

Peningkatan Akurasi Dalam Prakiraan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Data Temperatur

Imaad Al-Mutawakkil*, Dian Yayan Sukma**

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru
28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email : imaad240294@gmail.com

ABSTRACT

Temperature changing has affected to the electrical load consumption. It has considered in the calculation of short-term load forecasting. In this study, ANFIS method was used to forecast short-term load using historical data of electrical load and temperature. From the testing process, the MAPE value has obtained during the proses for daily bunch from Monday to Sunday and Public Holiday is included, i.e. 8.567%; 5.013%; 5.341%; 4.214%; 7.741%; 6.635%; 6.875% and 0.022689%, respectively. The addicting of temperature data buffering has proven that forecasting accuracy is increased.

Keywords : *Load forecasting, Short-term load forecasting, Neural Network, Fuzzy-Inference, ANFIS, MATLAB*

I. PENDAHULUAN

Distribusi listrik kepada konsumen haruslah sesuai dengan kebutuhan, karena energi listrik tidak dapat disimpan dalam kapasitas yang besar. Sehingga listrik yang telah dibangkitkan harus langsung digunakan saat itu juga. Permasalahan akan timbul apabila daya listrik yang dibangkitkan tidak sesuai dengan permintaan daya pada sisi beban. Apabila daya yang dibangkitkan lebih besar daripada permintaan daya pada sisi beban, maka akan terjadi pemborosan energi. Sebaliknya, apabila daya yang dibangkitkan lebih kecil daripada permintaan daya pada sisi beban, maka akan terjadi pemadaman.

Oleh karena itu, dalam operasinya diperlukan adanya strategi dan metode untuk menyesuaikan antara pembangkitan dan permintaan daya. Cara yang paling tepat untuk mengatasi permasalahan tadi adalah dengan cara memprediksi permintaan beban jangka pendek, yaitu prediksi permintaan beban listrik setidaknya untuk beberapa jam kedepan.

Untuk meningkatkan akurasi dan ketepatan dalam proses prakiraan, perlu adanya informasi tambahan dalam proses prakiraan beban selain dari data beban listrik histori

sebagai masukan utamanya. Informasi tambahan itu adalah temperatur, karena temperatur memiliki peran yang signifikan dalam penentuan beban jangka pendek. Letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa menjadi alasan lain pentingnya memasukkan faktor temperatur ke dalam perhitungan perkiraan beban listrik. Dengan tingginya temperatur, maka akan mempengaruhi pola kebiasaan masyarakat dalam menghadapi kenaikan suhu tersebut. Pemakaian AC (*Air Conditioner*) maupun kipas angin sudah menjadi pola kebiasaan yang umum bagi masyarakat berbagai kalangan untuk menyikapi perubahan temperatur tersebut. Hal ini tentunya akan mempengaruhi pula pemakaian listrik di masyarakat.

Pada penelitian ini akan dilakukan prakiraan beban listrik jangka pendek sistem kelistrikan kota Pekanbaru berdasarkan data beban listrik histori dan data temperatur selama tiga bulan (Maret – Mei 2016) menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS).

II. LANDASAN TEORI

2.1 Prakiraan Beban Listrik

Pada proses operasi sistem tenaga listrik harus mempertimbangkan kebutuhan beban terhadap kesiapan setiap unit pembangkit untuk beroperasi. Dari waktu ke waktu kebutuhan akan listrik selalu meningkat. Peningkatan beban listrik tanpa diimbangi dengan penyediaan tenaga listrik yang memadai akan memicu adanya krisis tenaga listrik yang berdampak pada sering terjadinya pemadaman listrik. Bila tidak ada perkiraan energi yang akurat, maka yang akan terjadi adalah kapasitas daya yang dibangkitkan tidak akan cukup untuk memenuhi permintaan daya yang diminta oleh konsumen, sehingga mengakibatkan keterbatasan dukungan catu daya.

Oleh sebab itu, apabila ingin mendapatkan manajemen operasi sistem tenaga listrik yang baik, tentunya harus diawali oleh perencanaan operasi yang baik pula. Salah satu langkah perencanaan yang harus dilakukan adalah prakiraan kebutuhan beban sistem tenaga listrik atau yang dikenal dengan istilah *load forecasting*.

2.2 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan adalah merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran otak manusia tersebut (Sinaga, 2012). Jaringan saraf tiruan (JST) adalah struktur jaringan dimana keseluruhan tingkah laku masukan-keluaran ditentukan oleh sekumpulan parameter yang dimodifikasi. Salah satu struktur jaringan neural adalah multilayer perceptrons (MLP) dimana jenis jaringan ini khusus bertipe lajur maju. MLP telah diterapkan dengan sukses untuk menyelesaikan masalah-masalah yang sulit dan beragam dengan melatihnya menggunakan algoritma propagasi balik dari kesalahan atau *Error Backpropagation* (EBP) (Fariza, 2007).

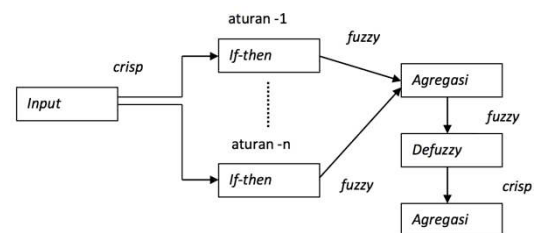
Untuk meningkatkan kemampuan pembelajaran, jaringan saraf tiruan dapat bekerja dengan sistem fuzzy. Sistem fuzzy menggambarkan suatu sistem dengan pengetahuan linguistik yang mudah dimengerti. Sistem inferensi fuzzy dapat ditalar dengan algoritma propagasi balik berdasarkan pasangan data masukan-keluaran menggunakan arsitektur jaringan neural. Dengan cara ini memungkinkan sistem fuzzy dapat belajar.

Gabungan sistem fuzzy dengan jaringan neural ini biasa disebut dengan sistem Neuro Fuzzy (Fariza, 2007).

2.3 Sistem Inferensi Fuzzy

Sistem *fuzzy* atau *Fuzzy Inference System* (FIS) adalah adalah sistem kendali logika *fuzzy* yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya dan pengetahuannya (Effendi, 2009). Sistem Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System* atau FIS) merupakan suatu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy* berbentuk *if-then*, dan penalaran *fuzzy*.

Sistem inferensi *fuzzy* dijelaskan pada Gambar 2.1. Sistem inferensi *fuzzy* menerima *input crisp*. *Input* ini kemudian dikirim ke basis pengetahuan yang berisi n aturan *fuzzy* dalam bentuk *if-then*. *Fire strength* (bobot) akan dicari pada setiap aturan. Apabila jumlah aturan lebih dari satu, maka akan dilakukan agregasi dari semua aturan. Selanjutnya, pada hasil agregasi akan dilakukan *defuzzy* untuk mendapatkan nilai *crisp* sebagai keluaran sistem (Kusumadewi, dkk, 2006).



Gambar 2.1 Proses *fuzzy inference* (Kusumadewi, 2006)

Pada tahapan ini sistem menalar nilai masukan (*input*) untuk menentukan nilai keluaran (*output*) sebagai bentuk pengambil keputusan. Sistem terdiri dari beberapa aturan dimana kesimpulan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antaraturan (Effendi, 2009). Adapun metode inferensi *fuzzy* yang sering digunakan adalah metode Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. Pada proses inferensi, terdapat tiga operator himpunan *fuzzy* dasar, yaitu MAX, MIN dan NOT.

2.4 Metode Inferensi Sugeno

Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno-Kang pada tahun 1985. Secara umum, bentuk model aturan metode inferensi Sugeno menggunakan bentuk aturan IF-THEN. Terdapat dua bentuk model aturan pada metode inferensi Sugeno (Sari, *et al*, 2012), yaitu:

1. Model Fuzzy Sugeno Orde-Nol

Secara umum bentuk model fuzzy Sugeno Orde-Nol adalah :

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot (x_2 \text{ is } A_2) \cdot (x_3 \text{ is } A_3) \cdot \dots \cdot (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z = k \quad (2.10)$$

dengan A_n adalah himpunan fuzzy ke- n sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai *consequent*.

2. Model Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model fuzzy Sugeno Orde-Satu adalah :

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \cdot \dots \cdot (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z = p_1 \cdot x_1 + \dots + p_n \cdot x_n + q \quad (2.11)$$

Dengan A_n adalah himpunan fuzzy ke- n sebagai anteseden, dan p_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i dan q juga adalah konstanta dalam *consequent*.

2.5 Prediksi Menggunakan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems*) merupakan salah satu sistem dalam kelompok *neuro-fuzzy* yaitu sistem *hybrid* dalam *soft computing*. Sistem *hybrid* merupakan padupadan atau gabungan dari setidaknya dua metode *soft computing* dengan tujuan untuk memperoleh algoritma yang lebih sempurna. Sistem *neuro-fuzzy* berdasar pada sistem inferensi fuzzy yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran yang diturunkan dari sistem *neural networks*. Dengan demikian, sistem *neuro-fuzzy* memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh sistem inferensi fuzzy dan sistem *neural networks*. (Buana, S.P., 2011, Sivakumar, R., Balu, K., 2010, Mingzhen, W., et.al, 2007)

Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan jaringan saraf adaptif yang berbasis pada sistem kesimpulan fuzzy (*fuzzy inference system*). Dengan penggunaan suatu prosedur *hybrid learning*. ANFIS dapat membangun suatu mapping *input - output* yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia (pada bentuk aturan fuzzy *if - then*)

dengan fungsi keanggotaan yang tepat.

Sistem *fuzzy inference* yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Takagi-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi.

RULE 1 : IF x is A_1 AND y is B_1 , THEN

$$f_1 = p_1x + q_1y + r_1;$$

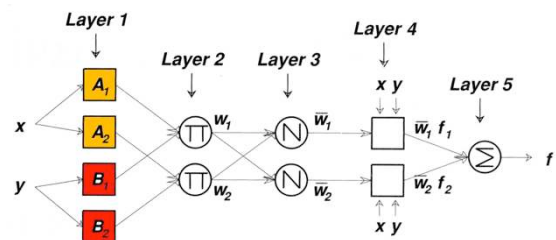
RULE 2 : IF x is A_2 AND y is B_2 , THEN

$$f_2 = p_2x + q_2y + r_2;$$

Dengan x dan y adalah masukan tegas pada *node* ke i , A_i dan B_i adalah label linguistik (rendah, sedang, tinggi, dan lain-lain) yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan yang sesuai, sedangkan p_i , q_i , dan r_i adalah parameter *consequent* ($i = 1$ atau 2) (Rosyadi, 2011).

ANFIS terdiri dari lima lapisan, *Fuzzy Inference System (FIS)* terletak pada lapisan 1, 2, 3 dan 4 dimana FIS adalah sebagai penentu *hidden node* yang terdapat pada sistem *neural network* (Fariza, 2007). Pada lapisan pertama, terdiri dari proses fuzzifikasi dimana data masukan dan target dipetakan dalam derajat keanggotaannya. Pada lapisan kedua dan ketiga, dilakukan proses inferensi untuk menentukan aturan fuzzy menggunakan sistem inferensi Sugeno dimana hasilnya akan diproses pada perhitungan selanjutnya. Selanjutnya pada lapisan keempat dilakukan proses pencarian nilai *consequent* dengan menggunakan LSE (*Least-Squares Estimator*). Dan akhirnya pada lapisan kelima dilakukan proses penjumlahan dari dua keluaran pada lapisan keempat.

ANFIS Lapisan 1

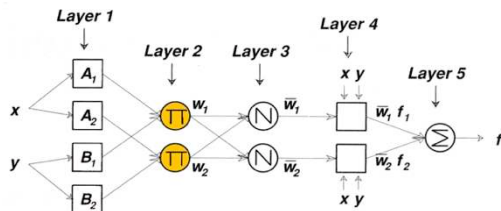


Gambar 2.2 Struktur ANFIS lapisan 1

Seperti terlihat pada gambar 2.2 di atas, lapisan ini merupakan lapisan terluar dari sebuah sistem ANFIS dimana lapisan ini juga disebut dengan lapisan fuzzifikasi, dimana semua simpul pada lapisan ini bersifat adaptif (dapat berubah) dan disimbolkan dengan

bentuk kotak. Setiap *node* *i* dalam lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul $O_{1,i} = \mu_{A_i}(x)$, untuk $i = 1,2$, atau $O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y)$, untuk $i = 3,4$, dimana x atau y adalah input ke *node* *i* dan A_i atau B_i adalah label *linguistic*. $O_{1,i}$ adalah anggota kelas dari himpunan *fuzzy* dan menentukan sejauh mana diberikan masukan x atau y memenuhi akuntifikasi.

ANFIS Lapisan 2

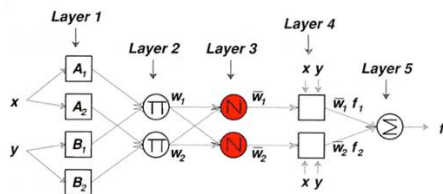


Gambar 2.3 Struktur ANFIS lapisan 2

Setiap *node* *i* pada *layer* kedua berupa *node* tetap yang keluarannya adalah hasil dari masukan seperti yang terlihat pada gambar 2.3 di atas. Operator yang digunakan adalah operator AND. Tiap-tiap *node* merepresentasikan α predikat dari aturan ke-*i*. Keluaran dari *layer* ini disebut dengan *firing strength*.

$$O_{2,i} = W_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), i = 1,2 \quad (1)$$

ANFIS Lapisan 3

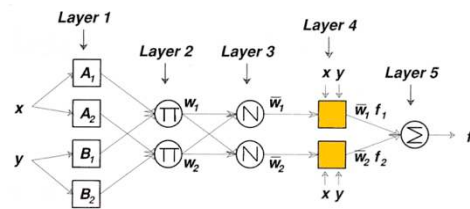


Gambar 2.4 Struktur ANFIS lapisan 3

Tiap-tiap *node* pada lapisan ketiga berupa *node* tetap merupakan hasil penghitungan rasio dari α predikat (\bar{w}), dari aturan ke-*i* terhadap jumlah dari keseluruhan α predikat seperti terlihat pada gambar 2.4 di atas. Dimana hasilnya dinamakan dengan *normalized firing strength*.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2 \quad (2)$$

ANFIS Lapisan 4

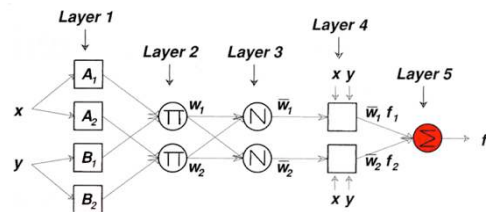


Gambar 2.5 Struktur ANFIS lapisan 4

Seperti terlihat pada gambar 2.5 di atas, setiap *node* *i* dalam lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul. Dengan \bar{w} adalah *normalized firing strength* pada lapisan ketiga dan $\{p_i, q_i, r_i\}$ adalah parameter-parameter pada *node* tersebut yang dinamakan *consequent parameters*.

$$O_{4,i} = \varpi_i f_i = \varpi_i(p_i + q_i + r_i) \quad (3)$$

ANFIS Lapisan 5



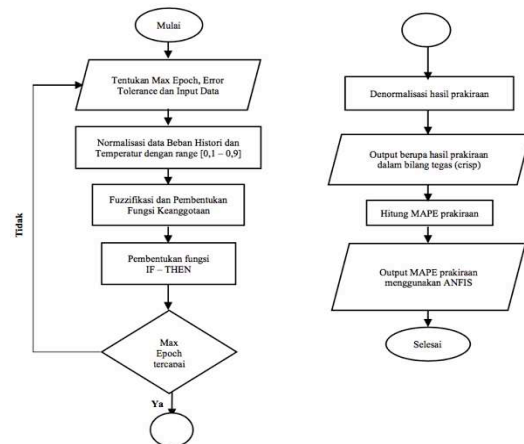
Gambar 2.6 Struktur ANFIS lapisan 5

Seperti terlihat pada gambar 2.6 di atas, satu *node* dalam lapisan ini adalah simpul tetap, yang menghitung keseluruhan penjumlahan dari semua sinyal yang masuk :

$$O_{5,i} = \Sigma_i \varpi_i f_i = \frac{\Sigma_i w_i f_i}{\Sigma_i w_i} \quad (4)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan seperti tertera pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Adapun tahapan-tahapan sistem prakiraan beban listrik jangka pendek yang akan dibangun dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan toleransi kesalahan dan *Max Epoch* yang ingin digunakan
2. Memilih dan mengelompokkan data beban listrik dan temperatur yang akan digunakan untuk prediksi beban listrik.
3. Melakukan normalisasi pada masing-masing data masukan baik data beban listrik histori maupun data temperatur, pada selang 0,1 sampai dengan 0,9 dengan menggunakan persamaan x.
4. Proses fuzzifikasi dan pembentukan fungsi keanggotaan untuk masing-masing masukan
5. Pembentukan aturan *IF - THEN*
6. Proses pelatihan ANFIS, hingga *max epoch* tercapai. Setelah *max epoch* tercapai, maka proses pelatihan akan berhenti.
7. Denormalisasi hasil prakiraan ANFIS
8. Menghitung nilai MAPE prakiraan ANFIS

3.1 Penyisihan Data yang Tidak Valid

Untuk melakukan proses prakiraan, dibutuhkan data dari hari-hari yang *valid*. Dengan ketentuan hari tersebut memiliki rata-rata tingkat perbedaan perharinya lebih kecil daripada rata-rata total tingkat perbedaan untuk hari yang sama. Hal ini bertujuan agar jaringan yang dibangun nantinya dapat meramalkan beban sesuai dengan keadaan normal sebenarnya. Bila terdapat data beban listrik yang kosong (bernilai nol) ataupun memiliki rata-rata tingkat perbedaan perharinya lebih besar dibanding rata-rata total tingkat perbedaan untuk hari yang sama, maka data beban listrik untuk hari tersebut tidak dapat digunakan, karena akan membuat jaringan ANFIS yang dibangun menjadi cacat dan tidak bisa memetakan keadaan sebenarnya di masa yang akan datang.

Kondisi *abnormal* tersebut, biasanya terjadi karena adanya pemadaman listrik bergilir maupun adanya masalah teknis dalam proses pembangkitan daya listrik dari penyedia layanan listrik, sehingga pola pemakaian beban pada hari tersebut menjadi berbeda dari keadaan normal pada hari biasanya.

Contoh untuk Hari Senin

Setelah dilakukan perhitungan rata-rata tingkat perbedaan harian dan total rata-rata tingkat perbedaan untuk hari yang sama, maka hari-hari yang tergolong hari valid untuk hari Senin adalah seperti yang terlihat pada tabel 3.1 di bawah ini.

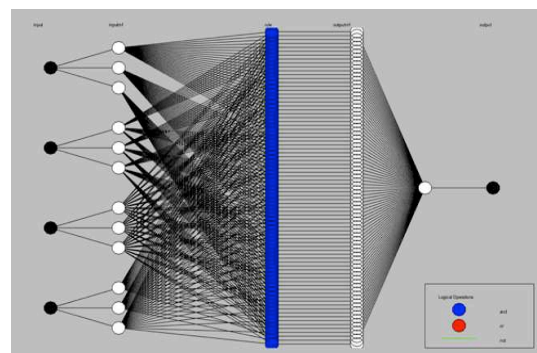
MINGGU KE	MARET		APRIL		MEI		TOTAL RATA-RATA TINGKAT PERBEDAAN
	TANGGAL	TINGKAT PERBEDAAN	TANGGAL	TINGKAT PERBEDAAN	TANGGAL	TINGKAT PERBEDAAN	
1					2	2.74868%	4.59764%
2	7	4.37572%	8	6.69802%	9	6.05041%	
3	14	3.97271%	11	3.87620%	16	4.05657%	
4	21	4.09536%	18	4.16269%	23	1.99337%	
5	28	8.01168%	25	5.17006%	30	4.58978%	

Tabel 3.1 Penyisihan hari yang tidak valid

3.2 Perancangan Sistem ANFIS Menggunakan Toolbox ANFIS pada MATLAB

Seluruh jaringan ANFIS untuk masing-masing hari nantinya akan dibangun dengan parameter sebagai berikut :

1. Tipe Sugeno (Takagi-Sugeno-Kang) orde satu, sehingga keluarannya adalah nilai *linear*.
2. Empat buah masukan yaitu data beban listrik histori dan data temperatur kelompok pertama dan data beban listrik histori dan data temperatur kelompok kedua , sehingga stuktur jaringan ANFIS yang akan dibangun seperti tertera pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Stuktur ANFIS yang akan dibangun

3. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah Segitiga (TriMF), Trapesium (TrapMF) , *Generalized Bell* (GBellMF) dan *Gaussian* (GaussMF) untuk masing-masing jaringan ANFIS, sehingga diketahui fungsi keanggotaan mana yang

- paling baik untuk meramalkan beban di masa yang akan datang.
4. Tiga label linguistik untuk fungsi keanggotaan dari masing-masing masukan. Untuk Temperatur, label linguistiknya adalah 'dingin', 'normal' dan 'panas'. Sedangkan untuk Beban Listrik Histori, label linguistiknya adalah 'sedikit', 'sedang' dan 'banyak'.
 5. 81 *linear terms* untuk *output* fungsi keanggotaan.
 6. 81 *rules* IF – THEN, berdasarkan jumlah input dan jumlah aturan linguistik masing-masing fungsi keanggotaan. Dengan aturan sebagai berikut :
 1. *If* (Temperatur1 *is* Dingin) *and* (BebanHistori1 *is* Sedikit) *and* (Temperatur2 *is* Dingin) *and* (BebanHistori2 *is* Sedikit) *then* (BebanRamalan *is* out1mf1) (1)
 2. *If* (Temperatur1 *is* Dingin) *and* (BebanHistori1 *is* Sedikit) *and* (Temperatur2 *is* Dingin) *and* (BebanHistori2 *is* Sedang) *then* (BebanRamalan *is* out1mf2) (1)
 3. *If* (Temperatur1 *is* Dingin) *and* (BebanHistori1 *is* Sedikit) *and* (Temperatur2 *is* Dingin) *and* (BebanHistori2 *is* Banyak) *then* (BebanRamalan *is* out1mf3) (1)
 4. *If* (Temperatur1 *is* Dingin) *and* (BebanHistori1 *is* Sedikit) *and* (Temperatur2 *is* Normal) *and* (BebanHistori2 *is* Sedikit) *then* (BebanRamalan *is* out1mf4) (1)
 5. *If* (Temperatur1 *is* Dingin) *and* (BebanHistori1 *is* Sedikit) *and* (Temperatur2 *is* Normal) *and* (BebanHistori2 *is* Sedang) *then* (BebanRamalan *is* out1mf5) (1)
 - ...
 - ...
 - ...
 81. *If* (Temperatur1 *is* Panas) *and* (BebanHistori1 *is* Banyak) *and* (Temperatur2 *is* Panas) *and* (BebanHistori2 *is* Banyak) *then* (BebanRamalan *is* out1mf81) (1)
 7. Algoritma pembelajaran *hybrid*, yaitu gabungan antara LSE (*Least-Squares Estimator*) dan EBP (*Error Backpropagation*).

8. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *weighted average* atau dimanakan 'wtaver' pada *toolbox* ANFIS.
9. *Max epoch* yang ditetapkan adalah 100. Sehingga proses *training* akan berhenti apabila nilai *max epoch* sudah tercapai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua prosedur yang dipaparkan pada BAB III dilakukan dan jaringan ANFIS untuk masing-masing hari telah dilatih. Maka dari seluruh proses panjang tersebut, akan didapatkan beberapa keluaran yaitu :

1. Grafik hasil *training* terhadap nilai *error*
2. Pemetaan nilai keluaran ANFIS terhadap nilai *training* dan *testing* data
3. *Rule view*
4. *Surface* atau tampilan 3D dari masukan dan keluaran.

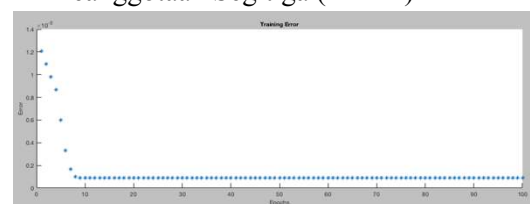
Berdasarkan beberapa keluaran di atas, nilai keluaran dari masing-masing jaringan ANFIS tidak terlihat secara detail, karena yang ditampilkan oleh keluaran-keluaran tersebut adalah pencitraan gambar. Oleh karena itu perlu ditinjau kembali nilai dari masing-masing keluaran ANFIS tersebut agar dapat dibandingkan dengan nilai sebenarnya, dengan tujuan agar selisih antara keluaran ANFIS dengan nilai sebenarnya dapat dihitung. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memberikan *syntax*:

```
Fis=readfis('Jaringan_ANFIS_yang_telah_dilatih');
out=evalfis([Nilai_Temperatur1;Nilai_Beban1;Nilai_Temperatur2;Nilai_Beban2],fis)
```

4.1 Pengujian ANFIS untuk Masing-Masing Hari

4.1.1 Pengujian ANFIS Hari Senin

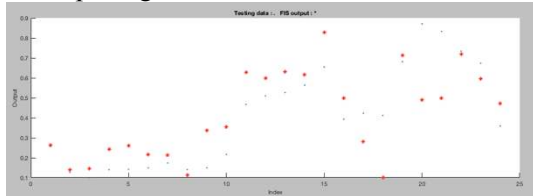
- I. Hasil *Training* Menggunakan Fungsi Keanggotaan Segitiga (TriMF)



Gambar 4.1 Hasil *training* terhadap nilai *error* menggunakan TriMF

Dari gambar 4.1 di atas, dapat dianalisa bahwa dengan menggunakan fungsi keanggotaan Segitiga (TriMF) *error* terkecil yang dapat dicapai dari proses pelatihan adalah $8,9319 \times 10^{-5}$ pada *epoch* ke 9. Jadi walaupun dilakukan penambahan jumlah *epoch* untuk *training*, nilai *error* tersebut tidak akan bisa menjadi lebih kecil lagi, karena demikianlah nilai *error* terkecil yang dapat dicapai.

Untuk melihat hasil pemetaan dari nilai keluaran ANFIS terhadap *testing* data dapat dilihat pada gambar 4.2 di bawah.



Gambar 4.2 Pemetaan hasil keluaran ANFIS terhadap *testing* data

Selanjutnya proses dan hasil yang sama juga diberikan untuk fungsi keanggotaan yang lain : Trapesium, *Generalized Bell*, dan *Gaussian*.

Dengan menggunakan *syntax* yang telah disebutkan tadi, dilakukan percobaan untuk masing-masing fungsi keanggotaan. Selanjutnya akan dihasilkan keluaran dalam bentuk matriks. Dari matriks keluaran tersebut dapat dilakukan perhitungan MAPE antara keluaran ANFIS dengan nilai sebenarnya dari masing-masing fungsi keanggotaan. Semakin kecil nilai MAPE yang didapatkan, maka semakin baik dan akurat jaringan ANFIS yang telah dibangun. Sebaliknya semakin besar nilai MAPE yang didapatkan, maka semakin tidak akurat dan buruk jaringan ANFIS tersebut, dan tentunya tidak dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengoperasian unit pembangkit PT. PLN (Persero).

BEBAN SEBENARNYA	HASIL PERMALAN				DENORMALISASI			
	TRIMF	TRAPMF	GBELLMF	GAUSSMF	TRIMF	TRAPMF	GBELLMF	GAUSSMF
[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
179.468124	0.262672626	-0.110799497	0.34959077	0.324311319	180.5645159	109.9595955	195.8923278	191.9909693
154.636742	0.139159137	-0.002700217	0.342323146	0.30021291	157.0822227	130.3218901	195.3955084	187.4548441
149.701022	0.145783753	0.136373794	0.243809714	0.220778537	158.3344151	156.5607772	176.4607213	172.4006244
157.35392	0.24132983	0.246320364	0.202079667	0.2123431	176.3891066	177.2504209	169.3669928	170.8559199
137.668394	0.260049984	0.193035115	0.210839394	0.20811242	179.8806464	167.2445226	170.6017316	170.0911716
159.05447	0.215584503	0.225566389	0.201518951	0.207689301	171.4966218	173.3788877	168.8443049	170.0078733
163.581334	0.211803019	0.196814677	0.203409882	0.198108072	170.7835358	167.9572282	169.2112509	168.2012345
157.339348	0.111831811	0.12627842	0.170055008	0.178211991	151.951105	154.6352763	164.6827264	164.449729
159.069206	0.335406637	0.295839556	0.279213118	0.279841584	194.0912743	186.6302537	183.4949973	183.6134684
171.685546	0.334680734	0.364191822	0.255881103	0.212955672	197.7275725	199.5192468	179.0936559	171.1888877
218.951914	0.62709994	0.59185337	0.560165835	0.516121273	249.0704047	261.5658885	237.6011331	239.4824168
226.942092	0.597512173	0.557809958	0.542566342	0.53811403	243.5160017	236.0294159	233.1500214	236.000098
230.121832	0.631816287	0.634274085	0.561356445	0.585350585	249.9847291	250.4481919	236.6982835	241.2255064
237.12072	0.615923117	0.492751225	0.548035436	0.458114849	246.9877817	223.761471	196.472665	217.2301496
234.2408	0.32862952	0.43794503	0.78189591	0.760403023	287.741478	216.4154984	278.2881157	274.3725217
264.974552	0.499319406	0.460810882	0.463215998	0.452646717	225.0000216	217.7383539	218.1918947	216.1990334
210.640302	0.280363436	0.512891594	0.471261475	0.435184306	183.7118731	227.5592056	219.7091861	212.9061767
208.556344	0.101520594	0.461867003	0.368472319	0.348848477	149.9934448	217.9378807	199.9049467	196.5305315
209.20921	0.113715729	0.414819584	0.369429111	0.41446336	266.4396794	284.4933444	238.204873	246.512554
205.038006	0.489385366	0.601130647	0.252202943	0.419032665	223.1267769	244.1983911	179.7250697	209.2611686
287.896912	0.498502979	0.799343483	0.721392566	0.675398125	224.8460693	281.5730248	266.857134	238.2405947
209.266196	0.174296253	0.196908088	0.391024414	0.395880262	266.282316	337.6830423	313.8320263	310.1105162
257.931582	0.596984688	0.699412971	0.83641659	0.800571054	243.4166288	262.731319	282.980803	281.8066568
198.643444	0.470822609	0.32892736	0.338950567	0.343119951	219.6264299	192.8695705	194.9292585	197.6572251

Tabel 4.1 Hasil dernormalisasi keluaran ANFIS untuk jaringan Hari Senin

Sedangkan untuk nilai MAPE dapat dilihat dari tabel 4.2 di bawah ini.

JAM	ERROR			
	TRIMF	TRAPMF	GBELLMF	GAUSSMF
0.00	0.006109118	0.387351062	0.091516245	0.069822568
1.00	0.015833758	0.157238775	0.263577503	0.212271331
2.00	0.057670691	0.045822825	0.17875405	0.151632685
3.00	0.121591719	0.127356039	0.062673017	0.086615391
4.00	0.14087955	0.06073588	0.082028727	0.078793991
5.00	0.078225729	0.090059831	0.061550203	0.06886551
6.00	0.044027096	0.026749316	0.034420859	0.028240966
7.00	0.034220575	0.017059126	0.046260459	0.045191372
8.00	0.22018624	0.173281325	0.153571028	0.15413816
9.00	0.151673872	0.162120234	0.04316096	0.002931765
10.00	0.137594096	0.105018376	0.085193232	0.093767177
11.00	0.073031713	0.040042479	0.027376717	0.040309869
12.00	0.086314701	0.08832869	0.028578016	0.048251286
13.00	0.041611976	0.056339442	0.171423463	0.08388373
14.00	0.129407546	0.148777578	0.094626888	0.078651623
15.00	0.097697345	0.062271066	0.044482847	0.054760366
16.00	0.12784082	0.080321778	0.043035889	0.010757081
17.00	0.280801332	0.044982294	0.041268844	0.05756182
18.00	0.023837694	0.097330325	0.081150508	0.048395423
19.00	0.243735477	0.172315478	0.390840956	0.288697848
20.00	0.219004929	0.021958795	0.073080943	0.103010196
21.00	0.011077811	0.25408628	0.172951566	0.151836067
22.00	0.056274432	0.018608567	0.094836627	0.092563519
23.00	0.105631404	0.029066519	0.01869975	0.00496252
MAPE	10.434%	10.280%	10.072%	8.567%

Tabel 4.2 Nilai MAPE dari masing-masing fungsi keanggotaan

Berdasarkan tabel 4.2 di atas, MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan antara lain 10,434% untuk TriMF, 10,280% untuk TrapMF, 10,072% untuk GBellMF, dan 8,567% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan *Gaussian* (GaussMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari senin ini.

Dengan cara dan prosedur yang sama dengan hari senin di atas, jaringan ANFIS untuk hari selasa hingga minggu serta jaringan ANFIS untuk hari besar/libur nasional akan dibentuk. Sehingga didapatkan hasil perbandingan antara keluaran ANFIS dengan nilai sebenarnya untuk masing-masing harinya.

4.1.2 Pengujian ANFIS Hari Selasa

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 7,290% untuk TriMF, 7,559% untuk TrapMF, 5,013% untuk GBellMF, dan 5,821% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan *Generalized Bell* (GBellMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari selasa ini.

4.1.3 Pengujian ANFIS Hari Rabu

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 5,085% untuk TriMF, 5,608% untuk TrapMF, 5,341% untuk GBellMF, dan 5,041% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan

Gaussian (GaussMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Rabu ini.

4.1.4 Pengujian ANFIS Hari Kamis

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 5,017% untuk TriMF, 4,214% untuk TrapMF, 6,201% untuk GBellMF, dan 5,543% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan Trapesium (TrapMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Kamis ini.

4.1.5 Pengujian ANFIS Hari Jum'at

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 7,741% untuk TriMF, 9,327% untuk TrapMF, 8,309% untuk GBellMF, dan 8,404% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan *Generalized Bell* (GBellMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Jum'at ini.

4.1.6 Pengujian ANFIS Hari Sabtu

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 8,054% untuk TriMF, 6,635% untuk TrapMF, 7,163% untuk GBellMF, dan 7,672% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan Trapesium (TrapMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Sabtu ini.

4.1.7 Pengujian ANFIS Hari Minggu

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaan yaitu 7,469% untuk TriMF, 7,829% untuk TrapMF, 6,875% untuk GBellMF, dan 7,405% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan *Generalized Bell* (GBellMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Minggu ini.

4.1.8 Pengujian ANFIS Hari Besar/Libur Nasional

MAPE yang didapatkan dari masing-masing fungsi keanggotaannya yaitu 0,022689% untuk TriMF, 0,022970% untuk TrapMF, 0,022964% untuk GBellMF, dan

0,022724% untuk GaussMF. Bisa disimpulkan bahwa fungsi keanggotaan Segitiga (TriMF) adalah yang paling baik untuk digunakan pada jaringan ANFIS hari Besar/Libur Nasional ini.

4.2 Perbandingan Hasil Prakiraan ANFIS Dengan dan Tanpa Menggunakan Data Temperatur Sebagai Masukan

Setelah didapatkan fungsi keanggotaan mana yang paling baik untuk meramalkan beban listrik jangka pendek Kota Pekanbaru berdasarkan data beban historis dan temperaturnya, selanjutnya adalah melakukan perbandingan nilai MAPE yang dihasilkan dengan atau tanpa memasukkan masukan berupa data temperatur ke dalam proses pelatihan jaringan ANFIS tersebut. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan apakah dengan atau tanpa memasukkan masukan temperatur sebagai tambahan, selain data beban listrik historis sebagai masukan utama, akan berpengaruh kepada nilai MAPE yang dihasilkan dari prakiraan ANFIS.

Percobaan ini akan dilakukan terhadap masing-masing jaringan ANFIS yang telah dibangun, mulai dari hari Senin hingga Minggu serta hari Besar/Libur Nasional.

4.2.1 Percobaan untuk Hari Senin

REAL BEBAN LISTRIK (MW)	HASIL PERAMALAN TRIMF (MW)	DENORMALISASI (MW)	ERROR $\frac{ y - \hat{y} }{y}$
179.468124	0.28777863	185.1099989	0.03143664
154.636742	0.260807668	180.0242758	0.164175302
149.701052	0.234779317	175.1161546	0.169772372
157.26392	0.219463798	172.2281338	0.095153509
157.668394	0.207895543	170.0467279	0.078508657
159.05447	0.212899778	170.9903679	0.075042832
163.581534	0.212944263	170.9987563	0.045342663
157.339348	0.198238917	168.2257946	0.069190871
159.066926	0.240708779	176.234263	0.107925245
171.685546	0.331734969	193.3989142	0.126471731
218.951914	0.602572303	244.4702418	0.116547635
226.942092	0.679030563	258.8878435	0.140766092
230.121832	0.678778225	258.8402605	0.124796627
237.12072	0.724991982	267.5547087	0.128348078
254.2408	0.634680195	250.5247713	0.014616177
204.974552	0.475992546	220.601316	0.076237581
210.640302	0.722085486	267.006636	0.267595201
208.556344	0.48546997	222.3884574	0.066323149
259.25953	0.653823017	254.1345002	0.019767951
295.038006	0.379931585	202.4872668	0.313690905
287.896912	0.719522855	266.523405	0.07424014
269.266196	0.626510479	248.9842222	0.075323134
257.931582	0.497702062	224.6950417	0.128857971
198.643444	0.404880753	207.1918882	0.043034112
MAPE			10.638%

Tabel 4.3 Perbandingan hasil pelatihan ANFIS dengan nilai sebenarnya tanpa menggunakan data temperatur

Dari tabel 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 10,638%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotaan yang

sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 8,567%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa penambahan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Senin tersebut.

Selanjutnya dengan cara yang sama, percobaan akan dilakukan untuk hari Selasa hingga minggu, dan untuk hari besar/libur nasional untuk membuktikan pengaruh penambahan masukan data temperatur ke dalam perhitungan ANFIS terhadap nilai MAPE yang dihasilkan.

4.2.2 Percobaan untuk Hari Selasa

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 12,599%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 5,013%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Selasa tersebut.

4.2.3 Percobaan untuk Hari Rabu

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 10,994%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 5,341%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Rabu tersebut.

4.2.4 Percobaan untuk Hari Kamis

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 6,103%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 4,214%.

Sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Kamis tersebut.

4.2.5 Percobaan untuk Hari Jum'at

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 5,769%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 7,741%.

Dari perbandingan nilai MAPE tersebut, nilai MAPE hasil pelatihan dengan hanya menggunakan data beban lebih kecil dibandingkan dengan menambahkan data temperatur sebagai masukan tambahan. Hal ini bisa terjadi dengan beberapa penyebab seperti keadaan cuaca pada hari tersebut yang tidak menentu sehingga pola pemakaian beban oleh konsumen bisa jadi berbeda dengan hari biasanya, atau juga bisa terjadi karena adanya kesalahan dalam proses pendataan nilai temperatur maupun beban harian.

4.2.6 Percobaan untuk Hari Sabtu

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 5,954%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 6,635%.

Dari perbandingan nilai MAPE tersebut, MAPE hasil pelatihan dengan hanya menggunakan data beban lebih kecil dibandingkan dengan menambahkan data temperatur sebagai masukan tambahan. Hal ini bisa terjadi dengan beberapa penyebab seperti keadaan cuaca pada hari tersebut yang tidak menentu sehingga pola pemakaian beban oleh konsumen bisa jadi berbeda dengan hari biasanya, atau juga bisa terjadi karena adanya kesalahan dalam proses pendataan nilai temperatur maupun beban harian.

4.2.7 Percobaan untuk Hari Minggu

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 7,573%. Sedangkan

pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 6,875%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Minggu tersebut.

4.2.8 Percobaan untuk Hari Besar/Libur Nasional

Nilai MAPE yang dihasilkan oleh pelatihan tanpa menggunakan data temperatur sebagai masukan adalah 1,128%. Sedangkan pelatihan untuk hari yang sama dan fungsi keanggotan yang sama, tetapi dengan menggunakan temperatur sebagai masukan tambahan, menghasilkan nilai MAPE 0,022689%. Sehingga dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam proses pelatihan ANFIS, dapat memperkecil nilai MAPE dari proses prakiraan untuk jaringan hari Besar/Libur Nasional tersebut.

Dari seluruh perbandingan nilai MAPE pelatihan dengan atau tanpa memasukkan temperatur ke dalam perhitungannya di atas, dapat dibuktikan bahwa dengan menambahkan temperatur sebagai masukan tambahan dalam pelatihan jaringan ANFIS untuk meramalkan beban jangka pendek akan membawa pengaruh terhadap nilai MAPE yang dihasilkan. Meskipun pada dua hari yaitu hari Jum'at dan Sabtu teori itu tidak terbukti, hal tersebut dapat diberikan penjelasan bahwa hal ini bisa terjadi dengan beberapa penyebab seperti keadaan cuaca pada hari tersebut yang tidak menentu sehingga pola pemakaian beban oleh konsumen bisa jadi berbeda dengan hari biasanya, atau juga bisa terjadi karena adanya kesalahan dalam proses pendataan nilai temperatur maupun beban harian.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa prakiraan beban jangka pendek menggunakan data beban histori dan temperatur Kota Pekanbaru, dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Pola pemakaian beban listrik untuk Kota Pekanbaru berbeda-beda untuk setiap karakteristik harinya, Hari Kerja, Akhir

Pekan/*Weekend*, dan Hari Besar/Libur Nasional.

2. Dari seluruh proses *training* ANFIS, nilai *error* terkecil yang dapat diraih sudah tercapai sebelum mencapai nilai *max epoch* yang ditentukan.
3. MAPE terkecil untuk masing-masing kelompok hari mulai hari senin hingga hari Minggu, serta Hari Besar/Libur Nasional secara berturut-turut yaitu : 8,567%; 5,013%; 5,341%; 4,214%; 7,741%; 6,635%; 6,875% dan 0,022689%.
4. Fungsi keanggotaan *Generalized Bell* (GBell) lebih unggul dibandingkan fungsi keanggotaan lainnya (TriMF, TrapMF dan GaussMF).
5. Penambahan data temperatur ke dalam prakiraan menggunakan jaringan ANFIS, terbukti dapat meningkatkan akurasi prakiraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Azadeh *et al.* 2010. *An Integrated Intelligent Neuro-Fuzzy Algorithm for Long-Term Electricity Consumption: Cases of Selected EU Countries*, Islamic Azad University, Tafresh Branch, Iran.
- Zhang, B. L., Dong, Z. Y. 2001. *An Adaptive Neural-Wavelet Model for Short Term Load Forecasting*. *Electric Power Systems Research*, 59, 121-129.
- Adel A. Elbaset, Takashi Hiyama. 2009. *Fault Detection and Classification in Transmission Lines Using ANFIS*, The Institute of Electrical Engineers of Japan, Japan.
- Maju Binoto, Erni Yudaningtyas, Wijono. April 2012, *Prakiraan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Di Kabupaten Karanganyar-Jawa Tengah*.
- Budi Setiyono. 2009. ANFIS - *Neural Network dan Logika Kabur*. [Online] Available at : <http://budi.blog.undip.ac.id/files/2009/06/ANFIS.ppt> [Accessed October 31th 2015].
- Sarjon Defit. 2013. *Perkiraan Beban Listrik Jangka Pendek Dengan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Putra Indonesia "YPTK" Padang, Sumatera Barat.