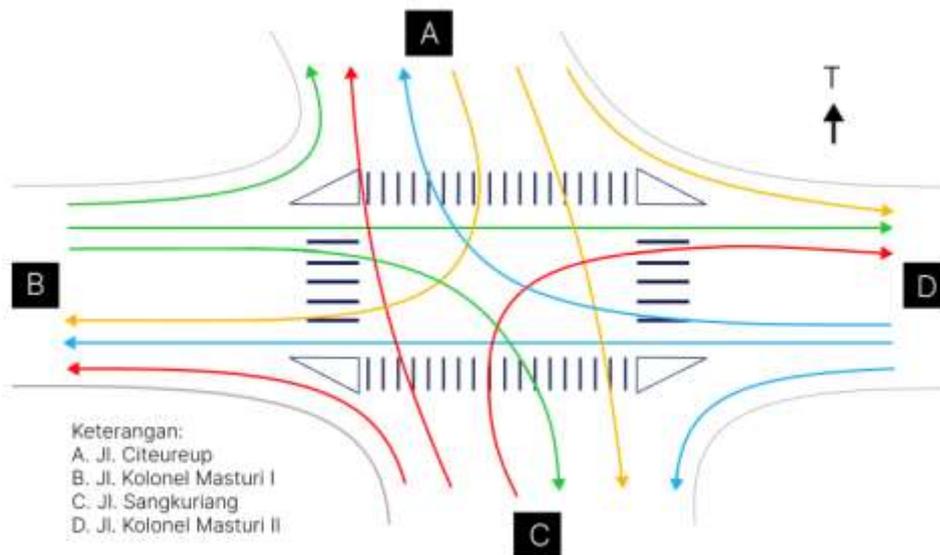


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah fase dan durasi lampu lalu lintas di persimpangan yang meliputi deskripsi masalah, tahapan penelitian, metode penyelesaian, dan contoh kasus dan penyelesaiannya.

### 3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini dilakukan di salah satu persimpangan yang ada di Kota Cimahi, tepatnya di Persimpangan Citeureup Kota Cimahi. Persimpangan ini memiliki empat ruas jalan, yaitu arah utara merupakan Jalan Kolonel Masturi I menuju Rumah Sakit Jiwa Provinsi Jawa Barat, sedangkan arah timur merupakan Jalan Citeureup menuju Jalan Encep Kartawiria. Arah selatan merupakan Jalan Kolonel Masturi II menuju Pasar Atas, sedangkan arah Barat merupakan Jalan Sangkuriang menuju Jalan Raya Barat. Persimpangan Citeureup diilustrasikan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Ilustrasi Jalur Lalu Lintas di Persimpangan Citeureup.

Pada Gambar 3.1, tanda panah menunjukkan arus lalu lintas di persimpangan Citeureup. Arah A ke arah B menunjukkan arah lalu lintas dari Jalan Citeureup menuju Jalan Kolonel masturi I. Arah A ke C menunjukkan arah lalu lintas dari Jalan Citeureup menuju Jalan Sangkuriang. Arah A ke D menunjukkan arus lalu lintas dari

Jalan Citeureup menuju Jalan Kolonel masturi II. Berlaku hal yang sama untuk arah B, C, dan D. Sejauh ini, persimpangan tersebut belum dipasang lampu lalu lintas. Berdasarkan hasil pengamatan kendaraan di persimpangan tersebut cukup padat, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi tentang bagaimana mengatur arus kendaraan pada persimpangan tersebut melalui pengaturan fase dan durasi lampu lalu lintas.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan studi pustaka berdasarkan beberapa literatur yang berkaitan dengan masalah pengaturan lampu lalu lintas, pewarnaan graf, Algoritma *Bee Colony* dan Metode Webster.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari data hasil pengamatan terhadap kondisi lalu lintas di Persimpangan Citeureup Kota Cimahi yang terdiri volume kendaraan dan ukuran jalan menggunakan bantuan aplikasi “*Traffic Counter*” dan “*Google Earth*”.

3. Penyelesaian masalah fase dan durasi lampu lalu lintas

Pada tahapan ini masalah fase dan durasi lampu lalu lintas akan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Bee colony* dan Metode Webster.

4. Implementasi

Model dan teknik diimplementasikan pada permasalahan pengaturan lampu lalu lintas yang ada di persimpangan Citeureup Kota Cimahi. Data terkait jalur kendaraan akan diimplementasikan menggunakan algoritma *Bee Colony*, sedangkan data terkait ukuran jalan dan volume kendaraan akan diimplementasikan menggunakan metode Webster.

5. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil implementasi algoritma *Bee Colony* dan metode Webster.

### 3.3 Penyelesaian Masalah Fase dan Durasi Lampu Lalu Lintas dengan Algoritma *Bee Colony* dan Metode Webster

Pada bagian ini dilakukan penyelesaian masalah fase dan durasi lampu lalu lintas yang terbagi menjadi tiga tahap yaitu representasi graf, pewarnaan graf menggunakan Algoritma *Bee Colony* dan penentuan durasi menggunakan Metode Webster.

#### 3.3.1 Representasi Graf

Tahapan pertama dari penyelesaian masalah pengaturan lalu lintas adalah merepresentasikan bentuk persimpangan dan arus lalu lintasnya dalam bentuk graf tak berarah.

Langkah awal dalam pewarnaan simpul dalam graf dengan menggunakan Algoritma *Bee Colony* adalah dengan merepresentasikan arus lalu lintas kendaraan di Persimpangan Citeureup Kota Cimahi ke dalam graf tak berarah. Hasil tahap ini yaitu merepresentasikan arus lalu lintas yang berpotensi mengakibatkan tabrakan dalam graf tak berarah. Di tahap ini simpul pada graf merepresentasikan arus lalu lintas. Sisi pada graf menghubungkan dua arus yang tidak boleh berjalan bersama termasuk arus yang menuju tujuan yang sama karena memungkinkan terjadinya tabrakan. Arus yang langsung berbelok ke kiri direpresentasikan sebagai simpul terpencil karena arus ini selalu berjalan tanpa bergantung pada lampu lalu lintas.

#### 3.3.2 Pewarnaan Simpul Menggunakan Algoritma *Bee Colony*

Menurut Kurnia, Mulyono, & Rochmad (2020) ada tahapan dalam pengaturan fase lampu lalu lintas sebagai berikut:

1. Menghitung derajat pada setiap simpul;
2. Pilih satu simpul secara acak untuk pewarnaan pertama;
3. Pewarnaan simpul berikutnya akan dicari menggunakan Fungsi probabilitas, simpul yang memiliki nilai paling tinggi akan dipilih untuk diwarnai dan simpul yang telah dipilih akan diwarnai berbeda jika simpul bertetangga dengan simpul yang telah diwarnai sebelumnya. Fungsi probabilitas dapat dihitung pada Persamaan 3.1 (Kurnia, Mulyono, & Rochmad, 2020);

$$P_{v_i,r} = \begin{cases} 0, & v_i \in W_r, \\ \frac{d(v_i)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_r}^N d(v_j)}, & v_i \notin W_r \end{cases} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$W$  : himpunan warna.

$P_{v_i,r}$  : probabilitas simpul  $v_i$  yang dipilih diwarnai dengan warna  $r$ .

$W_r$  : himpunan dari simpul berwarna  $r$ .

$N$  : jumlah simpul dalam graf.

$w_r(v_i)$  = simpul  $v_i$  yang berwarna  $r$ .

4. Ulangi langkah ke 3 sampai semua simpul terwarnai.

Setelah seluruh langkah di atas diselesaikan, maka akan diperoleh fase lampu lalu lintas baru tanpa adanya tabrakan antar arus.

Pada sub bab selanjutnya akan dibahas bagaimana cara menghitung durasi lampu lalu lintas menggunakan Metode Webster.

### 3.3.3 Penentuan Durasi Lampu Lalu Lintas Menggunakan Metode Webster

Setelah mendapatkan fase dengan menggunakan algoritma sebelumnya, selanjutnya akan ditentukan pula durasi lampu lalu lintas menggunakan Metode Webster. Ada beberapa tahap yang dibutuhkan untuk perhitungan durasi lampu lalu lintas sebagai berikut:

1. Menentukan arus jenuh

Arus jenuh (s) merupakan banyak kendaraan yang melaju saat kendaraan dalam antrian di laju yang konstan (Anisa, 2015). Arus jenuh ditetapkan sesuai dengan pedoman perencanaan geometrik jalan raya di Indonesia. Berikut merupakan ketentuan untuk memperkirakan arus jenuh pada setiap arus dengan lebar jalan lebih kecil dari 5,5 m (Chairani, 2021):

**Tabel 3.1** Arus Jenuh Persimpangan.

Lebar jalan (m)	3 m	3,5 m	4 m	4,5 m	5 m	5,5 m
Arus jenuh (smp/jam)	1850	1875	1975	2175	2550	2900

(Sumber: Pedoman perencanaan geometrik jalan raya)

Jika lebar jalan lebih besar dari 5,5 m, maka hitung arus jenuh menggunakan rumus pada Persamaan 3.2 (Anisa, 2015):

$$s = 525 \times w \text{ smp/jam} \quad (3.2)$$

di mana:

$s$  = arus jenuh.

$w$  = lebar jalan.

smp= satuan mobil penumpang

Selanjutnya klasifikasikan kendaraan, hal ini diperlukan untuk mengkonversi semua volume kendaraan ke dalam satuan mobil penumpang (smp). Menurut Chairani (2021) kendaraan diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. *Light Vehicle (LV)* adalah kendaraan ringan dengan ekivalen ( $emp$ ) 1,0
- b. *Heavy Vehicle (HV)* adalah kendaraan berat dengan ekivalen ( $emp$ ) 1,3
- c. *Motorcycle (MC)* adalah sepeda motor dengan ekivalen ( $emp$ ) 0,2

Setelah menentukan klasifikasi kendaraan dan ekivalennya akan ditentukan arus normal kendaraan ( $q$ ). Perhitungan arus normal pada setiap arusnya dapat dihitung pada Persamaan 3.3 (Anisa, 2015):

$$q_i = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC}) \quad (3.3)$$

di mana:

$q_i$  = arus normal kendaraan pada ruas jalan ke  $i$  (smp/jam).

$q_{LV}$  = volume kendaraan ringan.

$q_{HV}$  = volume kendaraan berat.

$q_{MC}$  = volume kendaraan sepeda motor.

$emp$  = ekivalensi mobil penumpang.

$emp_{LV}$  = nilai ekivalen kendaraan ringan.

$emp_{HV}$  = nilai ekivalen kendaraan berat.

$emp_{MC}$  = nilai ekivalen kendaraan sepeda motor.

Arus kendaraan yang sudah dihitung menggunakan Persamaan 3.3 dipilih yang terbesar pada setiap arusnya, karena ketika lalu lintas berada pada kondisi paling kritis dan perlu diperhitungkan agar jalan dapat menampung volume kendaraan tersebut.

Setelah menentukan arus jenuh dan arus normal kendaraan, selanjutnya hitung rasio arus normal. Rasio arus normal untuk arus jenuh ( $y$ ) antara volume arus kendaraan dengan arus jenuh pada setiap arus dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 (Noval, Virgono, & Saputra, 2018):

$$y_i = \frac{q_i}{s_i} \quad (3.4)$$

di mana:

$y_i$  = Rasio arus normal kendaraan pada ruas jalan ke  $i$  (smp/jam).

$q_i$  = Arus normal kendaraan (smp/jam).

$s_i$  = Arus jenuh (smp/jam).

Selanjutnya tentukan ukuran kemacetan yang dapat dinyatakan sebagai rasio fase  $Y$  yang akan ditunjukkan pada Persamaan 3.5 (Anisa, 2015):

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i \quad (3.5)$$

di mana:

$Y$  = Ukuran kemacetan (smp/jam).

$y_i$  = Rasio arus normal kendaraan pada ruas jalan ke  $i$  (smp/jam).

$n$  = Banyak fase.

Setelah mendapatkan arus jenuh kendaraan, selanjutnya akan dihitung waktu siklus optimal.

## 2. Menentukan waktu siklus yang optimal

Waktu siklus optimal memerlukan waktu hilang ( $L$ ), waktu hilang merupakan lama waktu satu siklus pada saat tidak ada kendaraan. Waktu hilang dilakukan dalam waktu tunggu kendaraan pada saat semua lampu merah menyala dan saat lampu hijau dalam keadaan merah/ merah/ kuning dan sebagian waktu untuk persiapan jalan serta waktu persiapan berhenti pada saat terjadinya perubahan warna lampu. Perhitungan waktu hilang dapat dihitung pada Persamaan 3.6 (Poernamasari, Tumilaar, & Montolalu, 2019):

$$L = 2n + R \quad (3.6)$$

di mana:

$L$  = Waktu hilang (detik).

$n$  = Banyak fase.

$R$  = Waktu lampu berwarna kuning (detik).

Setelah menentukan waktu hilang, adapun turunan rumus yang dibuat oleh F.V Webster untuk menentukan waktu siklus optimum ( $C_0$ ) yang dapat dihitung pada Persamaan 3.7 (Poernamasari, Tumilaar, & Montolalu, 2019):

$$C_0 = \frac{1,5 L + 5}{1 - Y} \quad (3.7)$$

di mana:

$C_0$  = Waktu siklus optimum (detik).

$L$  = Waktu hilang (detik)

$Y$  = Ukuran kemacetan (smp/jam)

Selanjutnya setelah mendapatkan waktu siklus optimum yaitu menghitung nyala lampu hijau yang efektif pada setiap fase di sebuah persimpangan dirumuskan pada Persamaan 3.8 (Anisa, 2015):

$$g_i = \frac{y_i(C_0 - L)}{Y} \quad (3.8)$$

di mana:

$g_i$  = Waktu hijau efektif (detik).

$y_i$  = Rasio arus normal kendaraan pada ruas jalan ke  $i$  (smp/jam).

$C_0$  = Waktu siklus (detik).

$L$  = Waktu hilang (detik).

$Y$  = Ukuran kemacetan (smp/jam).

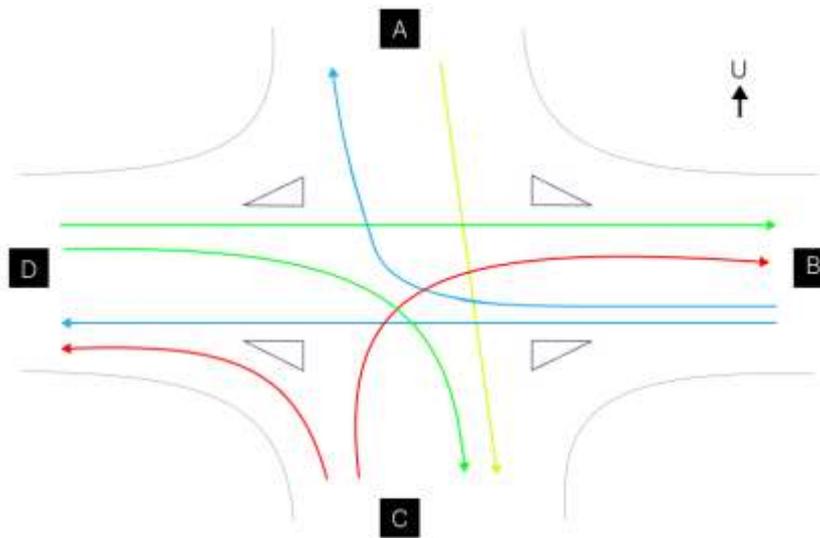
Setelah mengetahui waktu nyala lampu hijau yang efektif setiap fase, maka akan dihitung nyala lampu merah yang efektif dengan menggunakan Persamaan 3.9 (Poernamasari, Tumilaar, & Montolalu, 2019):

$$\text{Lampu merah} = C_0 - \text{waktu hijau} - \text{waktu kuning} \quad (3.9)$$

### 3.4 Contoh Kasus

Pada sub bab ini membahas contoh kasus tentang bagaimana cara menyelesaikan masalah fase dan durasi. Adapun tahapan yang dilakukan yaitu representasi graf, pewarnaan simpul menggunakan Algoritma *Bee Colony* dan menghitung durasi menggunakan Metode Webster.

Sebagai contoh adalah suatu persimpangan jalan yang digambarkan pada Gambar 3.2.

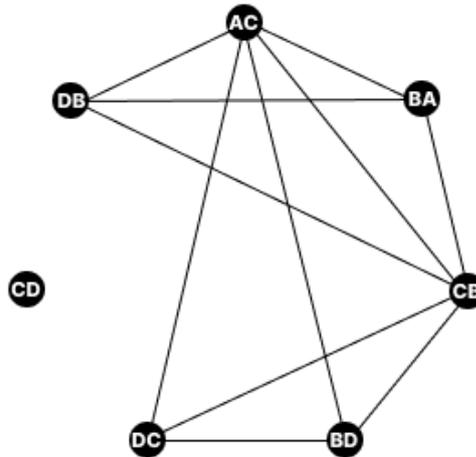


**Gambar 3.2** Contoh Ilustrasi Jalur Lalu Lintas di Sebuah Persimpangan.

Persimpangan ini merupakan persimpangan yang memiliki 4 ruas jalur yaitu jalur A, jalur B, jalur C, dan jalur D. Berikut merupakan tahapan untuk mendapatkan fase dan durasi:

#### 1. Representasi Graf

Misalkan persimpangan pada Gambar 3.2 direpresentasikan sebagai graf  $G = (V, E)$  dengan  $V = \{AC, BA, BD, CB, CD, DB, DC\}$  dan  $E = \{(AC, BA), (AC, BD), (AC, CB), (AC, DB), (AC, DC), (BA, CB), (BA, DB), (BD, CB), (BD, DC), (CB, DB), (CB, DC)\}$ . Maka  $G$  adalah graf yang terdiri dari 7 simpul dan 11 sisi. Contoh persimpangan tersebut memiliki simpul terencil yaitu simpul yang tidak akan terjadi tabrakan dengan sisi manapun, simpul terencil dari persimpangan ini yaitu simpul  $CD$ . Representasi graf dari persimpangan pada Gambar 3.2 digambarkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Representasi Graf dari Persimpangan Pada Gambar 3.2.

Selanjutnya dilakukan pewarnaan simpul untuk menghasilkan fase menggunakan Algoritma *Bee Colony* dari hasil representasi graf yang sudah dilakukan sebelumnya.

2. Pewarnaan simpul dengan Algoritma *Bee Colony*

Ada beberapa langkah yang harus dilakukan untuk menentukan pewarnaan simpul menggunakan Algoritma *Bee Colony* sebagai berikut:

a. Menghitung derajat setiap simpul

Langkah awal untuk pewarnaan simpul adalah menghitung derajat setiap simpul pada Gambar 3.2, hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Derajat Simpul Pada Gambar 3.2.

Simpul	Bertetangga	Derajat
AC	BA, BD, CB, DB, DC	$\text{deg}(AC) = 5$
BA	AC, CB, DB	$\text{deg}(BA) = 3$
BD	AC, CB, DC	$\text{deg}(BD) = 3$
CB	AC, BA, BD, DB, DC	$\text{deg}(CB) = 5$
CD	-	$\text{deg}(CD) = 0$
DB	AC, BA, CB	$\text{deg}(DB) = 3$
DC	AC, CB, BD	$\text{deg}(DC) = 2$

- b. Pilih salah satu simpul secara acak untuk diberi warna sebagai pewarnaan simpul pertama. Misalkan simpul pertama yang terpilih adalah simpul  $BA$ .

$$W_r = \{W_r(BA)\} \text{ dan } W = \{W_1\}$$

- c. Pewarnaan berikutnya dihitung dengan fungsi probabilitas

Pilih simpul yang bertetangga dengan  $BA$  sebagai pewarnaan simpul kedua, simpul yang bertetangga dengan  $BA$  yaitu simpul  $AC, CB, DB$  lalu hitung menggunakan fungsi probabilitas sebagai berikut:

- 1) Untuk simpul  $AC$

$$P_{v_{AC},r} = \frac{d(AC)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_r}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{AC},r} = \frac{d(AC)}{d(AC) + d(BD) + d(CB) + d(CD) + d(DB) + d(DC)}$$

$$P_{v_{AC},r} = \frac{5}{5 + 3 + 5 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{AC},r} = \frac{5}{18}$$

$$P_{v_{AC},r} = 0,28$$

- 2) Untuk simpul  $CB$

$$P_{v_{CB},r} = \frac{d(CB)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_r}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{CB},r} = \frac{d(CB)}{d(AC) + d(BD) + d(CB) + d(CD) + d(DB) + d(DC)}$$

$$P_{v_{CB},r} = \frac{5}{5 + 3 + 5 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{CB},r} = \frac{5}{18}$$

$$P_{v_{CB},r} = 0,28$$

- 3) Untuk simpul  $DB$

$$P_{v_{DB},r} = \frac{d(DB)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_r}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{DB},r} = \frac{d(DB)}{d(AC) + d(BD) + d(CB) + d(CD) + d(DB) + d(DC)}$$

$$P_{v_{DB},r} = \frac{3}{5 + 3 + 5 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{DB},r} = \frac{3}{18}$$

$$P_{v_{DB},r} = 0,17$$

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan fungsi probabilitas dapat dilihat nilai yang paling tinggi yaitu  $AC$  dan  $CB$  dengan nilai 0,28. Karena kedua simpul memiliki nilai yang sama, maka pilih salah satu untuk diberi warna yaitu simpul  $AC$ . Karena simpul  $AC$  bertetangga dengan simpul  $BA$ , maka simpul  $AC$  tidak boleh diberi warna yang sama dengan simpul  $BA$ . Sehingga didapatkan  $W_r = \{W_r(BA), W_r(AC)\}$  dan  $W = \{W_1, W_2\}$ .

d. Pewarnaan simpul ke-3

Langkah selanjutnya yaitu pilih simpul yang bertetangga dengan simpul  $AC$  dan belum diwarnai sebagai pewarnaan simpul ke-3, simpul yang sesuai dengan syarat tersebut yaitu simpul  $DB$ . Karena simpul  $DB$  bertetangga dengan simpul  $AC$  dan simpul  $BA$ , maka simpul  $DB$  tidak boleh diberi warna yang sama dengan simpul  $AC$  dan simpul  $BA$ . Sehingga didapatkan dari tiga warna yaitu  $W_r = \{W_r(BA), W_r(AC), W_r(DB)\}$  dan  $W = \{W_1, W_2, W_3\}$ .

e. Pewarnaan simpul ke-4

Langkah kelima yaitu pilih yang bertetangga dengan  $DB$  dan simpul yang belum diwarnai sebagai pewarnaan simpul ke-4, simpul yang sesuai dengan syarat tersebut yaitu simpul  $CB$ . Karena simpul  $CB$  bertetangga dengan simpul  $AC$ , simpul  $BA$ , dan simpul  $DB$  maka simpul  $CB$  tidak boleh diberi warna yang sama dengan ketiga simpul yang bertetangga tersebut. Sehingga dari hasil tersebut didapatkan  $W_r = \{W_r(BA), W_r(AC), W_r(DB), W_r(CB)\}$  dan  $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$ .

f. Pewarnaan simpul ke-5 sampai ke-6

Selanjutnya pilih simpul yang bertetangga dengan  $CB$  dan simpul yang belum diwarnai untuk pewarnaan simpul ke-5, simpul yang sesuai dengan syarat tersebut yaitu simpul  $BD$  dan simpul  $DC$ . Karena

simpul  $BD$  bertetangga dengan simpul  $AC$ , simpul  $CB$  dan simpul  $DC$ , maka simpul  $BD$  tidak boleh diberi warna yang sama dengan ketiga simpul yang bertetangga tersebut, tetapi karena simpul  $BD$  tidak bertetangga dengan simpul  $BA$  dan simpul  $DB$  maka simpul  $BD$  boleh diberi warna yang sama dari salah satu simpul tersebut. Warna yang dipilih oleh simpul  $BD$  adalah simpul  $BA$ .

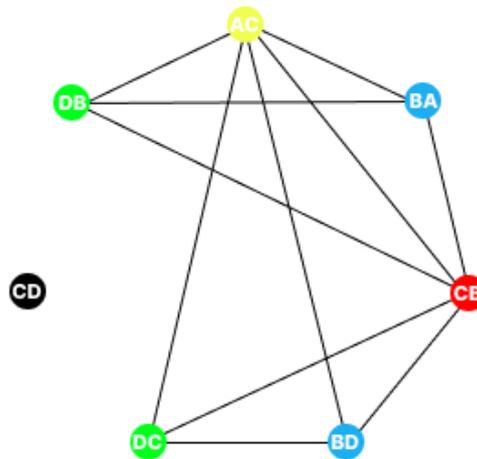
Setelah memberi kelima warna simpul, selanjutnya pilih simpul yang sesuai dengan syarat sebelumnya adalah simpul  $DC$ . Karena simpul  $DC$  bertetangan dengan simpul  $AC, BD, CB$  maka simpul  $DC$  tidak boleh bertetangga dengan ketiga simpul tersebut, tetapi karena simpul  $DC$  tidak bertetangga dengan simpul  $BA$  dan  $DB$  maka simpul  $DC$  boleh diberi warna dari salah satu simpul tersebut. Warna yang dipilih oleh simpul  $DC$  adalah simpul  $DB$ . Simpul  $BA$  tidak dipilih karena simpul  $BA$  memiliki warna yang sama dengan simpul  $BD$  yang bertetangga dengan simpul  $DC$ . Sehingga didapat  $W_r = \{W_r(BA), W_r(AC), W_r(DB), W_r(CB), W_r(BD), W_r(DC)\}$  dan  $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_1, W_3\}$ .

Semua simpul yang bukan simpul terpencil telah memiliki warna dan simpul yang bertetangga tidak memiliki warna yang sama, maka prosedur berhenti. Hasil pewarnaan simpul pada graf  $G = (V, E)$  dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Hasil pewarnaan simpul pada  $G=(V,E)$ .

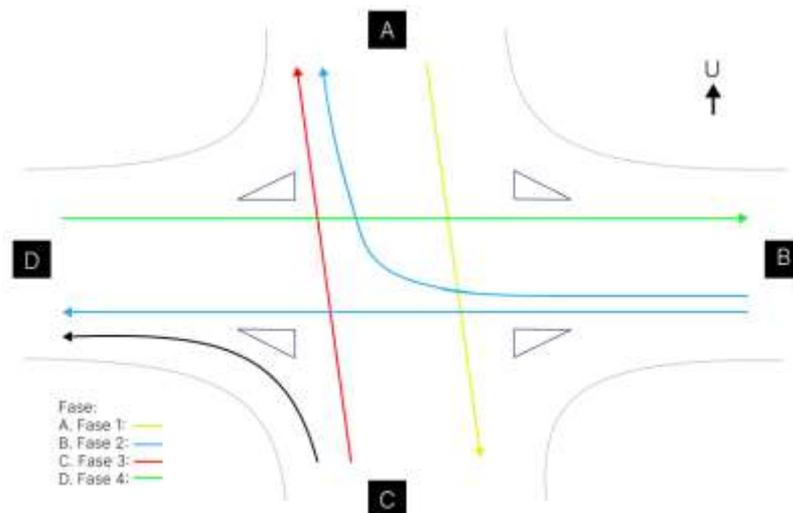
Simpul Ke-	Nama Simpul	Warna
Simpul ke-1	$BA$	$W_1$
Simpul ke-2	$AC$	$W_2$
Simpul ke-3	$DB$	$W_3$
Simpul ke-4	$CB$	$W_4$
Simpul ke-5	$BD$	$W_1$
Simpul ke-6	$DC$	$W_3$
Simpul ke-7	$CD$	$W_5$

Hasil pewarnaan graf pada Gambar 3.2 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Contoh Penyelesaian dari Graf  $G = (V, E)$ .

Pada Gambar 3.4 graf tersebut memiliki 4 warna, artinya terdapat 4 fase dalam graf tersebut. Fase 1 yaitu Jalan A menuju Jalan C yang diberi warna kuning, Fase 2 yaitu Jalan B menuju Jalan A dan Jalan D yang diberi warna biru, Fase 3 yaitu Jalan C menuju Jalan B yang diberi warna merah dan Fase 4 yaitu Jalan D menuju Jalan B dan jalan C yang diberi warna hijau. Jalan C menuju Jalan D merupakan simpul terencil oleh karena itu diberi warna baru yaitu warna hitam karena ruas jalan jalan tersebut bukan termasuk fase lalu lintas. Jalan C menuju Jalan D boleh jalan secara bersamaan dengan fase manapun tanpa harus menunggu aturan lampu lalu lintas. Hasil fase tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Fase Lampu Lalu Lintas dari Contoh Kasus.

2. Penentuan durasi menggunakan Metode Webster

Setelah mendapatkan fase dengan menggunakan algoritma sebelumnya, selanjutnya ditentukan pula durasi lampu lalu lintas menggunakan Metode Webster. Berikut diberikan contoh data jumlah kendaraan pada Gambar 3.2 yang mana fase yang digunakan adalah fase hasil perhitungan pada contoh sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Data Contoh Jumlah Kendaraan.

Jalur	Jenis Kendaraan		
	<i>Light Vehicle (LV)</i>	<i>Heavy Vehicle (HV)</i>	<i>Motorcycle (MC)</i>
A	298	11	401
B	265	7	345
C	301	13	488
D	254	8	332

Ukuran jalan pada masing masing jalur yaitu Jalur A memiliki lebar jalan 3,5 m, jalur B memiliki lebar jalan 3 m, jalur C memiliki lebar jalan 4 m dan jalur D memiliki lebar jalan 3 m.

Berikut merupakan tahapan untuk menghitung durasi lampu lalu lintas, tahapan dalam perhitungan ini terbagi menjadi dua tahap yaitu menentukan arus jenuh dan menghitung waktu siklus optimal yang dapat dihitung sebagai berikut:

a. Menentukan arus jenuh

Arus jenuh ditentukan sesuai dengan pedoman perencanaan geometrik jalan raya di Indonesia pada Tabel 3.1. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5** Arus Jenuh Pada Gambar 3.2.

Jalur	Lebar Jalan	Arus Jenuh
A	3,5 m	$s_A = 1875$ smp/jam
B	3 m	$s_B = 1850$ smp/jam
C	4 m	$s_C = 1975$ smp/jam
D	3 m	$s_D = 1850$ smp/jam

Setelah menentukan arus jenuh, selanjutnya menentukan arus normal kendaraan ( $q$ ) dengan mengklasifikasikannya dan memberi ekivalennya:

1) Jalur A

$$q_A = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC})$$

$$q_A = (298 \times 1) + (11 \times 1,3) + (401 \times 0,2)$$

$$q_A = 298 + 14,3 + 80,2$$

$$q_A = 392,5 \text{ smp/jam}$$

2) Jalur B

$$q_B = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC})$$

$$q_B = (265 \times 1) + (7 \times 1,3) + (345 \times 0,2)$$

$$q_B = 265 + 9,1 + 69$$

$$q_B = 343,1 \text{ smp/jam}$$

3) Jalur C

$$q_C = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC})$$

$$q_C = (301 \times 1) + (13 \times 1,3) + (488 \times 0,2)$$

$$q_C = 301 + 16,9 + 97,6$$

$$q_C = 415,5 \text{ smp/jam}$$

4) Jalur D

$$q_D = (q_{LV} \times emp_{LV}) + (q_{HV} \times emp_{HV}) + (q_{MC} \times emp_{MC})$$

$$q_D = (254 \times 1) + (8 \times 1,3) + (332 \times 0,2)$$

$$q_D = 254 + 10,4 + 66,4$$

$$q_D = 330,8 \text{ smp/jam}$$

Selanjutnya hitung rasio arus normal untuk arus jenuh ( $y$ ) sebagai berikut:

1) Jalur A

$$y_A = \frac{q_A}{s_A}$$

$$y_A = \frac{392,5}{1875}$$

$$y_A = 0,2093 \text{ smp/jam}$$

2) Jalur B

$$y_B = \frac{q_B}{s_B}$$

$$y_B = \frac{343,1}{1850}$$

$$y_B = 0,1855 \text{ smp/jam}$$

3) Jalur C

$$y_C = \frac{q_C}{s_C}$$

$$y_C = \frac{415,5}{1975}$$

$$y_C = 0,2104 \text{ smp/jam}$$

4) Jalur D

$$y_D = \frac{q_D}{s_D}$$

$$y_D = \frac{330,8}{1850}$$

$$y_D = 0,1788 \text{ smp/jam}$$

Ukuran kemacetan dapat dinyatakan sebagai rasio fase  $Y$  yang dihitung sebagai berikut:

$$Y = \sum_{i=1}^4 y_i$$

$$Y = y_A + y_B + y_C + y_D$$

$$Y = 0,2093 + 0,1855 + 0,2104 + 0,1788$$

$$Y = 0,784 \text{ smp/jam}$$

b. Menentukan waktu siklus yang optimal

Hal yang dibutuhkan untuk menentukan waktu siklus yang optimal yaitu dengan menentukan terlebih dahulu waktu hilang. Waktu hilang membutuhkan waktu lampu berwarna kuning, asumsikan durasi lampu kuning sebesar 3 detik. Hitung waktu hilang sebagai berikut:

$$L = 2n + R$$

$$L = 2(4) + 3$$

$$L = 11 \text{ detik}$$

Setelah menentukan waktu hilang, selanjutnya hitung waktu siklus optimum sebagai berikut:

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

$$C_0 = \frac{1,5 (11) + 5}{1 - 0,784}$$

$$C_0 = \frac{21,5}{0,216}$$

$$C_0 = 99,5 \approx 100 \text{ detik}$$

Selanjutnya menghitung nyala lampu hijau yang efektif pada setiap fase sebagai berikut:

1) Jalur A

$$g_A = \frac{y_A(C_0 - L)}{Y}$$

$$g_A = \frac{0,2093(100 - 11)}{0,784}$$

$$g_A = \frac{0,2093(89)}{0,784}$$

$$g_A = \frac{18,6277}{0,784}$$

$$g_A = 23,8 \approx 24 \text{ detik}$$

2) Jalur B

$$g_B = \frac{y_B(C_0 - L)}{Y}$$

$$g_B = \frac{0,1855(100 - 11)}{0,784}$$

$$g_B = \frac{0,1855(89)}{0,784}$$

$$g_B = \frac{16,5095}{0,784}$$

$$g_B = 21,1 \approx 21 \text{ detik}$$

3) Jalur C

$$g_C = \frac{y_C(C_0 - L)}{Y}$$

$$g_C = \frac{0,2104(100 - 11)}{0,784}$$

$$g_c = \frac{0,2104(89)}{0,784}$$

$$g_c = \frac{18,7256}{0,784}$$

$$g_c = 23,9 \approx 24 \text{ detik}$$

4) Jalur D

$$g_D = \frac{y_D(C_0 - L)}{Y}$$

$$g_D = \frac{0,1788(100 - 11)}{0,784}$$

$$g_D = \frac{0,1788(89)}{0,784}$$

$$g_D = \frac{15,9132}{0,784}$$

$$g_D = 20,3 \approx 20 \text{ detik}$$

Setelah mengetahui waktu nyala lampu hijau yang efektif setiap fase, maka hitung nyala lampu merah yang efektif sebagai berikut:

1) Jalur A

Lampu merah A =  $C_0$  – waktu hijau A – waktu kuning

$$\text{Lampu merah A} = 100 - 24 - 3$$

$$\text{Lampu merah A} = 73 \text{ detik}$$

2) Jalur B

Lampu merah B =  $C_0$  – waktu hijau B – waktu kuning

$$\text{Lampu merah B} = 100 - 21 - 3$$

$$\text{Lampu merah B} = 76 \text{ detik}$$

3) Jalur C

Lampu merah C =  $C_0$  – waktu hijau C – waktu kuning

$$\text{Lampu merah C} = 100 - 24 - 3$$

$$\text{Lampu merah C} = 73 \text{ detik}$$

4) Jalur D

Lampu merah D =  $C_0$  – waktu hijau D – waktu kuning

$$\text{Lampu merah D} = 100 - 20 - 3$$

$$\text{Lampu merah D} = 77 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil yang telah didapat dengan menggunakan metode Webster, waktu siklus optimum contoh persimpangan adalah sebesar 100 detik. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6** Hasil Durasi Lampu Lalu Lintas Pada Gambar 3.5.

Jalur	Durasi Lampu			Total Durasi (Detik)
	Lampu Merah (Detik)	Lampu Kuning (Detik)	Lampu Hijau (Detik)	
Jalur A	73	3	24	100
Jalur B	76	3	21	100
Jalur C	73	3	24	100
Jalur D	77	3	20	100

Berdasarkan hasil di atas contoh persimpangan pada Gambar 3.2 memiliki 4 fase arus lalu lintas dan terdapat simpul terpencil. Persimpangan tersebut memiliki total durasi lampu lalu lintas sebesar 100 detik dan durasi lampu kuning 3 detik pada setiap fase. Fase 1 merupakan Jalur A menuju Jalur C dan memiliki durasi lampu merah sebesar 73 detik dan lampu hijau sebesar 24 detik. Fase 2 merupakan Jalur B menuju Jalur A dan Jalur D, fase tersebut memiliki durasi lampu merah sebesar 76 detik dan lampu hijau 21 detik. Fase 3 merupakan Jalur C menuju Jalur A dan memiliki durasi lampu merah sebesar 73 detik dan lampu hijau 24 detik. Fase D merupakan Jalur D menuju Jalur B dan memiliki durasi lampu merah sebesar 77 detik dan lampu hijau sebesar 20 detik.