

PERAMALAN BEBAN LISTRIK JANGKA PENDEK DI BALI MENGGUNAKAN PENDEKATAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)*

L K Widyaprawati¹, I P A Mertasana², I G D Arjana²

¹Mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Staff Pengajar Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

Email: wix.widya@gmail.com, mertasana@ee.unud.ac.id, dyanaarjana@ee.unud.ac.id

Abstract

Dalam operasi sistem tenaga listrik diperlukan suatu peramalan beban listrik. Metode yang digunakan dalam meramalkan beban listrik, salah satunya adalah metode ANFIS. Dalam penelitian ini dilakukan peramalan beban listrik jangka pendek yakni peramalan beban listrik mingguan pada sistem kelistrikan Bali. Struktur ANFIS yang dilatih menggunakan model ANFIS Takagi-Sugeno dengan algoritma hybrid, 3 masukan data pelatihan untuk 1 data target, fungsi keanggotaan tipe Gbell dengan 4 fuzzy set, MSE sebesar $1e-04$ dan training epoch sebanyak 540 kali. Hasil peramalan menggunakan metode ANFIS selanjutnya dibandingkan dengan hasil peramalan menggunakan metode ANN. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh MAPE peramalan menggunakan ANFIS sebesar 0,000293275%, sedangkan MAPE peramalan menggunakan ANN sebesar 0,160443776%. Dari hasil perbandingan tersebut, dapat dikatakan bahwa peramalan beban listrik mingguan menggunakan metode ANFIS memiliki tingkat akurasi peramalan yang lebih baik dibandingkan peramalan beban listrik mingguan menggunakan metode ANN.

Kata Kunci : ANFIS, Fungsi Keanggotaan, MAPE (Mean Absolut Percentage Error), MSE (Mean Square Error).

I. PENDAHULUAN

Di era modern seperti saat ini, energi listrik menjadi salah satu kebutuhan dasar dalam kehidupan masyarakat sehingga tingkat kebutuhan pun semakin besar. Besarnya energi listrik yang digunakan pada suatu waktu tidak dapat dihitung secara pasti. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki perkembangan kebutuhan listrik yang cukup besar adalah Bali. Penyaluran daya pada sistem kelistrikan Bali disuplai oleh tiga pembangkit listrik yakni PLTGU Gilimanuk, PLTGU Pamaran, serta PLTD Pesanggaran, serta tambahan suplai dari kabel laut melalui sistem interkoneksi Jawa-Bali, sehingga sistem kelistrikan Bali memiliki total suplai daya sebesar 695,8 MW. Dilihat dari pertumbuhan pembangunan di Bali yang cukup pesat, total suplai daya yang dimiliki Bali saat ini tentu saja tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik di Bali untuk beberapa tahun ke depan, selain itu pembangkit listrik yang ada di Bali umumnya merupakan pembangkit-pembangkit listrik berbahan bakar gas dan minyak bumi yang biasanya memiliki biaya operasional yang lebih mahal dibanding pembangkit jenis lainnya, untuk itu diperlukan suatu perencanaan operasi sistem tenaga listrik yang handal dengan cara melakukan peramalan beban listrik jangka pendek. Peramalan yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan peramalan beban listrik jangka pendek yang bertujuan untuk memperkirakan beban listrik (MW) mingguan.

Telah banyak penelitian terhadap peramalan beban listrik jangka pendek menggunakan pendekatan kecerdasan buatan yang telah dilakukan, diantaranya peramalan beban jangka pendek pada sistem kelistrikan Bali menggunakan jaringan syaraf

tiruan perambatan balik untuk pola hari biasa dan pola hari khusus [1] dan peramalan kebutuhan beban jangka pendek menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* [2]. Namun penggunaan metode jaringan syaraf tiruan dalam hal peramalan beban listrik memiliki beberapa kelemahan yakni dibutuhkan iterasi yang banyak dalam proses *training* untuk memproses *neural network* yang besar, sehingga terkadang hasil yang diperoleh menjadi kurang akurat. Selain dengan jaringan syaraf tiruan, penelitian mengenai peramalan beban listrik jangka pendek telah pula dilakukan menggunakan metode *fuzzy inference system* yakni peramalan beban puncak untuk hari-hari libur menggunakan metode *fuzzy inference system* [8]. Namun metode ini memiliki kelemahan yakni diperlukan suatu metode optimasi dalam menentukan fungsi keanggotaannya untuk memperoleh fungsi keanggotaan yang optimal. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut terlihat bahwa terdapat kelemahan-kelemahan dari masing-masing metode yang digunakan, untuk itu dalam penelitian kali ini akan dilakukan suatu peramalan beban jangka pendek di Bali menggunakan metode peramalan lain yakni dengan gabungan metode dari jaringan syaraf tiruan dan *fuzzy inference system* yaitu menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)* yang diharapkan dapat mengurangi kelemahan dari masing-masing metode tersebut bila digunakan secara terpisah, sehingga peramalan yang dihasilkan pun diharapkan dapat lebih akurat.

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) merupakan metode yang menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk mengimplementasikan sistem inferensi *fuzzy*. Metode ini dipilih karena

metode ANFIS memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh sistem inferensi *fuzzy* dan sistem jaringan syaraf tiruan. Dengan penggunaan metode ANFIS ini diharapkan waktu yang diperlukan untuk meramalkan beban listrik dapat lebih singkat. Dengan demikian dalam penelitian ini akan dilakukan peramalan beban listrik jangka pendek yakni berupa peramalan beban listrik mingguan selama sebulan pada sistem kelistrikan Bali menggunakan pendekatan *neuro-fuzzy* yakni dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS).

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Neuro-Fuzzy

Neuro-Fuzzy merupakan gabungan atau integrasi antara 2 metode yaitu *Artificial Neural Network* (ANN) dengan sistem *Fuzzy*, dimana 2 metode tersebut memiliki karakteristik yang bertolak belakang akan tetapi apabila digabungkan akan menjadi suatu metode yang lebih baik. Perbandingan kedua metode tersebut dapat dilihat pada tabel berikut [5] :

Tabel 1. Perbandingan *Artificial Neural Network* dan *Fuzzy Logic Systems*

Kriteria	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	<i>Fuzzy Logic Systems</i>
Sangat baik untuk masalah dengan informasi kurang presisi dan memiliki kebenaran parsial?	Tidak	Ya
Memiliki kemampuan untuk menjelaskan proses penalaran?	Tidak	Ya
Memiliki kemampuan <i>learning</i> ?	Ya	Tidak

2.2 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam arsitektur jaringan saraf. Keunggulan *fuzzy inference system* adalah dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar dalam bentuk aturan-aturan, namun biasanya dibutuhkan waktu yang lama untuk menentukan fungsi keanggotaannya. Oleh sebab itu dibutuhkan teknik pembelajaran dari jaringan saraf tiruan untuk mengotomatisasi proses tersebut sehingga dapat mengurangi waktu pencarian, hal tersebut menyebabkan metode ANFIS sangat baik diterapkan dalam berbagai bidang.

2.2.1 Arsitektur Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Untuk memudahkan dalam menjelaskan arsitektur *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*

(ANFIS), di sini diasumsikan *fuzzy inference system* hanya mempunyai dua *input*, x_1 dan x_2 , serta satu *output* yang dilambangkan Y . Pada model Sugeno orde satu, himpunan aturan menggunakan kombinasi linier dari *input-input* yang ada yang dapat diekspresikan sebagai :

Rule 1: IF x_1 is A_1 AND x_2 is B_1 THEN $Y_1 = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$
premise *consequent*

Rule 2: IF x_1 is A_2 AND x_2 is B_2 THEN $Y_2 = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$
premise *consequent*

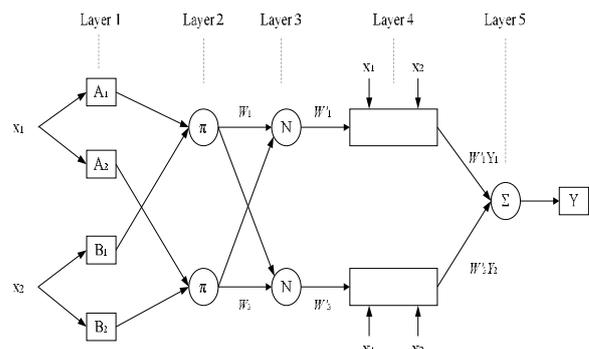
Input : x_1 dan x_2 .

Consequent-nya adalah Y .

Sehingga mekanisme penalaran pada model ini adalah :

$$Y = \frac{w_1 Y_1 + w_2 Y_2}{w_1 + w_2} = \bar{w}_1 + \bar{w}_2 \dots \dots \dots (1)$$

Selanjutnya, arsitektur ANFIS untuk kasus dua *input*, x_1 dan x_2 , serta satu *output* yang dilambangkan Y diilustrasikan oleh gambar 1 berikut [5] :



Gambar 1. Arsitektur ANFIS Matlab

Ada Lima Layer yaitu:

1) Layer 1

Setiap simpul i di lapisan (layer) ini adalah simpul *adaptive* dengan sebuah simpul fungsi:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x_1), \quad i = 1,2 \dots \dots \dots (2)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_i}(x_2), \quad i = 3,4 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana x dan y adalah nilai-nilai *input* untuk *node* tersebut dan A_i atau B_i adalah himpunan *fuzzy*. Jadi, masing-masing *node* pada *layer* 1 berfungsi membangkitkan derajat keanggotaan (bagian *premise*).

2) Layer 2

Setiap simpul di lapisan ini diberi label Π dengan keluarannya berupa perkalian semua sinyal yang masuk, yaitu :

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x_1) \Delta \mu_{B_i}(x_2), \quad i = 1,2 \dots \dots \dots (4)$$

Sehingga :

$$w_1 = \mu_{A1}(x_1) \text{ AND } \mu_{B1}(x_2) \dots\dots\dots (5)$$

$$w_2 = \mu_{A2}(x_1) \text{ AND } \mu_{B2}(x_2) \dots\dots\dots (6)$$

- P_h = Beban aktual
- \hat{P}_h = Beban hasil peramalan
- N = Jumlah data

Masing-masing keluaran simpul menyatakan kekuatan bobot sebuah aturan (*rule*). Umumnya operasi AND digunakan sebagai simpul fungsi di layer ini.

3) Layer 3

Setiap simpul di layer ini diberi notasi *N*. simpul ke-*i* menghitung perbandingan kekuatan pembobotan ke-*i* terhadap jumlah semua bobot :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2 \dots\dots\dots (7)$$

Keluaran lapisan ini disebut normalisasi pembobotan.

4) Layer 4

Setiap simpul *i* di lapisan ini merupakan simpul adaptif dengan sebuah simpul fungsi:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i V_i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \dots\dots\dots (8)$$

Dengan \bar{w}_i adalah bobot yang dinormalkan dari lapisan 3 dan \bar{w}_i , adalah parameter himpunan simpul ini. Parameter-parameter dalam lapisan ini dikenal dengan nama *parameter konsekwen*.

5) Layer 5

Satu *node* tunggal yang dilambangkan Σ pada layer ini berfungsi mengagregasikan seluruh *output* dari layer 4 (yang didefinisikan sebagai penjumlahan dari semua sinyal yang masuk) :

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i V_i = \frac{\sum_i w_i V_i}{\sum_i w_i} \dots\dots\dots (9)$$

2.2.2 Evaluasi Akurasi Peramalan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Untuk mengukur sejauh mana akurasi dari keluaran jaringan ANFIS, diperlukan sebuah perangkat kuantisasi. Untuk menghitung selisih keluaran ANFIS dengan data target pada proses latih digunakan MSE (*Mean Square Error*) berdasarkan persamaan berikut ini :

$$MSE = \sum_{i=1}^p \frac{|aktual - estimasi|^2}{p} \dots\dots\dots (10)$$

dimana p adalah banyaknya pasangan data.

Akurasi peramalan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan kriteria Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang dapat dirumuskan sebagai berikut [4] :

$$MAPE (\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|P_h - \hat{P}_h|}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

Jika nilai MAPE kurang dari 25 %, maka hasil peramalan dapat diterima secara memuaskan [6].

3. METODELOGI PENELITIAN

Peramalan beban listrik yang dibahas dalam penelitian ini merupakan peramalan beban listrik mingguan menggunakan metode ANFIS yang kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan hasil peramalan menggunakan metode ANN. Data yang digunakan merupakan data beban listrik harian pada sistem kelistrikan Bali tanggal 8 Agustus Sampai dengan 27 November 2012, oleh karena peramalan yang dilakukan adalah peramalan mingguan, maka data yang ada tersebut kemudian diolah terlebih dahulu menjadi data beban listrik mingguan. Data yang telah diolah tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian yakni data *training set* dan *validation set* seperti pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Pembagian Data Beban Mingguan

Training Set	Validation Set
8 Agustus – 30 Oktober 2011	31 Oktober-27 November 2011

Data *training set* yang ada kemudian dibagi lagi menjadi data beban mingguan selama sebulan sehingga diperoleh beban mingguan untuk 3 bulan dengan data *validation set* mingguan selama sebulan sehingga diperoleh masukan 3 data pelatihan untuk 1 data target. Dari pasangan data masukan dan target yang ada tersebut kemudian akan dilakukan penentuan jumlah *epoch* dan fungsi keanggotaan yang digunakan. Jumlah *epoch* yang digunakan ditentukan berdasarkan pelatihan menggunakan 3 jumlah *epoch* yang berbeda (sebanyak 530, 540, dan 550 kali) dan untuk fungsi keanggotaan yang digunakan, ditentukan berdasarkan pelatihan menggunakan 3 jenis fungsi keanggotaan yakni tipe Gauss, Segitiga dan Gbell. Error yang dihasilkan dari pelatihan masing-masing jumlah *epoch* dan tipe fungsi keanggotaan tersebut kemudian akan dibandingkan. Pemodelan dengan jumlah *epoch* dan tipe fungsi keanggotaan yang memiliki error pelatihan terkecil yang nantinya akan digunakan sebagai pemodelan peramalan beban listrik mingguan. Ketiga data pelatihan, jumlah *epoch* serta tipe fungsi keanggotaan yang telah ditentukan tersebut yang kemudian akan dilatih untuk mendapatkan 1 data target (1 *output* peramalan beban listrik mingguan). Dalam penelitian ini digunakan bantuan program komputer untuk meramalkan beban listrik mingguan pada sistem kelistrikan Bali. Untuk menghitung error selisih peramalan serta MAPE peramalan digunakan persamaan:

$$Selisih (MW) = \text{Beban Aktual} - \text{Beban Peramalan} \quad (12)$$

$$\text{Error Selisih\%} = \left| \frac{\text{Beban Aktual} - \text{Beban Peramalan}}{\text{Beban Aktual}} \right| \times 100\% \quad (13)$$

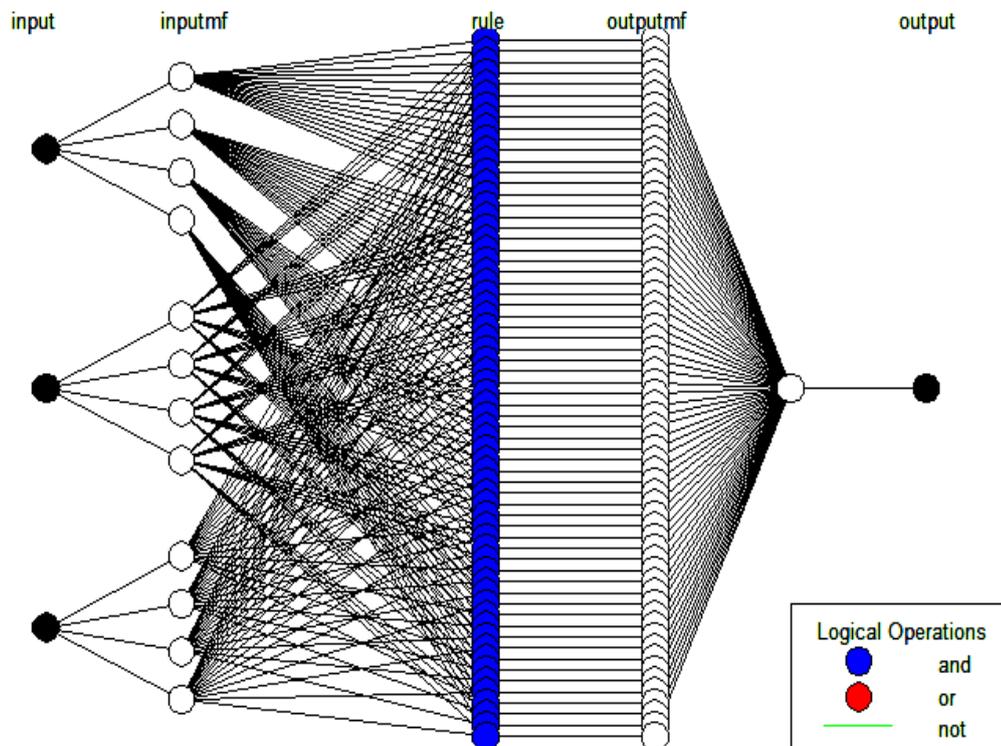
$$\text{MAPE (\%)} = \frac{\sum \text{Error Selisih (\%)}}{\text{Jumlah Data}} \dots\dots\dots (14)$$

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akurasi Peramalan Beban Listrik Mingguan Menggunakan ANFIS

Hasil peramalan beban listrik mingguan menggunakan pemodelan dengan masukan 3 data pelatihan dan 1 data target, MSE sebesar 1e-04, epoch sebanyak 540 kali, serta penggunaan fungsi keanggotaan tipe *Gbell* dengan 4 *fuzzy set* dapat dilihat pada tabel berikut 3.

Selanjutnya dengan menggunakan data masukan yang sama, hasil peramalan ANFIS tersebut akan dibandingkan dengan hasil peramalan menggunakan metode ANN, sehingga diperoleh perbandingan hasil peramalan seperti dalam tabel 4.



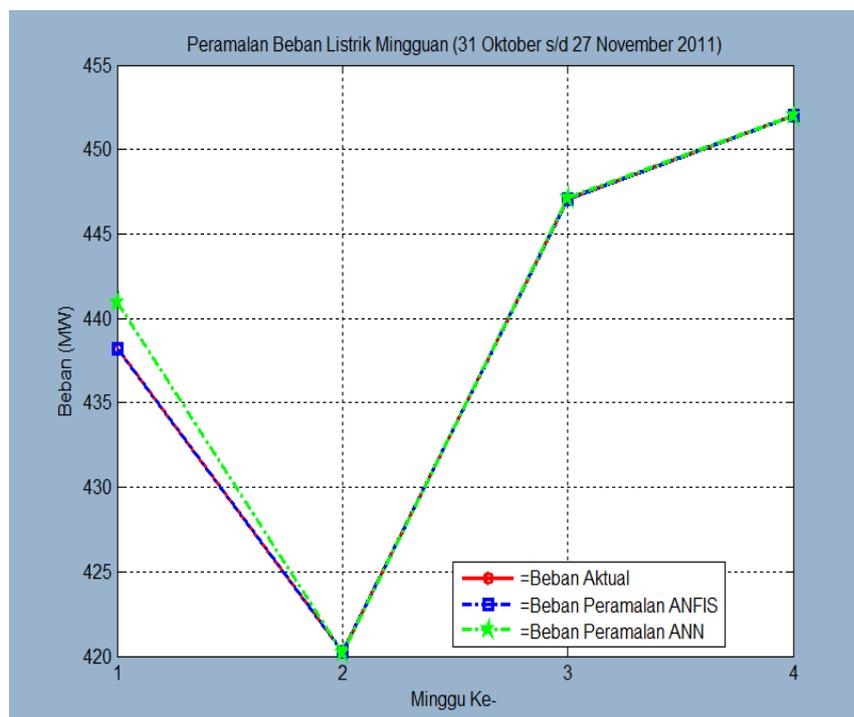
Gambar 2. Struktur ANFIS Peramalan Mingguan

Tabel 3. Hasil Peramalan Beban Listrik Mingguan Menggunakan ANFIS Dengan 3 Data Pelatihan Untuk 1 Data Target

Minggu	Beban Aktual (MW)	Beban Peramalan (MW)	Selisih (MW)	Error Selisih Peramalan (%)
1	438,1917	438,19	0,00166667	0,00038051
2	420,2399	420,24	-0,00011905	0,000028328
3	447,0702	447,07	0,000238095	0,000053257
4	451,9768	451,98	-0,00321492	0,00071162
MAPE (%)				0,000293275

Tabel 4. Perbandingan Hasil Peramalan Beban Listrik Mingguan Menggunakan ANFIS dan ANN

Minggu	Beban Aktual (MW)	Beban Peramalan ANFIS (MW)	Beban Peramalan ANN (MW)	Error Peramalan ANFIS (%)	Error Peramalan ANN (%)
1	438,1917	438,19	440,93	0,00038051	0,624916798
2	420,2399	420,24	420,20	0,000028328	0,009490045
3	447,0702	447,07	447,10	0,000053257	0,006657098
4	451,9768	451,98	451,98	0,00071162	0,000711162
MAPE (%)				0,000293275	0,160443776

**Gambar 3. Perbandingan Beban Listrik Aktual Mingguan Dengan Beban Hasil Peramalan Menggunakan Metode ANFIS dan ANN**

Dari tabel 4 di atas terlihat bahwa akurasi peramalan beban listrik mingguan pada sistem kelistrikan Bali menggunakan metode ANFIS memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan peramalan beban listrik menggunakan metode ANN, hal ini dapat dilihat dari MAPE peramalan yang dihasilkan masing-masing metode tersebut.

5. KESIMPULAN

Akurasi peramalan beban listrik menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) lebih baik dibandingkan dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN), hal ini ditandai dengan MAPE yang dihasilkan dari peramalan beban listrik mingguan menggunakan metode ANFIS

sebesar 0,000293275% sedangkan MAPE peramalan menggunakan metode ANN sebesar 0,160443776%. Selain itu terlihat bahwa MAPE yang dihasilkan kurang dari 25%, sehingga dapat dikatakan hasil peramalan beban listrik mingguan yang telah dilakukan cukup akurat, dengan tingkat akurasi peramalan terbaik dimiliki peramalan beban listrik mingguan menggunakan metode ANFIS. Tingkat akurasi metode ANFIS yang lebih baik dibandingkan metode ANN, disebabkan oleh adanya fungsi keanggotaan yang merupakan bagian dari *fuzzy inference system* yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan terbaik, dengan cara memetakan input data yang ada sehingga hasil yang diperoleh metode ANFIS pun menjadi lebih akurat dibandingkan penggunaan metode ANN sendiri tanpa adanya gabungan dengan metode optimasi lainnya.

Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat memperbaiki kekurangan dan mendapatkan hasil peramalan beban listrik dengan kesalahan yang lebih kecil. Untuk mencapai tujuan tersebut, disarankan agar dalam penelitian selanjutnya dilakukan peramalan beban listrik menggunakan data *time-series* sebagai data pelatihannya dengan membedakan antara beban hari biasa dan hari libur, serta dengan memperhatikan parameter-parameter lain yang mempengaruhi tingkat konsumsi beban listrik seperti temperatur, pertumbuhan ekonomi dan sebagainya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dinar Atika. Peramalan Kebutuhan Beban Jangka Pendek Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*. Semarang : Tugas Akhir Program S1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro; 2007.
- [2] Ismayani, Ika Luzya. Pemakaian Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik Dalam Peramalan Beban Jangka Pendek Sistem Kelistrikan Bali. Jimbaran : Tugas Akhir Program S1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana; 2005.
- [3] Kusumadewi, Sri. *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*, Edisi 2. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2010:377-419.
- [4] Pousinho, V.M.F. Mendes, J.P.S. Catalao. *Neuro-Fuzzy Approach To Forecast Wind Power In Portugal*. International Conference On Renewable Energies And Power Quality (ICREPQ'10). Spain. 2010:1-4.
- [5] Suyanto. *Soft Computing : Membangun Mesin Ber-IQ Tinggi*. Bandung: Penerbit Informatika. 2008 : 147-162.
- [6] Sri Wahyuni, Indah. Penerapan Metode *Exponentially Weighted Quantile Regression* Untuk Peramalan Penjualan Mobil Domestic Di USA. Surabaya : Sistem Informasi FT Institut Teknologi Surabaya; 2010.
- [7] Tomohiro Takagi, M. Sugeno, *Fuzzy Identification Of Systems And Its Application To Modeling And Control*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1985, Vol. 15, No. 1, pp. 116–132.
- [8] Widnya. Peramalan Beban Puncak Untuk Hari-Hari Libur Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*. Jimbaran : Tugas Akhir Program S1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana; 2007.