

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Deskripsi Masalah**

Fokus penelitian ini adalah masalah menemukan rute terbaik untuk objek wisata di kawasan Bandung Raya. Penelitian ini mencoba mengatasi ketidakpastian kondisi lalu lintas menggunakan logika Fuzzy. Selanjutnya, algoritma Floyd-Warshall akan digunakan untuk menentukan rute terbaiknya. Variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jarak dan waktu tempuh. Sehingga rute terbaiknya merupakan rute yang memiliki jarak terpendek dan waktu tempuh tercepat. Dengan menggabungkan kedua metode ini, diharapkan hasil yang diperoleh mampu menyediakan rekomendasi rute terbaik dengan tujuan yakni meningkatkan efisiensi perjalanan serta memberikan solusi yang adaptif terhadap pembaca. Untuk memudahkan model dan analisis, pada penelitian ini peneliti menggunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Titik awal adalah Gerbang Tol Pasteur dan titik tujuan adalah objek wisata yang terakhir dikunjungi
2. Semua ruas jalan yang dipilih dianggap bisa dilalui
3. Waktu tempuh telah merepresentasikan kecepatan dan kondisi lalu lintas yang ada dengan waktu terkecil yakni 1 menit

#### **3.2 Pengumpulan Data**

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari aplikasi *Google Maps* dan *Google Earth* meliputi jarak dan waktu tempuh. Jarak yaitu panjangnya jalan yang dilewati dari titik satu ke titik lainnya dalam satuan km. Waktu yaitu estimasi waktu yang tertera di *Google Maps* untuk sampai dari titik asal ke titik tujuan dalam satuan menit. Berdasarkan batasan masalah, ruas jalan dipilih yakni jalan utama. *Google Earth* digunakan untuk memilih jalan utama yang menghubungkan setiap objek wisata. Pengumpulan data dilakukan sebanyak 3 kali, dengan mempertimbangkan hari Sabtu, hari Minggu, dan hari libur nasional sebagai hari yang mewakili akhir pekan, saat pukul 09.00 – 14.00 WIB.

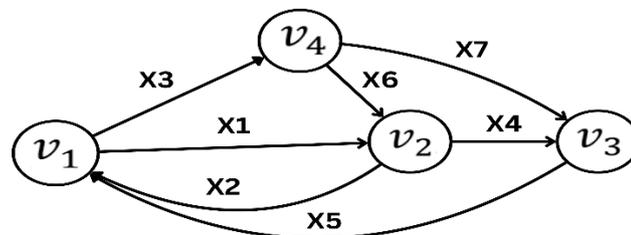
### 3.3 Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Representasi Graf Berarah

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini adalah memodelkan objek-objek wisata, persimpangan, dan ruas jalan melalui representasi graf berarah  $D = (V, A)$ . Graf berarah digunakan dalam penelitian karena ruas jalan yang ada memiliki arah yakni satu arah dan dua arah. Himpunan  $V$  terdiri dari gabungan himpunan objek wisata dan himpunan persimpangan dengan penambahan titik masuk yakni gerbang tol Pasteur sebagai titik awal. Ruas jalan dinyatakan sebagai  $A = \{ (i, j) \mid i, j \in V, i \neq j \}$  yaitu himpunan busur  $A$  yang menjadi penghubung antar simpul.

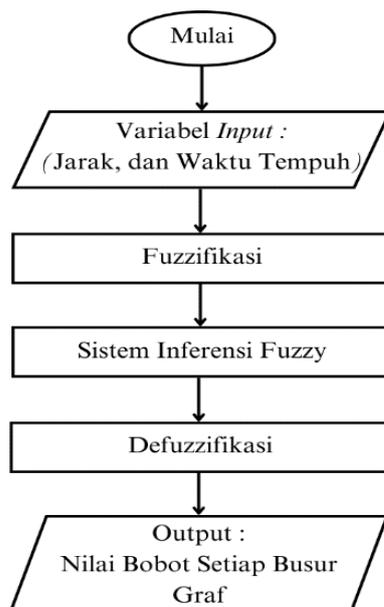
Sebagai ilustrasi, misalkan terdapat 4 lokasi wisata. Maka representasi graf berarah  $D = (V, A)$  dari ilustrasi tersebut adalah  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$  dan  $A = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7\}$ . Hal ini berarti graf berarah  $D = (V, A)$  terdiri atas 4 simpul dan 7 busur. Graf berarah untuk ilustrasi tersebut digambarkan pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Representasi Graf Berarah dari Ilustrasi

#### 3.3.2 Penentuan Bobot dengan Logika Fuzzy

Penentuan nilai bobot dari tiap busur dilakukan menggunakan fuzzy Sugeno. Fuzzy Sugeno dipilih karena *output* konsekuennya yang berupa konstanta lebih cocok dalam pemberian nilai bobot graf. Berdasarkan Subbab 2.4, adapun flowchart logika fuzzy dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Flowchart Fuzzy

a. Variabel *Input* dan *Output*

Pada penelitian ini, terdapat dua variabel *input* dan satu variabel *output*. Variabel *input* berupa “Jarak” dan “Waktu Tempuh” sedangkan variabel *output* berupa “Nilai Bobot”.

b. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy variabel jarak terdiri dari “Dekat”, “Sedang”, dan “Jauh”. Sedangkan himpunan fuzzy variabel waktu tempuh terdiri dari “Cepat”, “Sedang”, dan “Lama”. Penentuan himpunan fuzzy sepenuhnya diserahkan kepada peneliti (Ross, 2010). Dalam penelitian ini, himpunan fuzzy ditentukan berdasarkan representasi bahasa alamiah setiap variabel.

c. Semesta Pembicaraan dan Domain

Semesta pembicaraan pada variabel *input* berupa nilai interval dengan batas bawahnya yakni data terkecil dan batas atasnya yakni data terbesar. Sedangkan semesta pembicaraan variabel *output* yakni nilai interval  $[0, 1]$ . Penentuan domain didasarkan pada semesta pembicaraan dan banyaknya himpunan fuzzy.

d. Fungsi Keanggotaan

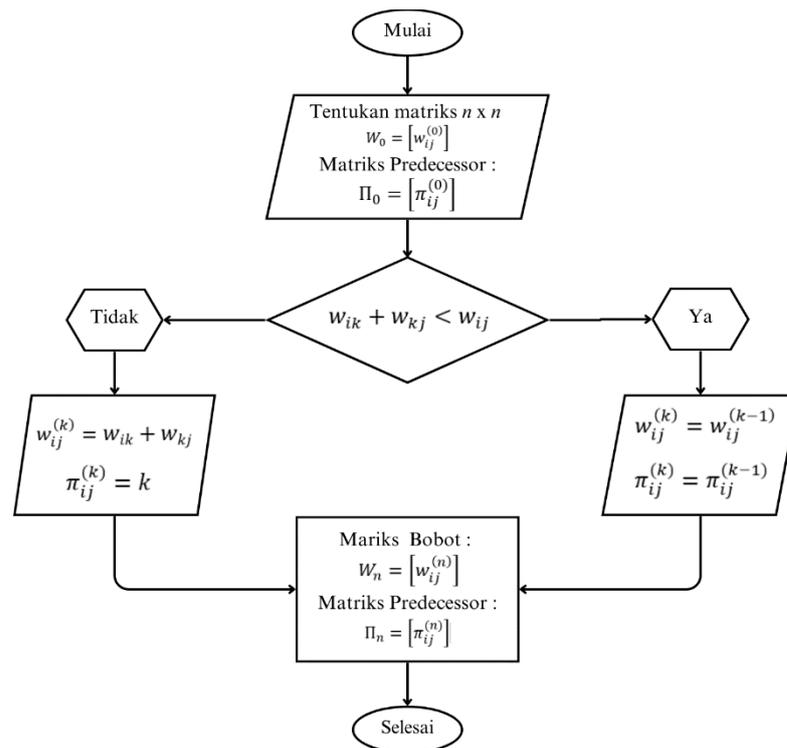
Penentuan fungsi keanggotaan didasarkan pada pemetaan nilai input ke nilai keanggotaan. Pemilihan kurva fungsi keanggotaan dapat disesuaikan tergantung masalah yang diteliti. Pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan bahu dan segitiga.

e. Penentuan Aturan Fuzzy (*Rules*)

Banyaknya aturan fuzzy ditentukan berdasarkan jumlah himpunan fuzzy untuk setiap variabel *input*. Aturan yang digunakan yaitu aturan *IF-THEN* dengan operator AND seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.3.3.

### 3.3.3 Implementasi Algoritma Floyd-Warshall

Bobot yang sebelumnya telah diperoleh dengan logika fuzzy merupakan nilai bobot setiap busur pada graf yang akan digunakan sebagai *input* dalam algoritma Floyd-Warshall. Kemudian algoritma ini dijalankan untuk menentukan rute terbaik setiap objek wisata. Dalam penelitian ini, algoritma Floyd-Warshall akan dijalankan dengan bantuan program Python. Berdasarkan Subbab 2.6, adapun *flowchart* algoritma Floyd-Warshall dan penentuan rute terpendek terdapat pada Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3 Flowchart Algoritma Floyd-Warshall

### 3.4 Validasi

Validasi yang akan dilakukan pada penelitian ini berfokus pada keakuratan program yang telah dibuat. Langkah-langkah validasi akan mencakup serangkaian uji coba untuk memastikan bahwa program yang telah dirancang beroperasi dan

Tia Rianda, 2024

**PENENTUAN RUTE TERBAIK OBJEK WISATA DI BANDUNG RAYA DENGAN LOGIKA FUZZY DAN ALGORITMA FLOYD-WARSHALL**

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

hasilnya sesuai dengan perhitungan manual yang telah dilakukan. Uji coba ini akan menggunakan data dalam skala kecil yaitu contoh kasus yang terdapat pada Subbab 3.6.

### 3.5 Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir yakni membuat kesimpulan yang bertujuan untuk memberikan ringkasan mengenai hasil penelitian. Kesimpulan dari penelitian ini akan merangkum bagaimana logika fuzzy menentukan bobot setiap busur pada graf dan bagaimana algoritma Floyd-Warshall membantu menemukan rute terbaik berdasarkan data yang ada.

### 3.6 Contoh Penerapan

Perhatikan ilustrasi pada Subbab 3.3.1, misalnya variabel yang akan digunakan yakni jarak dan waktu tempuh. Dengan variabel *input* berupa jarak dan waktu tempuh serta variabel *output* berupa nilai bobot. Jarak dan waktu tempuh disajikan dalam Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Data Contoh Kasus

Busur		Jarak (km)	Waktu Tempuh (menit)
X1	$v_1 \rightarrow v_2$	28	25
X2	$v_2 \rightarrow v_1$	25	19
X3	$v_1 \rightarrow v_4$	75	65
X4	$v_2 \rightarrow v_3$	48	73
X5	$v_3 \rightarrow v_1$	115	174
X6	$v_4 \rightarrow v_2$	70	105
X7	$v_4 \rightarrow v_3$	55	48

Kemudian akan ditentukan semesta pembicaraannya. Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 3.3.2 poin c, semesta pembicaraan ditentukan berdasarkan data yang ada, yakni batas bawah berupa data terkecil dan batas atas berupa data terbesar. Semesta pembicaraan untuk contoh kasus ini disajikan pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Semesta Pembicaraan Contoh Kasus

Variabel		Notasi	Semesta Pembicaraan
<i>Input</i>	Jarak	S	[25,115]
	Waktu tempuh	T	[19,174]

Variabel		Notasi	Semesta Pembicaraan
<i>Output</i>	Nilai Bobot	O	[0,1]

Penentuan himpunan fuzzy sudah dijelaskan pada Subbab 3.3.2 poin b. Dalam contoh kasus ini, himpunan fuzzy untuk variabel jarak adalah “Dekat”, “Sedang”, dan “Jauh”. Penentuan himpunan fuzzy jarak didasarkan pada bahasa alami dari ukuran jarak yaitu “Dekat” dan “Jauh”. Nilai yang berada diantara kondisi dekat dan jauh direpresentasikan dengan “Sedang”. Sama halnya dengan himpunan fuzzy variabel jarak, himpunan fuzzy waktu dibagi menjadi “Cepat”, “Sedang”, dan “Lama”. Dasar penentuan himpunan fuzzy waktu sama dengan himpunan fuzzy jarak. Pada variabel *output* yakni nilai bobot, himpunan fuzzy tidak ditentukan karena pada penelitian ini menggunakan fuzzy Sugeno di mana *output* berupa konstanta.

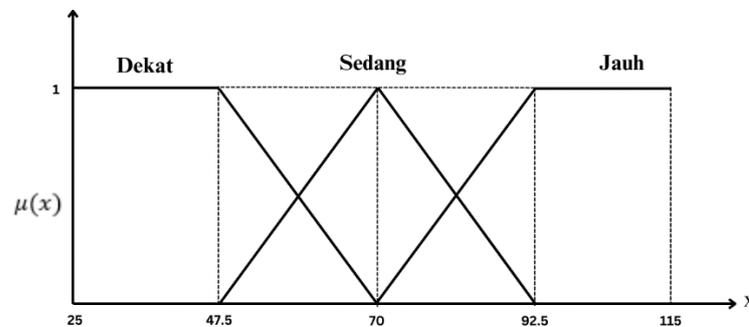
Untuk penentuan domain telah dijelaskan pada Subbab 3.3.2 poin c yaitu didasarkan pada semesta pembicaraan dan banyaknya himpunan fuzzy yakni membagi rata semesta pembicaraan terhadap banyaknya himpunan fuzzy. Contohnya, pada variabel jarak, jika data berada di bawah nilai tengah data maka akan masuk ke himpunan “Dekat”. Jika data berada di sekitar nilai tengah data maka akan masuk ke himpunan “Sedang” serta jika data berada di atas nilai tengah data maka akan masuk ke himpunan “Jauh”. Adapun himpunan fuzzy setiap variabel serta domainnya disajikan dalam Tabel 3. 3.

Tabel 3. 3 Himpunan Fuzzy dan Domain dari Contoh Kasus

Variabel	Himpunan	Domain
Jarak	Dekat	[25; 70]
	Sedang	[47,5; 92,5]
	Jauh	[70; 115]
Waktu	Cepat	[19; 96,5]
	Sedang	[57,75; 135,25]
	Lama	[96,5; 174]
Nilai Bobot		[0,1; 0,5]
		[0,25; 0,75]
		[0,5; 1]

Setelah itu, ditentukan fungsi keanggotaannya seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 3.3.2 poin d yaitu didasarkan pada pemetaan nilai input ke nilai

keanggotaan. Sebagai contoh, untuk variabel jarak, himpunan “Dekat” direpresentasikan dengan kurva bahu kiri, himpunan “Sedang” direpresentasikan dengan kurva segitiga, dan himpunan “Jauh” direpresentasikan dengan kurva bahu kanan. Pemilihan kurva bahu untuk himpunan “Dekat” dan “Jauh” karena diasumsikan salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Maksudnya, jika telah mencapai kondisi tertentu misalnya “Dekat”, penurunan jarak akan tetap berada pada kondisi “Dekat”. Sedangkan pemilihan kurva segitiga pada himpunan “Sedang” karena titik pusat tunggal pada kurva ini memberikan kejelasan dalam menunjukkan bahwa ada satu nilai yang paling mewakili “Sedang” di mana merepresentasikan nilai tengah data. Kurva keanggotaan jarak dapat dilihat pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Kurva Keanggotaan Jarak

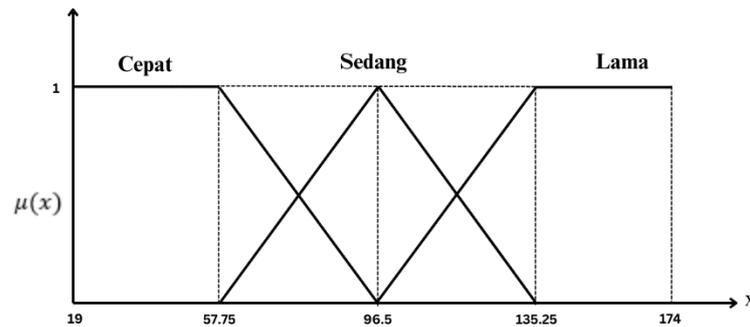
Berdasarkan Gambar 3. 4, fungsi keanggotaan untuk variabel jarak yakni :

$$\mu_{dekat}(S) = \begin{cases} 1, & S < 47,5 \\ \frac{70 - S}{22,5}, & 47,5 \leq S \leq 70 \\ 0, & S > 70 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{sedang}(S) = \begin{cases} 0, & S < 47,5 \text{ atau } S > 92,5 \\ \frac{S - 47,5}{22,5}, & 47,5 \leq S \leq 70 \\ \frac{92,5 - S}{22,5}, & 70 < S \leq 92,5 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{jauh}(S) = \begin{cases} 0, & S < 70 \\ \frac{S - 70}{22,5}, & 70 \leq S \leq 92,5 \\ 1, & S > 92,5 \end{cases} \quad (17)$$

Penentuan fungsi keanggotaan waktu dilakukan dengan cara yang sama seperti variabel jarak. Kurva keanggotaan untuk variabel waktu tempuh ditunjukkan pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Kurva Keanggotaan Waktu Tempuh

Berdasarkan Gambar 3. 5, fungsi keanggotaan untuk variabel waktu tempuh yakni:

$$\mu_{cepat}(T) = \begin{cases} 1, & T < 57,75 \\ \frac{96,5 - T}{38,75}, & 57,75 \leq T \leq 96,5 \\ 0, & T > 96,5 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{sedang}(T) = \begin{cases} 0, & T < 57,75 \text{ atau } T > 135,25 \\ \frac{T - 57,75}{38,75}, & 57,75 \leq T \leq 96,5 \\ \frac{135,25 - T}{38,75}, & 96,5 < T \leq 135,25 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{lama}(T) = \begin{cases} 0, & T < 96,5 \\ \frac{T - 96,5}{38,75}, & 96,5 \leq T \leq 135,25 \\ 1, & T > 135,25 \end{cases} \quad (20)$$

Selanjutnya akan dilakukan fuzzifikasi, yakni dengan mencari derajat keanggotaan tiap busur. Perhatikan Tabel 3. 1, pada data variabel jarak sebagai contoh, jarak busur X7 yang menghubungkan simpul  $v_4$  dan simpul  $v_3$  yakni 55 km. Jika kita lihat pada kurva fungsi keanggotaan jarak, busur X7 termasuk dalam himpunan fuzzy “Dekat” dan himpunan fuzzy “Sedang”. Derajat keanggotaan busur X7 pada variabel jarak yakni :

$$\mu_{dekat}(55) = \frac{70 - 55}{22,5} = 0,6667$$

$$\mu_{sedang}(55) = \frac{55 - 47,5}{22,5} = 0,3333$$

$$\mu_{jauh}(55) = 0$$

Penentuan derajat keanggotan dilakukan pada setiap busur di setiap variabel *input* dengan langkah yang sama seperti sebelumnya. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 3. 4.

Tabel 3. 4 Derajat Keanggotaan untuk Contoh Kasus

Busur	Jarak (km)	$\mu_{\text{dekat}}(A)$	$\mu_{\text{sedang}}(A)$	$\mu_{\text{jauh}}(A)$	Waktu (menit)	$\mu_{\text{cepat}}(B)$	$\mu_{\text{sedang}}(B)$	$\mu_{\text{lama}}(B)$
X1	28	1,0000	0,0000	0,0000	25	1,0000	0,0000	0,0000
X2	25	1,0000	0,0000	0,0000	19	1,0000	0,0000	0,0000
X3	75	0,0000	0,7778	0,2222	65	0,8129	0,1871	0,0000
X4	48	0,9778	0,0222	0,0000	73	0,6065	0,3935	0,0000
X5	115	0,0000	0,0000	1,0000	174	0,0000	0,0000	1,0000
X6	70	0,0000	1,0000	0,0000	105	0,0000	0,7806	0,2194
X7	55	0,6667	0,3333	0,0000	48	1,0000	0,0000	0,0000

Setelah tiap variabel memiliki derajat keanggotaan, tahap selanjutnya adalah pembentukan aturan fuzzy. Pembentukan aturan fuzzy telah dijelaskan pada Subbab 3.3.2 poin e yakni berdasarkan jumlah himpunan fuzzy untuk setiap variabel *input* dan berdasarkan domain *output* pada Tabel 3.3 diperoleh *rule evaluation* yang disajikan dalam Tabel 3. 5.

Tabel 3. 5 Rule Evaluation

<i>Output (O)</i>		Waktu tempuh		
		Cepat	Sedang	Lama
Jarak	Dekat	0,1	0,25	0,5
	Sedang	0,25	0,5	0,75
	Jauh	0,5	0,75	1

Karena memiliki dua variabel *input*, dan tiap variabelnya memiliki tiga atribut keanggotaan, maka pembentukan aturan fuzzy sebanyak  $3^2$  yakni 9 aturan.

- (R1) Jika jarak dekat dan waktu cepat maka bobot = 0,1.
- (R2) Jika jarak dekat dan waktu sedang maka bobot = 0,25.
- (R3) Jika jarak dekat dan waktu lama maka bobot = 0,5.
- (R4) Jika jarak sedang dan waktu cepat maka bobot = 0,25.
- (R5) Jika jarak sedang dan waktu sedang maka bobot = 0,5.
- (R6) Jika jarak sedang dan waktu lama maka bobot = 0,75.
- (R7) Jika jarak jauh dan waktu cepat, maka bobot = 0,5.
- (R8) Jika jarak jauh dan waktu sedang, maka bobot = 0,75.
- (R9) Jika jarak jauh dan waktu lama, maka bobot = 1.

Berdasarkan Tabel 3. 4, akan dicari  $\alpha$ -predikat dari setiap aturan fuzzy. Sebagai contoh, untuk variabel jarak, derajat keanggotaan busur X7 adalah

$\mu_{dekat}(55) = 0.6667$ ,  $\mu_{sedang}(55) = 0.3333$ , dan  $\mu_{jauh}(55) = 0$ . Sedangkan untuk variabel waktu tempuh, derajat keanggotaan busur X7 adalah  $\mu_{cepat}(48) = 1$ ,  $\mu_{sedang}(48) = 0$ , dan  $\mu_{lama}(48) = 0$ . Kemudian  $\alpha$ -predikat akan dicari berdasarkan aturan yang sebelumnya dibuat.

- (R1) IF jarak dekat AND waktu cepat THEN bobot = 0,1  
 $\alpha - predikat_1 = \min\{\mu_{dekat}(55); \mu_{cepat}(48)\} = \min\{0,6667; 1\} = 0,6667$
- (R2) IF jarak dekat AND waktu sedang THEN bobot = 0,25  
 $\alpha - predikat_2 = \min\{\mu_{dekat}(55); \mu_{sedang}(48)\} = \min\{0,6667; 0\} = 0$
- (R3) IF jarak dekat AND waktu lama THEN bobot = 0,5  
 $\alpha - predikat_3 = \min\{\mu_{dekat}(55); \mu_{lama}(48)\} = \min\{0,6667; 0\} = 0$
- (R4) IF jarak sedang AND waktu cepat THEN bobot = 0,25  
 $\alpha - predikat_4 = \min\{\mu_{sedang}(55); \mu_{cepat}(48)\} = \min\{0,3333; 1\} = 0,3333$
- (R5) IF jarak sedang AND waktu sedang THEN bobot = 0,5  
 $\alpha - predikat_5 = \min\{\mu_{sedang}(55); \mu_{sedang}(48)\} = \min\{0,3333; 0\} = 0$
- (R6) IF jarak sedang AND waktu lama THEN bobot = 0,75  
 $\alpha - predikat_6 = \min\{\mu_{sedang}(55); \mu_{lama}(48)\} = \min\{0,3333; 0\} = 0$
- (R7) IF jarak jauh AND waktu cepat THEN bobot = 0,5  
 $\alpha - predikat_7 = \min\{\mu_{jauh}(55); \mu_{cepat}(48)\} = \min\{0; 1\} = 0$
- (R8) IF jarak jauh AND waktu sedang THEN bobot = 0,75  
 $\alpha - predikat_8 = \min\{\mu_{jauh}(55); \mu_{sedang}(48)\} = \min\{0; 0\} = 0$
- (R9) IF jarak jauh AND waktu lama THEN bobot = 1  
 $\alpha - predikat_9 = \min\{\mu_{jauh}(55); \mu_{lama}(48)\} = \min\{0; 0\} = 0$

Tahapan selanjutnya yakni defuzzifikasi. Karena penelitian ini menggunakan fuzzy Sugeno, maka defuzzifikasinya menggunakan metode berbobot rata-rata untuk memperoleh nilai *output* fuzzy. Metode berbobot rata-rata dapat dilihat pada Persamaan (13). Misalkan akan dicari *output* fuzzy dari busur X7. Karena  $\alpha - predikat$  yang tidak nol hanya terdapat pada aturan (R1) dan (R4), maka nilai *output* fuzzy dari X7 adalah :

$$z = \frac{((0,6667(0,1)) + (0,3333(0,25)))}{(0,6667 + 0,3333)} = \frac{0,149995}{1} = 0,149995 \approx 0,1500$$

Hal serupa juga dilakukan pada busur lainnya. Hasil *output* fuzzy yang telah diperoleh disajikan pada Tabel 3. 6.

Tabel 3. 6 Hasil *Output Fuzzy*

Busur		Jarak (km)	Waktu Tempuh (menit)	<i>Output Fuzzy</i>
X1	$v_1 \rightarrow v_2$	28	25	0.1000
X2	$v_2 \rightarrow v_1$	25	19	0.1000
X3	$v_1 \rightarrow v_4$	75	65	0.3925
X4	$v_2 \rightarrow v_3$	48	73	0.1682
X5	$v_3 \rightarrow v_1$	115	174	1.0000
X6	$v_4 \rightarrow v_2$	70	105	0.5548
X7	$v_4 \rightarrow v_3$	55	48	0.1500

*Output fuzzy* yang diperoleh merupakan nilai bobot untuk setiap busur yang kemudian dijadikan *input* dalam algoritma Floyd-Warshall. Algoritma ini digunakan untuk mencari rute terbaiknya. Langkah - langkah untuk menentukan rute terbaik dari  $v_i$  ke  $v_j$  ( $i, j = 1, 2, 3, 4$ ) dengan menggunakan algoritma Floyd-Warshall telah dijelaskan pada Subbab 2.6. Pada ilustrasi, graf yang diberikan memiliki 4 simpul. Maka dari itu, matriks awal yang terbentuk berukuran  $4 \times 4$ .

$$W_0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0,1000 & \infty & 0,3925 \\ 0,1000 & 0 & 0,1682 & \infty \\ 1 & \infty & 0 & \infty \\ \infty & 0,5548 & 0,1500 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ dan } \Pi_0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Untuk setiap sel matriks, dicek kondisi  $w_{ik} + w_{kj} < w_{ij}$  atau dapat ditulis dengan  $\min \{w_{ij}^{(k-1)}, w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}\}$ .

### Iterasi untuk $k = 1$

- $i = 2, j = 3$

$$w_{23}^{(1)} = \min \{w_{23}^{(0)}, w_{21}^{(0)} + w_{13}^{(0)}\} = \min\{0,1682; 0,1000 + \infty\} = 0,1682.$$

Karena  $w_{ij}^{(k-1)} < w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{ij}^{(k-1)} \rightarrow \pi_{23}^{(1)} = \pi_{23}^{(0)} = v_3$ .

- $i = 2, j = 4$

$$w_{24}^{(1)} = \min \{w_{24}^{(0)}, w_{21}^{(0)} + w_{14}^{(0)}\} = \min\{\infty; 0,1000 + 0,3925\} = 0,4925.$$

Karena  $w_{ij}^{(k-1)} > w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{ij}^{(1)} = v_1$ .

- $i = 3, j = 2$

$$w_{32}^{(1)} = \min \{w_{32}^{(0)}, w_{31}^{(0)} + w_{12}^{(0)}\} = \min\{\infty; 1 + 0,1000\} = 1,1000.$$

Karena  $w_{ij}^{(k-1)} > w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{ij}^{(1)} = v_1$ .

- $i = 3, j = 4$   
 $w_{34}^{(1)} = \min \{w_{34}^{(0)}, w_{31}^{(0)} + w_{14}^{(0)}\} = \min\{\infty; 1 + 0,3925\} = 1,3925$ .  
 Karena  $w_{ij}^{(k-1)} > w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{34}^{(1)} = v_1$ .
- $i = 4, j = 2$   
 $w_{42}^{(1)} = \min \{w_{42}^{(0)}, w_{41}^{(0)} + w_{12}^{(0)}\} = \min\{0,5548; \infty + 0,1000\} = 0,5548$ .  
 Karena  $w_{ij}^{(k-1)} < w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{ij}^{(k-1)} \rightarrow \pi_{42}^{(1)} = \pi_{42}^{(0)} = v_2$ .
- $i = 4, j = 3$   
 $w_{43}^{(1)} = \min \{w_{43}^{(0)}, w_{41}^{(0)} + w_{13}^{(0)}\} = \min\{0,1500; \infty + \infty\} = 0,1500$ .  
 Karena  $w_{ij}^{(k-1)} < w_{ik}^{(k-1)} + w_{kj}^{(k-1)}$ , maka  $\pi_{ij}^{(k)} = \pi_{ij}^{(k-1)} \rightarrow \pi_{43}^{(1)} = \pi_{43}^{(0)} = v_3$ .

Diperoleh tabel iterasi untuk  $k = 1$  disajikan pada Tabel 3. 7 berikut.

Tabel 3. 7 Tabel Iterasi ke-1

Simpul	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
$v_1$	0	0,1000	$\infty$	0,3925
$v_2$	0,1000	0	0,1682	0,4925
$v_3$	1	1,1000	0	1,3925
$v_4$	$\infty$	0,5548	0,1500	0

Didapatkan matriks bobot dan predecessor untuk iterasi  $k = 1$ .

$$W_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0,1000 & \infty & 0,3925 \\ 0,1000 & 0 & 0,1682 & 0,4925 \\ 1 & 1,1000 & 0 & 1,3925 \\ \infty & 0,5548 & 0,1500 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ dan } \Pi_1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_1 \\ v_1 & v_1 & v_3 & v_1 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Iterasi untuk  $k = 2$  dan seterusnya dilakukan dengan cara yang sama seperti iterasi untuk  $k = 1$ . Sehingga pada iterasi keempat, didapatkan matriks bobot dan predecessor untuk iterasi  $k = 4$  :

$$W_4 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0,1000 & 0,2682 & 0,3925 \\ 0,1000 & 0 & 0,1682 & 0,4925 \\ 1 & 1,1000 & 0 & 1,3925 \\ 0,6548 & 0,5548 & 0,1500 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \text{ dan } \Pi_4 = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_2 & v_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_1 \\ v_1 & v_1 & v_3 & v_1 \\ v_2 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Matriks  $W_4$  menunjukkan bobot dari semua pasang simpul, dan  $\Pi_4$  menunjukkan lintasan yang dilalui. Sebagai contoh, lintasan terpendek dari simpul  $v_2$  ke simpul  $v_4$  yang diperoleh dari matriks  $W_4$  yakni dengan bobot 0,4925. Untuk lintasan yang dilalui perhatikan matriks  $\Pi_4$ ,  $\pi_{24}^{(4)}$  (baris 2, kolom 4) =  $v_1$ , artinya simpul  $v_1$  merupakan simpul kedua lintasan  $v_2$  ke  $v_4$ . Maka diperoleh lintasan

terpendeknya adalah  $v_2 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4$ . Langkah berikutnya adalah mencari apakah terdapat simpul perantara antara simpul  $v_2$  ke simpul  $v_1$  dan simpul  $v_1$  ke simpul  $v_4$  berdasarkan matriks  $\Pi_4$ . Perhatikan bahwa  $\pi_{21}^{(4)} = v_1$  dan  $\pi_{14}^{(4)} = v_4$ , artinya tidak ada simpul perantara dari simpul  $v_2$  ke simpul  $v_1$  maupun dari simpul  $v_1$  ke simpul  $v_4$ . Sehingga rute terpendek atau rute terbaiknya adalah  $v_2 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4$ .

Jika dilihat pada data awal yakni Tabel 3. 1, untuk melakukan perjalanan dari lokasi wisata 2 ( $v_2$ ) ke lokasi wisata 4 ( $v_4$ ) jaraknya adalah 100 km, diperoleh dari  $25 + 75 = 100$  km (dimana 25 adalah jarak  $v_2 \rightarrow v_1$  dan 75 km adalah jarak  $v_1 \rightarrow v_4$ ). Sedangkan untuk waktu tempuhnya adalah 84 menit, diperoleh dari  $19 + 65 = 84$  menit (dimana 19 adalah waktu tempuh  $v_2 \rightarrow v_1$  dan 65 km adalah waktu tempuh  $v_1 \rightarrow v_4$ ).

Jarak dan waktu tempuh yang telah diperoleh sudah minimum karena algoritma ini secara iteratif memperbarui nilai-nilai dalam matriks tersebut dengan mempertimbangkan semua kemungkinan jalur. Oleh karena itu, setelah iterasi selesai, nilai di dalam matriks mewakili nilai bobot minimum antara semua pasangan simpul, mencerminkan lintasan terpendek yang mungkin dalam graf tersebut.