

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Penelitian

Data yang dipergunakan sebagai bahan evaluasi pada penelitian ini adalah data aktual dari jumlah penduduk dan data konsumsi energi listrik selama periode 2013-2017 di wilayah D.I. Yogyakarta. Data aktual ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Tengah & D.I. Yogyakarta Area Yogyakarta. Kemudian data dikelompokkan kedalam data input atau data output. Selanjutnya data tadi akan diolah dengan menggunakan metode FIS (*fuzzy inference system*), yang selanjutnya menghasilkan output berupa hasil dari peramalan jumlah konsumsi energi listrik untuk lima tahun kedepan yakni pada 2018-2022.

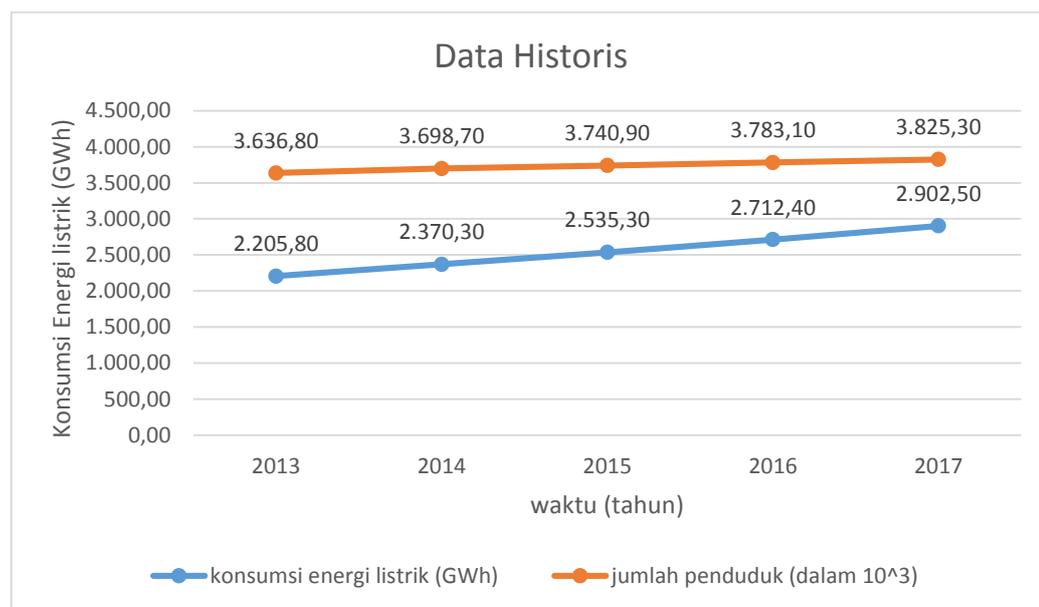
#### 4.2 Analisa dan Penelitian

Analisa dan penelitian, mulanya dilakukan analisa terhadap pertumbuhan jumlah penduduk dan pertumbuhan konsumsi energi listrik yang terjadi sepanjang 2013-2017 yang kemudian dijadikan sebagai inputan dari FIS (*Fuzzy Inference System*). Tabel data historis pertumbuhan jumlah penduduk dan pertumbuhan konsumsi energi listrik dipresentasikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Historis Jumlah Penduduk Dan Konsumsi Energi Listrik Periode 2013-2017 Prov. D.I. Yogyakarta

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah penduduk (dalam 10<sup>3</sup>)</b>	<b>Konsumsi energi listrik (GWh)</b>
<b>2013</b>	<b>3.636,8</b>	<b>2.205,8</b>
<b>2014</b>	<b>3.698,7</b>	<b>2.370,3</b>
<b>2015</b>	<b>3.740,9</b>	<b>2.535,3</b>
<b>2016</b>	<b>3.783,1</b>	<b>2.712,4</b>
<b>2017</b>	<b>3.835,3</b>	<b>2.902,5</b>

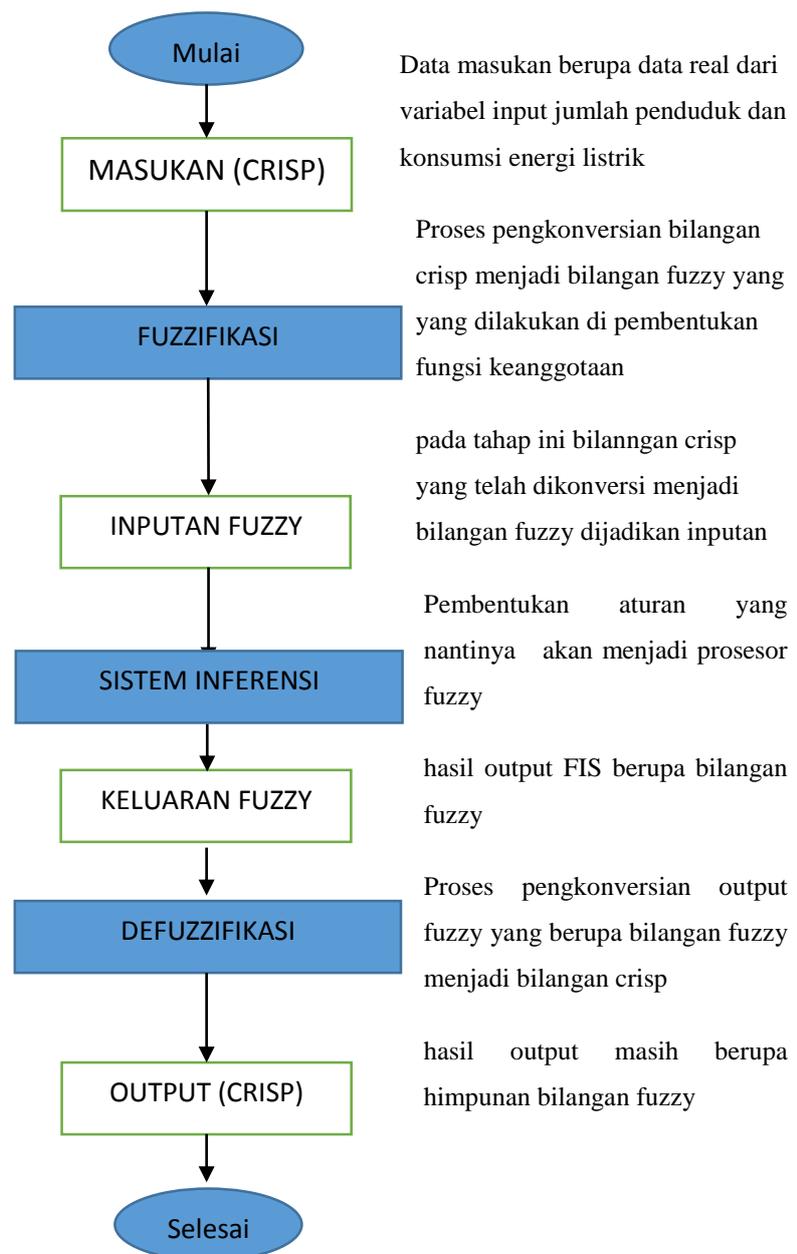
Selanjutnya dari data diatas dapat dibuat kedalam bentuk grafik data historis dimana pada grafik menunjukkan angka yang tidak signifikan sama sekali, dimana pertumbuhan konsumsi energi listrik pada tiap tahunnya hanya berkisar diantara angka 165 GWh sampai dengan 190 Gwh saja. Kemudian pada data real jumlah penduduk sepanjang periode 2013-2017 juga sama, tidak menunjukkan angka yang cukup signifikan. Lalu apabila dilihat dari grafiknya maka seharusnya angka pertumbuhan konsumsi energi listrik hasil peramalan juga tidak akan bergeser secara drastis, dengan syarat tidak terjadi pertumbuhan secara radikal dalam waktu lima tahun mendatang sehingga sesuai dengan trend selama ini. Grafik dari perkembangan konsumsi energi listrik dan pertumbuhan jumlah penduduk dipresentasikan pada gambar 4.2 berikut ini :



Gambar 4.1 Grafik Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik Dan Jumlah Penduduk Di Prov. D.I Yogyakarta periode 2013- 2022

Data diatas dijadikan sebagai inputan pada FIS (*Fuzzy Inference System*), sedangkan outputnya berupa hasil peramalan konsumsi energi listrik pada 2018-2022. FIS (*Fuzzy Inferemce System*) yang digunakan adalah tipe *Mamdani* dengan agregasi *Min-Max*. Masing-masing dari variabel tersebut memiliki himpunan variabel bahasanya (*Fuzzy Set*), dan hasil akhir dari peramalan konsumsi energi

listrik ini menggunakan proses defuzzifikasi centroid. Program peramalan konsumsi energi listrik jangka panjang dengan menggunakan logika fuzzy dibuat dengan bantuan toolbox Fuzzy yang terdapat di Matlab. Langkah-langkah dalam perancangan system fuzzy sendiri dijelaskan dalam flowchart sebagai berikut , yaitu:



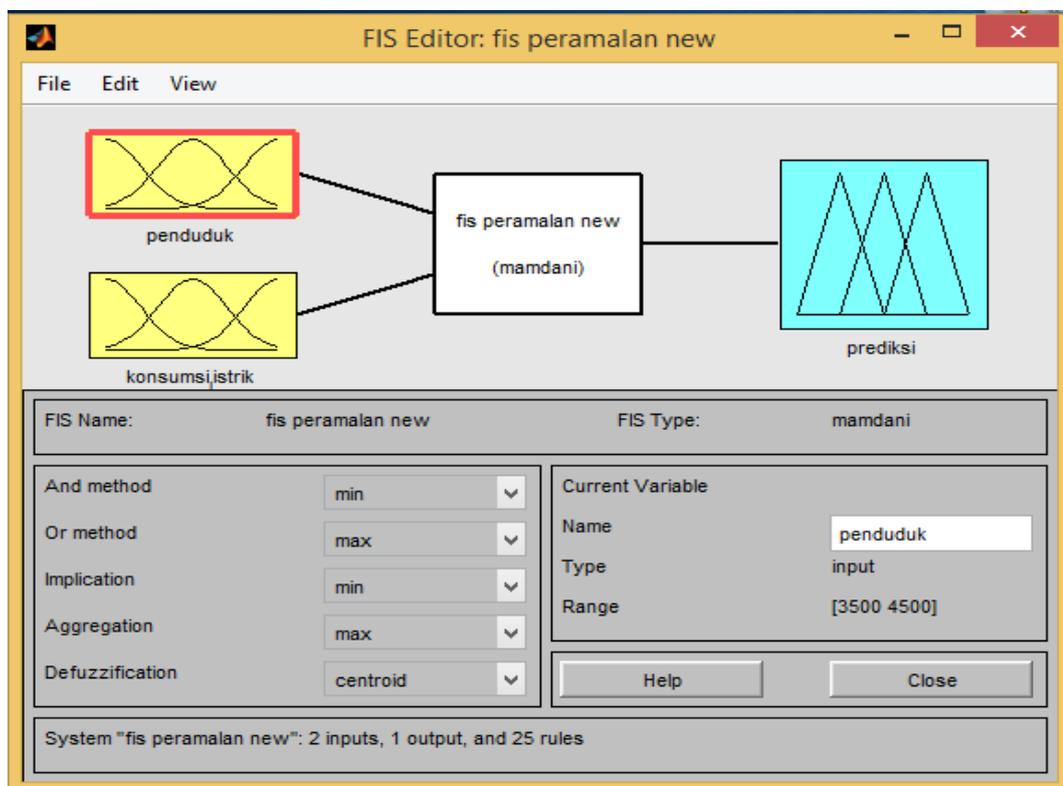
Gambar 4.2 flowchart peramalan konsumsi energi listrik dengan logika fuzzy

Flowchart diatas menjelaskan susunan sistematika pembentukan peramalan konsumsi energi listrik. Mula-mula sebagai inputan adalah berupa himpunan crisp dari data historis perkembangan jumlah penduduk dan konsumsi energi listrik yang telah dikumpulkan, selanjutnya bilangan crisp tadi diubah kedalam himpunan bilangan fuzzy dengan range [0-1] artinya data input berupa jumlah penduduk dan konsumsi energi listrik tadi yang semula berupa bilangan crisp dengan angka real ribuan diubah kedalam himpunan fuzzy yang memiliki range 0-1. Proses fuzzyfikasi yang dilakukan dengan bantuan *membership function editor* yang ada pada toolbox fuzzy di *Matlab*, selanjutnya bilangan crisp yang telah dirubah kedalam bilangan fuzzy tadi menjadi data masukan yang akan diolah oleh sistem *fuzzy*. Lalu dibentuklah aturan-aturan *fuzzy* sebagai Prosesor *fuzzy*, sebagai aturan linguistik yang bertujuan untuk menentukan aksi kontrol apa yang harus atau akan digunakan dalam merespon masukan yang diberikan untuk menghasilkan output *fuzzy* namun pada proses ini hasil output masih berupa bilangan *fuzzy* maka perlu dilakukan proses *defuzzifikasi* agar hasil output dapat berupa bilangan crisp. Proses *defuzzifikasi* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *centroid*.

#### **4.2.1 FIS (*Fuzzy Inference System*) Editor**

Pada tahapan perancangan ini dimasukkan dua buah inputan berupa data jumlah penduduk dan data konsumsi energi listrik, serta satu buah output berupa hasil peramalan konsumsi energi listrik. Pada awal pembuatan FIS (*Fuzzy inference system*), sistem fuzzy hanya menyediakan satu buah input dengan satu buah output. Untuk menambah variabel input maupun output dapat dilakukan dengan klik edit-variabel, lalu pilih variabel apa yang akan ditambahkan dapat berupa variabel input ataupun variabel output. Setelah selesai atau sudah sesuai jumlah variabel input maupun variabel output, selanjutnya beri label pada masing-masing variabel tadi. Input pertama beri label "*penduduk*", input kedua beri label "*konsumsi listrik*" serta variabel output diberi label "*prediksi*". Pilih metode agregasi yang akan digunakan, karena Tipe FIS (*Fuzzy Inference System*) yang akan digunakan pada peramalan konsumsi energi listrik jangka panjang ini menggunakan metode mamdani maka agregasi yang dipilih tentunya menggunakan agregasi *Min-Max* (*min-max*

*inferencing*). Terakhir adalah memilih metode defuzzyfikasi yang akan digunakan, pada penelitian ini proses defuzzyfikasi dilakukan dengan menggunakan metode *centroid* atau dikenal dengan metode center of gravity. Dengan menggunakan metode centroid proses defuzzyfikasi dilakukan dengan mengambil nilai titik pusatnya. Setelah mengisi semuanya yang dibutuhkan dalam perancangan FIS Editor maka, proses perancangan FIS editor dengan matlab ini diperlihatkan pada gambar 4.2 berikut ini :

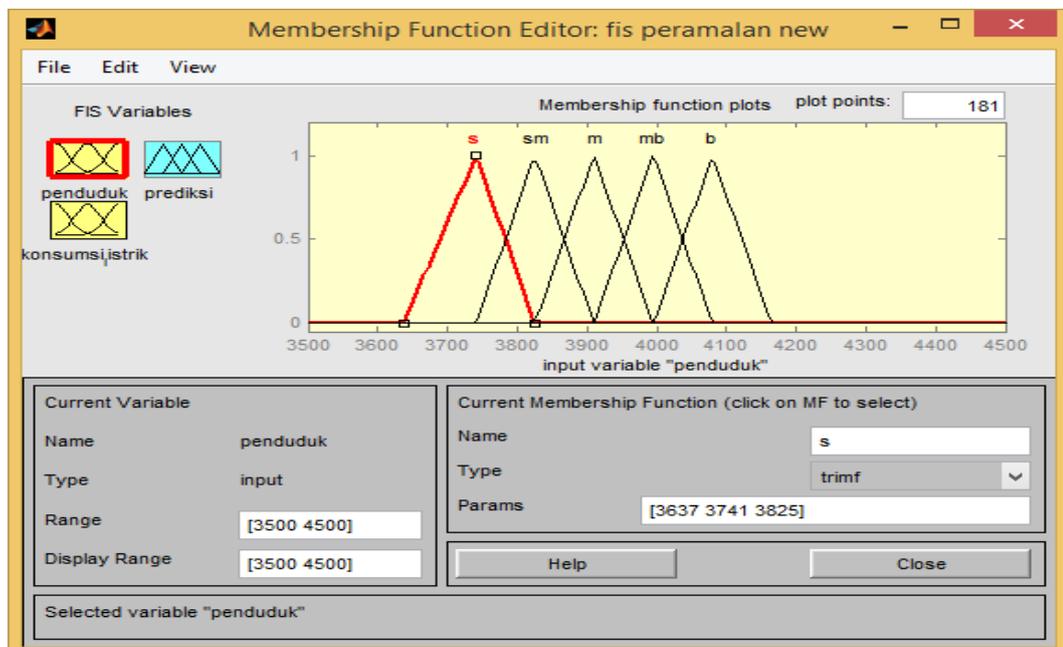


Gambar 4.3 FIS Editor Peramalan Konsumsi Energi listrik Dengan Fuzzy

Setelah selesai menambahkan input maupun output, memilih agregasi yang akan digunakan pada sistem fuzzy, dan terakhir memilih metode defuzzifikasi yang akan digunakan untuk mengkonversi atau merubah besaran fuzzy menjadi besaran crisp maka penelitian dalam dilanjutkan pada proses selanjutnya. Proses selanjutnya setelah merancang FIS adalah pembentukan membership function.

#### 4.2.2 Pembentukan FCM (*Membership Function*)

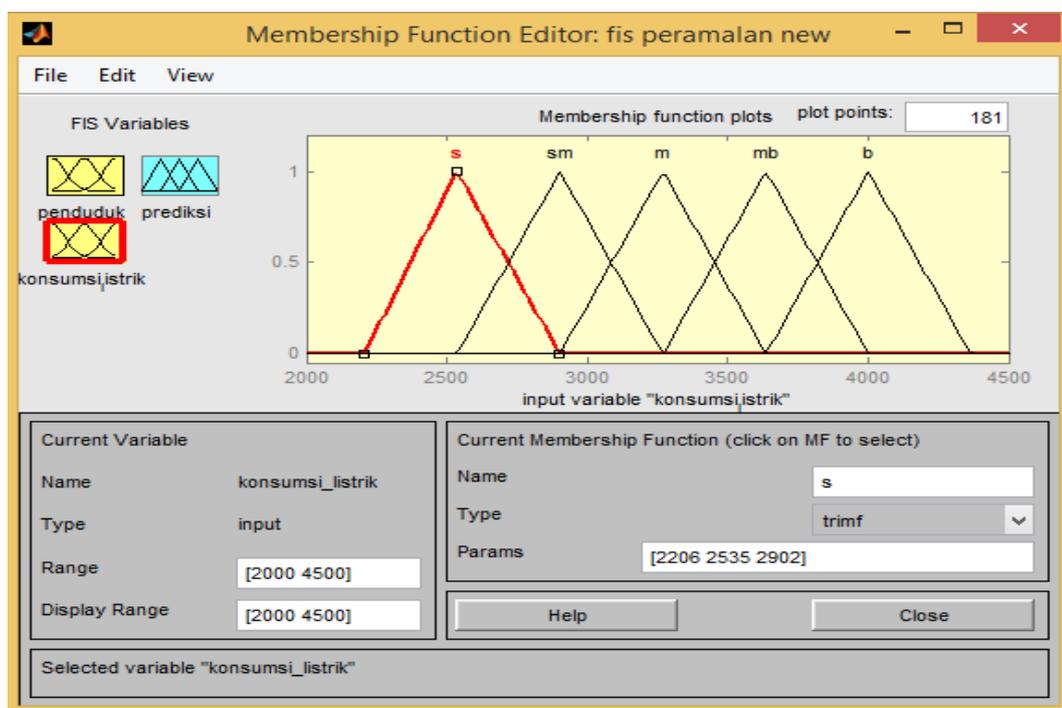
Pada tahapan selanjutnya setelah penyusunan FIS Editor adalah pembentukan *Membership Function*, dimana pada proses ini yaitu menentukan variabel himpunan fuzzy keanggotaan jumlah penduduk dan himpunan fuzzy konsumsi energi listrik historis pada tahun-tahun sebelumnya. Pada penelitian ini variabel himpunan fuzzy ini terdiri atas lima pengelompokan himpunan fuzzy, yaitu : { small (s), small medium (sm), medium (m), medium big (mb), dan big (b)}. Untuk membuat membership function dilakukan dengan cara double klik pada variabel yang akan dibentuk membership functionnya. Pertama membentuk membership function untuk “penduduk”, maka double klik pada variabel penduduk, kemudian isikan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Pada variabel fuzzy penduduk tersebut. Masukkan 5 pengelompokan himpunan fuzzy yang terdiri atas himpunan fuzzy small [3637 3741 3825], small medium [3741 3825 3910], medium [3825 3910 3995], medium big [3910 3995 4980], dan yang terakhir himpunan big [3995 4080 4165] Proses ini dibuat dengan menggunakan fungsi *Membership Function Editor* seperti terlihat pada gambar 4.3 berikut ini :



Gambar 4.4 Membership Function jumlah penduduk

Pada pembentukan membership function penduduk menggunakan representasi kurva segitiga seperti terlihat pada gambar diatas. Dengan terdiri dari tiga titik yang membentuk sudut dengan tiap titik pada pembentukan himpunan fuzzy ini merupakan domain dari himpunan fuzzy tadi yang saling terhubung sehingga terlihat seperti segitiga. Maka dari itu representasi jenis ini disebut representasi kurva segitiga. Domain keanggotaan dari himpunan fuzzy inilah yang memetakan setiap derajat keanggotaan suatu data.

Pada pembentukan membership function “penduduk” ini diberi range 3500-4500. Pemilihan range ini bukan tanpa alasan, dipilihnya range 3500-4500 karna memang himpunan fuzzy *small* memiliki domain keanggotaan terkecil dengan angka crisp sebesar 3636, sedangkan himpunan *big* memiliki domain keanggotaan terbesar dengan angka crisp sebesar 4165. Untuk mempersempit fungsi keanggotaan pada variabel input “penduduk” maka dipilihlah range diatas. Selanjutnya setelah membuat fungsi keanggotaan pada variabel input “penduduk” kemudian beralih ke tahap selanjutnya, membentuk membership function “konsumsi listrik”. Tampilan pada membership function “konsumsi listrik” dapat dilihat pada gambar dibah ini.

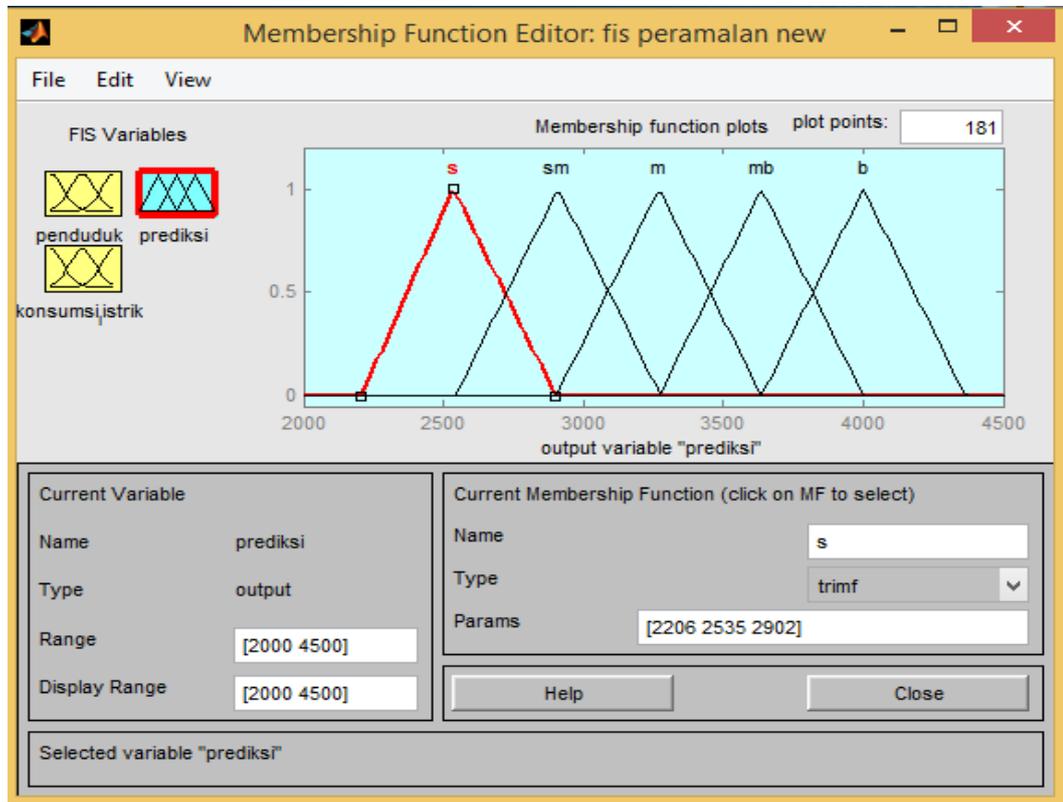


Gambar 4.5 Membership Function Konsumsi Energi Listrik

Pada perancangan membership function konsumsi energi listrik sama dengan proses pada perancangan model membership function sebelumnya, yakni menggunakan lima variabel pengelompokan yang terdiri atas small [2260 2535 2902], small medium [2535 2902 3269] medium [2902 3269 3636], medium big [3270 3636 4000], dan yang terakhir himpunan big [3636 4000 4365]. Dengan range membership function sebesar 2000-4500. Pemilihan range ini alasannya adalah untuk mempersempit membership function yang akan dibentuk. Tipe representasi kurva yang digunakan pada variabel input “konsumsi listrik” ini sama dengan representasi yang digunakan pada representasi kurva yang digunakan pada variabel input “penduduk” yakni tipe representasi kurva segitiga. Setelah selesai membentuk fungsi keanggotaan “konsumsi listrik” selanjutnya adalah membentuk Fungsi keanggotaan variabel keluaran (output) hasil peramalan konsumsi energi listrik yang diberi label “prediksi”. Peramalan dibuat dengan langkah yang sama seperti langkah sebelumnya. Nilai yang digunakan untuk variabel keanggotaan Pada sisi output perancang juga menggunakan representasi kurva segitiga yang juga menggunakan lima variabel fungsi keanggotaan yang terbagi menjadi fungsi keanggotaan small (s) [3637 3741 3825], small medium (sm) [3741 3825 3910], medium (m) [3825 3910 3995], medium big (mb) [3910 3995 4080], dan big (b) [3995 4080 4165].

Pada variabel output “prediksi” peneliti memberikan inputan angka yang sama pada variabel input “konsumsi listrik” hal ini dikarenakan menurut peneliti bahwa hasil prediksi merupakan cerminan pada inputan konsumsi energi listrik. Lagi pula hanya digunakan tiga buah data real historis yang disisipkan sebagai ambang batas bawah pada penelitian sedangkan batas atas nantinya akan menghasilkan angka perkiraan energi listrik prediksi pada variabel output. Batas atas pada variabel input konsumsi listrik yang tadi nantinya akan menjadi input kedua pada kolom input di rule viewer. Tentunya agar sistem yang berjalan tetap seimbang maka pada input jumlah penduduk peneliti juga memberikan tiga buah data real historis sebagai batas bawah penelitian dan batas atas nantinya akan digunakan sebagai inputan peramalan energi listrik untuk tahun-tahun yang akan

datang. Adapun tampilan dari variabel output “prediksi” yang nantinya akan menghasilkan nilai konsumsi energi listrik hasil peramalan adalah sebagai berikut :



Gambar4.6 Membership Function Output Prediksi

Nilai derajat keanggotaan dalam suatu himpunan untuk masing-masing fungsi keanggotaan dalam variabel input jumlah penduduk dan konsumsi energi listrik historis serta variabel output yang berupa peramalan konsumsi energi listrik yang menggunakan tipe representasi kurva segitiga dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini :

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

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam suatu domain

$c$  = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

$x$  = nilai input yang akan diubah kedalam bilangan fuzzy

rumus diatas adalah formula yang digunakan untuk menghitung derajat keanggotaan tiap-tiap variabel keanggotaan jumlah penduduk dan data historis konsumsi energi listrik dengan menggunakan representasi kurva segitiga. Pada proses pembentukan membership function ini adalah mengubah bilangan crisp kedalam himpunan fuzzy. Dengan menggunakan rumus diatas maka dapat dibuat perhitungan matematis di setiap titik sebagai berikut :

a. Fungsi keanggotaan jumlah penduduk

1. Derajat keanggotaan titik perpotongan small (s)

$$\begin{aligned} \text{Small 3790 } \mu(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{3825-3790}{3825-3741}, & 3741 \leq x \leq 3825 \end{cases} \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

2. Derajat kenggotaan titik perpotongan small medium (sm)

$$\begin{aligned} \text{Sm 3790 } \mu(x) &= \begin{cases} \frac{3790-3741}{3825-3741}, & 3741 \leq x \leq 3825 \end{cases} \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sm 3860 } \mu(x) &= \begin{cases} \frac{3910-3860}{3910-3825}, & 3825 \leq x \leq 3910 \end{cases} \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

3. Derajat keanggotaan titik perpotongan medium (m)

$$\begin{aligned} \text{M 3860 } \mu(x) &= \begin{cases} \frac{3860-3825}{3910-3825}, & 3825 \leq x \leq 3910 \end{cases} \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M 3960 } \mu(x) &= \begin{cases} \frac{3995-3960}{3995-3910}, & 3910 \leq x \leq 3995 \end{cases} \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

4. Derajat keanggotaan titik perpotongan medium big (mb)

$$\text{Mb 3960 } \mu(x) = \begin{cases} \frac{3960-3910}{3995-3910}, & 3910 \leq x \leq 3995 \end{cases}$$

$$= 0,58$$

$$\begin{aligned} \text{Mb } 4050 \mu(x) &= \left\{ \frac{4080-4050}{4080-3995}, 3995 \leq x \leq 4080 \right. \\ &= 0,35 \end{aligned}$$

5. Derajat keanggotaan titik perpotongan big (b)

$$\begin{aligned} \text{B } 4050 \mu(x) &= \left\{ \frac{4050-3995}{4080-3995}, 3995 \leq x \leq 4080 \right. \\ &= 0,64 \end{aligned}$$

- b. Fungsi keanggotaan titik perpotongan konsumsi energi listrik

1. Derajat keanggotaan dititik perpotongan small (s)

$$\begin{aligned} \text{S } 2750 \mu(x) &= \left\{ \frac{2902-2750}{2902-2535}, 2535 \leq x \leq 2902 \right. \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

2. Derajat keanggotaan dititik perpotongan small medium (sm)

$$\begin{aligned} \text{Sm } 2750 \mu(x) &= \left\{ \frac{2750-2535}{2902-2535}, 2535 \leq x \leq 2902 \right. \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sm } 3100 \mu(x) &= \left\{ \frac{3269-3100}{3269-2902}, 2902 \leq x \leq 3269 \right. \\ &= 0,46 \end{aligned}$$

3. Derajat keanggotaan dititik perpotongan medium (m)

$$\begin{aligned} \text{M } 3100 \mu(x) &= \left\{ \frac{3100-2902}{3270-2902}, 2902 \leq x \leq 3270 \right. \\ &= 0,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M } 3450 \mu(x) &= \left\{ \frac{3636-3450}{3636-3270}, 3270 \leq x \leq 3636 \right. \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

4. Derajat keanggotaan dititik perpotongan medium big (mb)

$$\begin{aligned} \text{Mb } 3450 \mu(x) &= \left\{ \frac{3450-3270}{3636-3270}, 3270 \leq x \leq 3636 \right. \\ &= 0,49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mb } 3900 \mu(x) &= \left\{ \frac{4000-3900}{4000-3636}, 3636 \leq x \leq 4000 \right. \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

5. Derajat keanggotaan dititik perpotongan big (b)

$$\text{B } 3900 \mu(x) = \left\{ \frac{3900-3636}{4000-3636}, 3636 \leq x \leq 4000 \right.$$

$$= 0,72$$

c. Fungsi keanggotaan titik perpotongan output prediksi konsumsi energi listrik

1. Derajat keanggotaan dititik perpotongan small (s)

$$\begin{aligned} S\ 2750\ \mu(x) &= \left\{ \frac{2902-2750}{2902-2535}, 2535 \leq x \leq 2902 \right. \\ &= 0,41 \end{aligned}$$

2. Derajat keanggotaan dititik perpotongan small medium (sm)

$$\begin{aligned} Sm\ 2750\ \mu(x) &= \left\{ \frac{2750-2535}{2902-2535}, 2535 \leq x \leq 2902 \right. \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sm\ 3100\ \mu(x) &= \left\{ \frac{3269-3100}{3269-2902}, 2902 \leq x \leq 3269 \right. \\ &= 0,46 \end{aligned}$$

3. Derajat keanggotaan dititik perpotongan medium (m)

$$\begin{aligned} M\ 3100\ \mu(x) &= \left\{ \frac{3100-2902}{3270-2902}, 2902 \leq x \leq 3270 \right. \\ &= 0,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M\ 3450\ \mu(x) &= \left\{ \frac{3636-3450}{3636-3270}, 3270 \leq x \leq 3636 \right. \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

4. Derajat keanggotaan dititik perpotongan medium big (mb)

$$\begin{aligned} Mb\ 3450\ \mu(x) &= \left\{ \frac{3450-3270}{3636-3270}, 3270 \leq x \leq 3636 \right. \\ &= 0,49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mb\ 3900\ \mu(x) &= \left\{ \frac{4000-3900}{4000-3636}, 3636 \leq x \leq 4000 \right. \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

5. Derajat keanggotaan dititik perpotongan big (b)

$$\begin{aligned} B\ 3900\ \mu(x) &= \left\{ \frac{3900-3636}{4000-3636}, 3636 \leq x \leq 4000 \right. \\ &= 0,72 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan derajat keanggotaan seperti diatas, maka dapat dibuat sebuah tabel derajat keanggotaan untuk masing-masing variabel fungsi keanggotaan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Derajat Keanggotaan Pada Masing-Masing Variabel

input						output		
Jumlah penduduk			Konsumsi energi listrik			Prediksi konsumsi energi listrik		
titik	Drajat keanggotaan		titik	Drajat keanggotaan		titik	Drajat keanggotaan	
3790	S	0,41	2750	S	0,41	2750	S	0,41
	SM	0,58		SM	0,58		SM	0,58
3860	SM	0,58	3100	SM	0,46	3100	SM	0,46
	M	0,41		M	0,53		M	0,53
3960	M	0,41	3450	M	0,51	3450	M	0,51
	MB	0,58		MB	0,49		MB	0,49
4050	MB	0,35	3900	MB	0,27	3900	MB	0,27
	B	0,64		B	0,72		B	0,72

Perhitungan diatas adalah menghitung derajat keanggotaan masing-masing titik yang terbentuk karna perpotongan garis singgung kurva segitiga yang dibentuk. Pada perhitungan derajat keanggotaan diatas setiap titik selalu bersebrangan dengan himpunan dari titik lainnya. Gunanya mengetahui derajat keanggotaan adalah pada sistem fuzzy suatu angka bisa saja masuk kedalam dua himpunan atau lebih, atau bahkan angka tersebut merupakan elemen dari seluruh himpunan yang ada. Jadi cara yang digunakan untuk memetakan elemen tersebut masuk kedalam himpunan yang mana adalah dengan mengetahui derajat keanggotaan pada angka tersebut. Misalnya pada variabel input “penduduk” di titik perpotongan 3790 titik tersebut merupakan elemen dari himpunan small namun juga merupakan elemen dari himpunan small medium. Jadi perlu di hitung derajat keanggotaan pada tiap himpunan. Derajat keanggotaan pada himpunan fuzzy range nilainya adalah [0-1]. Dengan 0 adalah bukan anggota dan 1 adalah anggota penuh.

Setelah menghitung diseluruh derajat keanggotaan pada setiap titik perpotongan antar himpunan input maupun output maka diperoleh kesimpulan bahwa nilai derajat keanggotaan disetiap titik perpotongan jumlahnya adalah sama dengan 1. Perhitungan jumlah derajat keanggotaan pada tiap-tiap titik perpotongan yang ada adalah sebagai berikut :

- a. Jumlah derajat keanggotaan masing-masing titik pada variabel input jumlah penduduk

1. Titik perpotongan 3790 =  $0,41+0,58$

$$= 0,99$$

Keterangan: 0,41 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,41 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small, sedangkan 0,58 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,58 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

2. Titik perpotongan 3860 =  $0,58+0,41$

$$= 0,99$$

Keterangan: 0,58 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,58 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium, sedangkan 0,41 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,41 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

3. Titik perpotongan 3960 =  $0,41+0,58$

$$= 0,99$$

Keterangan: 0,41 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,41 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium, sedangkan 0,58 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,58 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

4. Titik perpotongan 4050 =  $0,35 +0,64$

$$= 0,99$$

Keterangan: 0,35 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,35 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big, sedangkan 0,64 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,64 merupakan elemen dari himpunan fuzzy big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

b. Jumlah derajat keanggotaan masing-masing titik pada variabel input konsumsi energi listrik

$$1. \text{ Titik perpotongan } 2750 = 0,41+0,58 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,41 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,41 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small, sedangkan 0,58 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,58 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

$$2. \text{ Titik perpotongan } 3100 = 0,46+0,53 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,46 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,46 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium, sedangkan 0,53 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,53 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

$$3. \text{ Titik perpotongan } 3450 = 0,51+0,49 \\ = 1$$

Keterangan: 0,51 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,51 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium, sedangkan 0,49 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,49 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 1.

$$4. \text{ Titik perpotongan } 3900 = 0,27+0,72 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,27 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,27 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big, sedangkan 0,72 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,72 merupakan elemen dari himpunan fuzzy big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

c. Jumlah derajat keanggotaan masing-masing titik pada variabel output prediksi konsumsi energi listrik.

$$1. \text{ Titik perpotongan } 2750 = 0,41+0,58 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,41 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,41 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small, sedangkan 0,58 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,58 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

$$2. \text{ Titik perpotongan } 3100 = 0,46+0,53 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,46 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,46 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium, sedangkan 0,53 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,53 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

$$3. \text{ Titik perpotongan } 3450 = 0,51+0,49 \\ = 1$$

Keterangan: 0,51 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,51 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium, sedangkan 0,49 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,49 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 1.

$$4. \text{ Titik perpotongan } 3900 = 0,27+0,72 \\ = 0,99$$

Keterangan: 0,27 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,27 merupakan elemen dari himpunan fuzzy medium big, sedangkan 0,72 merupakan nilai derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 0,72 merupakan elemen dari himpunan fuzzy big. Dan jumlah nilai derajat keanggotaannya adalah 0,99.

Dari perhitungan terlihat bahwa jumlah derajat keanggotaan pada masing-masing titik adalah 1, penulis mendapatkan angka 0,99 dikarenakan penulis hanya mengambil dua angka dibelakang koma dan tidak ada pembulatan angka. Hal tersebut terjadi dikarenakan derajat fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy adalah seluruh bilangan real yang ada pada interval  $[0-1]$ . Dengan kata lain bahwa titik 0 adalah sebagai bukan anggota dan 1 adalah anggota penuh. Jadi pada titik pertemuan antar himpunan fungsi keanggotaan nilainya adalah samar karna bisa saja nilai pada titik perpotongan merupakan elemen dari kedua himpunan yang bersinggungan. Sebagai contoh pada inputan variabel jumlah penduduk dititik 3790, 0,41 merupakan derajat keanggotaan yang menyatakan bahwa 3790 merupakan elemen dari himpunan fuzzy small sedangkan 0,58 menyatakan bahwa 3790 juga merupakan elemen dari himpunan fuzzy small medium. Dan karna batas maximum interval yang diperbolehkan pada himpunan fuzzy adalah 1 jadi jumlah derajat keanggotaan pada kedua domain adalah 1.

Dari rumus yang telah digunakan diatas kita mengetahui bahwa ada persyaratan yang wajib diikuti agar memperoleh hasil fuzzifikasi yang sesuai dengan apa yang diharapkan. Lalu digunakan data real yang telah didapatkan sebagai parameter pembentukan dari fungsi keanggotaan tersebut. Dengan menggunakan persyaratan bahwa :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam suatu domain

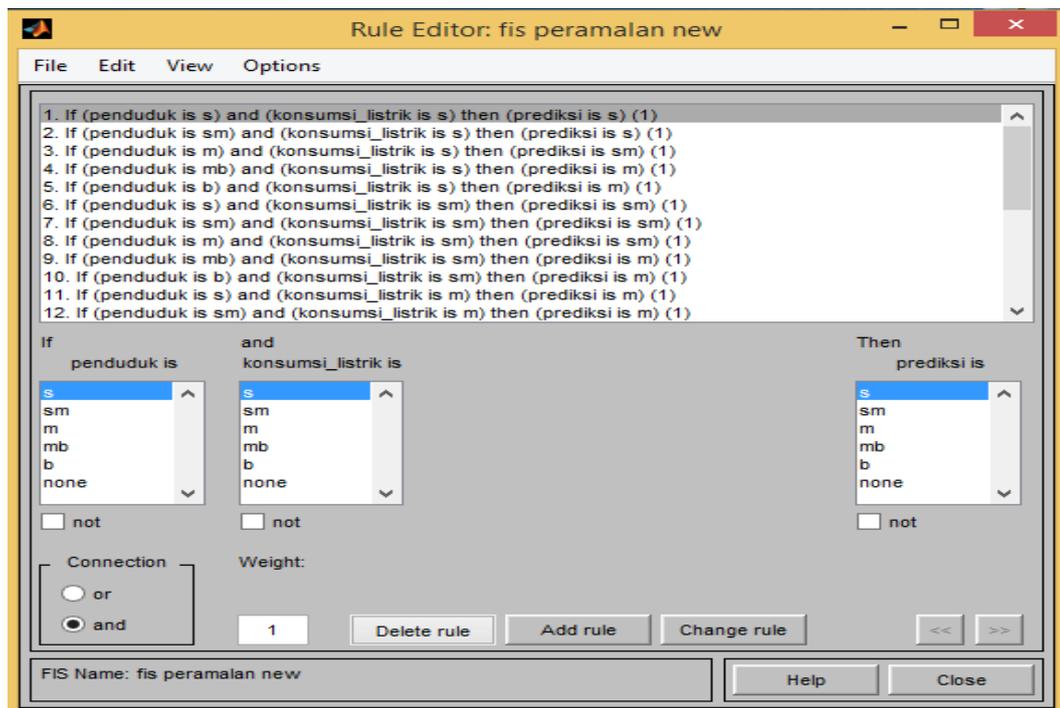
c = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

ketiga persyaratan diatas gunanya untuk memetakan batas bawah fungsi keanggotaan, anggota penuh, dan batas atas fungsi keanggotaan pada suatu variabel. Sebagai contoh pada variabel input jumlah penduduk pada variabel fungsi keanggotaan small terdiri dari 3 domain [3637 3741 3825], berarti 3637 merupakan batas bawah dalam suatu domain fungsi keanggotaan, 3741 merupakan anggota penuh pada derajat keanggotaan terbesar pada suatu domain, sedangkan 3825 merupakan batas atas pada suatu domain fungsi keanggotaan.

Setelah selesai membuat *membership function* dengan menggunakan bantuan toolbox *Membership Function Editor*, maka tahap selanjutnya adalah pembentukan aturan fuzzy (*Fuzzy Rule*).

#### 4.2.3 Pembentukan Aturan Fuzzy (Fuzzy Rule)

Dalam himpunan fuzzy berlaku aturan *IF-THEN*, aturan *jika-maka* ini yang nantinya digunakan sebagai prosesor fuzzy agar menghasilkan output fuzzy yang sesuai dengan harapan perancang. Prosesor fuzzy menggunakan aturan linguistik yang bertujuan untuk menentukan aksi kontrol apa yang harus atau akan digunakan dalam merespon masukan yang diberikan. Pembentukan aturan fuzzy pada penelitian ini menggunakan *Fuzzy Rule Editor* yang ada pada toolbox fuzzy di Matlab. cara yang digunakan untuk menampilkan *Rule Editor* adalah dengan klik edit – *Rules*. Tahapan evaluasi fuzzy dilakukan dengan berdasarkan penalaran menggunakan input fuzzy dan juga aturan fuzzy sehingga nantinya akan diperoleh berupa output himpunan fuzzy. Pembentukan aturan fuzzy pada penelitian ini menggunakan hubungan logika *And*. Jadi sebagai contoh, rule yang terbentuk dari hubungan ini nantinya berupa If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is s). Penggunaan operator penghubung *And* ini adalah agar prosesor hanya akan menghitung jika kondisi kedua input himpunan fungsi keanggotaannya bernilai benar dan mengabaikan kemungkinan lain yang mungkin terjadi. Tampilan dari *Rule Editor* adalah seperti pada gambar berikut ini :



Gambar 4.7 Rule Editor peramalan konsumsi energi listrik

Pada proses pembentukan rules ini menggunakan operator fungsi logika “and”. Pada operator fungsi logika *and* suatu nilai akan bernilai benar apabila kedua kondisi ekspresi bernilai benar (true). Namun bila salah satu ekspresi bernilai salah (false) maka operator AND akan mengembalikan ekspresi lawannya. Misalkan pada rules “if (penduduk is s) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is s). Jadi agar hasil prediksi bernilai “s” maka kedua ekspresi harus terpenuhi kondisinya, yakni penduduk harus bernilai “s” dan konsumsi listrik harus bernilai “s” juga. Berikut ini agar lebih mudah diteliti dalam penyusunan aturan-aturan *fuzzy inference system* penulis membuat sebuah tabel rules yang akan dibentuk untuk peramalan konsumsi energi listrik jangka panjang dengan menggunakan *Rules Editor*. Pada penelitian ini pembentukan rule lebih menitik beratkan kepada input konsumsi listrik, karna menurut peneliti memegang data input konsumsi listriklah yang menjadi tolak ukur paling besar mengenai peramalan konsumsi listrik ini, mengingat agar pada peramalan konsumsi energi listrik jangka panjang ini tetap sama trend dari data historis dengan kondisi trend pada tahun yang akan dilakukan peramalan. Tabel pembentukan rule tersebut diperlihatkan sebagai berikut :

Tabel 4.3 Susunan Aturan dalam Fuzzy Rules

<i>penduduk</i>	<i>Konsumsi energi listrik</i>				
	<i>Small (s)</i>	<i>Small medium (sm)</i>	<i>Medium (m)</i>	<i>Medium big (mb)</i>	<i>Big (b)</i>
<i>Small (s)</i>	S	S	SM	M	M
<i>Small medium (sm)</i>	SM	SM	SM	M	M
<i>Medium (m)</i>	M	M	M	M	MB
<i>Medium big (mb)</i>	M	M	MB	MB	B
<i>Big (b)</i>	M	MB	MB	B	B

Setelah dibuat tabel maka akan lebih mudah dalam proses penyusunan *Rules Editor*. Dari tabel diatas terbentuk 25 aturan fuzzy yang akan digunakan sebagai prosesor fuzzy sebagai berikut :

1. If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is s)
2. If (penduduk is sm) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is s)
3. If (penduduk is m) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is sm)
4. If (penduduk is mb) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is m)
5. If (penduduk is b) and (konsumsi listrik is s) then (prediksi is m)
6. If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is sm) then (prediksi is sm)
7. If (penduduk is sm) and (konsumsi listrik is sm) then (prediksi is sm)
8. If (penduduk is m) and (konsumsi listrik is sm) then (prediksi is sm)
9. If (penduduk is mb) and (konsumsi listrik is sm) then (prediksi is m)
10. If (penduduk is b) and (konsumsi listrik is sm) then (prediksi is m)
11. If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is m) then (prediksi is m)
12. If (penduduk is sm) and (konsumsi listrik is m) then (prediksi is m)
13. If (penduduk is m) and (konsumsi listrik is m) then (prediksi is m)
14. If (penduduk is mb) and (konsumsi listrik is m) then (prediksi is m)
15. If (penduduk is b) and (konsumsi listrik is m) then (prediksi is mb)

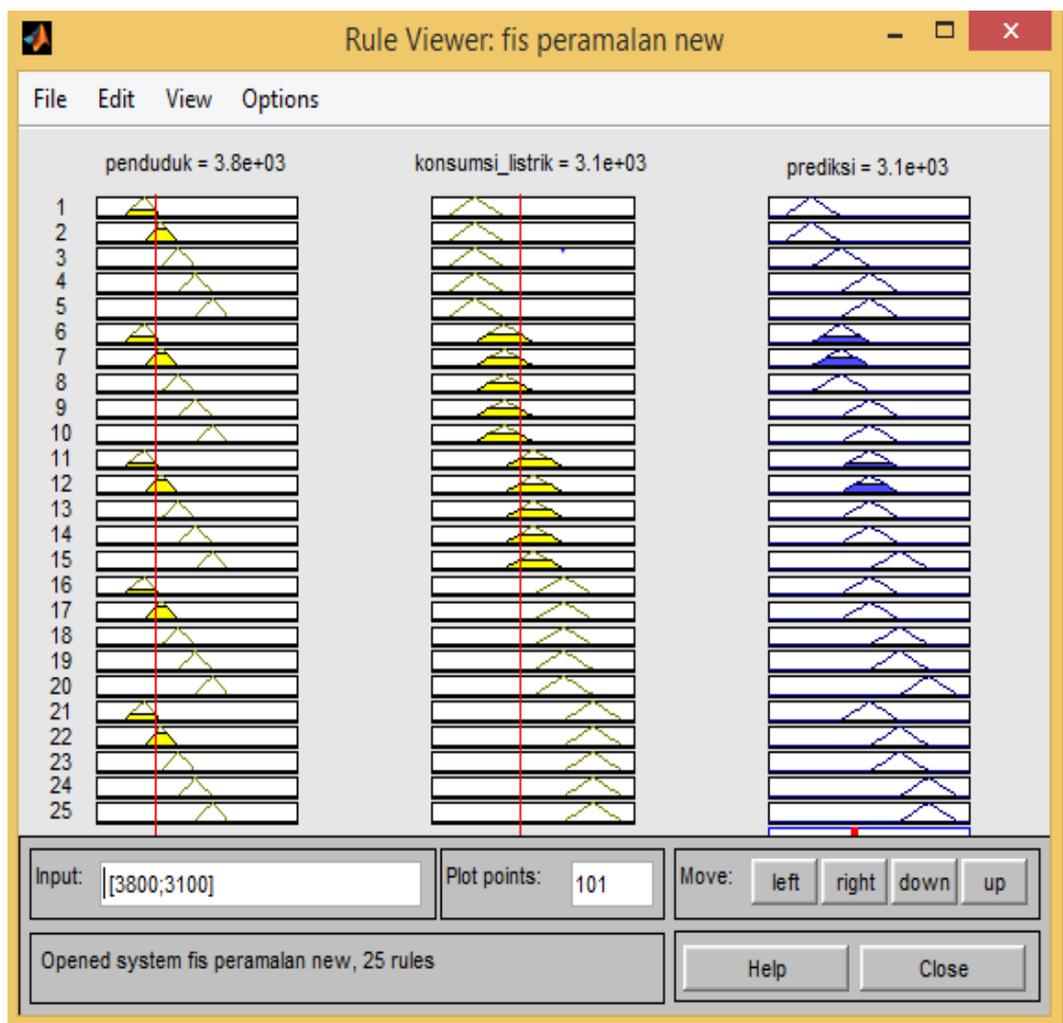
16. If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is mb) then (prediksi is m)
17. If (penduduk is sm) and (konsumsi listrik is mb) then (prediksi is m)
18. If (penduduk is m) and (konsumsi listrik is mb) then (prediksi is mb)
19. If (penduduk is mb) and (konsumsi listrik is mb) then (prediksi is mb)
20. If (penduduk is b) and (konsumsi listrik is mb) then (prediksi is b)
21. If (penduduk is s) and (konsumsi listrik is b) then (prediksi is m)
22. If (penduduk is sm) and (konsumsi listrik is b) then (prediksi is mb)
23. If (penduduk is m) and (konsumsi listrik is b) then (prediksi is mb)
24. If (penduduk is mb) and (konsumsi listrik is b) then (prediksi is b)
25. If (penduduk is b) and (konsumsi listrik is b) then (prediksi is b)

Aturan diatas terbentuk dengan menggunakan panduan pada tabel pembentukan rules diatas tadi dan terbentuklah aturan sebanyak 25 aturan. Ke 25 aturan ini akan menjadi prosesor fuzzy yang akan digunakan untuk menghitung kesesuaian hasil dengan menggunakan metode mamdani, dimana pada metode ini berlaku aturan *MIN-MAX*. Setelah selesai membuat *fuzzy rules*, tahapan selanjutnya adalah proses defuzzifikasi untuk mengetahui hasil dari output fuzzy tadi.

#### 4.2.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses perubahan kembali bilangan crisp yang tadinya diubah kedalam bentuk fuzzy. Proses ini adalah mengubah kembali bilangan crisp yang tadinya diubah kebalam bentuk fuzzy menjadi bilangan crisp yang dibutuhkan oleh aktuaktor atau kontroller. Proses defuzzifikasi dilakukan karna harga-harga fuzzy hanya dibutuhkan pada proses penyelesaian fuzzy. Pada proses defuzzifikasi ini tergantung pada output himpunan fuzzy yang dibangkitkan dari aturan aturan fuzzy. Pada proses defuzzifikasi ini terdapat tiga kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Pada penelitian ini metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid alasan digunakannya metode centroid pada proses defuzzifikasi ini adalah karna metode centroid mudah dalam melakukan perhitungannya dan juga

dengan menggunakan metode ini proses defuzzifikasi berjalan secara halus sehingga perubahan dari satu topologi himpunan fuzzy menuju topologi himpunan fuzzy lainnya juga bergerak secara halus. Hasil dari proses defuzzifikasi ini akan ditampilkan pada *Rule Viewer* yang ada pada Matlab. Tampilan pada *Rule Viewer* adalah berupa gambar yang terdiri atas tiga kotak dengan dua kotak sebelah kiri adalah kotak yang menggambarkan kondisi inpu yang nilainya dapat dirubah-rubah sesuai dengan kondisi atau keadaan pada tahun yang akan diramal, dan kotak paling kanan adalah kotak yang menggambarkan kondisi output dari hasil input yang dimasukkan tadi. Hasil dari proses ini adalah output peramalan beban listrik jangka panjang dengan menggunakan logika fuzzy. tampilan dari *Rule Viewer* ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8 Rule Viewer

Pada *Rule Viewer* ini pengujian hasil dari aturan-aturan yang telah dibuat untuk prakiraan konsumsi energi listrik jangka panjang dapat dilakukan, dengan memasukkan variabel *inputan* pada kolom *input*. Dengan variasi input berdasarkan kondisi peramalan. Variasi input tersebut diambil berdasarkan data demand forecast yang dibuat oleh pihak PT. PLN (Persero) Area Yogyakarta. Data tersebut dimuat pada tabel berikut ini

Tabel 4.4 Variabel Input Peramalan Beban Listrik Jangka Panjang Menggunakan Logika Fuzzy

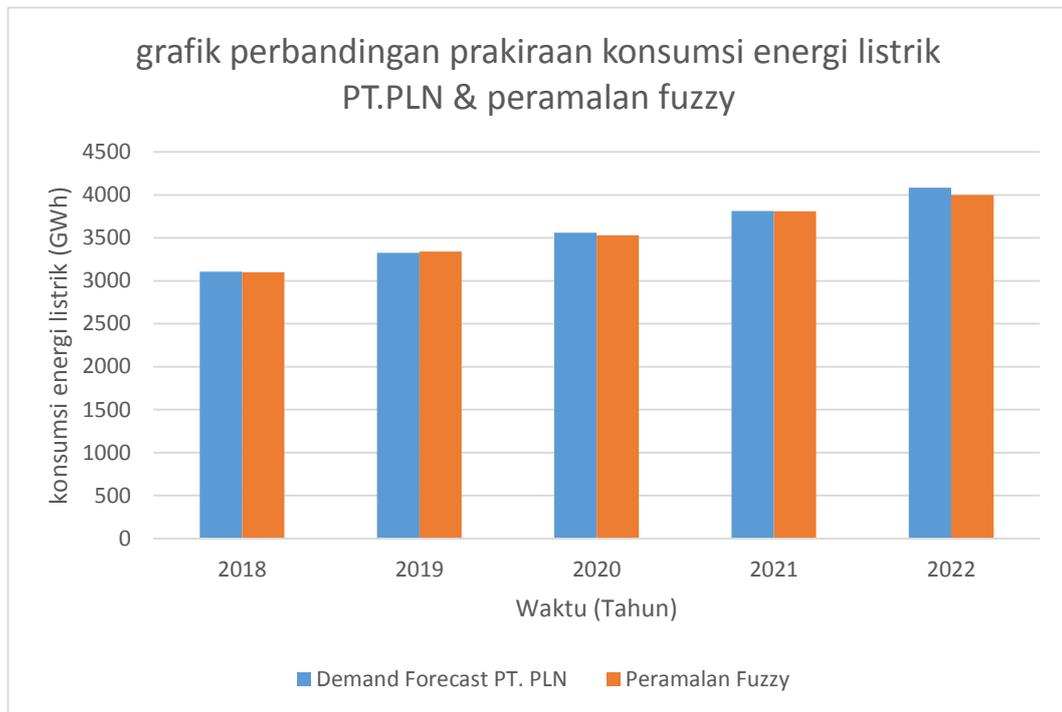
<b>Tahun</b>	<b>Jumlah penduduk (dalam 10<sup>3</sup>)</b>	<b>Konsumsi energi listrik (GWh)</b>
2018	3867,5	3106,5
2019	3909,7	3325,6
2020	3951,9	3560,9
2021	3994,1	3813,7
2022	4036,3	4085,2

Tabel diatas merupakan prakiraan konsumsi energi listrik jangka panjang periode 2018-2022 yang dilakukan oleh PT. PLN dengan menggunakan metode simple-E. Data diatas akan dijadikan sebagai data input pada *Rule Viewer* kondisi fuzzy untuk memprediksi konsumsi energi listrik jangka panjang di provinsi D.I. Yogyakarta. Selanjutnya setelah memasukkan input data kondisi jumlah penduduk dan konsumsi energi listrik untuk masing-masing tahunnya maka akan didapat hasil output berupa angka konsumsi energi listrik. Data output tersebut selanjutnya diisikan kedalam tabel hasil peramalan konsumsi energi listrik seperti berikut ini :

Tabel 4.5 Hasil Peramalan Konsumsi Energi Listrik Periode 2018-2022

Tahun	Prakiraan Konsumsi energi listrik PT. PLN (GWh)	Prakiraan Konsumsi Energi listrik Fuzzy(GWh)	Error (%)
2018	3106,5	3100	0,209
2019	3325,6	3340	0,433
2020	3560,9	3530	0,867
2021	3813,7	3810	0,097
2022	4085,2	4000	2,085

Setelah memasukkan kondisi variabel input maka diperoleh output berupa angka konsumsi energi listrik pada periode 2018-2022 seperti yang tertera pada tabel 4.5 kolom prakiraan konsumsi energi listrik diatas. Angka prakiraan konsumsi energi listrik selalu mengalami kenaikan, karna pada penelitian ini digunakan variabel input jumlah penduduk, maka dapat dipastikan bahwa tingginya konsumsi energi listrik sangat ditentukan oleh jumlah penduduk pada suatu wilayah. Pada tabel prakiraan konsumsi energi listrik diatas terlihat bahwa selisish angka prakiraan konsumsi energi listrik yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) dengan prakiraan konsumsi energi listrik yang dilakukan dengan menggunakan FIS (*Fuzzy inference system*) ini memiliki selisih angka yang sangat kecil. Selanjutnya dibuat diagram batang sebagai perbandingan antara hasil prakiraan konsumsi energi listrik dengan menggunakan logika fuzzy dan prakiraan dari PT. PLN yang menggunakan metode simple-E sendiri agar lebih mudah dalam membandingkannya. Diagram batang tersebut adalah sebagaiberikut:



Gambar 4.9 Diagram Batang peramalan Konsumsi Energi listrik

### 4.3 Hasil dan Pembahasan

Hasil dari prakiraan konsumsi energi listrik jangka panjang di Provinsi D.I. Yogyakarta pada periode 2018-2022 mendatang selanjutnya dibandingkan dengan data prakiraan yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) yang tertera pada data demand forecast milik PT. PLN (Persero). Setelah melihat diagram batang diatas maka disimpulkan bahwa peramalan yang dilakukan dengan menggunakan logika fuzzy menunjukkan angka yang hampir sama dengan peramalan dengan menggunakan metode simple-E yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero). Ini menunjukkan bahwa logika fuzzy sangat cocok unruk digunakan oleh PT. PLN (Persero) sebagai metode dalam melakukan demand forecast. Keuntungan yang didapat dengan menerapkan metode FIS (*Fuzzy Inference system*) sebagai metode

yang digunakan dalam melakukan demand forecast ini adalah dengan menggunakan data yang sedikit serta perhitungan yang tidak begitu rumit akan menghasilkan output yang sangat sesuai dengan harapan peneliti. Keakuratan pada saat melakukan demand forecast atau peramalan konsumsi energi listrik ini sifatnya sangat krusial, karna jika dilihat dari sisi ekonomis maka jika prakiraan melebihi data real yang terjadi dimasa yang akan datang maka pihak PT. PLN (Persero) mengalami kerugian disisi pembangkitan dikarnakan daya listrik yang telah dibangkitkan melebihi dari konsumsi energi listrik pada wilayah tersebut. Energi listrik sisi pembangkitan yang tidak terjual kekonsumen ini tidak dapat disimpan dan akan terbuang percuma. Namun, bila hasil prakiraan konsumsi energi listrik ini kurang dari (lebih kecil) dari kondisi data real pada tahun peramalan maka akan terjadi pemadaman listrik karna kurangnya persediaan listrik. Jadi output hasil prakiraan harus menunjukkan angka yang tepat atau dengan kata lain bahwa hasil prakiraan energi listrik ini harus akurat. Keakuratan prakiraan konsumsi energi listrik dengan menggunakan logika fuzzy ini dapat dihitung dengan mencari persentase error yang terjadi pada prakiraan tersebut. Rumus berikut ini dapat digunakan untuk mencari persentase error pada prakiraan konsumsi energi listrik jangka panjang di Prov D.I. Yogyakarta ini, rumus tersebut adalah sebagai berikut  
::

$$\%error = \frac{\text{demand forecast PT.PLN} - \text{peramalan fuzzy}}{\text{demand forecast PT.PLN}} * 100\%$$

Jadi perhitungan prosentase errornya adalah sebagai berikut :

$$\%error\ 2018 = \frac{3106,5 - 3100}{3106} * 100\%$$

$$= 0,209\%$$

$$\% \text{error 2019} = \frac{3325,6-3340}{3325,6} * 100\%$$

$$= 0,433\%$$

$$\% \text{error 2020} = \frac{3560,9-3530}{3560,9} * 100\%$$

$$= 0,867\%$$

$$\% \text{error 2021} = \frac{3813,7-3810}{3813,7} * 100\%$$

$$= 0,097\%$$

$$\% \text{error 2022} = \frac{4085,2-4000}{4085,2} * 100\%$$

$$= 2,085\%$$

Rata-rata error yang terjadi pada prakiraan konsumsi energi listrik ini adalah sebagai berikut :

$$\% \text{rata-rata error} = \frac{0,209+0,433+0,867+0,097+2,085}{5}$$

$$= 0,738\%$$

Dari perhitungan error diatas menunjukkan bahwa keakuratan penggunaan logika fuzzy sebagai metode prakiraan beban listrik jangka panjang ini adalah sangat baik. Error terbesar terjadi di tahun 2022 dengan prosentasi error sebesar 2,085%, sedangkan error terendah terjadi ditahun 2021 yakni hanya sebesar 0,097 saja. Rata-rata error yang terjadi pada penelitian ini adalah 0,738%. Perhitungan error ini menunjukkan bahwa bentuk fungsi keanggotaan serta jumlah himpunan fuzzy yang digunakan memberikan tingkat keakuratan yang tinggi. Selain dari pada itu aturan fuzzy yang dibuat sangat berpengaruh terhadap hasil dari output fuzzy yang akan

didapat jadi dengan prosentase error yang didapat setelah melakukan perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa Rule yang dibangun sebagai prosesor fuzzy berjalan dengan sangat baik sesuai dengan harapan dari penulis. Berikut ini adalah beberapa keunggulan dari penggunaan metode Logika Fuzzy yang dapat penulis sampaikan dalam memperkirakan kebutuhan akan energi listrik jangka panjang :

1. Konsep dari logika fuzzy, sederhana dan mudah dimengerti
2. Logika fuzzy sangat fleksibel dan mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan serta ketidakpastian
3. Tidak membutuhkan banyak data input, dengan menggunakan data yang terbatas logika fuzzy dapat mencapai angka error yang sangat kecil.
4. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat
5. Logika fuzzy dapat mengaplikasikan pengetahuan atau pengalaman sesuai yang diinginkan perancang/peneliti.