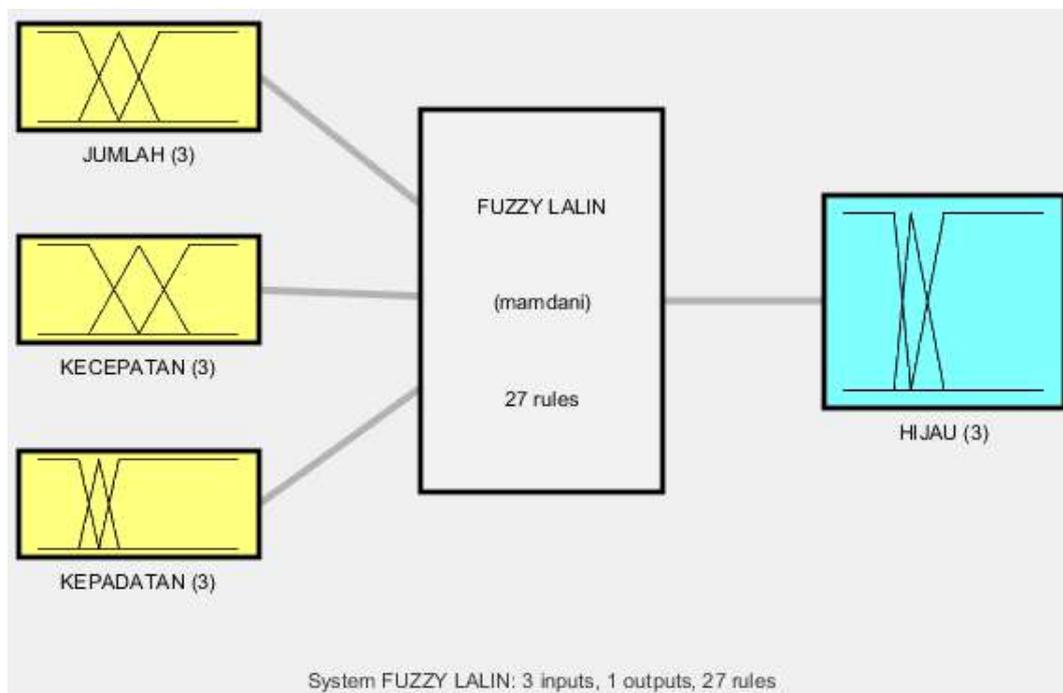


## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan waktu hijau menggunakan logika *fuzzy* khususnya menggunakan *software* Matlab. Untuk menerapkan logika *fuzzy* dalam penelitian yang disebut “*Fuzzy Lalin*” ini, perlu dibuat variabel linguistik sebagai variabel masukan dan variabel keluaran. Variabel masukannya adalah jumlah kendaraan, kecepatan, kepadatan kendaraan dan variabel keluarannya adalah waktu hijau. Sistem inferensi yang digunakan adalah metode *mamdani* dengan total 27 aturan yang digunakan, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sistem Inferensi *Fuzzy* Editor (FIS)

#### 4.1 Pemetaan Himpunan *Fuzzy*

Tahap awal dalam membangun logika *fuzzy* untuk pengaturan aliran lalu lintas adalah membuat himpunan *fuzzy* pada setiap variabel. Himpunan *fuzzy* pada Tabel 4.1, diperoleh dari Dinas Perhubungan terkait dengan Simpang Empat El Tari, yang sudah direkayasa atau diolah (Hani, 2023). Pada *input* variabel jumlah kendaraan (Gambar 4.2), kecepatan kendaraan (Gambar 4.3), dan kepadatan kendaraan (Gambar 4.4) dibagi menjadi tiga nilai linguistik yaitu: rendah, sedang, dan tinggi. Pada *output* variabel hijau (Gambar 4.5) dibagi menjadi tiga nilai linguistik yaitu: lambat, sedang, dan cepat.

Tabel 4.1 Himpunan *Fuzzy* Variabel *Input* Dan *Output* (Hani, 2023)

Fungsi	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	<i>Domain</i>	Semesta Pembicaraan
<i>Input</i>	Jumlah Kendaraan	Rendah	[0, 40]	[0-100]
		Sedang	[20, 60]	
		Tinggi	[40, 60]	
	Kecepatan Kendaraan	Rendah	[0, 20]	[0-40]
		Sedang	[10, 30]	
		Tinggi	[20, 30]	
Kepadatan Kendaraan	Rendah	[0, 30]	[0-100]	
	Sedang	[20, 40]		
	Tinggi	[30, 40]		
<i>Output</i>	Hijau	Lambat	[0, 20]	[0-60]
		Sedang	[15, 30]	
		Cepat	[20, 30]	

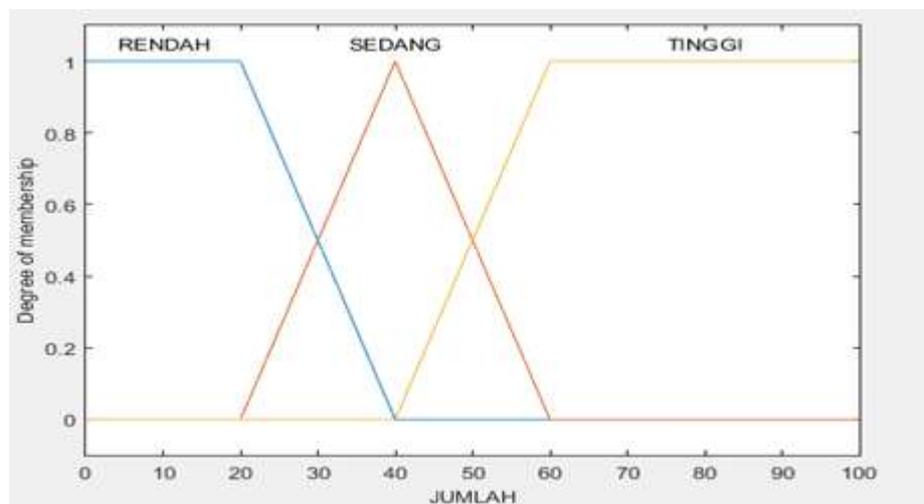
#### 4.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan pemetaan titik masukan data ke dalam nilai keanggotaannya.

##### 4.2.1 Variabel Jumlah Kendaraan

Gambar 4.2 adalah grafik variabel *input* dengan label “Jumlah”, dengan sumbu horizontal (semesta pembicaraan) yang berkisar dari 0

hingga 100 dan sumbu vertikal (derajat keanggotaan) yang berkisar dari 0 hingga 1. Ada tiga kurva pada gambar tersebut, masing-masing mewakili kategori yang berbeda. Kategori “Rendah” diwakili oleh kurva bahu berwarna biru. Kategori “Sedang” diwakili oleh kurva segitiga berwarna oranye. Kategori “Tinggi” diwakili oleh garis kuning. Kurva-kurva tersebut digunakan dalam sistem logika *fuzzy* untuk mewakili fungsi keanggotaan untuk variabel linguistik yang berbeda.



Gambar 4.2 Fungsi Keanggotaan Jumlah Kendaraan

### Fungsi keanggotaan:

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.5, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Rendah". Ketika  $x$  lebih kecil sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 1. Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{40-x}{40-20}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 40, tingkat keanggotaan adalah 0.

$$\mu [\text{RENDAH}] = \begin{cases} 1 & x \leq 20 \\ \frac{40-x}{40-20} & 20 \leq x \leq 40 \\ 0 & x \geq 40 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.3, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Sedang". Tingkat keanggotaan adalah 0 saat  $x$  lebih kecil sama dengan 20 atau  $x$  lebih besar sama dengan 60. Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-20}{40-20}$ . Ketika 40 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 60, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{60-x}{60-40}$ . Ketika  $x$  sama dengan 40, tingkat keanggotaan adalah 1.

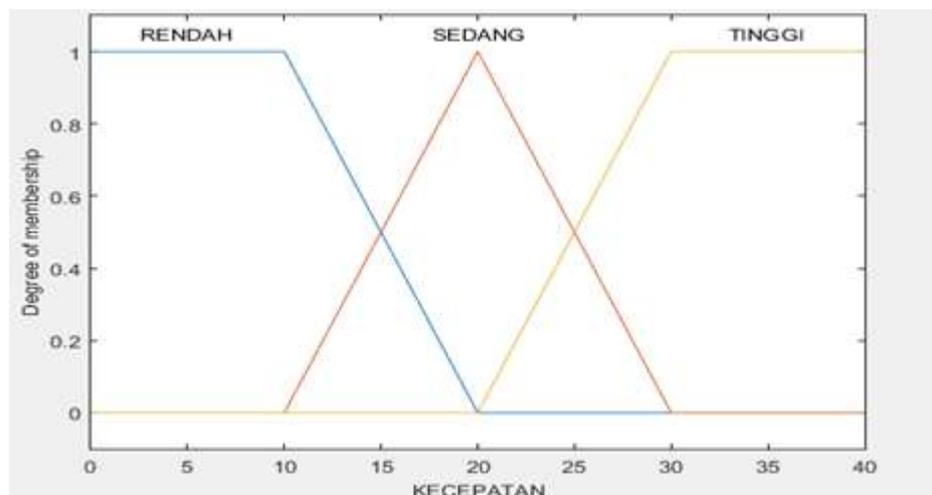
$$\mu [\text{SEDANG}] = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{x-20}{40-20} & 20 \leq x \leq 40 \\ 1 & x = 40 \\ \frac{60-x}{60-40} & 40 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.6, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Tinggi". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 40, tingkat keanggotaan adalah 0. Ketika 40 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 60, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-40}{60-40}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 60, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{TINGGI}] = \begin{cases} 0 & x \leq 40 \\ \frac{x - 40}{60 - 40} & 40 \leq x \leq 60 \\ 1 & x \geq 60 \end{cases}$$

#### 4.2.2 Variabel Kecepatan Kendaraan

Gambar 4.3 adalah grafik variabel *input* dengan label “Kecepatan”, dengan sumbu horizontal (semesta pembicaraan) yang berkisar dari 0 hingga 40 dan sumbu vertikal (derajat keanggotaan) yang berkisar dari 0 hingga 1. Ada tiga kurva pada gambar tersebut, masing-masing mewakili kategori yang berbeda. Kategori “Rendah” diwakili oleh kurva bahu berwarna biru. Kategori “Sedang” diwakili oleh kurva segitiga berwarna oranye. Kategori “Tinggi” diwakili oleh garis kuning. Kurva-kurva tersebut digunakan dalam sistem logika *fuzzy* untuk mewakili fungsi keanggotaan untuk variabel linguistik yang berbeda.



Gambar 4.3 Fungsi Keanggotaan Kecepatan Kendaraan

### **Fungsi keanggotaan:**

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.5, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Rendah". Ketika  $x$  lebih kecil sama dengan 10, tingkat keanggotaan adalah 1. Ketika 10 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 20, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{20-x}{20-10}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 0.

$$\mu [\text{RENDAH}] = \begin{cases} 1 & x \leq 10 \\ \frac{20-x}{20-10} & 10 \leq x \leq 20 \\ 0 & x \geq 20 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.3, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Sedang". Tingkat keanggotaan adalah 0 saat  $x$  lebih kecil atau sama dengan 10 atau  $x$  lebih besar sama dengan 30. Ketika 10 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-10}{20-10}$ . Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{30-x}{30-20}$ . Ketika  $x$  sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{SEDANG}] = \begin{cases} 0 & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x - 10}{20 - 10} & 10 \leq x \leq 20 \\ 1 & x = 20 \\ \frac{30 - x}{30 - 20} & 20 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

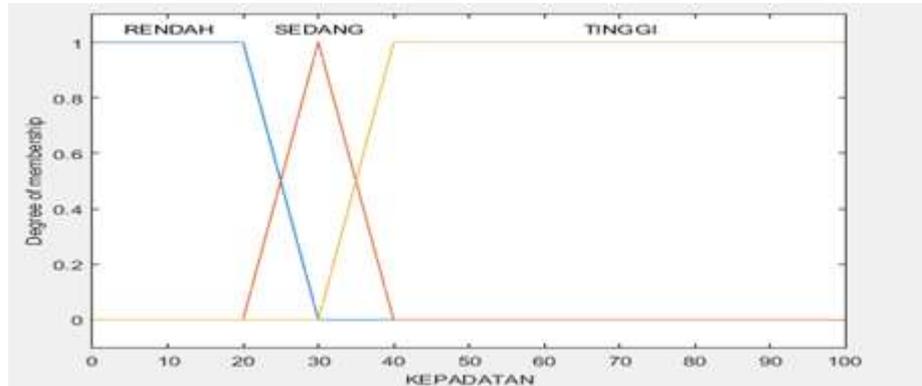
Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.6, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Tinggi". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 0. Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-20}{30-20}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 30, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{TINGGI}] = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \\ \frac{x - 20}{30 - 20} & 20 \leq x \leq 30 \\ 1 & x \geq 30 \end{cases}$$

#### 4.2.3 Variabel Kepadatan Kendaraan

Gambar 4.4 adalah grafik variabel *input* dengan label "Kepadatan", dengan sumbu horizontal (semesta pembicaraan) yang berkisar dari 0 hingga 100 dan sumbu vertikal (derajat keanggotaan) yang berkisar dari 0 hingga 1. Ada tiga kurva pada gambar tersebut, masing-masing mewakili kategori yang berbeda. Kategori "Rendah" diwakili oleh kurva bahu berwarna biru. Kategori "Sedang" diwakili oleh kurva segitiga berwarna oranye. Kategori "Tinggi" diwakili oleh garis kuning. Kurva-

kurva tersebut digunakan dalam sistem logika *fuzzy* untuk mewakili fungsi keanggotaan untuk variabel linguistik yang berbeda.



Gambar 4.4 Fungsi Keanggotaan Kepadatan Kendaraan

**Fungsi keanggotaan:**

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.5, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Rendah". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 1. Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 30, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{30-x}{30-20}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 30, tingkat keanggotaan adalah 0.

$$\mu [\text{RENDAH}] = \begin{cases} 1 & x \leq 20 \\ \frac{30-x}{30-20} & 20 \leq x \leq 30 \\ 0 & x \geq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.3, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Sedang". Tingkat keanggotaan

adalah 0 saat  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20 atau  $x$  lebih besar sama dengan 40. Ketika 20 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-20}{30-20}$ . Ketika 30 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{40-x}{40-30}$ . Ketika  $x$  sama dengan 30, tingkat keanggotaan adalah 1.

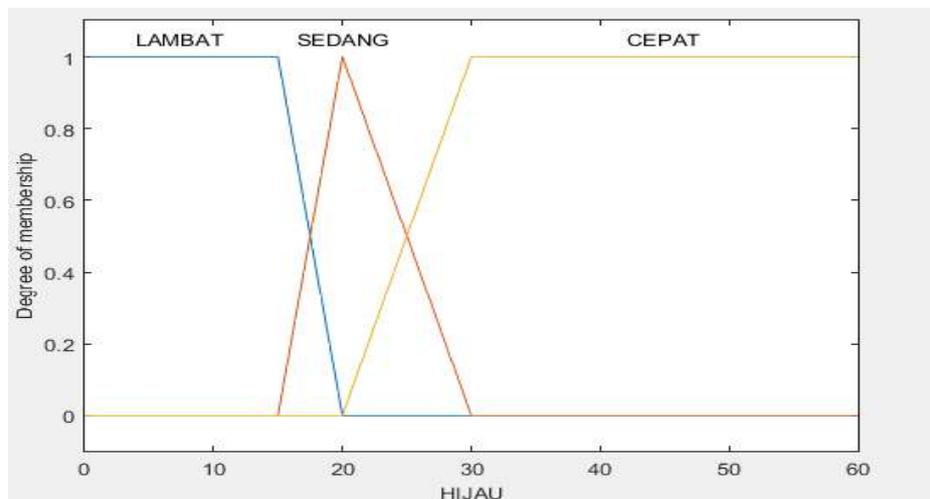
$$\mu [\text{SEDANG}] = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 40 \\ \frac{x-20}{30-20} & 20 \leq x \leq 30 \\ 1 & x = 30 \\ \frac{40-x}{40-30} & 30 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.6, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Tinggi". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 30, tingkat keanggotaan adalah 0. Ketika 30 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-30}{40-30}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 40, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{TINGGI}] = \begin{cases} 0 & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{40-30} & 30 \leq x \leq 40 \\ 1 & x \geq 40 \end{cases}$$

#### 4.2.4 Variabel Lampu Hijau

Gambar 4.5 adalah grafik variabel *output* dengan label “Hijau”, dengan sumbu horizontal (semesta pembicaraan) yang berkisar dari 0 hingga 60 dan sumbu vertikal (derajat keanggotaan) yang berkisar dari 0 hingga 1. Ada tiga kurva pada gambar tersebut, masing-masing mewakili kategori yang berbeda. Kategori “Rendah” diwakili oleh kurva bahu berwarna biru. Kategori “Sedang” diwakili oleh kurva segitiga berwarna oranye. Kategori “Tinggi” diwakili oleh garis kuning. Kurva-kurva tersebut digunakan dalam sistem logika *fuzzy* untuk mewakili fungsi keanggotaan untuk variabel linguistik yang berbeda.



Gambar 4.5 Fungsi Keanggotaan Hijau

#### Fungsi keanggotaan:

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.5, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Rendah". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 15, tingkat keanggotaan adalah 1. Ketika 15 lebih kecil

atau sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{20-x}{20-15}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 0.

$$\mu [\text{RENDAH}] = \begin{cases} 1 & x \leq 15 \\ \frac{20-x}{20-15} & 15 \leq x \leq 20 \\ 0 & x \geq 20 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.3, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Sedang". Tingkat keanggotaan adalah 0 saat  $x$  lebih kecil atau sama dengan 15 atau  $x$  lebih besar sama dengan 30. Ketika 15 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-15}{20-15}$ . Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{30-x}{30-20}$ . Ketika  $x$  sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{SEDANG}] = \begin{cases} 0 & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-15}{20-15} & 15 \leq x \leq 20 \\ 1 & x = 20 \\ \frac{30-x}{30-20} & 20 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

Fungsi keanggotaan di bawah ini menggunakan Persamaan 2.6, yang mana fungsi keanggotaan ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai  $x$  dalam himpunan linguistik "Tinggi". Ketika  $x$  lebih kecil atau sama dengan 20, tingkat keanggotaan adalah 0. Ketika 20 lebih kecil atau sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{x-20}{30-20}$ . Ketika  $x$  lebih besar sama dengan 30, tingkat keanggotaan adalah 1.

$$\mu [\text{TINGGI}] = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \\ \frac{x-20}{30-20} & 20 \leq x \leq 30 \\ 1 & x \geq 30 \end{cases}$$

### 4.3 Basis Aturan

Basis aturan *fuzzy* adalah sekumpulan implikasi yang diterapkan sebagai aturan dalam sistem. Aturan *fuzzy* ditentukan terlebih dahulu agar sistem kendali *fuzzy* beradaptasi dengan situasi, dapat dilihat pada Tabel 4.2. Sampai saat ini belum ada aturan yang mengikat dalam penentuan basis aturan ini sehingga aturan yang ada pada penelitian ini dibuat berdasarkan pengalaman dan basis pengetahuan dari pakar sehingga penentuan berdasar pada pengetahuan pakar atau pengalaman operator (Hani, 2023).

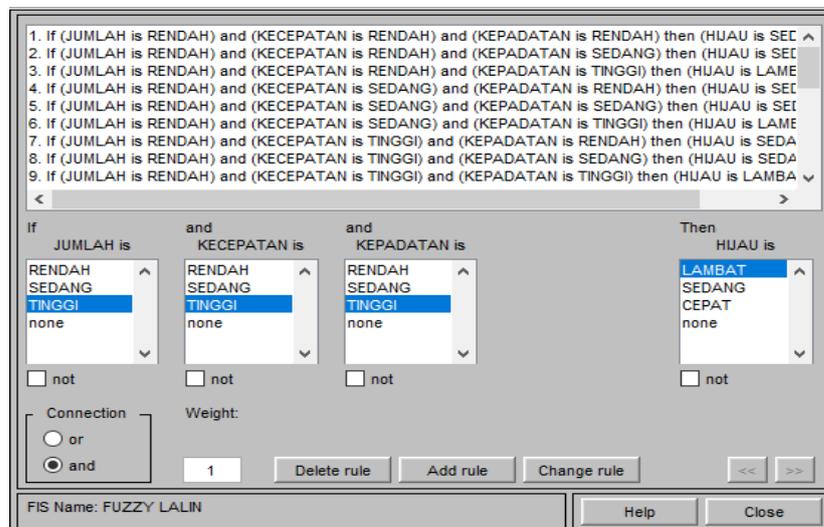
Tabel 4.2 *Rule Base* (Hani, 2023)

NO	Jumlah	Kecepatan	Kepadatan	Hijau
1	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>THEN</i> Sedang
2	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang
3	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat
4	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Rendah	<i>THEN</i> Sedang
5	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang
6	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat
7	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>AND</i> Rendah	<i>THEN</i> Sedang
8	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang
9	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat

10	IF	Sedang	AND	Rendah	AND	Rendah	THEN	Sedang
11	IF	Sedang	AND	Rendah	AND	Sedang	THEN	Sedang
12	IF	Sedang	AND	Rendah	AND	Tinggi	THEN	Lambat
13	IF	Sedang	AND	Sedang	AND	Rendah	THEN	Sedang
14	IF	Sedang	AND	Sedang	AND	Sedang	THEN	Sedang
15	IF	Sedang	AND	Sedang	AND	Tinggi	THEN	Lambat
16	IF	Sedang	AND	Tinggi	AND	Rendah	THEN	Sedang
17	IF	Sedang	AND	Tinggi	AND	Sedang	THEN	Sedang
18	IF	Sedang	AND	Tinggi	AND	Tinggi	THEN	Lambat
19	IF	Tinggi	AND	Rendah	AND	Rendah	THEN	Lambat
20	IF	Tinggi	AND	Rendah	AND	Sedang	THEN	Lambat
21	IF	Tinggi	AND	Rendah	AND	Tinggi	THEN	Lambat
22	IF	Tinggi	AND	Sedang	AND	Rendah	THEN	Lambat
23	IF	Tinggi	AND	Sedang	AND	Sedang	THEN	Lambat
24	IF	Tinggi	AND	Sedang	AND	Tinggi	THEN	Lambat
25	IF	Tinggi	AND	Tinggi	AND	Rendah	THEN	Lambat
26	IF	Tinggi	AND	Tinggi	AND	Sedang	THEN	Lambat
27	IF	Tinggi	AND	Tinggi	AND	Tinggi	THEN	Lambat

Aturan atau *rules* yang telah dibuat di atas diimplementasikan ke dalam

*rule* editor pada *toolbox* Matlab seperti terlihat pada Gambar 4.6, gambar tersebut menampilkan antarmuka *rule* editor pada *toolbox* Matlab untuk sistem logika *fuzzy* yang menunjukkan serangkaian aturan dan kondisi yang disetel dalam *rule* editor, antarmuka *rule* editor juga mencakup tombol untuk menambah atau menghapus aturan, mengubah aturan, dan menguji sistem.



Gambar 4.6 Rule Editor

#### 4.4 Contoh Kasus

Pada penelitian ini, peneliti melakukan pengujian sebanyak 5 kali dengan kondisi lalu lintas yang berbeda seperti yang terlihat pada Tabel 4.3. Untuk proses perhitungan atau penyelesaiannya, peneliti mengambil contoh pengujian ke-3 dari Tabel 4.3. Terjadi suatu kondisi lalu lintas, dengan jumlah kendaraan adalah 38, dengan kecepatannya 12 km/jam, dan kepadatannya 38. Maka untuk tahapan penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan *fuzzy* adalah fuzzifikasi adalah fuzzifikasi, inferensi *Mamdani*, dan defuzzifikasi. Setelah melalui tahapan proses tersebut maka akan mendapatkan hasil *output crisp* sebagai solusi *output*.

Tabel 4.3 Contoh Kasus Pengujian

No	Jumlah	Kecepatan	Kepadatan
1.	25	15	25
2.	20	18	20
3.	38	12	38
4.	22	20	22
5.	35	16	35

##### 4.4.1 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi dalam logika *fuzzy mamdani* adalah langkah pertama dalam mengubah nilai-nilai *input* yang jelas menjadi variabel linguistik yang dapat dimengerti oleh sistem logika *fuzzy*. Ini dilakukan dengan mengaitkan setiap nilai *input* dengan tingkat keanggotaan dalam himpunan linguistik yang sesuai. Hasil perhitungan fuzzifikasi untuk ketiga variabel *input* dapat dilihat pada Tabel 4.4 setelah perhitungan di bawah.

## 1. Variabel Jumlah Kendaraan

### a. Rendah

Pada perhitungan fungsi keanggotaan rendah di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai 20 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{40-38}{40-20}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.5.

$$\mu [38] = \frac{40 - 38}{40 - 20}$$

### b. Sedang

Pada perhitungan fungsi keanggotaan sedang di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai 20 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{38-20}{40-20}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$\mu [38] = \frac{38 - 20}{40 - 20}$$

### c. Tinggi

Pada perhitungan fungsi keanggotaan tinggi di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai  $x$  lebih kecil sama dengan 40, dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$\mu [38] = 0$$

## 2. Variabel Kecepatan Kendaraan

### a. Rendah

Pada perhitungan fungsi keanggotaan rendah di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 12, termasuk ke dalam nilai 10 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 20, maka tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{20-12}{20-10}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.5.

$$\mu [12] = \frac{20 - 12}{20 - 10}$$

### b. Sedang

Pada perhitungan fungsi keanggotaan sedang di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 12, termasuk ke dalam nilai 10 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 20, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{12-10}{20-10}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$\mu [12] = \frac{12 - 10}{20 - 10}$$

### c. Tinggi

Pada perhitungan fungsi keanggotaan tinggi di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 12,  $x$  lebih kecil sama dengan 20, dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$\mu [12] = 0$$

### 3. Variabel Kepadatan Kendaraan

#### a. Rendah

Pada perhitungan fungsi keanggotaan rendah di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai  $x$  lebih besar sama dengan 30, dengan menggunakan Persamaan 2.5.

$$\mu [38] = 0$$

#### b. Sedang

Pada perhitungan fungsi keanggotaan sedang di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai 30 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{40-38}{40-30}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.3.

$$\mu [38] = \frac{40 - 38}{40 - 30}$$

#### c. Tinggi

Pada perhitungan fungsi keanggotaan tinggi di bawah ini, untuk nilai *input*-an  $x$  adalah 38, termasuk ke dalam nilai 30 lebih kecil sama dengan  $x$  lebih kecil sama dengan 40, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{38-30}{40-30}$ , dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$\mu [38] = \frac{38 - 30}{40 - 30}$$

Tabel 4.4 Hasil Fuzzifikasi Variabel *Input*

<b>Variabel Jumlah Kendaraan</b>		
$\mu$ rendah (38) 0,1	$\mu$ sedang (38) 0,9	$\mu$ tinggi (38) 0,0
<b>Variabel Kecepatan Kendaraan</b>		
$\mu$ rendah (12) 0,8	$\mu$ sedang (12) 0,2	$\mu$ tinggi (12) 0,0
<b>Variabel Kepadatan Kendaraan</b>		
$\mu$ rendah (38) 0,0	$\mu$ sedang (38) 0,2	$\mu$ tinggi (38) 0,8

#### 4.4.2 Inferensi *Mamdani*

##### 1. Fungsi implikasi (*Min*)

Pada tahap ini, dilakukan proses implikasi untuk setiap aturan *fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 4.5. Dalam implikasi *min*, nilai tingkat keanggotaan dari setiap himpunan *fuzzy output* diambil sebagai *minimum* dari nilai tingkat keanggotaan himpunan *fuzzy input* yang terkait dengan aturan yang ada pada Tabel 4.2.

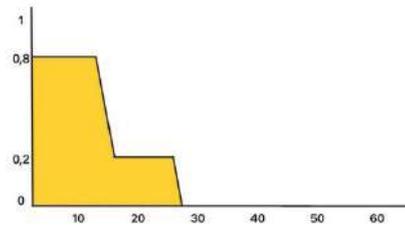
Tabel 4.5 Hasil Fungsi Implikasi

NO	Jumlah	Kecepatan	Kepadatan	Hijau	Min
[R2]	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang	0,1
[R3]	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat	0,1
[R5]	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang	0,1
[R6]	<i>IF</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat	0,1
[R11]	<i>IF</i> Sedang	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang	0,2
[R12]	<i>IF</i> Sedang	<i>AND</i> Rendah	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat	0,8
[R14]	<i>IF</i> Sedang	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Sedang	<i>THEN</i> Sedang	0,2
[R15]	<i>IF</i> Sedang	<i>AND</i> Sedang	<i>AND</i> Tinggi	<i>THEN</i> Lambat	0,2

##### 2. Komposisi Aturan atau Agregasi (*Max*)

Pada tahap ini, dilakukan penggabungan hasil dari setiap aturan pada Tabel 4.5 menggunakan operasi *max*. Dengan demikian, setiap nilai *output* memiliki satu nilai kontribusi *maximum* yang berasal dari

aturan yang paling aktif., sehingga menghasilkan fungsi keanggotaan yang baru pada Gambar 4.7. Fungsi keanggotaan di bawah ini mendefinisikan tingkat keanggotaan suatu nilai. Tingkat keanggotaan adalah 0,8 saat  $z$  lebih kecil sama dengan 16. Ketika 16 lebih kecil sama dengan  $z$  lebih kecil sama dengan 19, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{20-z}{20-15}$ . Ketika 19 lebih kecil sama dengan  $z$  lebih kecil sama dengan 28, tingkat keanggotaannya adalah 0,2. Ketika 28 lebih kecil sama dengan  $z$  lebih kecil sama dengan 30, tingkat keanggotaannya adalah  $\frac{30-z}{30-20}$ . Tingkat keanggotaan adalah 0 saat  $z$  lebih besar sama dengan 30.



Gambar 4.7 Fungsi Keanggotaan Baru

$$\mu [z] = \begin{cases} 0,8 & z \leq 16 \\ \frac{20 - z}{20 - 15} & 16 \leq z \leq 19 \\ 0,2 & 19 \leq z \leq 28 \\ \frac{30 - z}{30 - 20} & 28 \leq z \leq 30 \\ 0 & z \geq 30 \end{cases}$$

Dalam konteks *fuzzy logic mamdani*, persamaan ini menggambarkan seberapa besar setiap himpunan linguistik (Rendah, Sedang, Tinggi) berkontribusi terhadap nilai variabel  $z$  yang dihasilkan.

### 4.4.3 Defuzzifikasi

Pada tahap ini, solusi *crisp* diperoleh menggunakan metode *Centroid*. Dalam metode *fuzzy logic*, defuzzifikasi dilakukan untuk mendapatkan nilai *crisp* (Bria, 2015). Pada Persamaan 4.1, untuk mencari nilai  $z$ , kita harus mencari momen dan luas daerah terdahulu, proses perhitungannya menggunakan integral untuk mengalikan setiap titik di daerah tersebut dengan jaraknya ke titik tertentu, lalu menjumlahkan semua hasil kali tersebut. Jika mencari luas daerah di bawah kurva suatu fungsi dari  $a$  sampai  $b$ , maka proses berikutnya adalah mengintegrasikan fungsi tersebut dari  $a$  sampai  $b$ . Jika daerah yang dicari luasnya dibatasi oleh lebih dari satu kurva, maka cara mencari luas daerah di antara dua kurva dengan mengurangi integral fungsi kurva atas dengan integral fungsi kurva bawah.

$$z = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \text{ atau } z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \dots\dots\dots(4.1)$$

Di mana:

$\mu(z)$  = agregasi *output* dari fungsi keanggotaan

$z$  = nilai *fuzzy output*

### 1. Momen (M):

$$M1 = \int_0^{16} 0,8z \, dz = 102,4$$

Di mana:

$M1$  = Variabel nilai integral dari fungsi keanggotaan. Ini adalah hasil akhir dari proses integrasi dari fungsi  $0,8z$  terhadap variabel  $z$  dalam rentang 0 hingga 16.

$z$  = Variabel independen atau *input* dari fungsi. Dalam konteks ini,  $z$  mewakili nilai-nilai yang berbeda dalam suatu *domain* tertentu yang dimaksudkan untuk diproses dengan fungsi keanggotaan.

$0,8$  = Koefisien yang mengalikan variabel  $z$  dalam fungsi. Dalam kasus ini, fungsi keanggotaan adalah fungsi linier dengan kemiringan  $0,8$ . Artinya, nilai dari fungsi ini meningkat seiring dengan peningkatan nilai  $z$ , dan kemiringannya adalah  $0,8$ .

$dz$  = elemen diferensial dari variabel  $z$ , yang menunjukkan bahwa integrasi dilakukan terhadap variabel  $z$ . Dalam konteks integral,  $dz$  menunjukkan bahwa kita mengambil elemen dari  $z$  untuk menjumlahkan kontribusinya dalam rentang tertentu.

$$M2 = \int_{16}^{19} \frac{20-z}{20-15} z dz = 25,8$$

Di mana:

$M2$  = Variabel nilai integral dari fungsi keanggotaan. Ini adalah hasil akhir dari proses integrasi dari fungsi  $\frac{20-z}{20-15}$  terhadap variabel  $z$  dalam rentang 16 hingga 19.

$z$  = Variabel independen atau *input* dari fungsi. Dalam konteks ini,  $z$  mewakili nilai-nilai yang berbeda dalam suatu *domain* tertentu yang dimaksudkan untuk diproses dengan fungsi keanggotaan.

$\frac{20-z}{20-15}$  = Bagian dari fungsi keanggotaan. Ini adalah fungsi linier dengan kemiringan 15, yang menggambarkan bagaimana nilai fungsi berubah seiring dengan perubahan nilai  $z$ .

$dz$  = Elemen diferensial dari variabel  $z$ , menunjukkan bahwa integrasi dilakukan terhadap variabel  $z$ . Dalam konteks integral,  $dz$  menunjukkan bahwa kita mengambil elemen dari  $z$  untuk menjumlahkan kontribusinya dalam rentang tertentu.

$$M3 = \int_{19}^{28} 0,2z \, dz = 42,3$$

Di mana:

$M3$  = Variabel nilai integral dari fungsi keanggotaan. Ini adalah hasil akhir dari proses integrasi dari fungsi  $0,2z$  terhadap variabel  $z$  dalam rentang 19 hingga 28.

$z$  = Variabel independen atau *input* dari fungsi. Dalam konteks ini,  $z$  mewakili nilai-nilai yang berbeda dalam suatu *domain* tertentu yang dimaksudkan untuk diproses dengan fungsi keanggotaan.

$0,2$  = Koefisien yang mengalikan variabel  $z$  dalam fungsi. Dalam kasus ini, fungsi keanggotaan adalah fungsi linier dengan kemiringan  $0,2$ . Artinya, nilai dari fungsi ini meningkat seiring dengan peningkatan nilai  $z$ , dan kemiringannya adalah  $0,2$ .

$dz$  = Elemen diferensial dari variabel  $z$ , menunjukkan bahwa integrasi dilakukan terhadap variabel  $z$ . Dalam konteks integral,  $dz$  menunjukkan bahwa kita mengambil elemen dari  $z$  untuk menjumlahkan kontribusinya dalam rentang tertentu.

$$M4 = \int_{28}^{30} \frac{30-z}{30-20} z dz = 5,73$$

Di mana:

$M4$  = Variabel nilai integral dari fungsi keanggotaan. Ini adalah hasil akhir dari proses integrasi dari fungsi  $\frac{30-z}{30-20}$  terhadap variabel  $z$  dalam rentang 28 hingga 30.

$z$  = Variabel independen atau *input* dari fungsi. Dalam konteks ini,  $z$  mewakili nilai-nilai yang berbeda dalam suatu *domain* tertentu yang dimaksudkan untuk diproses dengan fungsi keanggotaan.

$\frac{30-z}{30-20}$  = Bagian dari fungsi keanggotaan. Ini adalah fungsi linier dengan kemiringan 20, yang menggambarkan bagaimana nilai fungsi berubah seiring dengan perubahan nilai  $z$ .

$dz$  = Elemen diferensial dari variabel  $z$ , menunjukkan bahwa integrasi dilakukan terhadap variabel  $z$ . Dalam konteks integral,  $dz$  menunjukkan bahwa kita mengambil elemen dari  $z$  untuk menjumlahkan kontribusinya dalam rentang tertentu.

## 2. Luas Daerah (A):

$$A1 = 0,8 * 16 = 12,8$$

Di mana:

$A1$  = Luas daerah atau area pertama yang akan dihitung *centroid*-nya. Biasanya, ini merujuk pada luas himpunan *fuzzy* yang pertama.

0,8 = Tingkat keanggotaan dari himpunan *fuzzy* tersebut. Dalam hal ini, himpunan *fuzzy* memiliki tingkat keanggotaan sebesar 0,8. Ini menunjukkan seberapa kuat elemen atau *input* masuk ke dalam himpunan *fuzzy* tersebut.

16 = Besaran atau nilai yang menjadi variabel dalam himpunan *fuzzy* tersebut. Dalam konteks ini, 16 adalah nilai yang digunakan untuk menentukan posisi atau luas daerah himpunan *fuzzy* yang pertama.

$$A2 = \frac{1}{2} (0,2 + 0,8) * (19 - 16) = 1,5$$

Di mana:

$A2$  = Luas daerah *fuzzy* kedua yang sedang dihitung. Dalam konteks *centroid fuzzy logic*, luas daerah ini mengacu pada luas area di bawah fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* yang sedang dianalisis.

$1/2$  = konstanta yang digunakan dalam perhitungan luas daerah segitiga. Konstanta ini merupakan setengah dari nilai umum untuk menghitung luas segitiga.

$0,2$  Hasil dari penjumlahan dua nilai keanggotaan dari + himpunan *fuzzy* yang terlibat dalam proses ini. Nilai-nilai =  
 $0,8$  tersebut adalah derajat keanggotaan dari variabel tertentu terhadap himpunan *fuzzy* yang relevan.

$19$  Perbedaan antara dua titik dalam sumbu x yang merupakan -  
batas-batas dari himpunan *fuzzy* yang sedang dihitung  
 $16$  = luasnya. Dalam hal ini, nilai  $19$  dan  $16$  merujuk pada dua titik dalam *domain* variabel tertentu yang terkait dengan himpunan *fuzzy* yang sedang dipertimbangkan.

$$A3 = (28 - 19) * 0,2 = 1,8$$

Di mana:

$A3$  = Luas daerah atau area ketiga yang akan dihitung *centroid*-nya. Biasanya, ini merujuk pada luas himpunan *fuzzy* yang pertama.

$28$  = Nilai tinggi maksimum (atas) dari himpunan *fuzzy* yang sedang dievaluasi.

$16$  = Nilai tinggi minimum (bawah) dari himpunan *fuzzy* yang sedang dievaluasi.

0,2 = Nilai pangkat (*membership degree*) dari himpunan *fuzzy* yang sedang dievaluasi, yang menunjukkan seberapa besar himpunan tersebut berkontribusi terhadap luas daerah.

$$A4 = \frac{1}{2} (30 - 28) * 0,2 = 0,2$$

Di mana:

A4 = Luas daerah atau area keempat yang akan dihitung *centroid*-nya. Biasanya, ini merujuk pada luas himpunan *fuzzy* yang pertama.

1/2 = Konstanta yang merupakan separuh dari nilai berikutnya. Dalam konteks ini, separuh dari nilai yang dihitung selanjutnya akan digunakan dalam perhitungan luas daerah.

30 - 28 = Ekspresi untuk menghitung panjang sisi himpunan *fuzzy*.  
- = Dalam hal ini, 30 - 28 adalah panjang sisi himpunan *fuzzy* yang sedang dianalisis.

0,2 = Nilai tinggi atau tingkat keteraturan dari himpunan *fuzzy* tersebut. Dalam beberapa metode *fuzzy logic*, tingkat keteraturan dapat dinyatakan sebagai nilai numerik antara 0 dan 1, di sini 0,2 menunjukkan tingkat keteraturan atau keanggotaan.

$$z = \frac{176,2}{16,3} = 10,8$$

Di mana:

$z$  = Simbol atau label untuk nilai keputusan atau keluaran yang dihasilkan dari proses defuzzifikasi. Dalam konteks ini,  $z$  mewakili nilai keputusan atau keluaran yang akan digunakan dalam sistem yang menggunakan logika *fuzzy*.

**176,2** = Nilai total dari keempat momen.

**16,3** = Nilai total dari luas daerah.

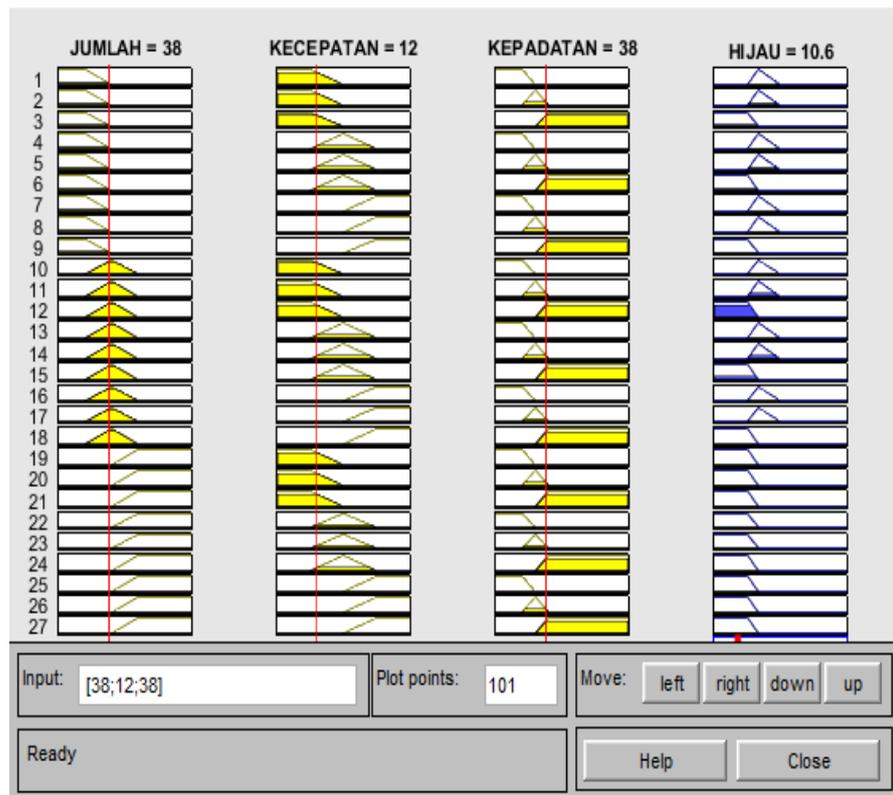
Tabel 4.6 Perbandingan *Output Hijau Crips* Matlab Dan *Crips Manual*

NO	MATLAB	MANUAL
1	21,9	21,9
2	21,7	21,7
3	10,6	10,8
4	21,7	21,7
5	13,6	13,7

#### 4.4.4 Tampilan Defuzzifikasi

##### 1. GUI Rule Viewer

Gambar 4.8 menunjukkan antarmuka pengguna grafis dari *tools* Matlab *fuzzy logic designer* pada bagian *rule viewer* dengan beberapa grafik batang vertikal. Ada empat grafik batang terpisah, masing-masing dengan label di bagian atas beserta nilai *input*-an yang berbeda, yaitu: jumlah = 38, kecepatan = 12, kepadatan = 38, dan *output* yang dihasilkan dari nilai *input* tersebut berupa hijau = 10.6.



Gambar 4.8 Rule Viewer

## 2. GUI Matlab

Gambar 4.9 menampilkan antarmuka pengguna grafis dari sistem logika *fuzzy* untuk kontrol lampu lalu lintas. Antarmuka dibagi menjadi dua bagian utama yang diberi label *input* dan *output*. Di bawah bagian *input*, ada tiga parameter yang terdaftar, yaitu: jumlah dengan nilai 38, kecepatan dengan nilai 12, dan kepadatan juga dengan nilai 38. Di sisi kanan di bawah *output*, ada satu parameter yang terdaftar, yaitu: hasil akhir durasi hijau dengan nilai 10.6493 detik. Di bawah bagian ini ada tiga tombol yang diberi label *runing*, *delete*, dan *close*, yang menunjukkan tindakan yang diproses dalam sistem.



TAMPILAN FUZZY LOGIC LAMPU LALU LINTAS	
INPUT	OUTPUT
JUMLAH	HASIL AKHIR
38	DURASI HIJAU
KECEPATAN	10.6493 DETIK
12	
KEPADATAN	
38	
RUNING	DELETE
	CLOSE

Gambar 4.9 Tampilan GUI