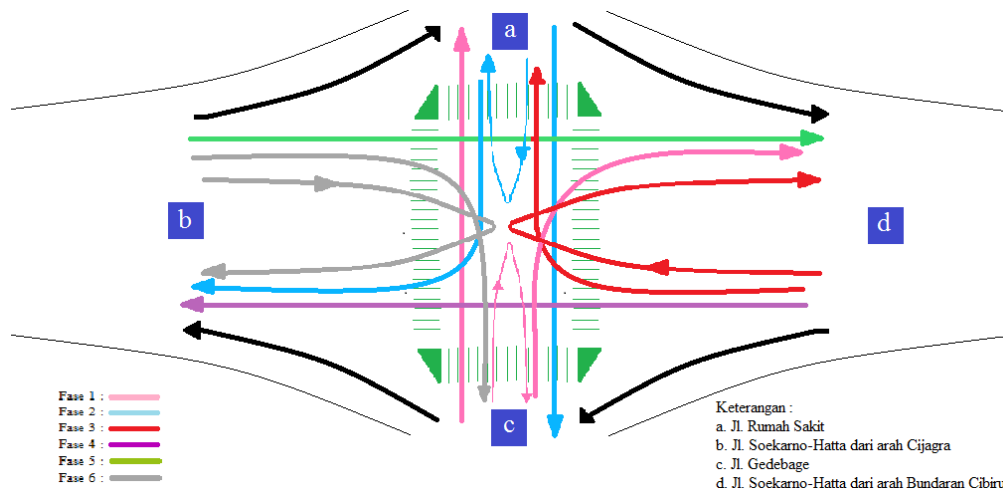


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini dilaksanakan di jalan nasional yang ada di Kota Bandung, tepatnya di adalah simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage Kota Bandung, yang memiliki empat ruas jalan. Arah selatan persimpangan adalah Jl. Gedebage selatan, arah utara persimpangan adalah Jl. Rumah Sakit, arah barat persimpangan adalah Jl. Soekarno-Hatta ke arah persimpangan Soekarno Hatta – Cijagra dan Waas, dan arah timur persimpangan adalah Jl. Soekarno-Hatta ke arah Bundaran Cibiru. Berdasarkan data keempat ruas tersebut, maka dapat diilustrasikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Jalur Lalu Lintas di Simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage

Pada Gambar 3.1, tanda panah menunjukkan arus lalu lintas di simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage dari berbagai arah. Arah A ke arah B menunjukkan arah lalu lintas dari Jalan Rumah Sakit ke Jalan Soekarno-Hatta. Arah A ke arah C menunjukkan arah lalu lintas dari Jalan Rumah Sakit ke Jalan Gedebage. Arah A ke arah D menunjukkan arah lalu lintas Jalan Rumah Sakist ke Jalan Soekarno Hatta (dari arah Bundaran Cibiru). Berlaku hal yang sama untuk arah B, C, dan D lainnya. Dari keempat arah tersebut diperbolehkan untuk putar balik. Jumlah fase pada saat ini adalah 6 fase dengan keterangan arus dari tiap fasenya terdapat pada Gambar 3.1.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian studi kasus di mana sumber penelitian diperoleh berdasarkan masalah pengaturan durasi lampu lalu lintas pada sebuah persimpangan di Kota Bandung. Metode penyelesaian permasalahan yang sesuai dipilih berdasarkan studi pustaka dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan masalah pengaturan lampu lalu lintas, yaitu pewarnaan graf dengan Algoritma *Bee Colony*, dan Metode *Fuzzy Mamdani*. Algoritma *Bee Colony* digunakan untuk menentukan fase lalu lintas, sedangkan Metode *Fuzzy Mamdani* digunakan untuk menentukan durasi lampu lalu lintas.

3.3 Data dan Sumber Data Penelitian

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi, wawancara dan dokumentasi. Penjelasan ketiga teknik pengumpulan data tersebut adalah sebagai berikut.

3.3.1 Observasi Langsung

Teknik observasi ini menggunakan pengamatan atau penginderaan langsung terhadap suatu benda, kondisi, situasi, atau perilaku. Data observasi berupa deskripsi yang faktual. Menurut Nasution (2004) cermat dan terinci mengenai keadaan langsung, kegiatan manusia, dan situasi sosial, serta konteks tempat kegiatan-kegiatan itu terjadi. Data yang diperoleh adalah hasil pengamatan langsung di lapangan terkait “Pengaturan Lalu Lintas Menggunakan Algoritma *Bee Colony* dengan Metode *Fuzzy Mamdani* (Studi Kasus di Simpang Jalan Soekarno Hatta, Kota Bandung)”. Adapun data-data yang dibutuhkan dari observasi adalah arus-arus kendaraan, fase lalu lintas, volume kendaraan atau jumlah motor dan mobil saat berhenti pada lampu merah, ukuran jalan, dan durasi lampu lalu lintas.

3.3.2 Studi Dokumentasi

Studi dokumentasi yang peneliti lakukan adalah sebagai data primer. Di dalam dokumentasi, peneliti menyelidiki banyaknya jalur persimpangan, jumlah kendaraan pada setiap fase, ukuran jalan, dan durasi lampu lalu lintas. Hal ini sejalan dengan Sutopo (2006) bahwa dokumen bukan hanya berwujud tulisan saja. Studi dokumentasi dilaksanakan dengan cara mengumpulkan data sekunder, baik yang diperoleh dari perpustakaan maupun dari sumber lain yang bersifat elektronik

atau maya. Dokumentasi dalam bentuk data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain tentang gambaran umum lokasi penelitian.

3.3.3 Wawancara

Menurut Moleong (2018) wawancara adalah percakapan dengan maksud tertentu. Agar wawancara dapat dilakukan dengan baik, hubungan antara peneliti dengan subyek merupakan suatu *partnership*. Wawancara digunakan untuk data sekunder dalam mengumpulkan data di lapangan, terutama terkait objek yang diteliti. Dipilih metode wawancara mendalam karena melalui kegiatan wawancara tersebut, dapat memperoleh informasi yang detail dan rinci mengenai hal yang diteliti. Dalam penelitian ini, peneliti akan melakukan wawancara dengan polisi atau Dinas Perhubungan Kota Bandung dan masyarakat sekitar terkait hal berikut:

- a. Lampu lalu lintas yang bekerja sesuai dengan fungsinya.
- b. Durasi lalu lintas,
- c. Kecelakaan lalu lintas di persimpangan yang diteliti.

Data dari wawancara tersebut akan digunakan untuk memvalidasi data yang didapatkan oleh peneliti baik dari studi literatur maupun dari data lapangan.

3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dengan pengamatan dan pencatatan secara langsung di simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage Kota Bandung meliputi jumlah kendaraan, ukuran jalan, arus-arus kendaraan, fase lampu lalu lintas, dan durasi lampu lalu lintas di persimpangan tersebut. Jumlah kendaraan yaitu mobil dan motor dihitung saat berhenti kendaraan pada lampu merah. Ukuran jalan meliputi lebar dan panjang jalan yang dipakai saat kendaraan berhenti di lampu merah. Adapun ukuran kendaraan mobil dan motor direpresentasikan sebagai objek persegi panjang yaitu ukuran mobil ($2,5m \times 5m$) dan motor ($1,25m \times 2,5m$). Arus-arus kendaraan dilihat dari arah kendaraan pada keempat titik. Fase arus lalu lintas dihitung saat arus kendaraan sama-sama berhenti pada lampu merah dan jalan pada lampu hijau. Durasi lampu lalu lintas dihitung berdasarkan lamanya ketiga lampu lalu lintas yaitu merah, kuning, dan hijau pada setiap fase. Penelitian ini dilakukan selama 4 hari, yaitu Jum'at, Sabtu, Minggu, dan Senin serta pada jam-jam sibuk

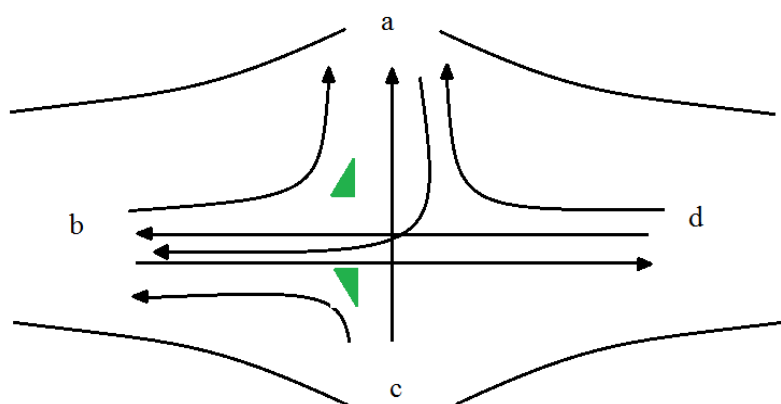
yaitu pagi hari jam 06.30-07.30, siang hari jam 12.00-13.00, dan sore hari jam 16.30-17.30. Waktu tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan padatnya jumlah kendaraan. Dipilihnya hari Jum'at karena waktu menuju akhir pekan, hari Sabtu dan Minggu merupakan akhir pekan, dan hari Senin merupakan hari kerja yang dapat mewakili hari-hari kerja lainnya.

Pada Sub bab selanjutnya akan dijelaskan metode yang digunakan untuk pengaturan lalu lintas di lokasi yang dipilih. Terdapat 2 tahapan pengaturan lalu lintas, yaitu penentuan fase lalu lintas menggunakan Algoritma *Bee Colony* dan dilanjutkan dengan perhitungan durasi lampu lalu lintas menggunakan metode Metode *Fuzzy Mamdani*.

3.4.2 Representasi Graf

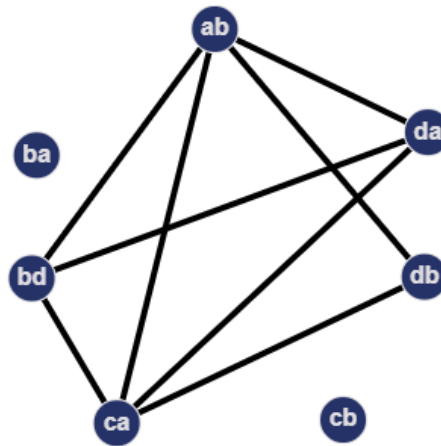
Tahapan pertama pengaturan lalu lintas adalah menetapkan banyaknya fase lalu lintas yang diperlukan pada simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage Kota Bandung dengan menerapkan pewarnaan simpul graf dengan Algoritma *Bee Colony*. Oleh karena itu perlu dilakukan representasi arus-arus kendaraan yang ada di simpang Jalan Soekarno Hatta-Gedebage Kota Bandung ke dalam bentuk graf tak berarah. Arus-arus kendaraan direpresentasikan sebagai simpul. Sisi yang menghubungkan dua simpul direpresentasikan sebagai arus yang tidak boleh berjalan bersamaan. Dengan kata lain, kemungkinan terjadinya kecelakaan direpresentasikan oleh sisi.

Sebagai contoh, suatu persimpangan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. 2. Contoh Jalur Lalu Lintas di Suatu Persimpangan

Maka representasi graf $G = (V, E)$ dari ilustrasi persimpangan diatas adalah $V = \{da, db, ca, cb, ba, bd, ab\}$ dan $E = \{(da, ab), (da, bd), (da, ca), (db, ab), (db, ca), (ca, ab), (ca, bd), (bd, ab)\}$. Hal ini berarti Graf $G = (V, E)$ terdiri atas 7 simpul dan 8 sisi. Ilustrasi graf dari Gambar 3.4. adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 3. Representasi Graf dari Jalur Persimpangan pada Contoh

3.4.3 Pewarnaan Simpul dengan Algoritma *Bee Colony*

Setelah diperoleh representasi graf, langkah selanjutnya adalah pewarnaan simpul pada graf dengan menggunakan Algoritma *Bee Colony*. Ada beberapa langkah dalam pewarnaan simpul pada graf dengan menggunakan Algoritma *Bee Colony*, diantaranya sebagai berikut (Kurnia, Mulyono, & Rochmad, 2020)

- Pewarnaan simpul pertama random
- Pewarnaan simpul berikutnya dicari dengan menggunakan fungsi probabilitas:

$$P_{v_i, S} = \begin{cases} 0, & v_i \in W_s \\ \frac{d(v_i)}{\sum_{j=1, v_j \in W_s}^N d(v_j)}, & v_i \notin W_s \end{cases} \quad (13)$$

Keterangan:

$P_{v_i, S}$ = probabilitas simpul v_i yang dipilih

W_s = himpunan dari simpul berwarna

N = jumlah simpul dalam graf

Neng Resi Arini, 2022

PENGATURAN LALU LINTAS MENGGUNAKAN ALGORITMA BEE COLONY DENGAN METODE FUZZY MAMDANI (Studi Kasus di Simpang Jalan Soekarno-Hatta Gedebage Kota Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$w_s(v_i)$ = simpul v_i yang berwarna

W = himpunan warna

Simpul yang akan dipilih untuk diwarnai adalah simpul yang mempunyai probabilitas yang lebih tinggi dibandingkan simpul lainnya. Dalam pewarnaan menggunakan Algoritma *Bee Colony* ini juga berlaku aturan bahwa simpul harus diwarnai berbeda jika simpul yang akan diwarnai tersebut bertetangga dengan simpul yang telah diwarnai sebelumnya,

c. Ulangi langkah b sampai semua simpul terwarnai

Hasil dari pewarnaan simpul graf tersebut adalah bilangan kromatik yang merepresentasikan fase lampu lalu lintas dengan tidak adanya tabrakan antar arus kendaraan dan perbedaan kendaraan di setiap fasenya.

Sebagai contoh, pewarnaan simpul dengan Algoritma *Bee Colony* untuk Gambar 3. diawali dengan menghitung derajat pada setiap simpul, yaitu sebagai berikut:

1. Simpul yang bertetangga dengan ab adalah bd, ca, da, db , sehingga $\text{deg}(ab) = 4$
2. Tidak ada simpul yang bertetangga dengan ba , sehingga $\text{deg}(ba) = 0$
3. Simpul yang bertetangga dengan bd adalah ab, ca, da , sehingga $\text{deg}(bd) = 3$
4. Simpul yang bertetangga dengan ca adalah ab, bd, da, db , sehingga $\text{deg}(ca) = 4$
5. Tidak ada simpul yang bertetangga cb , sehingga $\text{deg}(cb) = 0$
6. Simpul yang bertetangga dengan da adalah ab, bd, ca , sehingga $\text{deg}(da) = 3$
7. Simpul yang bertetangga dengan db adalah ab, ca , sehingga $\text{deg}(db) = 2$

Untuk selanjutnya adalah pewarnaan graf dengan Algoritma *Bee Colony* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Asumsikan simpul pertama yang akan diberi warna adalah simpul ab , maka

$$W_s = \{w_s(ab)\} \text{ dan } W = \{W_1\}$$

2. Pewarnaan simpul berikutnya dihitung dengan menggunakan fungsi probabilitas sesuai dengan persamaan (13) sampai semua simpul diwarnai.

Untuk Pewarnaan simpul ke-2, simpul yang bertetangga dengan simpul ab adalah simpul bd, ca, da, db . Untuk pewarnaan simpul yang ke-2 akan menggunakan fungsi probabilitas sesuai persamaan (13)

$$P_{v_i, S} = \frac{d(v_i)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_s}^N d(v_j)}, \quad v_i \notin W_s$$

Untuk simpul bd

$$P_{v_{bd}, S} = \frac{d(bd)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_s}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{bd}, S} = \frac{d(bd)}{d(ba) + d(bd) + d(ca) + d(cb) + d(da) + d(db)}$$

$$P_{v_{bd}, S} = \frac{3}{0 + 3 + 4 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{bd}, S} = \frac{3}{12}$$

$$P_{v_{bd}, S} = 0,25$$

Untuk simpul ca

$$P_{v_{ca}, S} = \frac{d(ca)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_s}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{ca}, S} = \frac{d(ca)}{d(ba) + d(bd) + d(ca) + d(cb) + d(da) + d(db)}$$

$$P_{v_{ca}, S} = \frac{4}{0 + 3 + 4 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{ca}, S} = \frac{4}{12}$$

$$P_{v_{ca}, S} = 0,33$$

Untuk simpul da

$$P_{v_{da}, S} = \frac{d(da)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_s}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{da},S} = \frac{d(da)}{d(ba) + d(bd) + d(ca) + d(cb) + d(da) + d(db)}$$

$$P_{v_{da},S} = \frac{3}{0 + 3 + 4 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{da},S} = \frac{3}{12}$$

$$P_{v_{da},S} = 0,25$$

Untuk simpul db

$$P_{v_{db},S} = \frac{d(db)}{\sum_{j=1, v_j \notin W_s}^7 d(v_j)}$$

$$P_{v_{db},S} = \frac{d(db)}{d(ba) + d(bd) + d(ca) + d(cb) + d(da) + d(db)}$$

$$P_{v_{db},S} = \frac{2}{0 + 3 + 4 + 0 + 3 + 2}$$

$$P_{v_{db},S} = \frac{2}{12}$$

$$P_{v_{db},S} = 0,17$$

Dari keempat nilai probabilitas diatas, yang paling besar adalah nilai probabilitas dari simpul ca yaitu 0.33, maka simpul yang akan diwarnai selanjutnya adalah simpul ca . Karena simpul ab bertetangga dengan simpul ca , maka pemberian warna pada simpul ca tidak boleh sama dengan simpul ab . Sehingga $W_s = \{w_s(ab), w_s(ca)\}$ dan $W = \{W_1, W_2\}$.

3. Pewarnaan simpul ke-3 dan simpul ke-4

Simpul yang bertetangga dengan ca dan bukan simpul yang telah diwarnai adalah simpul bd sehingga dapat langsung diberi warna. Karena bd bertetangga dengan simpul ab dan ca , maka warna untuk bd tidak boleh sama dengan kedua simpul tersebut. Begitupun dengan pewarnaan simpul ke-4 mengikuti aturan umum pewarnaan simpul, yaitu simpul yang akan diwarnai tidak boleh sama warnanya dengan simpul tetangga yang telah diwarnai sebelumnya, sehingga didapatkan $W_s = \{w_s(ab), w_s(ca), w_s(bd), w_s(da)\}$ dan $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$.

4. Pewarnaan simpul ke-5

Simpul yang bertetangga dengan da dan bukan simpul yang telah diwarnai tidak ada, maka untuk pewarnaan berikutnya dicari simpul lain yang belum diberi

warna yaitu simpul ba , cb , dan db . Pemberian warna pada ketiga simpul tersebut akan kembali menggunakan fungsi probabilitas yang sesuai dengan persamaan (13), sehingga didapatkan $W_s = \{w_s(ab), w_s(ca), w_s(bd), w_s(da), w_s(db)\}$ dan $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4, W_4\}$.

5. Pewarnaan Simpul ke-6 dan ke-7

Simpul yang bertetangga dengan db dan bukan simpul yang telah diwarnai tidak ada, maka untuk pewarnaan berikutnya dicari simpul lain yang belum diberi warna yaitu simpul ba dan cb . Karena kedua simpul tersebut merupakan simpul terpencil dalam graf persimpangan, maka simpul ba dan cb tidak perlu diberi warna.

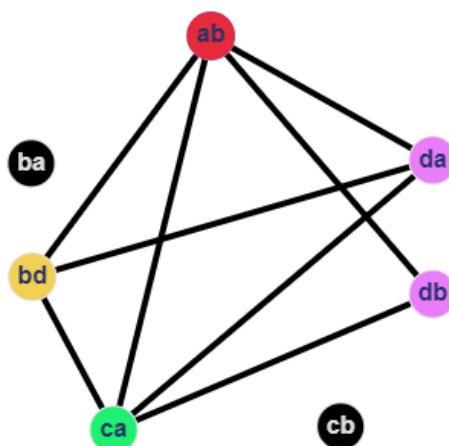
Setiap simpul yang bukan simpul terpencil telah diberi warna dan tidak ada simpul-simpul yang bertetangga memiliki warna yang sama, maka prosedur berhenti.

Solusi persamaan simpul pada graf $G = (V, E)$ pada contoh suatu persimpangan disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. 1
Solusi pewarnaan simpul pada graf $G = (V, E)$

Warna Simpul Ke-	Nama Simpul	Warna
Simpul 1	ab	W_1
Simpul 2	ca	W_2
Simpul 3	bd	W_3
Simpul 4	da	W_4
Simpul 5	db	W_4
Simpul 6	ba	Graf Terpencil (Graf Nol)
Simpul 7	cb	

Penyelesaian dari contoh pewarnaan graf G di persimpangan disajikan dalam Gambar 3. Berikut:



Gambar 3. 4. Contoh Graf Penyelesaian dari Graf $G = (V, E)$ di Persimpangan

3.4.4 Penentuan Durasi Lampu Lalu Lintas Dengan Metode *Fuzzy Mamdani*

Setelah didapatkannya fase lampu lalu lintas baru tanpa adanya tabrakan, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah dengan mengatur durasi lampu lalu lintas pada setiap fasenya dengan menggunakan Metode *Fuzzy Mamdani*. Ada beberapa prosedur atau tahapan yang harus dilalui dalam Metode *Fuzzy Mamdani*, diantaranya pembentukan himpunan *fuzzy* untuk variabel-variabel *input* ataupun *output*, aplikasi fungsi implikasi logika matematika, penggunaan komposisi aturan, dan defuzzifikasi atau proses penegasian (Utama, 2021).

a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Langkah selanjutnya dalam pengaplikasian Metode *Fuzzy Mamdani* adalah pembentukan himpunan *fuzzy* dengan menentukan fungsi keanggotaan. Akan dibuat tabel perencanaan himpunan *fuzzy* dengan kolom variabel, himpunan, semesta pembicaraan, domain, fungsi keanggotaan, dan parameter. Dalam hal ini, variabel yang dimaksud adalah variabel *input* dan *output*.

b. Variabel

Terdapat dua variabel, yaitu variabel *input* variabel *output*. Variabel *input* berupa “Jumlah Mobil” dan “Jumlah Motor” saat lampu merah. Sedangkan untuk variabel *output* berupa “Durasi Lampu Hijau” pada setiap fasenya.

c. Himpunan *Fuzzy*

Kriteria himpunan *fuzzy* ditentukan berdasarkan data di lapangan. Himpunan *fuzzy* untuk variabel *input* Jumlah Mobil dan variabel *input* Jumlah Motor ditentukan dari keseluruhan data jumlah mobil dan jumlah motor di lapangan yang akan diklasifikasikan ke dalam kriteria sedikit, sedang, dan banyak. Selanjutnya, himpunan *fuzzy* yang digunakan untuk variabel *output* Durasi Lampu Hijau ditentukan berdasarkan durasi lampu hijau pada data di lapangan yang akan diklasifikasikan ke dalam sebentar, sedang, dan lama.

d. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan untuk masing-masing variabel didasarkan pada ketentuan yang digunakan. Semesta pembicaraan merupakan batas akhir atau maksimal pada setiap variabelnya, baik variabel *input* maupun variabel *output*. Variabel input jumlah Mobil dan Jumlah Motor memiliki semesta pembicaraan berupa ukuran jalan yang digunakan kendaraan mobil dan motor pada setiap fasenya. Dengan kata lain, semesta pembicaraan dari variabel input jumlah mobil dan variabel input jumlah motor adalah ukuran jalan maksimum pada setiap fase dibagi dengan ukuran mobil dan motor yang telah diasumsikan sebelumnya, yaitu untuk mobil ukuran $(2,5m \times 5m)$ dan motor ukuran $(1,25m \times 2,5m)$. Sedangkan semesta untuk variabel durasi lampu hijau dapat dirumuskan sebagai berikut (Yudanto, Apriyadi, & Sanjaya, 2013).

$$\text{Semesta Pembicaraan Durasi Lampu Hijau} = \frac{P}{100} \times 60 \quad (14)$$

dengan P adalah ukuran maksimum dari tiap fase dan angka 60 merupakan waktu per 1 menit atau 60 detik. Angka 100 pada penyebut rumus diatas merupakan asumsi rata-rata kendaraan saat keadaan padat di lampu merah pada suatu jalur, yaitu $6 \text{ km/jam} = 6000 \text{ m/jam} = 100 \text{ m/menit}$.

e. Domain

Domain ditentukan berdasarkan data asli di lapangan sebelumnya yang diambil dari rata-rata pada setiap variabelnya. Jika nilai data menunjukkan variabel berada dibawah rentang rata-rata, maka nilai tersebut akan dicantumkan di baris himpunan yang ‘Sedikit’ untuk variabel input Jumlah Mobil dan variabel input Jumlah Motor

serta himpunan yang ‘Sebentar’ untuk variabel output Durasi Lampu Hijau. Jika nilai data menunjukkan variabel berada diatas rentang rata-rata, maka nilai tersebut akan dicantumkan di baris himpunan yang ‘Banyak’ untuk variabel input Jumlah Mobil dan variabel input Jumlah Motor serta himpunan yang ‘Lama’ untuk variabel output Durasi Lampu Hijau, Jika nilai data berada diantara rentang rata-ratanya, maka nilai tersebut akan dicantumkan dibaris himpunan ‘Sedang’ untuk ketiga variabel tersebut.

f. Fungsi Keanggotaan

Terdapat beberapa fungsi keanggotaan, yaitu linear, segitiga, trapesium, dan bahu. Berdasarkan rekomendasi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kurnia, Mulyono, & Rochmad, (2020), fungsi keanggotaan dari ketiga kriteria himpunan *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah segitiga. Selain itu, menurut Chang, (1997) fungsi keanggotaan ini cocok untuk menangani permasalahan *fuzzy* yang bergantung pada situasi dan kondisi. Fungsi keanggotaan ini digunakan untuk mempertegas *fuzzy*, mengingat bahwa *fuzzy* merupakan sesuatu yang nilai kebenarannya bersifat tidak pasti atau samar. Rumus yang digunakan untuk nilai keanggotaan simpul pada kurva segitiga adalah sebagai berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (15)$$

Untuk nilai a , b , dan c ditentukan oleh peneliti dengan mempertimbangkan kondisi data di lapangan.

Ilustrasi 3.4.4:

Misalkan data yang didapat di lapangan dan setelah diklasifikasikan adalah sebagai berikut:

Untuk jumlah mobil

$$\mu_{mblsedikit}[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x-1}{6} & ; 1 < x < 7 \\ \frac{15-x}{8} & ; 7 \leq x \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu_{mblsedang}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 15 \text{ atau } x \geq 36 \\ \frac{x-15}{6} ; 15 < x < 23 \\ \frac{36-x}{13} ; 23 \leq x \leq 36 \end{cases}$$

$$\mu_{mblbanyak}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 36 \text{ atau } x \geq 58 \\ \frac{x-36}{8} ; 36 < x < 44 \\ \frac{44-x}{14} ; 44 \leq x \leq 58 \end{cases}$$

Jika $x = 13$, maka:

$$\mu_{mblsedikit}[13] = \frac{2}{8} = 0,25$$

$$\mu_{mblsedang}[13] = 0$$

$$\mu_{mblbanyak}[13] = 0$$

Untuk jumlah motor

$$\mu_{mtrsedikit}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 22 \\ \frac{x-1}{13} ; 1 < x < 14 \\ \frac{22-x}{8} ; 14 \leq x \leq 22 \end{cases}$$

$$\mu_{mtrsedang}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 22 \text{ atau } x \geq 61 \\ \frac{x-22}{24} ; 22 < x < 46 \\ \frac{61-x}{15} ; 46 \leq x \leq 61 \end{cases}$$

$$\mu_{mtrbanyak}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 61 \text{ atau } x \geq 105 \\ \frac{x-61}{32} ; 61 < x < 93 \\ \frac{105-x}{12} ; 93 \leq x \leq 105 \end{cases}$$

Jika $x = 18$, maka:

$$\mu_{mtrsedikit}[18] = \frac{4}{8} = 0,5$$

$$\mu_{mtrsedang}[18] = 0$$

$$\mu_{mtrbanyak}[18] = 0$$

Untuk durasi lampu hijau

$$\mu_{durasisebentar}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 5 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-5}{10} ; 5 < x < 15 \\ \frac{30-x}{15} ; 15 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{durasisedang}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 30 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-30}{10} ; 30 < x < 40 \\ \frac{50-x}{10} ; 40 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{durasilama}[x] = \begin{cases} 0 ; x \leq 50 \text{ atau } x \geq 80 \\ \frac{x-50}{15} ; 50 < x < 65 \\ \frac{80-x}{15} ; 65 \leq x \leq 80 \end{cases}$$

Jika $x = 20$, maka:

$$\mu_{durasisebentar}[20] = \frac{10}{15} = 0,67$$

$$\mu_{durasisedang}[20] = 0$$

$$\mu_{durasilama}[20] = 0$$

g. Parameter

Parameter yang digunakan berasal dari *range* pada domain yang dipertimbangkan dengan keadaan data di lapangan.

h. Penentuan Aturan *Fuzzy*

Aturan *fuzzy* dibentuk untuk menyatakan hubungan antara *input* dan *output*. Ada beberapa aturan yang harus dipenuhi dalam menentukan durasi lampu hijau dengan Metode *Fuzzy Mamdani*, yaitu menggunakan fungsi implikasi *IF-THEN* sebagai fungsi yang memetakan antara *input* dan *output* dengan fungsi *MIN*, dan operator *AND* yang digunakan untuk menghubungkan dua variabel input. Dalam penelitian ini, terdapat 15 aturan, yaitu dapat dilihat pada Gambar 3. 3 berikut:

1. If (JumlahMobil is Sedikit) and (JumlahMotor is Sedikit) then (DurasiLampuHijau is Sebentar) (1)
2. If (JumlahMobil is Sedikit) and (JumlahMotor is Sedang) then (DurasiLampuHijau is Sedang) (1)
3. If (JumlahMobil is Sedikit) and (JumlahMotor is Banyak) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
4. If (JumlahMobil is Sedang) and (JumlahMotor is Sedikit) then (DurasiLampuHijau is Sedang) (1)
5. If (JumlahMobil is Sedang) and (JumlahMotor is Sedang) then (DurasiLampuHijau is Sedang) (1)
6. If (JumlahMobil is Sedang) and (JumlahMotor is Banyak) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
7. If (JumlahMobil is Banyak) and (JumlahMotor is Sedikit) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
8. If (JumlahMobil is Banyak) and (JumlahMotor is Sedang) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
9. If (JumlahMobil is Banyak) and (JumlahMotor is Banyak) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
10. If (JumlahMobil is Sedikit) then (DurasiLampuHijau is Sebentar) (1)
11. If (JumlahMobil is Sedang) then (DurasiLampuHijau is Sedang) (1)
12. If (JumlahMobil is Banyak) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)
13. If (JumlahMotor is Sedikit) then (DurasiLampuHijau is Sebentar) (1)
14. If (JumlahMotor is Sedang) then (DurasiLampuHijau is Sedang) (1)
15. If (JumlahMotor is Banyak) then (DurasiLampuHijau is Lama) (1)

Gambar 3. 5. Aturan Metode *Fuzzy* Mamdani dengan Fungsi IF-THEN dan Operator AND

Berdasarkan *Ilustrasi 3.4.4*, didapatkan:

IF JumlahMobil Sedikit AND JumlahMotor Sedikit THEN DurasiLampuHijau Sebentar

$$\alpha_1 = \mu_{sedikit}[x] \cap \mu_{sedikit}[x]$$

$$\alpha_1 = \min(\mu_{mblsedikit}[13], \mu_{mtrsedikit}[18])$$

$$\alpha_1 = \min(0.25, 0.5)$$

$$\alpha_1 = 0.25$$

Dan seterusnya sampai aturan ke-15.

i. Komposisi aturan

Komposisi aturan atau agregasi yang merupakan prosedur menggabungkan fungsi keanggotaan dari aturan aplikasi fungsi implikasi. Tujuan dari prosedur ini adalah untuk menentukan inferensi dari kumpulan dan korelasi antar aturan menggunakan metode *max*. Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, lalu menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke dalam keputusan (*output*) dengan menggunakan operator OR. Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari setiap proposisi.

Sebagai contoh, berdasarkan ilustrasi 3.4.4 maka aturan komposisi dengan metode *max* dan operator OR dicari menggunakan persamaan (10) yaitu

$$\mu_s[x_i] = \mu_{durasisebentar}[x] \cup \mu_{durasisedang}[x] \cup \mu_{durasilama}[x]$$

$$\mu_s[x_i] = \max(\mu_{durasisebentar}[x], \mu_{durasisedang}[x], \mu_{durasilama}[x])$$

$$\mu_s[x_i] = \max(0.67, 0, 0)$$

$$\mu_s[x_i] = 0.67$$

Mencari titik *a* dan *b*

Titik *a* ketika $\mu_{durasilampuhijau} = 0$, sehingga titik *a*

$$\frac{x - 50}{15} = 0$$

$$x - 50 = 0$$

$$x = 50$$

Titik *a* ketika $\mu_{durasilampuhijau} = 0.67$, sehingga titik *b*

$$\frac{x - 50}{15} = 0,67$$

$$x - 50 = 10,05$$

$$x = 60,05$$

Dengan demikian, fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi diatas adalah

$$\mu_{durasilampuhijau} = \begin{cases} 0; & 0 \leq x \leq 50 \\ \frac{x - 50}{15}; & 50 < x < 60.05 \\ 0.67; & 60.05 \leq x \leq 80 \end{cases}$$

j. Defuzzifikasi

Tahap akhir dari *Metode Fuzzy Mamdani* adalah defuzzifikasi. *Input* dari defuzzifikasi merupakan himpunan *fuzzy* dari komposisi aturan, sedangkan *outputnya* adalah suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Defuzzifikasi pada *Metode Fuzzy Mamdani* menggunakan metode *centroid*. Metode *centroid* merupakan metode yang semua daerah *fuzzy* dari hasil komposisi aturan yang digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Prosedur defuzzifikasi dengan metode *centroid* yaitu menentukan *moment* (integral dari masing-masing fungsi keanggotaan dari

komposisi aturan), menentukan luas, dan menentukan titik pusat (Febriany, Agustina, & Marwati, 2017).

Contoh defuzzifikasi dengan metode *centroid* dari hasil komposisi aturan ilustrasi 3.4.4 adalah menggunakan rumus sesuai dengan persamaan (11), yaitu sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{\int_0^{50} 0 \cdot x \, dx + \int_{50}^{60,05} \left(\frac{x-50}{15}\right) x \, dx + \int_{60,05}^{80} 0,67 \cdot x \, dx}{\int_0^{50} 0 \, dx + \int_{50}^{60,05} \left(\frac{x-50}{15}\right) dx + \int_{60,05}^{80} 0,67 \, dx}$$

$$Z_0 = \frac{\int_0^{50} 0 \, dx + \int_{50}^{60,05} \left(\frac{x^2 - 50x}{15}\right) dx + \int_{60,05}^{80} 0,67 \cdot x \, dx}{\int_0^{50} 0 \, dx + \int_{50}^{60,05} \left(\frac{x-50}{15}\right) dx + \int_{60,05}^{80} 0,67 \, dx}$$

$$Z_0 = \frac{0 + \left(\frac{x^2}{2} - 50x\right) \Big|_{50}^{60,05} + \frac{67x^2}{100} \Big|_{60,05}^{80}}{0 + \left(\frac{x-50}{15}\right) \Big|_{50}^{60,05} + \frac{67x}{100} \Big|_{60,05}^{80}}$$

$$Z_0 = \frac{0 + 3,37 + 935,99}{0 + 3,37 + 13,37}$$

$$Z_0 = 56,11$$

Jadi, defuzzifikasi dengan metode *centroid* menghasilkan angka 56,11 artinya *output* durasi lampu hijaunya adalah 56,11 detik.

3.4.5 Validasi

Validasi dilakukan untuk untuk menguji apakah Algoritma *Bee Colony* dengan Metodi *Fuzzy* Mandani sudah dapat diimplementasikan pada data yang sebenarnya. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil komputasi penerapan Algoritma tersebut pada data berukuran kecil yang solusinya sudah diketahui. Komponen pendukung dalam validitas data ini adalah hasil observasi dengan melalui aplikasi pendukung penelitian, seperti *google maps*, *google earth*, dan aplikasi *Matlab R2021a*. Selain itu, hasil wawancara dan pemantauan *CCTV* pun dapat dijadikan tambahan komponen pendukung tersebut. Pemantauan *CCTV*

di lokasi penelitian simpang Jalan Soekarno Hata-Gedebage Kota Bandung dilakukan secara *online* melalui *website* resmi Dinas Perhubungan Kota Bandung.

3.4.6 Implementasi

Data yang telah didapatkan akan menjadi bahan untuk mengimplementasikan Algoritma *Bee Colony* dengan Metode *Fuzzy Mamdani*. Data terkait jalur dan fase lalu lintas akan diimplementasikan dalam Algoritma *Bee Colony*. Selanjutnya, data terkait ukuran jalan, jumlah mobil, jumlah motor, dan durasi lampu lalu lintas akan diimplementasikan dalam Metode *Fuzzy Mamdani*.

3.4.7 Penarikan Kesimpulan

Melalui langkah-langkah yang telah disebutkan sebelumnya, maka setelah implementasi Algoritma *Bee Colony* dengan Metode *Fuzzy Mamdani* adalah penarikan kesimpulan. Hasil dari implementasi Algoritma *Bee Colony* dengan Metode *Fuzzy Mamdani* di persimpangan adalah fase arus lalu lintas dan durasi lampu lalu lintas yang baru. Setelah itu, akan dibandingkan keoptimalan pengaturan lalu lintas hasil implementasi tersebut dengan data pengamatan sebelumnya.