



Gambar 4.43: Rute Jalur dengan Pewarnaan Graf Fuzzy G_m Senin Sore

Sedangkan untuk $\alpha = l \rightarrow G_l = (V_l, E_l)$ dengan

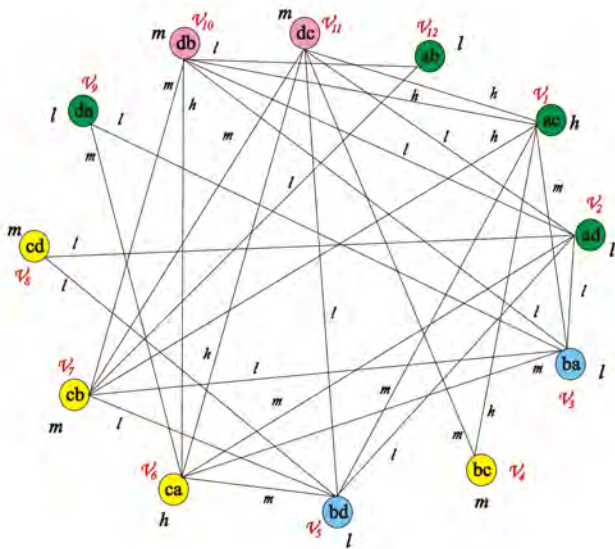
$$V_l = \{ab, ac, ad, ba, bc, bd, ca, cb, cd, da, db, dc | \sigma \geq l\} \text{ dan}$$

$$E_l = \{ab\ cb, ab\ db, ac\ ba, ac\ bc, ac\ bd, ac\ cb, ac\ db, ac\ dc, \\ ad\ ba, ad\ bd, ad\ ca, ad\ cd, ad\ db, ad\ dc, ba\ ca, ba\ cb, \\ ba\ da, ba\ db, bc\ dc, bd\ ca, bd\ cb, bd\ cd, bd\ dc, ca\ da, \\ ca\ db, ca\ dc, cb\ db, cb\ dc | \mu \geq l\}$$

Sama seperti pembahasan klasifikasi untuk $\alpha = l$ pada graf fuzzy Minggu pagi, Minggu siang, dan Minggu sore bahwa dari 12 anggota keluarga Γ direduksi menjadi $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_6, \gamma_3^*, \gamma_{10}^*\}$ yang masing-masing simpulnya telah diwarnai dengan baik dan memenuhi definisi pewarnaan simpul 2.4.1. γ_1 diwarnai dengan C_1 (hijau) dan γ_6 diwarnai dengan C_2 (kuning), γ_3^* diwarnai dengan C_3 (biru) dan γ_{10}^* dengan C_4 (merah muda). Jadi dapat disimpulkan bahwa $\chi(G_l) = 4$

$$\gamma_1(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ac \\ l, & \text{jika } i = ad \\ l, & \text{jika } i = da \\ l, & \text{jika } i = ab \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_6(v_i) = \begin{cases} h, & \text{jika } i = ca \\ m, & \text{jika } i = cb \\ m, & \text{jika } i = cd \\ m, & \text{jika } i = bc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$

$$\gamma_3^*(v_i) = \begin{cases} l, & \text{jika } i = ba \\ l, & \text{jika } i = bd \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases} \quad \gamma_{10}^*(v_i) = \begin{cases} m, & \text{jika } i = db \\ m, & \text{jika } i = dc \\ 0, & \text{jika } i \text{ yang} \\ & \text{lain} \end{cases}$$



Gambar 4.44: Pewarnaan Graf Fuzzy G_l Senin Sore

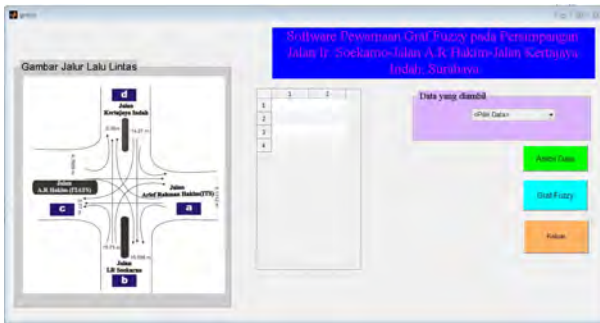
Gambar 4.44 adalah pewarnaan graf fuzzy yang kemudian diterapkan kembali ke dalam kondisi nyata di ruas jalan seperti Gambar 4.15. Berdasarkan pewarnaan graf fuzzy G_l dengan bilangan kromatik sejumlah 4, maka dapat diperoleh 4 fase lalu lintas yang ditunjukkan pada Tabel 4.21.

4.4 Implementasi Pewarnaan Graf Fuzzy

4.4.1 Pengembangan Software Matlab

Pewarnaan graf fuzzy ini disimulasikan dengan bantuan program matlab 2010. Pengembangan program pewarnaan graf fuzzy ini menggunakan matlab 2010a. Hasil pewarnaan graf fuzzy pada Gambar 8 diperoleh dari langkah-langkah berikut ini.

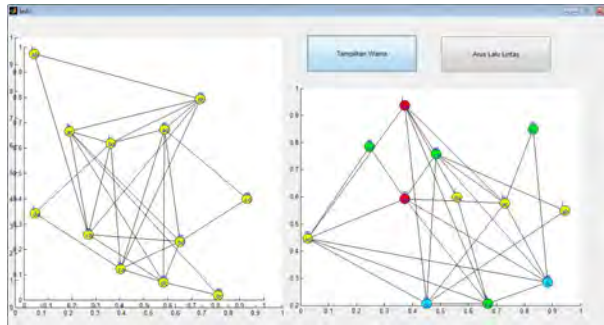
1. Masukan data jumlah kendaraan berupa excel beserta pelabelan sesuai arus pada gambar lalu lintas nyata. Tampilan awal software terlihat pada Gambar 4.45



Gambar 4.45: Tampilan Awal Software

2. Proses fuzzifikasi mengubah data tersebut ke dalam bentuk nilai keanggotaan fuzzy (bobot simpul dan sisi).
3. Pembentukan Graf fuzzy.
4. Dilakukan pewarnaan graf fuzzy seperti Gambar 4.46 dan diperoleh bilangan kromatiknya.

Listing program pewarnaan graf fuzzy bisa dilihat di lampiran.



Gambar 4.46: Pewarnaan Graf Fuzzy

4.4.2 Waktu Lampu Hijau

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, fase pertama arus lalu lintas adalah $da-db-dc-bc-cd$, fase kedua adalah $ab-ac-ad-bc-cd$, fase ketiga adalah $ba-bc-bd-cd$, dan fase keempat adalah $ca-cb-cd-bc$. Siklus berjalan dari fase pertama kemudian lanjut ke fase kedua, fase ketiga, dan fase keempat secara berurutan. Pada kondisi nyata lama waktu lampu hijau di persimpangan Jalan Ir. Soekarno untuk jalur (ab,ac,ad) adalah 58 detik untuk pagi, 46 detik untuk siang, dan 32 detik untuk sore. Jalur (ba, bd) lama waktu lampu hijau adalah 25 detik untuk pagi, 15 detik untuk siang dan 28 detik untuk sore. Jalur (ca, cb) lama waktu lampu hijau adalah 52 detik untuk pagi, 45 detik untuk siang dan 57 detik untuk sore. Jalur (da, db,dc) lama waktu lampu hijau adalah 38 detik untuk pagi, 25 detik untuk siang dan 38 detik untuk sore.

Karena jalur bc dan cd tidak memiliki lampu hijau padahal dua jalur tersebut termasuk jalur padat kendaraan, maka penulis akan merekomendasikan waktu hijau untuk dua jalur tersebut. Lama waktu hijau diperoleh dari rumus gerak lurus berubah beraturan (GLBB) berikut ini.

$$t = \frac{2s}{v_t} \times 3600$$

Dengan:

V_t = Kecepatan Konstan (kecepatan kendaraan melaju diasumsikan sama, yakni sebesar 20 km/jam)

S = Panjang antrian kendaraan+lebar jalan menuju persimpangan tujuan (km)

t = Waktu lampu hijau (detik)

Lebar jalan diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya, sedangkan jarak padat kendaraan diperoleh dengan mengukur panjang antrian kendaraan sesuai data yang didapat dari *survey traffic counting*. Ukuran tiap jenis kendaraan bermotor ditetapkan sebagai berikut motor (1×2.5 m), mobil (2×5 m), dan truk atau bus (2×8 m).

Tabel 4.25: Data Panjang Antrian Kendaraan dan Lebar Jalan saat Senin Pagi

| No | Nama Jalan | Panjang(m) | Lebar(m) |
|----|--|------------|----------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 75.5 | 20 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 62.5 | 23 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 98 | 47 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 87 | 46 |

Tabel 4.25 merupakan data jarak padat kendaraan dan lebar jalan, sedangkan Tabel 4.26 adalah hasil perhitungan waktu lampu hijau maksimal pada fase 2, yakni Jalan A.R Hakim(ITATS) menuju Jalan Kertajaya Indah, Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITS), Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS), dan Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno) saat Senin pagi.

Tabel 4.26: Waktu Lampu Hijau pada saat Senin Pagi

| No | Nama Jalan | Total Jarak (km) | Waktu Hijau(detik) |
|----|--|------------------|--------------------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 0.191 | 35 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 0.171 | 31 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 0.29 | 53 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 0.267 | 49 |

Total jarak diperoleh dari penjumlahan panjang antrian kendaraan dengan lebar jalan. Karena ukuran masih dalam satuan m, maka perlu diubah ke dalam satuan km. Waktu lampu hijau diperoleh dari total jarak dibagi dengan 20 km/jam dan dikali 3600.

Beriku ini contoh perhitungan untuk mendapatkan lama

waktu lampu hijau berdasarkan Tabel 4.20 dan Tabel 4.21

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{2s}{v_t} \times 3600 \\
 &= \frac{2(75.5 + 20)}{20} \times 3600 \\
 &= \frac{0.191}{20} \times 3600 \\
 &= 34.38 \\
 &= 35 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 diperoleh lama waktu lampu hijau rata-rata pada fase 2 saat pagi hari adalah

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{35 + 31 + 53 + 49}{4} \\
 &= \frac{168}{4} \\
 &= 42 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.27: Data Panjang Antrian Kendaraan dan Lebar Jalan saat Senin Siang

| No | Nama Jalan | Jarak(m) | Lebar(m) |
|----|--|----------|----------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 83 | 20 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 62.5 | 23 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 83 | 47 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 55.5 | 46 |

Tabel 4.27 merupakan data jarak padat kendaraan dan lebar jalan, sedangkan Tabel 4.28 adalah hasil perhitungan waktu lampu hijau maksimal pada fase 2, yakni Jalan A.R Hakim(ITATS) menuju Jalan Kertajaya Indah, Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITS), Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS), dan Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno) saat Senin siang.

Tabel 4.28: Waktu Lampu Hijau pada saat Senin Siang

| No | Nama Jalan | Total Jarak (km) | Waktu Hijau(detik) |
|----|--|------------------|--------------------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 0.206 | 38 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 0.202 | 37 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 0.26 | 47 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 0.203 | 37 |

Berdasarkan Tabel 4.27 dan Tabel 4.28 diperoleh lama waktu lampu hijau rata-rata pada fase 2 saat siang hari adalah

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{38 + 37 + 47 + 37}{4} \\
 &= \frac{159}{4} \\
 &= 439.75 \\
 &= 40 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.29: Data Panjang Antrian Kendaraan dan Lebar Jalan saat Senin Sore

| No | Nama Jalan | Jarak(m) | Lebar(m) |
|----|--|----------|----------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 55.5 | 20 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 85.5 | 23 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 100.5 | 47 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 58 | 46 |

Tabel 4.29 merupakan data jarak padat kendaraan dan lebar jalan, sedangkan Tabel 4.30 adalah hasil perhitungan waktu lampu hijau maksimal pada fase 2, yakni Jalan A.R Hakim(ITATS) menuju Jalan Kertajaya Indah, Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITS), Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS), dan Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno) saat Senin sore.

Tabel 4.30: Waktu Lampu Hijau pada saat Senin Sore

| No | Nama Jalan | Total Jarak (km) | Waktu Hijau(detik) |
|----|--|------------------|--------------------|
| 1. | A.R Hakim(ITATS) menuju Kertajaya Indah | 0.152 | 38 |
| 2. | Kertajaya Indah menuju A.R Hakim (ITS) | 0.217 | 40 |
| 3. | Kertajaya Indah menuju Ir. Soekarno | 0.295 | 54 |
| 4. | Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS) | 0.208 | 38 |

Berdasarkan Tabel 4.29 dan Tabel 4.30 diperoleh lama waktu lampu hijau rata-rata pada fase 2 saat sore hari adalah

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{38 + 40 + 54 + 38}{4} \\
 &= \frac{170}{4} \\
 &= 42.5 \\
 &= 43 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Jadi, lama waktu hijau saat pagi hari adalah 24 detik, siang hari 40 detik, dan sore hari 43 detik.

BAB V PENUTUP

5.1 SIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan diperoleh simpulan bahwa

1. Graf fuzzy untuk permasalahan kontrol lalu lintas di persimpangan Jalan Ir. Soekarno- Jalan Arief Rahman Hakim-Jalan Kertajaya indah menghasilkan 12 simpul dan 28 sisi.
2. Pewarnaan Graf Fuzzy dari keenam data diperoleh hasil yang sama untuk $=1$ adalah 4 bilangan kromatik sehingga terbentuk 4 klasifikasi lampu lalu lintas yakni fase 1 (ab,ac,ad,da), fase 2 (ca,cb,cd,bc), fase 3 (ba,bd), dan fase 4 (db,dc).
3. Implementasi pewarnaan graf fuzzy dengan pengembangan software matlab dapat menampilkan pembagian klasifikasi dengan warna yang sama sehingga dapat memberikan rekomendasi waktu lampu hijau untuk fase 2 (Jalan A.R Hakim(ITATS) menuju Jalan Kertajaya Indah, Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITS), Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan A.R Hakim (ITATS), dan Jalan Kertajaya Indah menuju Jalan Ir. Soekarno) sebesar 42 detik saat pagi, 40 detik saat siang dan 43 detik saat sore. Pembagian klasifikasi dan penentuan waktu lampu hijau bertujuan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan lalu lintas yang terjadi di persimpangan jalan tersebut.

5.2 SARAN

Pada penelitian ini, daerah yang diamati hanya 1 persimpangan dan program yang dibuat masih statis karena jumlah kendaraan masih belum ada pengaruh besar terhadap warna-warni graf fuzzy. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diharapkan mampu mengimplementasikan pewarnaan graf fuzzy di persimpangan rawan kecelakaan yang lebih kompleks lainnya dan bisa mempertimbangkan jumlah kendaraan sehingga program lebih dinamis.

LAMPIRAN A

Program matlab

```
[FileName,PathName]=uigetfile('*.xlsx','Pilih File.xlsx');
if FileName==0
    return;
end
str=[PathName,FileName];

Pilihan_Data = get(handles.data_popupmenu,'value');

switch Pilihan_Data
    case 1

    case 2
        [A1 A2 A3]=xlsread(str);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
        save A1.mat
    case 3
        [A1 A2 A3]=xlsread(str,2);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
        save A1.mat
    case 4
        [A1 A2 A3]=xlsread(str,3);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
        save A1.mat
    case 5
        [A1 A2 A3]=xlsread(str,4);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
```

```

        save A1.mat
    case 6
        [A1 A2 A3]=xlsread(str,5);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
        save A1.mat
    case 7
        [A1 A2 A3]=xlsread(str,6);
        set(handles.hasil_uitable,'data',A3);
        save A1.mat
[data2]=xlsread(str,2)
end

axes(handles.axes1);
load A1.mat
data = A1;
ukur=size(data);

posisi = rand(1,2);
for i=2:ukur(1)
    x = rand(1,2);
    minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    while minimum<2/ukur(1)
        x=rand(1,2);
        minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    end
    posisi=[posisi;x];
end

A=[{'ab'},{'ac'},{'ad'},{'ba'},{'bc'},{'bd'},...
{'ca'},{'cb'},{'cd'},{'da'},{'db'},{'dc'}];
B= [0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1,0;
    0,0,0,1,1,1,0,1,0,0,1,1;
    0,0,0,1,0,1,1,0,1,0,1,1;

```

```

0,1,1,0,0,0,1,1,0,1,1,0;
0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1;
0,1,1,0,0,0,1,1,1,0,0,1;
0,0,1,1,0,1,0,0,0,1,1,1;
1,1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,1;
0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,0;
0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0;
1,1,1,1,0,0,1,1,0,0,0,0;
0,1,1,0,1,1,1,1,0,0,0,0];

hold on;
for i=1:ukur
    for j=i:ukur
        if B(i,j)~=0
            plot([posisi(i,1),posisi(j,1)],...
                [posisi(i,2),posisi(j,2)],'k');
        end
    end
end

tandavertex=zeros(ukur,1);
C=[{'ab'},{'ac'},{'ad'},{'ba'},{'bc'},{'bd'},...
{'ca'},{'cb'},{'cd'},{'da'},{'db'},{'dc'};
{''},{''},{''},{''},{''},...
{''},{''},{''},{''},{''},{''},{''}];
for i=1:ukur
    plot(posisi(i,1),posisi(i,2),'o',...
        'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k',...
        'MarkerFaceColor','y','MarkerSize',15);
    text(posisi(i,1)-0.01,posisi(i,2)-0.004,A{i},...
        'Color',[0 0 1]);
    [tandavertex(i),huruf]= edgevertex(data(i));
    C(2,i)={huruf};

```



```

        text(posisi(i,1)-0.01,posisi(i,2)+0.021,C(2,i),...
            'Color',[0 0 1]);
end

axes(handles.axes2);
load A1.mat
data = A1;
data
ukur=size(data);

posisi = rand(1,2);
for i=2:ukur(1)
    x = rand(1,2);
    minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    while minimum<2/ukur(1)
        x=rand(1,2);
        minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    end
    posisi=[posisi;x];
end

A=[{'ab'},{'ac'},{'ad'},{'ba'},{'bc'},{'bd'},...
    {'ca'},{'cb'},{'cd'},{'da'},{'db'},{'dc'}];
B= [0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1,0;
    0,0,0,1,1,1,0,1,0,0,1,1;
    0,0,0,1,0,1,1,0,1,0,1,1;
    0,1,1,0,0,0,0,1,1,0,1,1,0;
    0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1;
    0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,0,0,1;
    0,0,1,1,0,1,0,0,0,0,1,1,1;
    1,1,0,1,0,1,0,0,0,0,0,1,1;
    0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0;
    0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,0,0,0;

```

```

1,1,1,1,0,0,1,1,0,0,0,0;
0,1,1,0,1,1,1,1,0,0,0,0];

tandavertex=zeros(12,1);
C=[{'ab'},{'ac'},{'ad'},{'ba'},{'bc'},{'bd'},...
{'ca'},{'cb'},{'cd'},{'da'},{'db'},{'dc'};
{' '},{' '},{' '},{' '},{' '},{' '},{' '},{' '},{' '},...
{' '},{' '},{' '}];

hi=0;
a=0;

% Menampilkan pewarnaan
D=cell(2,hi);
hii=0;

    for i=1:12
        hi = hi +1;
    end
    for j=1:12
        hii = hii +1;
        D(1,hii) =C(1,j);
        a(1,hii) =j;
        D(2,hii) =C(2,j);
    end
D
c = size(D);

if(c(2)==0)
    MessageBox.Show('Tidak ada node yang terbentuk');
else
    c = size(a);
    f=0;

```

```

for i=1:c(2)
    d = a(i);
    for j=1:c(2)
        e = a(j);
        f(i,j) = B(d,e);
    end
end
f

posisi=rand(1,2);
for i=2:ukur(1)
    x=rand(1,2);
    minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    while minimum<2/ukur(1)
        x=rand(1,2);
        minimum=minimum_jarak(x,posisi);
    end
    posisi=[posisi;x];
end

count = 0;
E=size(D);
for i=1:12
    for j=i:E(2)
        if f(i,j)~=0
            count=count+1;
            plot([posisi(i,1),posisi(j,1)],...
                [posisi(i,2),posisi(j,2)], 'k');
        end
    end
end
end
if count==0
    MessageBox.Show('Graph unconnected dan

```

```

        cromatic number 1');
else
    tandavertex=zeros(12,1);
    E=size(D);

    kromatic = buang(C,f)

for i=1:E(2)
    if kromatic(i) == 1
        plot(posisi(i,1),posisi(i,2),'o',...
            'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','y','MarkerSize',15);
    elseif kromatic(i) == 2
        plot(posisi(i,1),posisi(i,2),'o',...
            'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','g','MarkerSize',15);
    elseif kromatic(i) == 3
        plot(posisi(i,1),posisi(i,2),'o',...
            'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','r','MarkerSize',15);
    elseif kromatic(i) == 4
        plot(posisi(i,1),posisi(i,2),'o',...
            'LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k',...
            'MarkerFaceColor','c','MarkerSize',15);

    text(posisi(i,1)-0.01,posisi(i,2)-0.004,...
        D{1,i},'Color',[0 0 1]);
    huruf=D{2,i};
    [tandavertex(i),huruf]= edgevertex(data(i));
    text(posisi(i,1)-0.01,posisi(i,2)+0.021,...
        huruf,'Color',[0 0 1]);

end

```

```
        Bilangan_Kromatic = max(kromatic)
    end
end

function [hasil,huruf]= edgevertex(x)
%h=3
%m=2
%l=1

if x>=0 && x<=500
    hasil=1;
    huruf='l';
elseif x>500 && x<600
    if abs(x-600)>=abs(x-500)
        hasil=1;
        huruf='l';
    else
        hasil=2;
        huruf='m';
    end
elseif x>=600 && x<=1800
    hasil=2;
    huruf='m';
elseif x>1800 && x<2000
    if abs(x-2000)>=abs(x-1800)
        hasil=2;
        huruf='m';
    else
        hasil=3;
        huruf='h';
    end
else
    hasil=3;
end
```

```

    huruf='h';
end

function mindistance=minimum_jarak(A,B)
    ukurA=size(A);
    ukurB=size(B);
    jarak=zeros(ukurA(1),ukurB(1));

    for i=1:ukurA(1)
        for j=1:ukurB(1)
            jarak(i,j)=sqrt((A(i,1)-
                B(j,1))^2+(A(i,2)-B(j,2))^2);
        end
    end
    mindistance=min(jarak);

function [ warna ] = EdgeColoring( idx )
    idx_all =(1:12);
    idx_n = setdiff(idx_all,idx);
    [~,y] = size(idx_n);
    % warna 1
    data1(1,:) = [1 2 3 10];
    data1(2,:) = [7 8 9 5];
    data1(3,:) = [4 6 0 0];
    data1(4,:) = [11 12 0 0];

    % warna 2
    data2(1,:) = [6 10 11 5];
    data2(2,:) = [12 1 4 9];
    data2(3,:) = [2 3 0 0];
    data2(4,:) = [7 8 0 0];

    % warna 3

```

```
data3(1,:) = [3 5 8 10];
data3(2,:) = [12 1 4 9];
data3(3,:) = [2 7 0 0];
data3(4,:) = [6 11 0 0];

% warna 4
data4(1,:) = [4 5 6 1];
data4(2,:) = [9 10 11 12];
data4(3,:) = [2 3 0 0];
data4(4,:) = [7 8 0 0];

for i=1:4
    for j=1:4
        for k=1:y
            if data1(i,j) == idx_n(k)
                data1(i,j) = 0;
            end
        end
    end
end
for i=1:4
    for j=1:4
        for k=1:y
            if data2(i,j) == idx_n(k)
                data2(i,j) = 0;
            end
        end
    end
end
for i=1:4
    for j=1:4
        for k=1:y
```

```

        if data3(i,j) == idx_n(k)
            data3(i,j) = 0;
        end
    end
end
end
for i=1:4
    for j=1:4
        for k=1:y
            if data4(i,j) == idx_n(k)
                data4(i,j) = 0;
            end
        end
    end
end
end
%   for i=1:4
%       for j=1:4
%           for k=1:y
%               if data5(i,j) == idx_n(k)
%                   data5(i,j) = 0;
%               end
%           end
%       end
%   end
%   end

warna = zeros(5,12-y);
for i=1:(12-y)
    for j=1:4
        for k=1:4
            if idx(i)==data1(j,k)
                warna(1,i)=j;
            end
        end
    end
end

```



```
        end
    end
end
for i=1:(12-y)
    for j=1:4
        for k=1:4
            if idx(i)==data2(j,k)
                warna(2,i)=j;
            end
        end
    end
end
for i=1:(12-y)
    for j=1:4
        for k=1:4
            if idx(i)==data3(j,k)
                warna(3,i)=j;
            end
        end
    end
end
for i=1:(12-y)
    for j=1:4
        for k=1:4
            if idx(i)==data4(j,k)
                warna(4,i)=j;
            end
        end
    end
end
end
```