

# Aplikasi Penentuan Tarif Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno

Hari Santosa\*

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

*Naskah Diterima : 11 Januari 2014; Diterima Publikasi : 23 Maret 2014*

---

## Abstract

This research applied Sugeno fuzzy method for determining electricity tariff based on the data of electric customers 450 VA and 900 VA from PLN APJ South Semarang. Tariff of PLN classifications calculation is done in a progressive way with three block/ classification tariff. This method is considered less representative because many users who consume less or more electrical energy (kWh) in one block/class charged or valued equally. Electric customer data during the 5 months from May to September 2012, which contains a large kWh consumption is then calculated by means of progressive tariff. The data is then performed clustering with FCM method (Mean C Fuzz) into 5 groups, thus obtained cluster centers or power usage and price rates. The power usage and price of the cluster centers are used as a reference manufacture and fed into the membership function of fuzzy inference system built by Sugeno method. This research used the triangular shape of the curve membership function. The system built in the form of application Sugeno fuzzy method which is tested by inserting a number of sample test data. The results are the tariff to be paid by electricity customers. The tariff is resulting from the calculation of the system compared to the tariff calculated in a progressive way of PLN. The difference in total tariff to customers for power of 450 VA Rp 93.3107 or 0.004%, while for the 900 VA at Rp 3503.2 or 0.12%. The tariff were calculated using Sugeno fuzzy method from this research is more fair to the consumer there is increase in revenue for PLN.

**Keywords :** Fuzzy Sugeno; Tariff classification; Calculation

## Abstract

Penelitian ini telah mengaplikasikan metode fuzzy Sugeno untuk menentukan tarif listrik berdasarkan data pelanggan listrik 450 VA dan 900 VA dari PLN APJ Semarang Selatan. Tarif dari perhitungan klasifikasi PLN dilakukan secara progresif dengan tiga klasifikasi tarif. Cara ini dipandang kurang representative karena pengguna sedikit kWh dan banyak kWh dalam satu kelas tarif dihargai sama besar. Data di dalam penelitian menggunakan data pelanggan listrik selama 5 bulan dari Mei sampai September 2012. Data kWh kemudian dikelompokkan dengan metode FCM (Fuzzy C Mean) menjadi 5 kelompok, sehingga didapatkan pusat-pusat cluster penggunaan daya dan harga. Pusat cluster kWh digunakan sebagai referensi pembuatan fungsi keanggotaan lalu diumpungkan kedalam system inferensi fuzzy metode Sugeno yang dibangun. Pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan bentuk kurva segitiga dan kurva trapesium. Sistem yang dibangun berupa aplikasi metode fuzzy Sugeno yang diuji dengan memasukkan sejumlah sampel data uji penggunaan daya dan hasilnya berupa tarif listrik yang harus dibayarkan pelanggan. Tarif yang dihasilkan dari perhitungan system dibandingkan dengan tarif yang dihitung dengan cara progresif dari PLN. Selisih tarif atau biaya untuk pelanggan daya 450 VA sebesar Rp 93.3107 atau 0.004% sedangkan untuk 900 VA sebesar Rp 3503.2 atau 0.12%. Tarif yang dihitung menggunakan metode fuzzy Sugeno dari penelitian ini dirasa adil bagi konsumen dan ada kenaikan pendapatan bagi PLN.

**Kata Kunci :** Fuzzy sugeno; Klasifikasi tariff; Perhitungan

---

## 1. Pendahuluan

Usaha penyediaan tenaga listrik di Indonesia meliputi pembangkitan (generator), transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik kepada konsumen, pemberian izin usaha diberikan oleh menteri dan diprioritaskan kepada Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang merupakan perwujudan penguasaan Negara terhadap tenaga listrik.

Tarif dasar listrik atau biasa disingkat TDL, adalah tarif yang boleh dikenakan oleh pemerintah untuk para pelanggan. PLN adalah satu-satunya

perusahaan yang boleh menjual listrik secara langsung kepada masyarakat Indonesia. Tarif tenaga listrik ditetapkan oleh menteri setelah memperoleh persetujuan dari Dewan Pertimbangan Rakyat (DPR). Dengan demikian usaha tenaga listrik otoritas dipegang pemerintah melalui perusahaan milik Negara PLN. (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 14 tahun 2012).

PLN menyediakan energi listrik untuk rumah tangga dengan berbagai tingkatan daya dari 450 VA sampai dengan 6.600 VA. Penyambungan daya listrik sistem lama khususnya pada daya 450 VA dan

---

\*) Penulis korespondensi: hamacya68@yahoo.com

900 VA perhitungan biaya/tarif berlaku secara progresif. Perhitungan tarif dengan cara progresif ini masih ada sisi kelemahannya ditinjau dari sisi pengguna yaitu adanya rasa ketidakadilan dipihak masyarakat dalam hal ini pengguna. Penelitian ini mengkaji tarif daya listrik dengan metode Fuzzy Sugeno untuk menghasilkan pentarifan yang lebih representatif bagi PLN dan konsumen.

Sebagai data kajiannya beban listrik (VA) dan data energy listrik (kWh) yang dipakai pelanggan. Data tersebut akan dikelompokkan menggunakan Fuzzy C-Mean selanjutnya dipakai sebagai masukan ke dalam Sistem *Fuzzy* yang dibangun.

## 2. Kerangka Teori

### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai metode perhitungan klasifikasi tarif listrik telah banyak dilakukan. Mayoritas referensi penelitian tersebut menghitung pentarifan pasar listrik yang distribusinya tidak dikendalikan oleh pemerintah (*deregulated*) dan target sistem tersebut tidak sesuai dengan kondisi pasar kelistrikan yang ada di Indonesia. Berikut ini uraian hasil penelitian sebelumnya yang menjadi dasar penelitian penulis

Penelitian untuk memperkirakan tarif dasar listrik pada *Ontario ElectricityMarket* (OEM) dengan melakukan pendekatan fuzzy. Alvaro dan Ismael melakukan perhitungan dengan menggunakan fuzzy Takagi-Sugeno-Kang (TSK) orde satu Alvaro membagi proses komponen fuzzy Sugeno menjadi dua bagian yaitu fungsi keanggotaan dan crisp (fungsi konsekuen). Sebagai Crisp, Alvero menggunakan ARMAX (*Auto Regressive Moving Average eXogebeous*) untuk pemodelan perkiraan. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan Fuzzy TSK adalah Model TSK dapat menangkap dinamis dan kompleks serta dapat digunakan untuk memprediksi harga rata-rata puncak listrik secara real-time. Model TSK dapat digunakan untuk prediksi lebih akurat dibandingkan dengan ARMAX dan ANN (Arciniegas *et al.*, 2008)

Metode jaringan saraf tiruan dan *fuzzy* untuk menentukan pentarifan pada *deregulated market* dengan menjadikan *Locational Marginal Prices* (LMP) sebagai target sistem. Inferensi *Fuzzy* digunakan untuk merubah deskripsi waktu, perubahan LMP, beban dan rasio menjadi bilangan-bilangan keanggotaan fuzzy. Hasil akhir dari sistem fuzzy yang dibentuk berupa LMP (rasio). Nilai akhir ini akan diumpungkan ke sistem jaringan syaraf tiruan bersama variabel LMP periode sebelumnya, kebutuhan beban sistem, LMP saat ini dan perubahan LMP untuk memprediksi nilai LMP pada periode berikutnya. Hasil akhir dari jaringan syaraf tiruan ini berupa harga LMP dalam dollar per MWh (Hong *et al.*, 2005).

Model GCE (Gray-based Cost Efficiency) untuk memperkirakan tarif listrik di Taiwan. Penelitian yang dilakukan Shun-Chung Lee memperkirakan tarif listrik yang dibebankan ke pelanggan secara periodik. Perkiraan yang dihasilkan lebih efisien untuk data yang terbatas (Lee *et al.*, 2011).

Jaringan syaraf tiruan dipakai untuk memperkirakan tarif listrik untuk setiap harinya. Hasil dari penelitian ini adalah pada hari-hari efektif (hari kerja) tingkat kesalahan dari perkiraan tarif listrik kurang dari 16%. Sementara pada *weekend* (sabtu dan minggu) memiliki tingkat kesalahan kurang dari 20%. Deepak Singhal menambahkan perkiraan tarif listrik akan lebih akurat apabila dilakukan dengan menggabungkan logika *fuzzy*, jaringan syaraf tiruan, dan *dynamicclustering* (Singhal dan Swarup, 2011).

Dalam penelitiannya Vellasco memperkenalkan model hibrid baru *neuro-fuzzy*, yang disebut HNFB, dan mengevaluasi kinerjanya dalam memperkirakan beban energi jangka pendek. Sebanyak tiga sistem peramalan cerdas diuji dan dibandingkan yaitu: jaringan saraf, *neuro-fuzzy*, dan sistem saraf/*neuro-fuzzy*. Hasil mengungkapkan potensi model *neuro-fuzzy* dan *neural/neuro-fuzzy* yang diusulkan untuk memperkirakan beban, bila dibandingkan dengan saraf jaringan kesalahan persentase absolut rata-rata bervariasi antara 0,44 dan 1,95%, tergantung pada studi kasus yang dihadapi (Vellasco *et al.*, 2004)

*Fuzzy Wavelet Neuro Network* (FWNN) untuk memperkirakan konsumsi energi tinggi di daerah urban. FWNN dinyatakan meramalkan fluktuasi energi dengan sedikit kesalahan. Metode regresi konvensional tidak memperkirakan konsumsi energi secara benar dan tepat. FWNN berbasis ANN memperkirakan dengan lebih baik dan model yang ditampilkan efektif (Zhang dan Wang, 2012).

Metode *fuzzy* digunakan untuk memperkirakan penggunaan beban harian per minggu. Masukan *fuzzy* berupa waktu (hari, minggu), suhu dan cuaca serta beban pada periode (pekan) sebelumnya. *Fuzzy* tidak digunakan untuk menentukan tarif (Irzaq *et al.*, 2010)

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian yang sudah dilakukan, perhitungan secara progresif yang menggunakan kategori Blok I, Blok II dan Blok III dipandang masih ada kelemahannya yang nampaknya dirasakan kurang adil (*fair*) dikarenakan batasan yang sangat lebar. Metode *fuzzy* menawarkan pentarifan yang lebih adil dengan artian batas-batasnya lebih halus (*smooth*) sehingga tidak diperlukan lagi kategorisasi.

Penelitian ini akan mengkaji tarif daya listrik dengan metode *Fuzzy Sugeno*. Sebagai data kajiannya beban listrik (VA) dan data penggunaan daya listrik (KWh) yang dipakai pelanggan. Data tersebut akan di *Cluster* menggunakan *Fuzzy C-Mean* selanjutnya dipakai sebagai inputan ke dalam System Fuzzy yang dibangun. Target konsumen TDL

adalah pengguna rumah tangga non-sosial dengan batas daya 450VA dan 900VA.

2.2. Logika Fuzzy

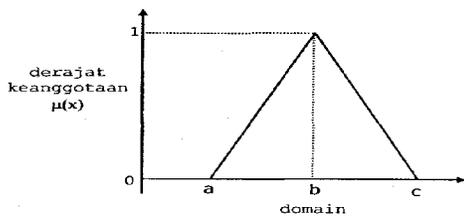
Dasar Logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting. Ciri utama dari penalaran fuzzy adalah nilai derajat keanggotaan fuzzy.

2.2.1. Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Kusumadewi 2002). Pendekatan suatu fungsi untuk memperoleh suatu nilai keanggotaan yang direpresentasikan dengan kurva segitiga dan kurva trapezium (gambar 1 dan 2).

Nilai keanggotaan kurva segitiga;

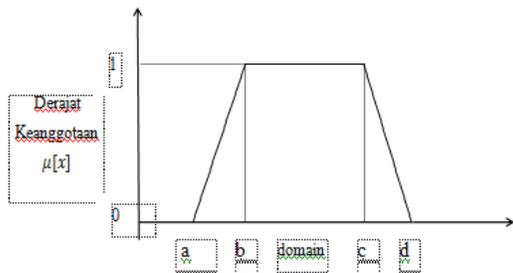
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & , & b \leq x < c \\ 0 & , & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 1. Kurva segitiga

Nilai keanggotaan kurva Trapezium:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; & a \leq x < b \\ 1 & ; & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; & c \leq x < d \\ 0 & ; & x \geq d \end{cases} \quad (2)$$



Gambar 2. Kurva trapezium

2.2.2. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Ada 2 jenis proposisi fuzzy, yaitu:

Conditional Fuzzy Proposition

Jenis ini ditandai dengan penggunaan pernyataan IF. Secara umum:

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$$

Jika diperluas menjadi

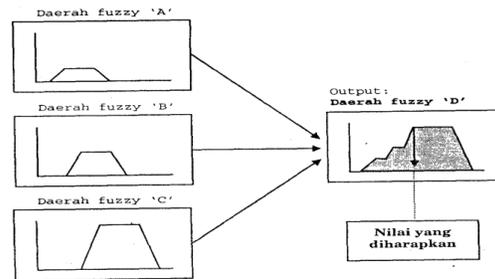
$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot (x_2 \text{ is } A_2) \cdot (x_3 \text{ is } A_3) \cdot \dots \cdot (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } y \text{ is } B \quad (3)$$

dengan  $\cdot$  adalah operator (misal: OR atau AND).

Apabila suatu proposisi menggunakan bentuk terkondisi, maka ada 2 fungsi implikasi yang dapat digunakan. (Kusumadewi 2002)

2.2.3. Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses defuzzifikasi

2.2.4. Penalaran Fuzzy Metode Sugeno

Keluaran sistem pada metode sugeno berupa konstanta atau persamaan linear. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Secara umum bentuk model fuzzy SUGENO Orde-Satu adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot \dots \cdot (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z = p_1 \cdot x_1 + \dots + p_N \cdot x_N + q \quad (4)$$

dengan  $A_i$  adalah himpunan fuzzy ke-i sebagai anteseden, dan  $p_i$  adalah suatu konstanta (tegas) ke-i dan  $q$  juga merupakan konstanta dalam konsekuen.

Apabila komposisi aturan menggunakan metode SUGENO, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya (Kusumadewi 2010).

2.2.5. *Fuzzy C Mean (FCM)*

Fuzzy clustering adalah salah satu teknik untuk menentukan cluster optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal Euclidian untuk jarak antar vektor. Fuzzy clustering sangat berguna bagi pemodelan fuzzy terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan fuzzy (Kusumadewi 2010).

Untuk mendapatkan pusat-pusat cluster dengan menggunakan *Fuzzy C Mean* dengan terlebih dahulu membuat algoritmanya dengan langkah-langkah yang telah ditetapkan pada *FCM*.

3. Metodologi

3.1. *Bahan dan Alat Penelitian*

Penelitian ini memerlukan data yang berkaitan dengan konsumen listrik kategori rumah tangga non-sosial dengan batas daya 450VA dan 900VA. Data konsumen ini diperoleh dari pihak PLN yaitu lokasi pelanggan PLN Area Semarang Selatan kemudian diambil sampel untuk tahun 2012. Selain itu, data yang digunakan berupa hasil wawancara mengenai metode yang dipakai oleh pihak PLN saat ini untuk menentukan tarif listrik.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras berupa laptop dengan *Processor Intel Core i3 2.26 GHz* dengan *RAM 2 GB* dan *harddisk 320 GB*. Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab. Sebagai pembanding keakuratan tarif, dibandingkan dengan hasil yang dihitung menggunakan Microsoft Excel.

3.2. *Pencarian dan Pengumpulan Data*

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan survei ke PLN APJ Semarang Selatan. Data yang diperoleh merupakan data jumlah penggunaan daya listrik oleh konsumen dalam kurun waktu 5 bulan dari bulan Mei sampai dengan September tahun 2012 terlihat pada lampiran 1, serta data harga listrik per kWh untuk tiap blok dan biaya beban yang digunakan untuk perhitungan tarif dasar listrik oleh PLN.

Data yang diperoleh terdiri dari dua daya yaitu 450 VA dan 900 VA beserta harga listrik per kWh. Data penggunaan daya dipisahkan antara daya 450 VA dan daya 900 VA. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* yaitu data penggunaan daya yang bernilai negatif dan nol dihilangkan.

3.3. *Pengolahan Data dengan Fuzzy C Mean*

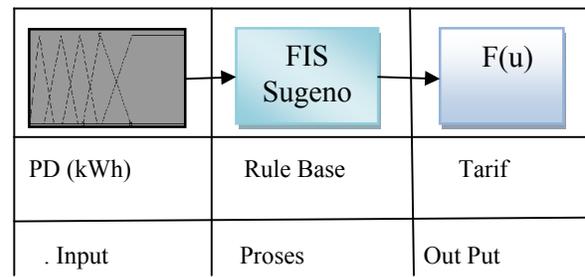
Data penggunaan daya diambil sampel dengan 300 data kemudian di kelompokkan menjadi 5 kelompok dengan menggunakan *FCM*. Hasilnya berupa pusat-pusat cluster yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pusat clustering penggunaan daya(kWh)

No	Penggunaan Daya	Pusat Cluster (kWh)	
		450 VA	900 VA
1	Rendah	19.1884	12.2533
2	Sedang	69.1807	85.3828
3	Normal	113.8092	147.4376
4	Agak Tinggi	160.1572	202.3050
5	Tinggi	231.3357	259.1875

3.4. *Pembuatan Sistem Inferensi Fuzzy Model Sugeno*

Pusat-pusat cluster digunakan untuk membuat basis aturan selanjutnya difungsikan sebagai masukan ke dalam masukan Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) model Sugeno pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem Inferensi Fuzzy model Sugeno

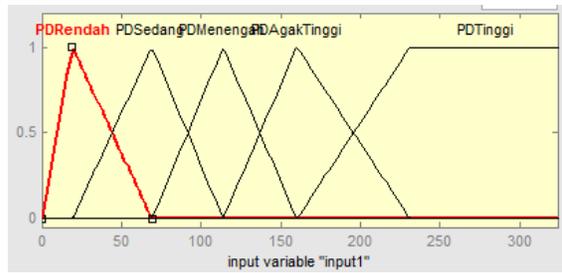
Pembentukan basis aturan (Rule Base) untuk penggunaan daya 450 VA :

- Standar nilai variable fuzzy / fungsi keanggotaan penggunaan daya 450 VA  
 Pembuatan nilai interval atau domain dari fungsi keanggotaan ini diambil berdasarkan hasil clustering dari sampel 200 data. Nilai 324 dihasilkan dari pemakaian daya 450 VA selama satu bulan (30 hari) sedangkan factor daya dianggap sama dengan satu (tabel 2).

Tabel 2. Standar nilai fungsi keanggotaan PD 450 VA

Variabel fuzzy	Cluster	Interval / Domain		
		Nilai batas minimal	Nilai batas optimal	Nilai batas maksimal
Penggunaan Daya (kWh)	Rendah	0	19.19	69.18
	Sedang	19.19	69.18	113.8
	Normal	69.18	113.8	160.2
	Agak Tinggi	113.8	160.2	231.3
	Tinggi	160.2	231.3	324

- Kurva fungsi keanggotaan penggunaan daya 450 VA (gambar 5).



Gambar 5. Kurva fungsi keanggotaan PD 450 VA

3. Implementasi fungsi keanggotaan untuk penggunaan daya 450 VA

Standar Nilai variabel dari tabel 1 dimasukkan dalam rumusan fungsi keanggotaan.

$$\mu_{PDRendah}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{19.19}, & 0 < x < 19.19 \\ 0, & x \geq 19.19 \end{cases}$$

(5)

$$\mu_{PDSedang}(x) = \begin{cases} \frac{x}{19.19}, & 0 < x < 19.19 \\ \frac{113.8 - x}{94.61}, & 19.19 < x < 113.8 \\ 0, & x \geq 113.8 \end{cases}$$

(6)

$$\mu_{PDMeneng}(x) = \begin{cases} \frac{x - 19.19}{94.61}, & 19.19 < x < 113.8 \\ \frac{x - 113.8}{94.61}, & 113.8 < x < 160.2 \\ 0, & x \geq 160.2 \end{cases}$$

(7)

$$\mu_{PDAgakTinggi}(x) = \begin{cases} \frac{x - 113.8}{141.02}, & 113.8 < x < 160.2 \\ \frac{231.3 - x}{141.02}, & 160.2 < x < 231.3 \\ 0, & x \geq 231.3 \end{cases}$$

(8)

$$\mu_{PDTinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 160.2 \\ 1, & x > 231.3 \end{cases}$$

(9)

- Membuat program dengan fuzzy Sugeno. Cara membuat program bisa digambarkan dengan flowchart Gambar 3.4.
- Melakukan eksekusi untuk memperoleh basis aturan (Rule Base)
- Membuat program perhitungan tarif listrik 450 VA dengan menambahkan biaya tanpa beban. Cara membuat program digambarkan dengan flowchart Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.

Pembentukan perhitungan tarif listrik untuk penggunaan daya 900 VA diperlihatkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

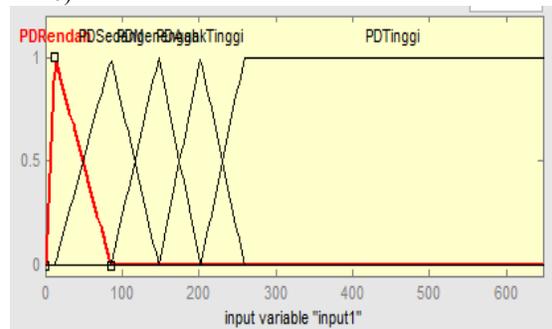
1. Standar nilai variable fuzzy / fungsi keanggotaan penggunaan daya 900 VA

Pembuatan nilai interval atau domain dari fungsi keanggotaan ini diambil berdasarkan hasil clustering dari sampel 200 data pelanggan listrik PLN pada daya 450 VA. data dikelompokkan menjadi 5 pusat cluster dengan nama PD rendah, PD sedang, PD normal, PD agak tinggi dan PD tinggi. Nilai 648 dihasilkan dari pemakaian daya 900 VA selama satu bulan (30 hari) sedangkan factor daya dianggap sama dengan satu.

Tabel 3. Standar nilai variabel fungsi keanggotaan penggunaan daya 900 VA

Variabel fuzzy	Cluster	Interval / Domain		
		Nilai batas minimal	Nilai batas optimal	Nilai batas maksimal
Penggunaan Daya (kWh)	Rendah	0	12.25	65.38
	Sedang	12.25	65.38	147.44
	Normal	65.38	147.44	202.2
	Agak Tinggi	147.44	202.2	259.19
	Tinggi	202.2	259.19	648

2. Kurva fungsi keanggotaan PD 900 VA (gambar 6)



Gambar 6. Kurva fungsi keanggotaan PD 900 VA

3. Implementasi fungsi keanggotaan untuk penggunaan daya 900 VA

$$\mu_{PDRendah}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{65.38}, & 0 < x < 65.38 \\ 0, & x \geq 65.38 \end{cases}$$

(10)

$$\mu_{PDSedang}(x) = \begin{cases} \frac{x}{65.38}, & 0 < x < 65.38 \\ \frac{147.44 - x}{82.16}, & 65.38 < x < 147.44 \\ 0, & x \geq 147.44 \end{cases}$$

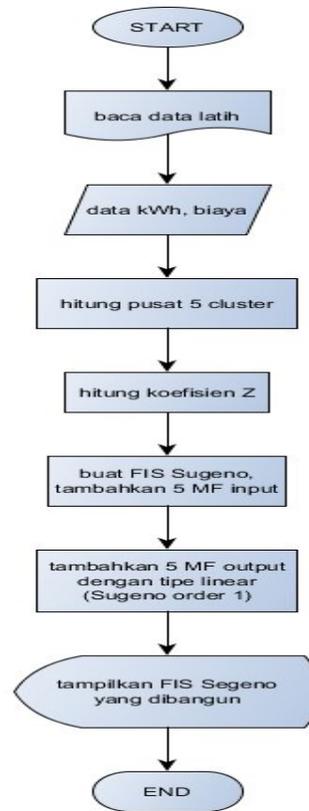
(11)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 65.38 \\ \frac{(x - 65.38)}{(147.44 - 65.38)}, & 65.38 < x \leq 147.44 \\ \frac{(147.44 - x)}{(202.2 - 147.44)}, & 147.44 < x < 202.2 \\ 0, & x \geq 202.2 \end{cases} \quad (12)$$

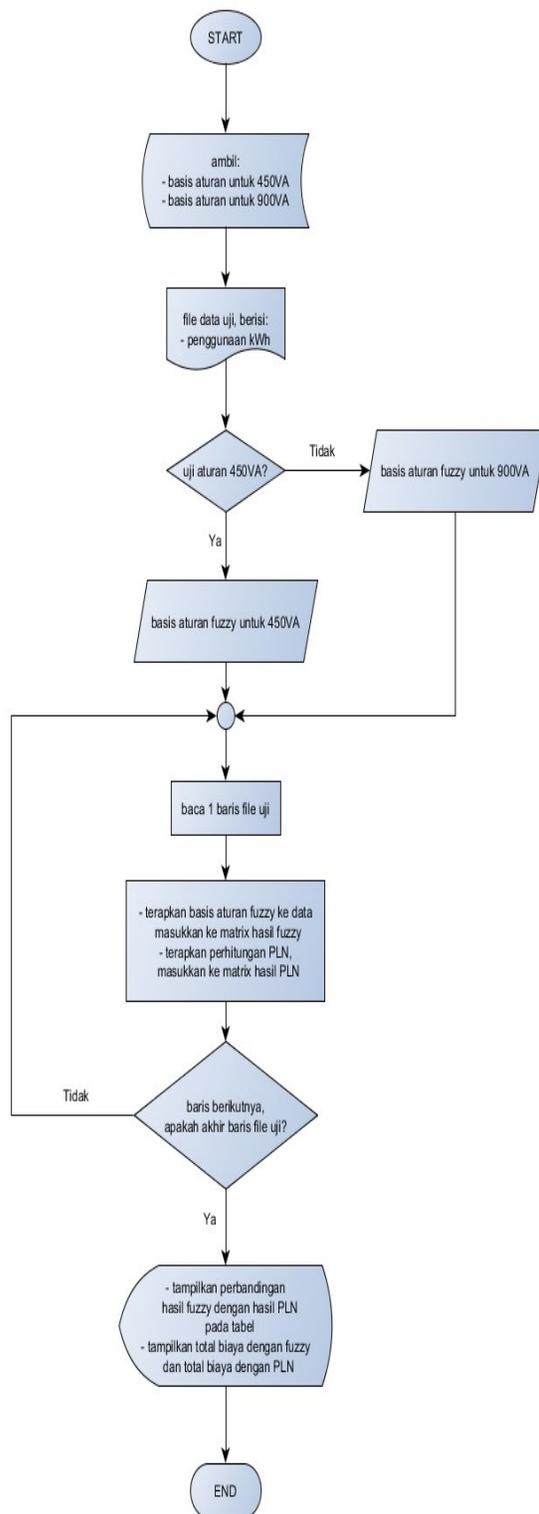
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 147.44 \\ \frac{(x - 147.44)}{(202.2 - 147.44)}, & 147.44 < x \leq 202.2 \\ \frac{(202.2 - x)}{(259.19 - 202.2)}, & 202.2 < x < 259.19 \\ 0, & x \geq 259.19 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 202.2 \\ \frac{(x - 202.2)}{(259.19 - 202.2)}, & 202.2 < x \leq 259.19 \\ 1, & x > 259.19 \end{cases} \quad (14)$$

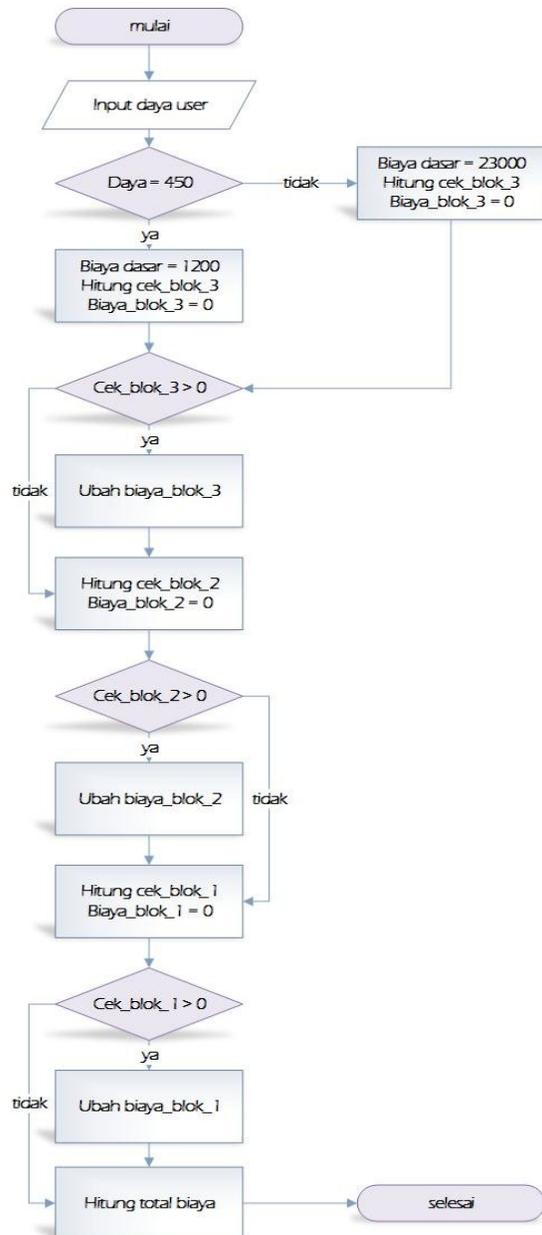
4. Membuat program dengan fuzzy Sugeno. Cara membuat program bisa digambarkan dengan flowchart Gambar 3.4.
5. Melakukan eksekusi untuk memperoleh basis aturan (Rule Base)
6. Membuat program perhitungan tarif listrik 900 VA dengan menambahkan biaya tanpa beban. Cara membuat program digambarkan dengan flowchart Gambar 3.5 dan Gambar 3.6.



Gambar 7. Flowchart pembuatan basis aturan



Gambar 8. Flowchart penentuan tarif listrik



Gambar 9. Flowchart perhitungan tarif PLN

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Hasil

Hasil penelitian terdiri dari implementasi sistem dan hasil pengujian. Sedangkan dalam pembahasan berisi perhitungan hasil pengujian secara manual yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian dari sistem dan perhitungan PLN. Kemudian dicari selisih tarif/biaya rata-rata antara perhitungan system dengan perhitungan PLN yang dipakai sebagai acuannya.

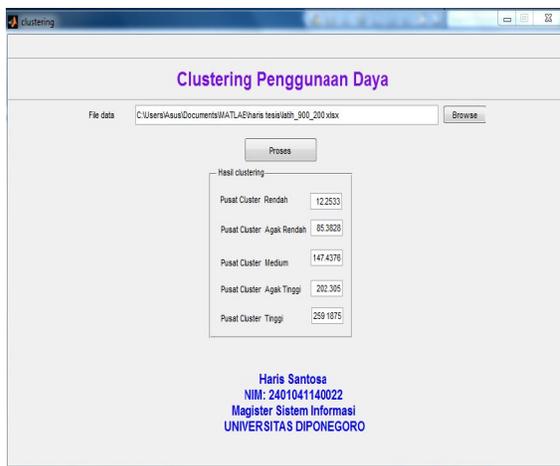
Hasil pengujian terdiri dari implementasi system dan table-tabel hasil pengujian. Implementasi sistem

berisi tampilan-tampilan yang ada dalam sistem yang dibangun. Dalam implementasi sistem ini akan dijelaskan tampilan-tampilan yang ada dalam pembangunan aplikasi Metode Fuzzy Sugeno untuk penentuan tarif listrik .

Hasil clustering penggunaan daya 450 VA ditampilkan pada Gambar 10, sedangkan untuk penggunaan daya 900 VA ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Tampilan hasil clustering penggunaan daya 450 VA

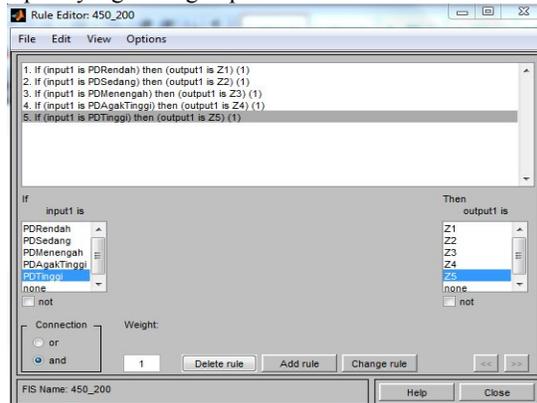


Gambar 11. Tampilan hasil clustering penggunaan daya 900 VA

Beberapa tampilan dalam FIS Sugeno hanya akan ditunjukkan 3 buah gambar tampilan untuk penggunaan daya 450 VA, sedangkan untuk 900 VA tidak ditampilkan.

Pada tampilan FIS Sugeno 450 VA basis aturan yang dihasilkan dari fuzzy Sugeno yang terdiri dari 5 aturan ditunjukkan pada Gambar 4.1. Penggunaan daya dituliskan dengan kWh yang merupakan masukannya ke dalam sistem. Sedangkan mf adalah

kepanjangan dari membership function dimana seperti yang dibangun pada Gambar 12 dan 13.



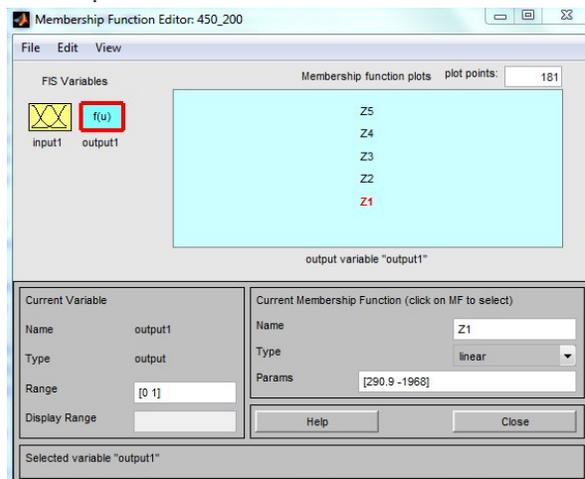
Gambar 12. Basis aturan fuzzy Sugeno 450 VA

Basis Aturan yang dihasilkan fuzzy Sugeno untuk 450 VA adalah :

- Rule 1 : IF PD is Rendah THEN output is  $Z_1$
- Rule 2 : IF PD is Sedang THEN output is  $Z_2$
- Rule 3 : IF PD is Normal THEN output is  $Z_3$
- Rule 4 : IF PD is Agak Tinggi THEN output is  $Z_4$
- Rule 5 : IF PD is Tinggi THEN output is  $Z_5$

Nilai output  $Z_1$  sampai dengan  $Z_5$  adalah parameter yang ditampilkan pada Gambar 4.2

Tampilan Output Biaya pada penggunaan daya 450 VA ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Tampilan Output Biaya 450 VA

Output biaya untuk daya 450 VA

- $Z_1 = 290.9403 PD + -1967.8418$
- $Z_2 = 492.4705 PD + -12161.3189$
- $Z_3 = 530 PD + -15240$
- $Z_4 = 530 PD + -15240$
- $Z_5 = 530 PD + -15240$

Tampilan Output dari Rule Viewer ditunjukkan pada Gambar 14. Grafik sebelah kanan menunjukkan

jumlah biaya yang harus dibayarkan pelanggan (tanpa biaya beban dan lainnya) yang ditunjukkan dengan tulisan  $Output\ 1 = 1.25e^{+04}$  artinya sama dengan Rp 12500;



Gambar 14. Tampilan output dari rule viewer 450 VA

Pada tampilan *fis* Sugeno pada penggunaan daya 900 VA pada prinsipnya sama dengan tampilan untuk penggunaan daya 450 VA. Perbedaannya pada nilai atau besaran input yang dimasukkan dalam sistem sehingga menghasilkan nilai keluaran yang berbeda. Maka tidak ditampilkan gambar dari setiap proses dari *fis* Sugeno, sedangkan nilai keluaran biaya penggunaan daya 900 VA adalah :

$$Z_1 = 468.7423 x + -1921.9985$$

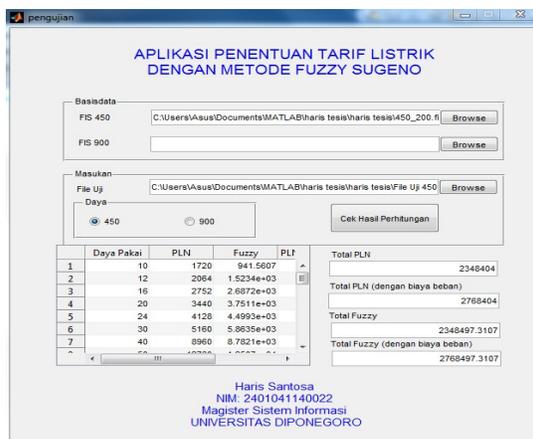
$$Z_2 = 527.9151 x + -5804.0715$$

$$Z_3 = 525.2988 x + -5366.0933$$

$$Z_4 = 525.2092 x + -6481.1475$$

$$Z_5 = 530 x + -6000$$

Tampilan aplikasi penentuan tarif dengan menggunakan metode Sugeno untuk penggunaan daya 450 VA ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16. Untuk 900 VA tidak ditampilkan, namun secara tampilan sama hanya nilai input dan hasil outputnya berbeda.



Gambar 15. Tampilan aplikasi penentuan tariff listrik tanpa tambahan biaya beban 450 VA

- Pada aplikasi ini terdiri dari 4 perhitungan yaitu:
1. Perhitungan yang dilakukan cara PLN (tanpa biaya beban).
  2. Perhitungan dengan cara fuzzy sugeno (tanpa biaya beban).
  3. Perhitungan cara PLN (dengan biaya beban).
  4. Perhitungan dengan cara fuzzy sugeno (dengan biaya beban).

Jika scrol pada bagian bawah digeser ke kanan maka akan tampak perhitungan dengan tampilan tambahan biaya beban yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Tampilan aplikasi penentuan tarif listrik dengan biaya beban 450 VA

Pengujian akan dilakukan pada penggunaan daya 450 VA dan 900 VA. Jumlah data penggunaan daya yang diujikan ada 35 data. Hasil dari data yang di inputkan adalah keluaran yang berupa biaya listrik yang dihitung dengan metode fuzzy ataupun secara PLN tanpa biaya beban serta dengan biaya beban. Hasil perhitungan dari aplikasi yang dibangun akan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari PLN.

a. Pengujian Penggunaan Daya 450 VA

Hasil pengujian penentuan tarif listrik 450 VA dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian penentuan tarif listrik 450 VA

No	Perhitungan (Rp)				
	Daya masukan	PD (kWh)	PLN	Fuzzy	Fuzzy + biaya beban
1	10	1720	941.5607	13720	12942
2	12	2064	1523.4	14064	13523
3	16	2752	2687.2	14752	14687
4	20	3440	3751.1	15440	15751
5	24	4128	4499.3	16128	16499
6	30	5160	5863.5	17160	17863
7	40	8960	8782.1	20960	20782
8	50	12760	12507	24760	24507
9	60	16560	17038	28560	29038
10	70	21860	22303	33860	34303
11	80	27160	27218	39160	39218
12	90	32460	32301	44460	44301
13	100	37760	37551	49760	49551
14	110	43060	42971	55060	54971
15	120	48360	48360	60360	60360
16	130	53660	53660	65660	65660
17	140	58960	58960	70960	70960
18	150	64260	64260	76260	76260
19	160	69560	69560	81560	81560
20	170	74860	74860	86860	86860
21	180	80160	80160	92160	92160
22	190	85460	85460	97460	97460
23	200	90760	90760	102760	102760
24	210	96060	96060	108060	108060
25	220	101360	101360	113360	113360
26	230	106660	10666	118660	11866
27	240	111960	111960	123960	123960
28	250	117260	117260	129260	129260
29	260	122560	122560	134560	134560
30	270	127860	127860	139860	139860
31	280	133160	133160	145160	145160
32	290	138460	138460	150460	150460
33	300	143760	143760	155760	155760
34	310	149060	149060	161060	161060
35	320	154360	154360	166360	166360
Total		2348404	2348497.3	2768404	2768497.3

b. Pengujian Penggunaan Daya 450 VA

Hasil pengujian penentuan tarif listrik 900 VA dapat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian penentuan tarif listrik 900 VA

No	Perhitungan (Rp)				
	Daya masukan	PD (kWh)	PLN	Fuzzy	Fuzzy + biaya beban
1	5	1550	421.7	24550	23422
2	10	3100	2765.4	26100	25765
3	15	4650	4996.7	27650	27997
4	20	6200	7167	29200	30167
5	25	8650	9377.7	31650	32378
6	30	11100	11629	34100	34629
7	35	13550	13921	36550	36921
8	40	16000	16253	39000	39253
9	45	18450	18625	41450	41625
10	50	20900	21038	43900	44038
11	60	25800	25986	48800	48986
12	70	31100	31095	54100	54095
13	80	36400	36366	59400	59366
14	90	41700	41723	64700	64723
15	100	47000	47029	70000	70029
16	110	52300	52326	75300	75326
17	120	57600	57615	80600	80615
18	130	62900	62895	85900	85895
19	140	68200	68167	91200	91167
20	150	73500	73376	96500	96376
21	160	78800	78423	101800	101420
22	170	84100	83470	107100	106470
23	180	89400	88516	112400	111520
24	190	94700	93563	117700	116560
25	200	100000	98608	123000	121610
26	225	113250	112310	136250	135310
27	250	126500	126230	149500	149230
28	275	139750	139750	162750	162750
29	300	153000	153000	176000	176000
30	325	166250	166250	189250	189250
31	350	179500	179500	202500	202500
32	375	192750	192750	215750	215750
33	400	206000	206000	229000	229000

34	450	232500	232500	255500	255500
35	500	259000	259000	282000	282000
Total		2816150	2812646.8	3621150	3617646.84

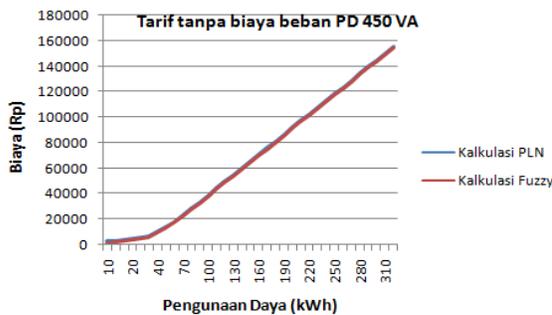
4.2 Pembahasan

4.2.1. Perhitungan selisih tarif Penggunaan Daya 450 VA

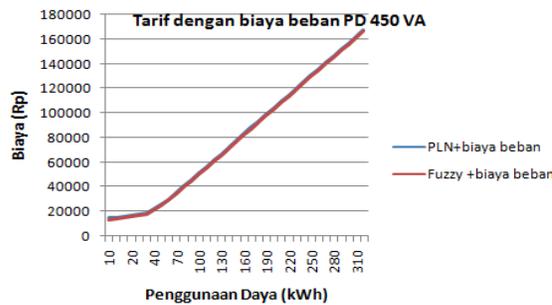
Perhitungan selisih tarif adalah menghitung perbedaan anatar perhitungan PLN dengan perhitungan secara fuzzy. Dari hasil Tabel 4.1 jumlah total dari 35 data masukan yang dihasilkan untuk perhitungan tanpa biaya beban adalah :

Total PLN = Rp 2348404;  
 Total fuzzy = Rp 2348497,3107, maka mempunyai selisih sebesar :  
 $Rp\ 2348497,3107 - Rp\ 2348404 = Rp\ 93,3107$ ;  
 Prosentasi selisih antara perhitungan fuzzy dengan PLN =  $(Rp\ 93,3107 : Rp\ 2348404) \times 100\% = 0.004\%$

Grafik tarif tanpa biaya beban dan dengan biaya beban untuk peggungan daya 450 VA dapat ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. Grafik tarif tanpa biaya beban peggungan daya 450 VA



Gambar 18. Grafik tarif dengan biaya beban peggungan daya 450 VA

Tampak pada Grafik PD 450 VA hampir tidak ada perbedaan antara tarif yang dihitung secara PLN maupun secara fuzzy namun sebenarnya ada sedikit perbedaan. Biaya (Rp) pada Gambar 18 sedikit lebih naik melebihi nilai Rp 160000; tepatnya Rp 166360; (perhitungan fuzzy + biaya beban Tabel 4.1 pada 320

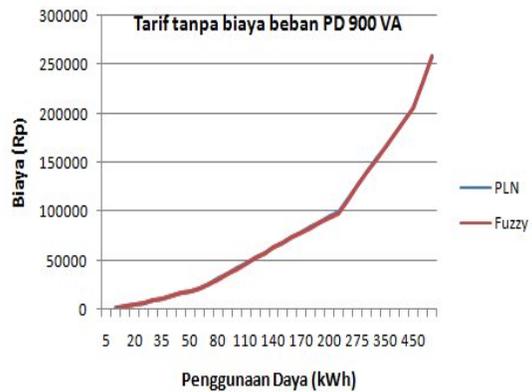
kWh). Biaya (Rp) pada Gambar 17 sedikit lebih kecil atau turun dari Rp 160000; tepatnya Rp 154360; (perhitungan fuzzy tanpa biaya beban Tabel 5 pada 320 kWh).

4.2.2. Perhitungan selisih tarif Penggunaan Daya 900 VA

Seperti yang ditunjukkan dalam perhitungan untuk penggunaan daya 450 VA maka pada 900 VA adalah :

Total PLN = Rp 2816150;  
 Total fuzzy = Rp 2812646,8436; maka mempunyai selisih sebesar :  
 $Rp\ 2816150 - Rp\ 2812646,8436 = Rp\ 3503,2$ ;  
 Prosentasi selisih antara perhitungan fuzzy dengan PLN  
 $Rp\ 3503,2 : Rp\ 2816150 \times 100\% = 0.12\%$

Grafik tariff penggunaan daya 900 VA ditunjukkan pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Grafik tarif tanpa biaya beban peggungan daya 900 VA



Gambar 20. Grafik tarif dengan biaya beban peggungan daya 900 VA

Biaya (Rp) pada Grafik 4.4 sedikit lebih naik mendekati nilai Rp 300000; tepatnya Rp282000; (perhitungan fuzzy + biaya beban Tabel 5 pada 500 kWh). Biaya (Rp) pada Grafik 4.3 sedikit diatas Rp

250000; tepatnya Rp 259000; (perhitungan fuzzy tanpa biaya beban Tabel 5 pada 500 kWh).

### Kesimpulan

1. Metode Fuzzy Sugeno dapat diaplikasikan untuk perhitungan tarif listrik. Nilai total dari perhitungan dengan menggunakan metode fuzzy Sugeno lebih besar dengan selisih yang sangat kecil dari perhitungan PLN. Selisih tarif total atau biaya keseluruhan untuk pelanggan daya 450 VA sebesar Rp 93.3107 atau 0.004% sedangkan untuk 900 VA sebesar Rp 3503.2 atau 0.12%.
2. Metode Fuzzy Sugeno dapat digunakan untuk perhitungan tarif listrik dengan kisaran tarif yang lebih halus sehingga dirasakan lebih adil bagi konsumen.

### Daftar Pustaka

- Arciniegas, A.I., Rueda, I.E.A., 2008. Forecasting short-term power prices in the Ontario Electricity Market (OEM) with a fuzzy logic based inference system. *Utilities Policy* 16, 39-48.
- Hong, Y.Y., Lee, C.F., 2005. A Neuro-fuzzy price forecasting approach in deregulated electricity market. *Electric Power Systems Research* 73, 151-157.
- Kusumadewi, S., 2002. Analisis Desain Sistem Fuzzy menggunakan Tool Box Matlab. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S., Purnomo, H., 2010. Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Kusumadewi, S., Hartati, S., 2010. Neuro-Fuzzy : Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Lee, S.C., Shih, L.H., 2011. Forecasting of electricity costs based on an enhanced gray-based learning model: A case study of renewable energy in Taiwan. *Technological Forecasting & Social Change* 78, 1242-1253.
- Singhal, D., Swarup, K.S., 2011. Electricity price forecasting using artificial neural networks. *Electrical Power and Energy Systems* 33, 550-555.
- Vellasco, M.M.B.R., 2004. Electric load forecasting: evaluating the novel hierarchical neuro-fuzzy BSP model. *Electrical Power and Energy Systems* 26, 131-142.
- Zhang, P., Wang, H., 2012. Fuzzy wavelet neural networks for city electric energy consumption forecasting. *Energy Procedia* 17, 1332-1338.