

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas deskripsi masalah, tahapan penelitian, data penelitian, representasi graf dari sebuah denah bangunan gedung, asumsi dan model optimisasi. Bab ini juga menyajikan teknik penyelesaian model dan contoh kasus penentuan jalur evakuasi di gedung.

3.1 Identifikasi Masalah

Penelitian ini membahas masalah penentuan jalur evakuasi yang optimal di dalam sebuah gedung. Jalur evakuasi adalah jalur yang harus dilalui oleh para penghuni untuk mencapai titik kumpul di luar bangunan gedung dari titik evakuasi. Titik evakuasi adalah posisi atau lokasi awal penghuni, sedangkan titik kumpul adalah lokasi di luar gedung yang ditunjuk sebagai kawasan yang aman terhadap keadaan darurat. Jalur evakuasi yang optimal didefinisikan sebagai jalur evakuasi tercepat yang dapat dilalui oleh penghuni.

Penelitian ini akan meneliti masalah perencanaan jalur evakuasi di Gedung FPMIPA A UPI. Tahap pertama pada penelitian ini adalah merepresentasikannya struktur gedung sebagai sebuah graf berbobot. Setiap sisi pada graf tersebut memiliki tiga nilai parameter, yaitu panjang jalan, lebar jalan, dan banyak penghuni. Selanjutnya, parameter panjang jalan, lebar jalan, dan banyak penghuni pada tiap sisi akan diubah menjadi sebuah nilai, yaitu indeks waktu evakuasi dengan menggunakan logika *fuzzy*. Indeks waktu evakuasi ini akan menjadi bobot tunggal untuk setiap sisi pada graf. Selanjutnya, Algoritma Dijkstra akan digunakan untuk menentukan jalur evakuasi dari setiap simpul sumber ke simpul tujuan.

Gedung FPMIPA A UPI memiliki empat area, yaitu *west building* (gedung barat) yang memiliki tiga lantai, *north building* (gedung utara) yang memiliki lima lantai, *east building* (gedung timur) yang memiliki empat lantai, dan *south building* (gedung selatan) yang memiliki tiga lantai. Gedung FPMIPA A UPI hanya memiliki satu pintu pada *south building* yang dapat diakses untuk masuk dan keluar gedung. Penelitian ini bertujuan untuk mencari jalur evakuasi yang optimal dengan menggunakan Algoritma *Fuzzy Dijkstra*.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan studi pustaka terkait penelitian, termasuk penelitian terdahulu tentang Algoritma Dijkstra, logika *fuzzy*, serta penelitian serupa dalam domain pencarian jalur optimasi.

2. Pengumpulan Data

Tahapan awal penelitian melibatkan pengumpulan data yang diperlukan untuk analisis. Data yang dikumpulkan mencakup data ruangan, koridor yang selanjutnya disebut dengan jalan, kapasitas maksimum ruangan, serta panjang dan lebar untuk setiap jalan di Gedung FPMIPA A UPI.

3. Representasi Graf

Pada tahapan ini, denah Gedung FPMIPA A UPI akan direpresentasikan ke dalam bentuk graf yang terdiri dari simpul, sisi, dan bobotnya. Dimana bobot dari graf merupakan nilai indeks waktu evakuasi yang diperoleh dengan menggunakan logika *fuzzy* berdasarkan parameter panjang dan lebar jalan serta banyaknya pengungsi.

4. Pembangunan Model Optimasi

Pada tahapan ini, akan dibangun model optimisasi berupa model *shortes path problem* dengan mendefinisikan asumsi-asumsi model.

5. Penyelesaian Model Optimasi

Pada tahapan ini, model optimisasi akan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma Dijkstra.

6. Implementasi

Model optimisasi dan teknik penyelesaian selanjutnya akan diimplementasikan pada penelitian ini.

7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisis hasil implementasi.

3.3 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah struktur atau denah bangunan gedung, panjang jalan, lebar jalan, dan kapasitas maksimum setiap ruangan pada

bangunan Gedung FPMIPA A UPI. Data panjang jalan dan lebar jalan diperoleh melalui metode penelitian langsung dengan melakukan pengukuran manual dengan menggunakan alat pengukur atau meteran. Sedangkan, denah bangunan gedung dan data kapasitas maksimum setiap ruangan diperoleh melalui bantuan pihak akademisi yang memiliki pemahaman mendalam terkait penggunaan gedung.

Gedung FPMIPA A UPI memiliki dua titik kumpul yang berlokasi di luar gedung. Karena sampai saat ini belum ada penetapan pembagian titik evakuasi gedung, maka dalam penelitian ini diasumsikan terdapat 29 titik evakuasi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pembagian Titik Evakuasi di Gedung FPMIPA A UPI.

Lantai	Titik Evakuasi	Jumlah
1	Sudut Timur Laut, Sudut Tenggara, Sudut Barat Daya, Sudut Barat Laut, Sayap <i>North</i> , Sayap <i>East</i> , Sayap <i>West</i> , dan Sudut Ruang Dosen	8
2	Sudut Timur Laut, Sudut Tenggara, Sudut Barat Daya, Sudut Barat Laut, Sayap <i>North</i> , Sayap <i>East</i> , dan Sayap <i>West</i> .	7
3	Sudut Timur Laut, Sudut Tenggara, Sudut Barat Daya, Sudut Barat Laut, Sayap <i>North</i> , Sayap <i>East</i> , dan Sayap <i>West</i> .	7
4	Sudut Timur Laut, Sudut Barat Daya, Sayap <i>North</i> dan, Sayap <i>East</i> .	4
5	Sudut Timur Laut, Sudut Barat Laut, dan Sayap <i>North</i> .	3
Total		29

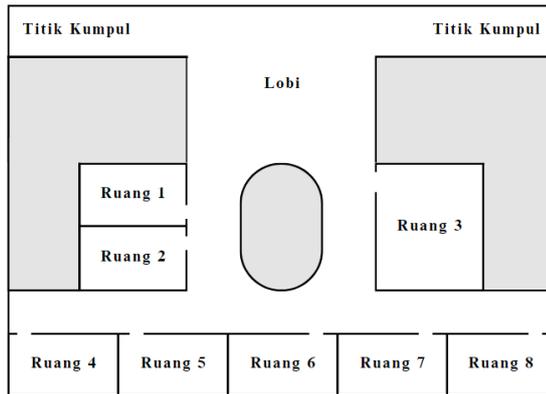
Titik evakuasi pada sayap *west building* (gedung barat), sayap *north building* (gedung selatan), sayap *east building* (gedung timur), dan sayap *south building* (gedung Selatan) mengacu pada ruangan-ruangan di tengah gedung masing-masing seperti ruang kelas, ruang dosen, laboratorium, auditorium, kantin, dan mushola. Sedangkan, sudut-sudut gedung merujuk kepada *restroom*. Adapun sudut ruang dosen adalah sudut di antara ruang-ruang dosen yang hanya terletak pada Lantai 1 gedung. Denah lengkap dari Gedung FPMIPA A UPI dapat dilihat pada Lampiran

1, Lampiran 2, Lampiran 3, Lampiran 4, dan Lampiran 5. Pada penelitian ini, masalah penentuan jalur evakuasi optimal akan diselesaikan dengan Algoritma *Fuzzy* Dijkstra. Metode penyelesaian ini akan dijelaskan secara rinci pada sub-bab selanjutnya.

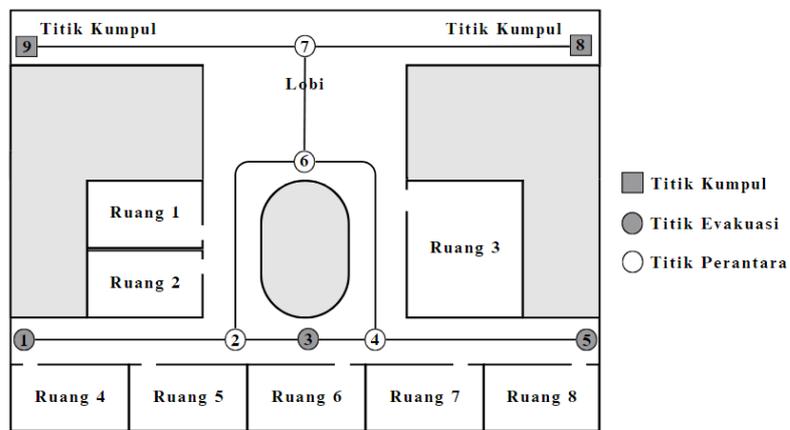
3.4 Representasi Graf

Tahapan pertama dari penentuan jalur evakuasi di Gedung FPMIPA A UPI adalah merepresentasikan struktur bangunan dalam bentuk graf berbobot. Simpul pada graf mewakili lobi, sudut koridor, dan persimpangan koridor. Terdapat 3 jenis simpul, yaitu simpul sumber, simpul perantara, dan simpul tujuan. Simpul sumber merepresentasikan titik evakuasi atau titik-titik pada gedung yang memiliki tingkat kepadatan pengungsi yang tinggi seperti ruang kelas, ruang dosen, laboratorium, auditorium, kantin, dan mushola. Simpul tujuan mewakili titik kumpul diluar bangunan, dan simpul perantara atau titik perantara merupakan simpul-simpul yang menghubungkan simpul sumber dengan simpul tujuan. Dua simpul dihubungkan dengan sisi jika terdapat tangga atau koridor yang menghubungkan kedua simpul tersebut. Setiap sisi memiliki bobot berupa nilai dari parameter panjang jalan, lebar jalan dan panjang pengungsi secara berurutan yang selanjutnya akan dikonversi menjadi bobot tunggal berupa indeks waktu evakuasi menggunakan logika *fuzzy*. Misalkan e adalah sebuah sisi dengan $e = (i, j)$. Maka indeks waktu evakuasi pada sisi e mencerminkan berapa lama waktu yang dibutuhkan pengungsi untuk melakukan evakuasi dari simpul i ke simpul j . Pada penelitian ini, indeks waktu evakuasi diperoleh dengan mempertimbangkan panjang jalan, lebar jalan, dan banyak pengungsi yang akan dihitung dengan menggunakan logika *fuzzy*.

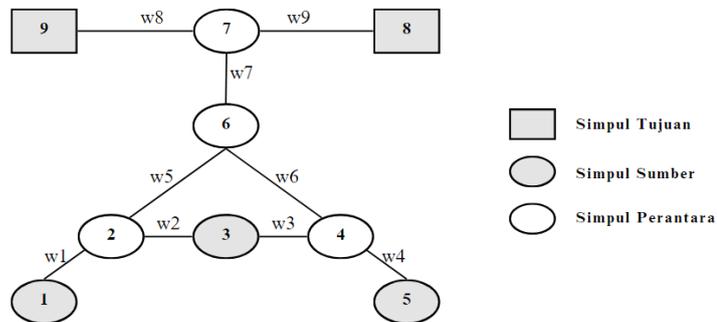
Gambar 3.1 adalah contoh struktur atau denah bangunan dari sebuah gedung. Misalkan dalam bangunan tersebut terdapat 8 ruangan, sebuah lobi, dan 2 titik kumpul. Merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Ilham (2023), penentuan bagian-bagian seperti titik kumpul, titik evakuasi, dan titik perantara dapat dilihat pada Gambar 3.2. Titik kumpul direpresentasikan oleh simpul tujuan, titik evakuasi direpresentasikan oleh simpul sumber, dan titik perantaraan direpresentasikan oleh simpul perantara. Misalkan w_i adalah indeks waktu evakuasi untuk sisi i . Maka representasi graf berbobot dari denah gedung pada Gambar 3.1 dapat dilihat pada Gambar 3.3 dengan simbol simpul dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.1 Contoh Denah Gedung.



Gambar 3.2 Penentuan Simpul dan Sisi pada Denah Bangunan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.3 Representasi Graf dari Bangunan pada Gambar 3.1.

3.5 Asumsi dan Model Optimasi

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan jalur evakuasi yang optimal, yaitu jalur evakuasi tercepat yang dapat dilalui oleh seluruh pengunjung. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tujuan penelitian adalah meminimalkan indeks waktu evakuasi.

2. Indeks waktu evakuasi dari lokasi i ke lokasi j sama dengan indeks waktu evakuasi dari lokasi j ke lokasi i .
3. Simpul sumber mewakili beberapa ruangan yang saling berdekatan untuk mempermudah proses perhitungan.
4. Bobot sisi merupakan nilai indeks waktu evakuasi yang diperoleh menggunakan logika *fuzzy* dari parameter luas jalan, lebar jalan, dan jumlah pengungsi.
5. Banyaknya pengungsi dalam ruangan sama dengan kapasitas maksimum ruangan.
6. Seluruh pengungsi berada di dalam ruangan.
7. Arah sisi diasumsikan selalu menuju simpul tujuan terdekat.
8. Tidak terdapat gangguan selama proses evakuasi.
9. *Lift* tidak digunakan sebagai jalur evakuasi.
10. Atribut pengungsi seperti usia, jenis kelamin, dan lain-lain diabaikan.
11. Setiap pengungsi mengenal dengan baik setiap komponen dan tata letak gedung.

Masalah penentuan jalur evakuasi dengan meminimalkan indeks waktu evakuasi yang dibutuhkan untuk setiap pengungsi dapat dipandang sebagai masalah pencarian rute terpendek. Dengan demikian, model optimisasi dari masalah penentuan jalur evakuasi akan mengadaptasi model *shortest path problem* pada Avella, Boccia, dan Sforza (2004).

Tahapan pertama pemodelan adalah mendefinisikan himpunan dan parameter model. Diberikan graf $G = (V, E)$ yang merupakan representasi dari denah bangunan gedung. Misalkan S adalah himpunan simpul sumber pada graf G dan T adalah himpunan simpul tujuan pada graf G . Parameter w_{ij} menyatakan indeks waktu evakuasi yang diperlukan dari simpul i ke simpul j yang saling bertetangga. Variabel keputusan model didefinisikan untuk menentukan apakah terdapat perjalanan langsung dari simpul i ke simpul j atau tidak. Variabel keputusan ini didefinisikan sebagai berikut:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika simpul } i \text{ dan simpul } j \text{ saling bertetangga} \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

Fungsi tujuan model didefinisikan untuk meminimumkan total indeks waktu evakuasi dari setiap simpul sumber ke simpul tujuan. Fungsi tujuan ini diekspresikan sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} w_{ij} x_{ij}$$

Adapun kendala-kendala dari model optimisasi adalah sebagai berikut:

1. Setiap simpul i hanya dapat menjadi simpul asal paling banyak satu kali. Kendala tersebut diekspresikan sebagai berikut:

$$\sum_{j \in V} x_{ij} \leq 1 \text{ untuk setiap } i \in V$$

2. Setiap simpul j hanya dapat dikunjungi paling banyak satu kali. Kendala tersebut diekspresikan sebagai berikut:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} \leq 1 \text{ untuk setiap } j \in V$$

3. Setiap jalur evakuasi berawal dari simpul sumber. Kendala tersebut diekspresikan sebagai berikut:

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \text{ untuk setiap } i \in S$$

4. Setiap jalur evakuasi berakhir pada sebuah simpul tujuan. Kendala tersebut diekspresikan sebagai berikut:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \text{ untuk setiap } j \in T$$

5. Setiap pengungsi yang menuju sebuah simpul (selain di simpul sumber dan tujuan) harus meninggalkan simpul tersebut. Kendala tersebut diekspresikan sebagai berikut:

$$\sum_{i \in V} x_{il} - \sum_{j \in V} x_{lj} = 0 \text{ untuk setiap } l \in (V - S \cup T)$$

Batasan variabel menentukan bahwa keputusan x_{ij} bernilai biner. Batasan ini dituliskan sebagai berikut:

$$x_{ij} \in \{0,1\}.$$

Selengkapnya, model optimasi pencarian rute evakuasi adalah sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in V} \sum_{ij \in E} w_{ij} x_{ij}$$

Dengan kendala:

$$\sum_{j \in V} x_{ij} \leq 1 \text{ untuk setiap } i \in V$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} \leq 1 \text{ untuk setiap } j \in V$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \text{ untuk setiap } i \in S$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \text{ untuk setiap } j \in T$$

$$\sum_{i \in V} x_{il} - \sum_{j \in V} x_{lj} = 0 \text{ untuk setiap } l \in (V - S \cup T), \text{ dengan}$$

$$x_{ji} \in \{0,1\}$$

Model optimisasi di atas termasuk dalam kategori model *binary integer programming*. Pada bagian selanjutnya dari sub bab ini akan dibahas teknik penyelesaian model di atas.

3.6 Teknik Penyelesaian Model

Tujuan penyelesaian model adalah menentukan jalur evakuasi tercepat yang dapat dilalui oleh seluruh pengungsi di dalam gedung. Pada penelitian ini, penentuan jalur evakuasi melibatkan parameter-parameter seperti panjang, lebar, dan jumlah pengungsi untuk setiap jalannya. Sedangkan, penggunaan Algoritma Dijkstra merupakan algoritma untuk menyelesaikan pencarian rute terpendek dengan bobot tunggal, sehingga diperlukan suatu metode untuk mengubah berbagai parameter jalur evakuasi menjadi satu nilai saja. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* memungkinkan penanganan situasi di mana parameter seperti panjang jalan, lebar jalan, dan jumlah pengungsi tidak

memiliki kepastian. Ini disebabkan karena dalam logika *fuzzy*, parameter-parameter tersebut memiliki tingkat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* yang mencerminkan tingkat ketidakpastian. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi pencarian lintasan terpendek dengan Algoritma Dijkstra, konsep logika *fuzzy* diperlukan sebagai penentuan bobot sisi. Selanjutnya, pencarian lintasan terpendek dengan Algoritma Dijkstra dengan konsep logika *fuzzy* sebagai penentuan bobot sisi disebut Algoritma *Fuzzy Dijkstra*.

3.6.1 Penentuan Bobot Sisi Menggunakan Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* digunakan untuk mengkonversi atau mengubah nilai dari berbagai macam parameter pada jalur evakuasi menjadi sebuah nilai saja. Logika *fuzzy* beroperasi dengan mengambil data *input* berupa nilai pasti, mengonversinya menjadi bentuk kabur, mengevaluasi aturan *fuzzy*, menggabungkan hasilnya, dan kemudian mengonversi hasil tersebut kembali menjadi nilai pasti untuk pengambilan keputusan. Adapun tahap-tahap penggunaan logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Pada tahap ini dilakukan penentuan variabel *fuzzy*, himpunan *fuzzy*, semesta pembicaraan, domain, fungsi keanggotaan, dan aturan *fuzzy*. Pada tahap ini, akan diambil data *input* berupa nilai pasti, yang pada tahap selanjutnya akan dikonversi menjadi bentuk kabur. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengubah data *input* yang bersifat *crisp* kedalam bentuk *fuzzy input* yang berupa tingkat keanggotaan atau dengan kata lain untuk menggambarkan data *input* dari satu set ke dalam rentang nilai antara 0 hingga 1 menggunakan himpunan *fuzzy*, sehingga derajat keanggotaan dari setiap *input* dapat ditentukan. Pada penelitian ini penentuan aturan *fuzzy*, menggunakan aturan berbentuk *IF-THEN* dengan menggunakan operator *AND*.

2. Inferensi *Fuzzy*

Tahap ini merupakan proses penalaran menggunakan *fuzzy input* dan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output* dalam hal ini merupakan nilai pasti dalam bentuk kabur. Pengkonversian ini melibatkan himpunan *fuzzy* dan aturan *fuzzy*. Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Sugeno orde-nol, di mana penalaran

menggunakan fungsi *min* sebagai fungsi implikasi. *Fuzzy output* pada Metode Sugeno orde-nol tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta, sehingga *fuzzy output* pada metode ini adalah nilai konsekuen pada masing-masing aturan.

3. Defuzzifikasi

Tahap ini merupakan proses merubah *fuzzy output* menjadi nilai yang bersifat pasti. Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam Metode Sugeno dilakukan dengan cara mencari nilai rata-rata dari *fuzzy output* pada setiap aturan-*i* yang memiliki bobot relatif berupa hasil dari operasi fungsi implikasi.

Berikut adalah penjelasan rinci dari tahapan di atas.

1. Penentuan Variabel

Variabel *fuzzy* pada *input* dan *output* terdiri dari:

a. Variabel *Input*

Variabel *input*: “Panjang Jalan”, “Lebar Jalan”, dan “Jumlah Pengungsi”.

b. Variabel *Output*

Variabel *output*: “Indeks Waktu Evakuasi” untuk setiap sisi atau jalan.

2. Penentuan Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* pada *input* dan *output* ditentukan sebagai berikut:

a. Himpunan *Fuzzy* pada *Input*

Himpunan *fuzzy* pada *input* terdiri dari:

a) Panjang Jalan

Panjang jalan dilambangkan dengan notasi *P*. Fungsi keanggotaan panjang jalan dibagi menjadi tiga derajat keanggotaan, yaitu ‘Pendek’, ‘Sedang’, dan ‘Panjang’.

b) Lebar Jalan

Lebar jalan dilambangkan dengan notasi *L*. Fungsi keanggotaan lebar jalan dibagi menjadi tiga derajat keanggotaan, yaitu ‘Sempit’, ‘Sedang’, dan ‘Lebar’.

c) Jumlah Pengungsi

Jumlah pengungsi dilambangkan dengan notasi *B*. Fungsi keanggotaan banyak pengungsi ini dibagi menjadi tiga derajat keanggotaan, yaitu ‘Sedikit’, ‘Sedang’, dan ‘Banyak’.

b. Himpunan *Fuzzy* pada *Output*

Himpunan *fuzzy* pada *output* berupa indeks waktu evakuasi. Indeks waktu evakuasi dilambangkan dengan notasi W . Fungsi keanggotaan indeks waktu evakuasi ini dibagi menjadi 10 derajat keanggotaan, yaitu '0', '0,1', '0,2', '0,3', '0,4', '0,5', '0,6', '0,7', '0,8', dan '0,9'. Indeks waktu evakuasi dalam penelitian ini tidak menggunakan satuan waktu, tetapi mengindikasikan bahwa semakin kecil indeks waktu evakuasi pada sisi e maka semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi dari simpul i ke simpul j . Sedangkan semakin besar indeks waktu evakuasi pada sisi e yang maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi dari simpul i dan simpul j .

3. Penentuan Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan pada variabel *input* dan *output* terdiri dari:

a. Semesta Pembicaraan pada Variabel *Input*

Misalkan q adalah nilai tertinggi pada masing-masing variabel, maka semesta pembicaraan variabel *input* ditetapkan sebagai berikut:

a) Variabel Panjang Jalan

Semesta pembicaraan variabel panjang jalan adalah $[0, q]$.

b) Variabel Lebar Jalan

Semesta pembicaraan variabel lebar jalan adalah $[0, q]$.

c) Variabel Banyaknya Pengungsi

Semesta pembicaraan variabel banyaknya pengungsi adalah $[0, q]$.

b. Semesta Pembicaraan pada Variabel *Output*

Semesta pembicaraan pada variabel *output*, yaitu indeks waktu evakuasi, ditetapkan dalam rentang $[0, 0,9]$.

4. Domain

Domain himpunan pada variabel *input* ditetapkan berdasarkan data lapangan yang selanjutnya akan dicari nilai tertinggi dan nilai rata-rata dari masing-masing variabel *input*. Nilai 0 dari variabel 'Panjang Jalan', 'Lebar Jalan', dan 'Jumlah Pengungsi' akan menjadi himpunan 'Pendek', 'Sempit', dan 'Sedikit' dengan derajat keanggotaan sebesar 1 secara berturut-turut. Nilai tertinggi dari variabel 'Panjang Jalan', 'Lebar Jalan', dan 'Jumlah Pengungsi' akan menjadi

himpunan ‘Panjang’, ‘Lebar’, dan ‘Banyak’ dengan derajat keanggotaan sebesar 1 secara berturut-turut. Sedangkan, rata-rata dari setiap variabel ‘Panjang Jalan’, ‘Lebar Jalan’, dan ‘Jumlah Pengungsi’ akan menjadi himpunan ‘Sedang’ dengan derajat keanggotaan sebesar 1 untuk setiap domain variabel *input*. Misalkan:

p : batas bawah dari semesta pembicaraan pada masing-masing variabel.

q : batas atas dari semesta pembicaraan pada masing-masing variabel.

r : rata-rata dari masing-masing data variabel.

Maka, domain untuk himpunan ‘Pendek’, ‘Sempit’, dan ‘Sedikit’ adalah $[p, r]$, untuk himpunan ‘Sedang’ adalah $[p, q]$, dan untuk himpunan ‘Panjang’, ‘Lebar’, dan ‘Banyak’ adalah $[r, q]$. Sedangkan, untuk himpunan pada variabel indeks waktu evakuasi ditetapkan domain seperti pada Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.10 berikut:

$$\text{- Domain himpunan '0': } [0, 0,1] \quad (3.1)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,1': } [0, 0,2] \quad (3.2)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,2': } [0,1, 0,3] \quad (3.3)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,3': } [0,2, 0,4] \quad (3.4)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,4': } [0,3, 0,5] \quad (3.5)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,5': } [0,4, 0,6] \quad (3.6)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,6': } [0,5, 0,7] \quad (3.7)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,7': } [0,6, 0,8] \quad (3.8)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,8': } [0,7, 0,9] \quad (3.9)$$

$$\text{- Domain himpunan '0,9': } [0,8, 0,9] \quad (3.10)$$

5. Fungsi Keanggotaan

Berdasarkan domain yang ditetapkan, maka fungsi keanggotaan yang akan digunakan untuk seluruh variabel pada penelitian ini adalah berbentuk kurva bahu. Himpunan paling ujung merupakan kurva linear dan sisanya merupakan kurva segitiga untuk setiap variabel. Berikut fungsi keanggotaan dari masing-masing variabel:

a. Panjang Jalan

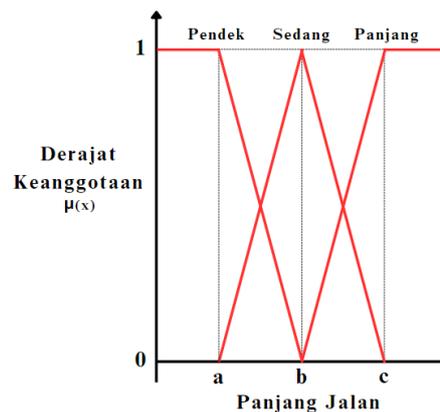
Fungsi keanggotaan untuk variabel panjang jalan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Pendek}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

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

$$\mu_{\text{Panjang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{(x-b)}{(c-b)}, & b < x < c \\ 1, & x \geq c \end{cases}$$

Representasi grafik dari fungsi keanggotaan panjang jalan digambarkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Representasi Fungsi Keanggotaan Variabel Panjang Jalan.

b. Lebar Jalan

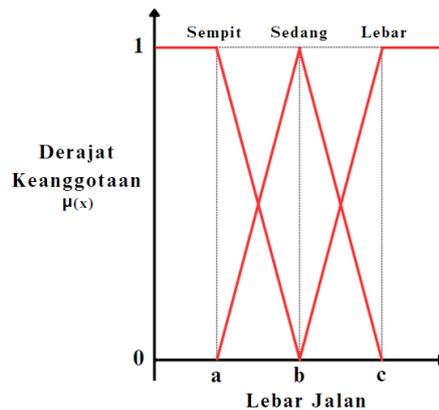
Fungsi keanggotaan untuk variabel lebar jalan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Sempit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

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

$$\mu_{\text{Lebar}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{(x-b)}{(c-b)}, & b < x < c \\ 1, & x \geq c \end{cases}$$

Representasi grafik dari fungsi keanggotaan lebar jalan digambarkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Representasi Fungsi Keanggotaan Variabel Lebar Jalan.

c. Jumlah Pengungsi

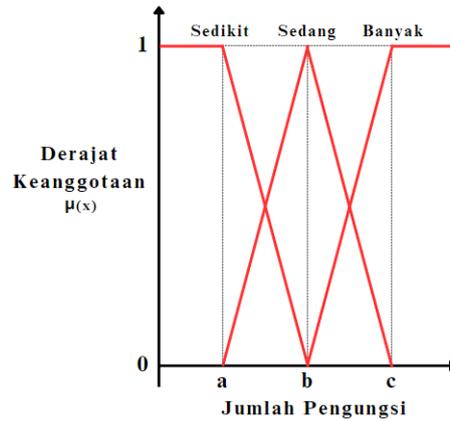
Fungsi keanggotaan untuk variabel jumlah pengungsi adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Sedikit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

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

$$\mu_{\text{Banyak}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{(x-b)}{(c-b)}, & b < x < c \\ 1, & x \geq c \end{cases}$$

Representasi grafik dari fungsi keanggotaan jumlah pengungsi digambarkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Representasi Fungsi Keanggotaan Jumlah Pengungsi.

d. Indeks Waktu Evakuasi

Fungsi keanggotaan untuk variabel indeks waktu evakuasi ditetapkan seperti pada persamaan 3.11 hingga 3.20.

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(0,1 - x)}{0,1}, & 0 < x < 0,1 \\ 0, & x \geq 0,1 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\mu_{0,1}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0,1 \\ \frac{(0,2 - x)}{0,1}, & 0,1 < x < 0,2 \\ 0, & x \geq 0,2 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\mu_{0,2}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,1 \text{ atau } x \geq 0,3 \\ \frac{(x - 0,1)}{0,1}, & 0,1 < x < 0,2 \\ \frac{(0,3 - x)}{0,1}, & 0,2 \leq x < 0,3 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\mu_{0,3}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,2 \text{ atau } x \geq 0,4 \\ \frac{(x - 0,2)}{0,1}, & 0,2 < x < 0,3 \\ \frac{(0,4 - x)}{0,1}, & 0,3 \leq x < 0,4 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\mu_{0,4}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,3 \text{ atau } x \geq 0,5 \\ \frac{(x - 0,3)}{0,1}, & 0,3 < x < 0,4 \\ \frac{(0,5 - x)}{0,1}, & 0,4 \leq x < 0,5 \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\mu_{0,5}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,4 \text{ atau } x \geq 0,6 \\ \frac{(x - 0,4)}{0,1}, & 0,4 < x < 0,5 \\ \frac{(0,6 - x)}{0,1}, & 0,5 \leq x < 0,6 \end{cases} \quad (3.16)$$

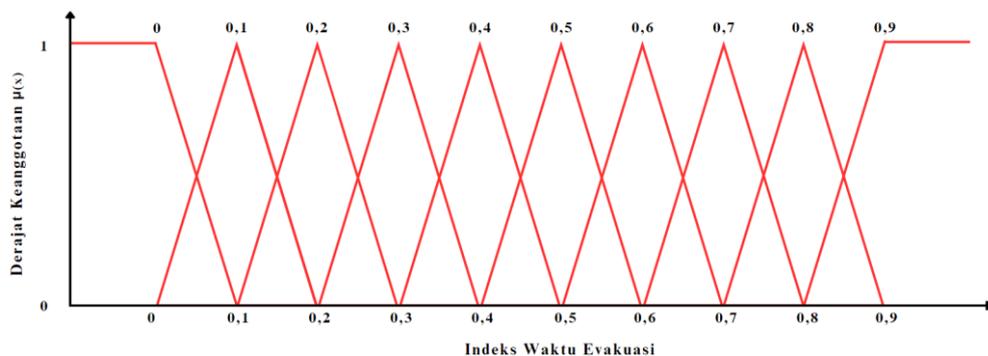
$$\mu_{0,6}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,5 \text{ atau } x \geq 0,7 \\ \frac{(x - 0,5)}{0,1}, & 0,5 < x < 0,6 \\ \frac{(0,7 - x)}{0,1}, & 0,6 \leq x < 0,7 \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\mu_{0,7}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,6 \text{ atau } x \geq 0,8 \\ \frac{(x - 0,6)}{0,1}, & 0,6 < x < 0,7 \\ \frac{(0,8 - x)}{0,1}, & 0,7 \leq x < 0,8 \end{cases} \quad (3.18)$$

$$\mu_{0,8}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,7 \text{ atau } x \geq 0,9 \\ \frac{(x - 0,7)}{0,1}, & 0,7 < x < 0,8 \\ \frac{(0,9 - x)}{0,1}, & 0,8 \leq x < 0,9 \end{cases} \quad (3.19)$$

$$\mu_{0,9}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,8 \\ \frac{(x - 0,8)}{0,1}, & 0,8 < x < 0,9 \\ 1, & x \geq 0,9 \end{cases} \quad (3.20)$$

Representasi grafik dari fungsi keanggotaan jumlah pengunjung digambarkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Representasi Fungsi Keanggotaan Variabel Indeks Waktu Evakuasi.

6. Penentuan Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy dibuat untuk menyatakan relasi antara *input* dan *output*. Fungsi implikasi *IF-THEN* digunakan sebagai metode pemetaan antara *input* dan

output, sementara operator *AND* digunakan untuk menghubungkan dua variabel *input*. Pada tiap variabel *input* masing-masing memiliki tiga himpunan keanggotaan, sehingga terdapat 27 kombinasi aturan yang mungkin, akibatnya seluruh aturan berjumlah 27. Berdasarkan pertimbangan antara himpunan pada variabel panjang jalan, lebar jalan, dan jumlah pengungsi ditetapkan aturan seperti pada Tabel 3.2 yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pada Tabel 3.2, terdapat 10 himpunan Indeks Waktu Evakuasi, hal ini ditujukan agar setiap kombinasi variabel input yang berbeda menghasilkan output yang berbeda.

Tabel 3.2 Aturan *Fuzzy*.

Aturan (i)		Panjang Jalan		Lebar Jalan		Jumlah Pengungsi		Indeks Waktu Evakuasi
1		Pendek		Lebar		Sedikit		0
2		Pendek		Lebar		Sedang		0,1
3		Pendek		Lebar		Banyak		0,2
4		Pendek		Sedang		Sedikit		0,1
5		Pendek		Sedang		Sedang		0,2
6		Pendek		Sedang		Banyak		0,3
7		Pendek		Sempit		Sedikit		0,2
8		Pendek		Sempit		Sedang		0,3
9		Pendek		Sempit		Banyak		0,4
10		Sedang		Lebar		Sedikit		0,2
11		Sedang		Lebar		Sedang		0,3
12		Sedang		Lebar		Banyak		0,4
13	IF	Sedang	AND	Sedang	AND	Sedikit	THEN	0,3
14		Sedang		Sedang		Sedang		0,4
15		Sedang		Sedang		Banyak		0,5
16		Sedang		Sempit		Sedikit		0,4
17		Sedang		Sempit		Sedang		0,5
18		Sedang		Sempit		Banyak		0,6
19		Panjang		Lebar		Sedikit		0,4
20		Panjang		Lebar		Sedang		0,5
21		Panjang		Lebar		Banyak		0,7
22		Panjang		Sedang		Sedikit		0,5
23		Panjang		Sedang		Sedang		0,6
24		Panjang		Sedang		Banyak		0,8
25		Panjang		Sempit		Sedikit		0,6
26		Panjang		Sempit		Sedang		0,7
27		Panjang		Sempit		Banyak		0,9

7. Metode Sugeno sebagai Sistem Inferensi *Fuzzy*

Fungsi implikasi yang digunakan pada Metode Sugeno adalah fungsi *min*. Fungsi *min* dipilih sebagai fungsi implikasi dengan cara mengambil nilai terkecil dari setiap derajat keanggotaan pada setiap aturan-*i*. Berikut adalah penerapan fungsi min sebagai fungsi implikasi pada aturan-*i*:

$$\begin{aligned}\alpha - \text{predikat}_i &= \mu_{\text{Pendek}}[x] \cap \mu_{\text{Lebar}}[y] \cap \mu_{\text{Sedikit}}[z] \\ &= \min(\mu_{\text{Pendek}}[x], \mu_{\text{Lebar}}[y], \mu_{\text{Sedikit}}[z])\end{aligned}$$

Nilai $\alpha - \text{predikat}_i$ selanjutnya akan digunakan pada proses defuzzifikasi.

8. Defuzzifikasi

Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam Metode Sugeno dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya. Berikut adalah perhitungan defuzzifikasi untuk w_1 dengan Metode Sugeno:

$$z = \frac{(\alpha - \text{pred}_1) \times z_1 + (\alpha - \text{pred}_2) \times z_2 + \dots + (\alpha - \text{pred}_n) \times z_n}{(\alpha - \text{pred}_1) + (\alpha - \text{pred}_2) + \dots + (\alpha - \text{pred}_n)}$$

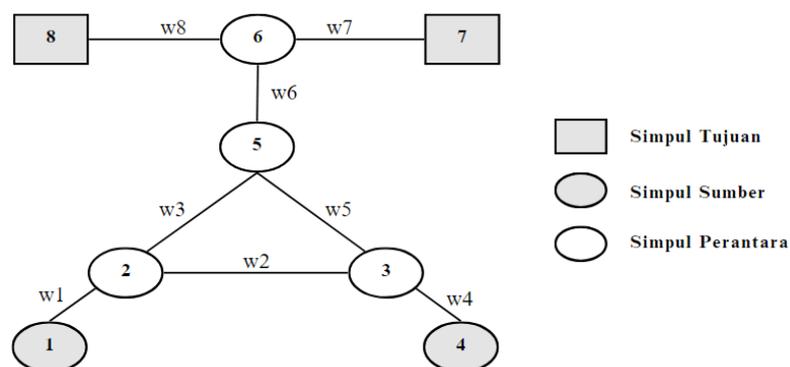
Dengan:

z : hasil defuzzifikasi yang merupakan nilai indeks waktu evakuasi pada jalan

z_i : *output fuzzy* atau nilai dari konsekuen pada aturan ke-*i*

$\alpha - \text{pred}_i$: hasil operasi fungsi implikasi pada aturan ke-*i*

Untuk memperjelas langkah penyelesaian di atas, diberikan contoh kasus sebagai berikut:



Gambar 3.8 Representasi Graf pada Contoh Kasus.

Tabel 3.3 Data pada Contoh Kasus.

No	Ket. Jalan	Panjang Jalan (meter)	Lebar Jalan (meter)	Jumlah Pengungsi (orang)
1	1 – 2	15	2	70
2	2 – 3	8	2	35
3	2 – 5	12	2,5	10
4	3 – 4	15	2	70
5	3 – 5	12	2,5	45
6	5 – 6	6	7,5	0
7	6 – 7	20	3	0
8	6 – 8	20	3	0

Misalkan Gambar 3.8 merupakan representasi graf dari sebuah denah bangunan gedung dengan bobot w_i yang merupakan nilai indeks waktu evakuasi. Untuk representasi graf pada Gambar 3.4, misalkan Simpul 1 dan 4 merupakan simpul sumber, Simpul 7 dan 8 merupakan simpul tujuan, dan sisanya merupakan simpul perantara. Dimisalkan pula nilai parameter panjang jalan, lebar jalan, dan jumlah pengungsi pada setiap jalan terdapat pada Tabel 3.3.

Langkah pertama untuk penentuan jalur evakuasi pada penelitian ini adalah mengubah atau mengonversi nilai dari parameter panjang jalan, lebar jalan, dan banyak pengungsi pada setiap jalan menjadi sebuah nilai yang berupa indeks waktu evakuasi. Nilai indeks waktu evakuasi ini dapat diperoleh dengan mengimplementasikan logika *fuzzy* terhadap *input* nilai-nilai parameter pada Tabel 3.3.

Berdasarkan ketentuan dalam penetapan domain, maka domain untuk nilai variabel *input* pada Tabel 3.3 adalah sebagai berikut:

a. Domain Panjang Jalan

Dari Tabel 3.3 dapat diperoleh bahwa rata-rata panjang jalan adalah 13,5 meter, rata-rata lebar jalan adalah 3,06 meter, dan rata-rata jumlah pengungsi adalah 29 orang. Akibatnya, domain untuk setiap himpunan pada variabel panjang jalan adalah sebagai berikut:

- Domain himpunan ‘Pendek’: [0, 13,5]
- Domain himpunan ‘Sedang’: [0, 20]
- Domain himpunan ‘Panjang’: [13,5, 20]

b. Domain Lebar Jalan

Domain untuk setiap himpunan pada variabel lebar jalan adalah sebagai berikut:

- Domain himpunan ‘Sempit’: [0, 3,06]
- Domain himpunan ‘Sedang’: [0, 7,5]
- Domain himpunan ‘Lebar’: [3,06, 7,5]

c. Domain Jumlah Pengungsi

Domain untuk setiap himpunan pada variabel jumlah pengungsi adalah sebagai berikut:

- Domain himpunan ‘Sedikit’: [0, 29]
- Domain himpunan ‘Sedang’: [0, 70]
- Domain himpunan ‘Banyak’: [29, 70]

Sedangkan domain untuk setiap himpunan pada variabel indeks waktu evakuasi telah ditetapkan pada Persamaan 3.1 hingga Persamaan 3.10. Selanjutnya, berdasarkan domain dan ketentuannya, diperoleh fungsi keanggotaan untuk setiap variabel adalah sebagai berikut.

a. Variabel Panjang Jalan

Fungsi keanggotaan untuk variabel panjang jalan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Pendek}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(13,5 - x)}{13,5}, & 0 < x < 13,5 \\ 0, & x \geq 13,5 \end{cases} \quad (3.21)$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x}{13,5}, & 0 < x < 13,5 \\ \frac{(20 - x)}{6,5}, & 13,5 \leq x < 20 \end{cases} \quad (3.22)$$

$$\mu_{\text{Panjang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 13,5 \\ \frac{(x - 13,5)}{6,5}, & 13,5 < x < 20 \\ 1, & x \geq 20 \end{cases} \quad (3.23)$$

b. Variabel Lebar Jalan

Fungsi keanggotaan untuk variabel lebar jalan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Sempit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(3,06 - x)}{3,06}, & 0 < x < 3,06 \\ 0, & x \geq 3,06 \end{cases} \quad (3.24)$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 7,5 \\ \frac{x}{3,06}, & 0 < x < 3,06 \\ \frac{(7,5 - x)}{4,44}, & 3,06 \leq x \leq 7,5 \end{cases} \quad (3.25)$$

$$\mu_{\text{Lebar}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 3,06 \\ \frac{(x - 3,06)}{4,44}, & 3,06 < x < 7,5 \\ 1, & x \geq 7,5 \end{cases} \quad (3.26)$$

c. Variabel Jumlah Pengungsi

Fungsi keanggotaan untuk variabel jumlah pengungsi adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{Sedikit}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ \frac{(29 - x)}{29}, & 0 < x < 29 \\ 0, & x \geq 29 \end{cases} \quad (3.27)$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x}{29}, & 0 < x < 29 \\ \frac{(70 - x)}{41}, & 29 \leq x \leq 70 \end{cases} \quad (3.28)$$

$$\mu_{\text{Banyak}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 29 \\ \frac{(x - 29)}{41}, & 29 < x < 70 \\ 1, & x \geq 70 \end{cases} \quad (3.29)$$

Sedangkan fungsi keanggotaan untuk variabel indeks waktu evakuasi telah ditetapkan pada Persamaan 3.11 hingga Persamaan 3.20. Selanjutnya, dari fungsi keanggotaan pada Persamaan 3.21 hingga Persamaan 3.29, dapat diperoleh derajat keanggotaan untuk variabel *input* pada Tabel 3.3. Derajat keanggotaan untuk masing-masing variabel *input* dapat dilihat pada Tabel 3.4, Tabel 3.5, dan Tabel 3.6.

Tabel 3.4 Derajat Keanggotaan Panjang Jalan.

No	Ket. Jalan	Panjang Jalan (meter)	Derajat keanggotaan		
			$\mu_{\text{Pendek}}(x)$	$\mu_{\text{Sedang}}(x)$	$\mu_{\text{Panjang}}(x)$
1	1 – 2	15	0	0,769	0,231
2	2 – 3	8	0,407	0,593	0
3	2 – 5	12	0,111	0,889	0
4	3 – 4	15	0	0,769	0,231
5	3 – 5	12	0,111	0,889	0
6	5 – 6	6	0,556	0,444	0
7	6 – 7	20	0	0	1
8	6 – 8	20	0	0	1

Tabel 3.5 Derajat Keanggotaan Lebar Jalan.

No	Ket. Jalan	Lebar Jalan (meter)	Derajat keanggotaan		
			$\mu_{\text{Sempit}}(x)$	$\mu_{\text{Sedang}}(x)$	$\mu_{\text{Lebar}}(x)$
1	1 – 2	2	0,346	0,654	0
2	2 – 3	2	0,346	0,654	0
3	2 – 5	2,5	0,183	0,817	0
4	3 – 4	2	0,346	0,654	0
5	3 – 5	2,5	0,183	0,817	0
6	5 – 6	7,5	0	0	1
7	6 – 7	3	0,020	0,980	0
8	6 – 8	3	0,020	0,980	0

Tabel 3.6 Derajat Keanggotaan Jumlah Pengungsi.

No	Ket. Jalan	Jumlah Pengungsi (orang)	Derajat keanggotaan		
			$\mu_{\text{Sedikit}}(x)$	$\mu_{\text{Sedang}}(x)$	$\mu_{\text{Banyak}}(x)$
1	1 – 2	70	0	0	1
2	2 – 3	35	0	0,854	0,146
3	2 – 5	10	0,655	0,256	0
4	3 – 4	70	0	0	1
5	3 – 5	45	0	0,610	0,390
6	5 – 6	0	1	0	0
7	6 – 7	0	1	0	0
8	6 – 8	0	1	0	0

Selanjutnya akan digunakan fungsi *min* sebagai fungsi implikasi. Berikut adalah penerapan fungsi *min* sebagai fungsi implikasi:

- Penentuan bobot untuk sisi w_1 atau jalan 1 – 2 dengan $P = 15$, $L = 2$, $B = 70$

- o Untuk aturan-1

$$\alpha - \text{predikat}_1 = \mu_{\text{Pendek}}[15] \cap \mu_{\text{Lebar}}[2] \cap \mu_{\text{Sedikit}}[70]$$

$$\alpha - \text{predikat}_1 = \min(\mu_{\text{Pendek}}[15], \mu_{\text{Lebar}}[2], \mu_{\text{Sedikit}}[70])$$

$$\alpha - \text{predikat}_1 = \min(0, 0, 0)$$

$$\alpha - \text{predikat}_1 = 0$$

- o Untuk aturan-2

$$\alpha - \text{predikat}_2 = \mu_{\text{Pendek}}[15] \cap \mu_{\text{Lebar}}[2] \cap \mu_{\text{Sedikit}}[70]$$

$$\alpha - \text{predikat}_2 = \min(\mu_{\text{Pendek}}[15], \mu_{\text{Lebar}}[2], \mu_{\text{Sedikit}}[70])$$

$$\alpha - \text{predikat}_2 = \min(0, 0, 0)$$

$$\alpha - \text{predikat}_2 = 0$$

.

.

.

- o Untuk aturan-26

$$\alpha - \text{predikat}_{26} = \mu_{\text{Panjang}}[15] \cap \mu_{\text{Sempit}}[2] \cap \mu_{\text{Sedang}}[70]$$

$$\alpha - \text{predikat}_{26} = \min(\mu_{\text{Panjang}}[15], \mu_{\text{Sempit}}[2], \mu_{\text{Sedang}}[70])$$

$$\alpha - \text{predikat}_{26} = \min(0,231, 0,346, 0)$$

$$\alpha - \text{predikat}_{26} = 0$$

- o Untuk aturan-27

$$\alpha - \text{predikat}_{27} = \mu_{\text{Panjang}}[15] \cap \mu_{\text{Sempit}}[2] \cap \mu_{\text{Banyak}}[70]$$

$$\alpha - \text{predikat}_{27} = \min(\mu_{\text{Panjang}}[15], \mu_{\text{Sempit}}[2], \mu_{\text{Banyak}}[70])$$

$$\alpha - \text{predikat}_{27} = \min(0,231, 0,346, 1)$$

$$\alpha - \text{predikat}_{27} = 0,231$$

Hasil dari fungsi implikasi dengan menggunakan fungsi *min* untuk setiap aturan pada penentuan bobot w_1 atau jalan 1 – 2 dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Hasil Fungsi Implikasi dengan Fungsi *Min* untuk Setiap Aturan-*i* dalam Penentuan Bobot w_1 .

<i>i</i>	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- <i>i</i>	<i>i</i>	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- <i>i</i>	<i>i</i>	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- <i>i</i>
1	0	0	10	0	0,2	19	0	0,4
2	0	0,1	11	0	0,3	20	0	0,5
3	0	0,2	12	0	0,4	21	0	0,7

i	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- i	i	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- i	i	$\alpha - \text{predikat}_i$	Konsekuensi dari aturan- i
4	0	0,1	13	0	0,3	22	0	0,5
5	0	0,2	14	0	0,4	23	0	0,6
6	0	0,3	15	0,654	0,5	24	0,231	0,8
7	0	0,2	16	0	0,4	25	0	0,6
8	0	0,3	17	0	0,5	26	0	0,7
9	0	0,4	18	0,346	0,6	27	0,231	0,9

Nilai $\alpha - \text{predikat}_i$ pada Tabel 3.7 selanjutnya akan digunakan pada proses defuzzifikasi. Perhitungan defuzzifikasi dari contoh kasus di atas, adalah sebagai berikut:

$$z = \frac{0 \times 0 + 0 \times 0,1 + \dots + 0,231 \times 0,9}{0 + 0 + \dots + 0,231}$$

$$z = \frac{0,927}{1,462}$$

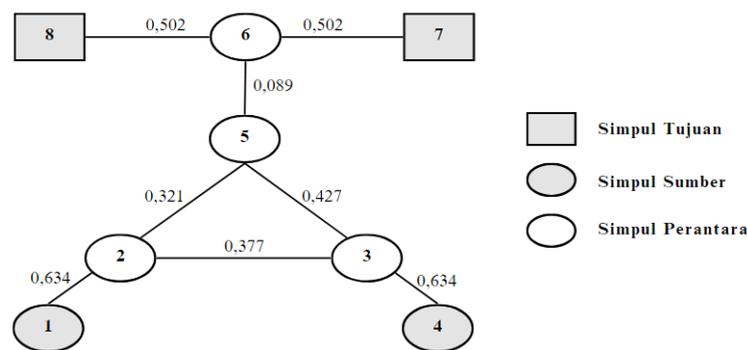
$$z = 0,634$$

Sehingga untuk sisi w_1 atau jalan 1 – 2 dengan panjang jalan sebesar 15 meter, lebar jalan sebesar 2 meter, dan jumlah pengungsi 70 orang, indeks waktu evakuasi yang dibutuhkan adalah 0,634. Langkah dari penerapan fungsi *min* sebagai fungsi implikasi hingga defuzzifikasi terus dilakukan untuk setiap sisi i . Dengan cara yang sama diperoleh indeks waktu evakuasi untuk setiap sisi i yang dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Hasil *Fuzzy* untuk Contoh Kasus.

i	w_i
1	0,634
2	0,377
3	0,321
4	0,634
5	0,427
6	0,089
7	0,502
8	0,502

Dengan demikian, representasi pada graf pada Gambar 3.8 dapat diperbarui menjadi graf dengan bobot indeks waktu evakuasi pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Representasi Graf dengan Bobot Indeks Waktu Evakuasi pada Contoh Kasus.

3.6.2 Penentuan Jalur Evakuasi Menggunakan Algoritma Dijkstra

Setelah logika *fuzzy* diimplementasikan, maka akan diperoleh nilai atau bobot indeks waktu evakuasi untuk setiap sisi pada graf. Selanjutnya, akan dicari jalur evakuasi optimal dari seluruh simpul sumber ke simpul tujuan pada graf berbobot dengan bobot berupa indeks waktu evakuasi yang telah diperoleh sebelumnya. Dalam hal ini, jalur evakuasi optimal merupakan jalur evakuasi tercepat yang dapat dilalui oleh pengungsi, masalah ini juga dipandang sebagai permasalahan pencarian jalur terpendek.

Algoritma Dijkstra merupakan sebuah algoritma yang dapat menyelesaikan permasalahan pencarian jarak terpendek antar simpul pada sebuah graf yang memiliki bobot *non-negatif* (Jordan, 2012). Pada penelitian ini, Algoritma Dijkstra akan digunakan untuk mencari jalur evakuasi optimal pada graf berbobot dengan bobot berupa indeks waktu evakuasi yang telah diperoleh sebelumnya. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan algoritma Dijkstra menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* sebagaimana yang diuraikan dalam Darmawan (2021):

1. Bangun tabel di mana baris merepresentasikan kumpulan simpul yang akan dituju, dan setiap kolom merepresentasikan simpul inisial yang akan digunakan untuk mengevaluasi indeks waktu evakuasi.
2. Pilih simpul inisial pertama yaitu simpul sumber pada graf berbobot.
3. Catat indeks waktu evakuasi pada kolom dan baris yang sesuai dengan format 'X|Y' di mana X adalah indeks waktu evakuasi dan Y adalah simpul inisial. Jika terdapat indeks waktu evakuasi baru, pilih waktu tempuh yang paling kecil.

4. Pilih simpul inisial baru. Jika simpul inisial sebelumnya berjasen dengan lebih dari satu simpul, pilih simpul yang memiliki waktu tempuh terkecil terlebih dahulu. Jika tidak, simpul yang dituju oleh simpul inisial sebelumnya dapat langsung dipilih sebagai simpul inisial baru.
5. Ulangi Langkah 3 hingga simpul tujuan telah dikunjungi. Jika simpul tujuan telah dikunjungi, hentikan algoritma. Pemilihan rantai dilakukan dengan mempertimbangkan simpul pendahulu dari masing-masing simpul inisial.

Untuk memperjelas langkah penyelesaian di atas, diberikan contoh kasus sebagai berikut. Misalkan terdapat graf berbobot seperti pada Gambar 3.9, pencarian jalur evakuasi dengan Algoritma Dijkstra menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* pada graf tersebut adalah sebagai berikut:

A. Pencarian rute dari Simpul 1 ke Simpul 7 (1 – 7)

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 3.9, diperoleh jalur evakuasi optimal dari 1 – 7 adalah (1, 2, 5, 6, 7) dengan total indeks waktu evakuasi sebesar 1,546.

Tabel 3.9 Kalkulasi Algoritma Dijkstra untuk Jalur 1 – 7.

	1	2	3	5	6	7
1	0 1	0,634 1	∞	∞	∞	∞
2		0,634 1	1,011 2	0,955 2	∞	∞
5			1,011 2	0,955 2	1,044 5	∞
3			1,011 2		1,044 5	∞
6					1,044 5	1,546 6
7						1,546 6

B. Pencarian rute dari Simpul 4 ke Simpul 8 (4 – 8)

Tabel 3.10 Kalkulasi Algoritma Dijkstra untuk Jalur 4 – 8.

	4	3	2	5	6	8
4	0 4	0,634 4	∞	∞	∞	∞
3		0,634 4	1,011 4	1,061 3	∞	∞
2			1,011 4	1,061 3	1,332 2	∞
5				1,061 3	1,150 5	∞
6					1,150 5	1,652 6
8						1,652 6

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 3.10, diperoleh jalur evakuasi optimal dari 4 – 8 adalah {4, 3, 5, 6, 8} dengan total indeks waktu evakuasi sebesar 1,652.

Dengan demikian, diperoleh jalur evakuasi optimal untuk gedung dengan representasi denah bangunan seperti pada Gambar 3.9 adalah (1, 2, 5, 6, 7) untuk Simpul Sumber 1 dan (4, 3, 5, 6, 8) untuk Simpul Sumber 4, dimana evakuasi dari Simpul Sumber 1 memerlukan total indeks waktu evakuasi sebesar 1,546 dan evakuasi dari Simpul Sumber 4 memerlukan total indeks waktu evakuasi sebesar 1,652. Hal ini menyatakan bahwa evakuasi dari Simpul Sumber 4 membutuhkan waktu yang lebih banyak dibandingkan dengan evakuasi dari Simpul Sumber 1. Sehingga, diperoleh bahwa waktu evakuasi minimum yang dibutuhkan untuk mengevakuasi gedung dengan representasi denah bangunan seperti pada Gambar 3.9 adalah ketika proses evakuasi dari Simpul Sumber 4 sudah selesai atau dengan kata lain total indeks waktu evakuasi minimum yang dibutuhkan untuk mengevakuasi gedung tersebut adalah sebesar 1,652.