

PRAKIRAAN BEBAN PUNCAK JANGKA PANJANG PADA SISTEM KELISTRIKAN INDONESIA MENGGUNAKAN ALGORITMA ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM

Arfiansyah Rahman, Ade Gafar Abdullah, Dadang Lukman Hakim

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro
FPTK Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudhi No.207 Bandung
email : rahman_ansa@yahoo.co.id

Diterima : 17 Januari 2012

Disetujui : 20 Maret 2012

Dipublikasikan : September 2012

ABSTRAK

Makalah ini memaparkan hasil penelitian tentang prakiraan beban puncak jangka panjang berbasis kecerdasan buatan menggunakan algoritma *ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)*. Data masukan yang digunakan adalah faktor-faktor utama yang mempengaruhi kenaikan beban listrik dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2008. Hasil prakiraan beban puncak pada akhir tahun 2025 dengan aplikasi *ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)* tidak berbeda jauh dengan prakiraan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN), yaitu masing-masing sebesar 79.134MW dan 79.920 MW, dengan kelajuan rata - rata sekitar 6,93% setiap tahunnya.

Kata kunci: *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*, beban puncak, perkiraan beban jangka panjang,

ABSTRACT

This paper explain about the result of research on long term forecasting of load peak power by using ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) based on the smart technology. The data input that has been used is the data that would be the main factors which can influence the increase graphic of the electric power start year 2000 to 2008. Result of the peak load forecasting in the end of study (2025) by ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) is 79,134MW, meanwhile the load forecasting in the National Electricity General Plan is 79,920 MW by 6,8% the average growth over to 2025 in every year.

Keywords: *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, load peak power, long term load forecasting.*

PENDAHULUAN

Untuk mengetahui jumlah beban puncak listrik jangka panjang di Indonesia, perusahaan listrik negara melakukan prakiraan beban pada jangka waktu diatas satu tahun. Hal ini di gunakan untuk menentukan kapasitas penambahan sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi. Apabila prakiraan yang diperoleh belum sesuai dengan yang diharapkan, maka hal ini dapat dioptimalkan. Apabila kapasitas pembangkit dirasa tidak cukup, maka pemerintah akan merancang strategi agar kebutuhan listrik dimasa mendatang bisa terpenuhi seperti persiapan dana, infrastruktur dan persiapan lainnya [1].

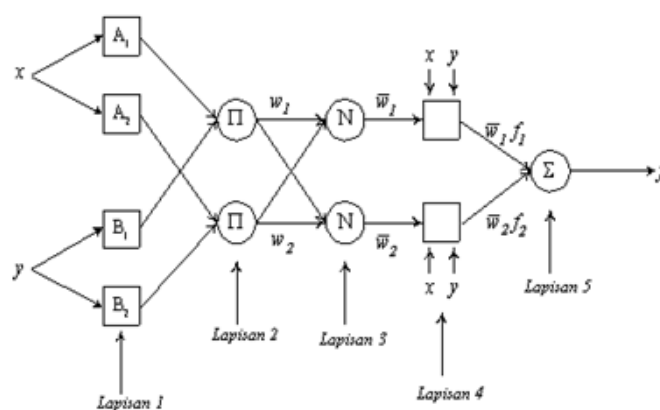
Perkembangan teknologi komputasi saat ini mengarah kepada teknologi kecerdasan buatan sehingga menghasilkan metode alternatif untuk prediksi beban listrik jangka panjang. dapat disimpulkan bahwa beban listrik mempunyai banyak faktor yang kompleks, dan hasil prakiraan yang cukup bagus dapat diperoleh dengan menggunakan metode-metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Dalam makalah ini, dibahas mengenai faktor-faktor ekonomi yang berpengaruh terhadap ramalan beban jangka-panjang, masukan/keluaran, struktur jaringan, data pembelajaran, dan parameter - parameter yang punya peranan penting dalam pembelajaran JST .

Prakiraan beban listrik jangka panjang dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah sebagai berikut: PDB per kapita, populasi penduduk, pelanggan PLN (rumah tangga maupun industri), distribusi listrik (rumah tangga maupun industri), produksi batu bara, ekspor migas, impor migas, produksi minyak mentah dan beban puncak di tahun sebelumnya [2].

JST atau *Artificial Neural Network (ANN)* adalah paradigma pemrosesan suatu informasi yang terinspirasi oleh sistem sel syaraf biologi, sama seperti otak yang memproses suatu informasi [3]. Jaringan syaraf ini diimplementasikan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran. JST dimaksudkan untuk membuat model sistem komputasi yang dapat menirukan cara kerja jaringan syaraf biologis. Seperti halnya dalam penelitian ini penulis mencoba untuk memprediksi beban listrik beban jangka panjang sampai tahun 2025 menggunakan *fuzzy ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)* merupakan salah satu metode prediksi yang menggunakan prinsip jaringan saraf tiruan dan logika *fuzzy*.

Neuro-fuzzy adalah gabungan dari dua sistem yaitu sistem logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan. Sistem *neuro-fuzzy* berdasar pada sistem inferensi *fuzzy* yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran yang diturunkan dari sistem jaringan syaraf tiruan. dengan demikian, sistem *neuro-fuzzy* memiliki semua kelebihan yang dimiliki oleh sistem inferensi fuzzy dan sistem jaringan syaraf tiruan. Dari kemampuannya untuk belajar maka sistem *neuro-fuzzy* sering disebut sebagai ANFIS (*adaptive neuro fuzzy inference systems*) [4].

Salah satu bentuk struktur yang sudah sangat dikenal adalah seperti terlihat pada Gambar 1. Dalam struktur ini, sistem inferensi *fuzzy* yang diterapkan adalah inferensi fuzzy model Takagi-Sugeno-Kang [5].



Gambar 1. Arsitektur ANFIS (*adaptive neuro fuzzy inference systems*)

Seperti terlihat pada Gambar 1, sistem *ANFIS* terdiri dari 5 lapisan, lapisan yang disimbolkan dengan kotak adalah lapisan yang bersifat adaptif. Sedangkan yang disimbolkan dengan lingkaran adalah bersifat tetap. Setiap keluaran dari masing-masing lapisan disimbolkan dengan $O_{i,i}$ dengan i adalah urutan simpul dan l adalah menunjukkan urutan lapisannya. Berikut ini adalah penjelasan untuk setiap lapisan, yaitu:

Lapisan 1, berfungsi untuk membangkitkan derajat keanggotaan :

$$O_{1,i} = \mu_{A_1}(x) \quad i = 1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_1}(y) \quad i = 1,2 \quad (2)$$

dengan x dan y adalah masukan bagi simpul ke- i

$$\mu_{A_1}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (3)$$

dengan $\{a_i, b_i$ dan $c_i\}$ adalah parameter dari fungsi keanggotaan atau disebut sebagai parameter *premise*.

Lapisan 2, berfungsi untuk membangkitkan *firing-strength* dengan mengalikan setiap sinyal masukan.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_1}(x) \mu_{B_1}(y) \quad i = 1,2 \quad (4)$$

Lapisan 3, menormalkan *firing strength*

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad i = 1,2 \quad (5)$$

Lapisan 4, menghitung keluaran kaidah berdasarkan parameter *consequent* $\{p_i, q_i$ dan $r_i\}$

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

Lapisan 5, menghitung sinyal keluaran ANFIS dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

METODE

Prosedur pelaksanaan penelitian ini mengikuti pendekatan kerja sebagai berikut : pendahuluan tentang beban dan faktor pendukung peningkatan jumlah beban di Indonesia di Badan Pusat Statistik dan berbagai sumber dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2008. Faktor - faktor di bawah ini diperkirakan sangat mempengaruhi ramalan beban tenaga listrik dimasa datang, yaitu PDB per kapita, populasi penduduk, pelanggan(rumah tangga) PLN, pelanggan(industri) PLN, distribusi listrik(rumah tangga), distribusi listrik (industri), produksi batu bara, produksi minyak mentah, ekspor minyak dan gas, impor minyak dan gas, beban puncak.

Tabel 1. Data faktor-faktor ekonomi untuk ramalan beban jangka panjang

Data Masukan	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Satuan
PDB per Kapita	195648	6541078	7267470	7942705	10610081	12675545	15029733	17851380	216784	100.000 Rp
Populasi penduduk	203256	206100	212003	215276	217854	219852	222192	225642	228523.3	10 Juta
Pelanggan(Rumah Tangga) PLN	26796675	27905482	28903325	29997554	31095970	32174922	33118262	34684540	36025071	Juta
Pelanggan(Industri) PLN	44337	46021	46824	46818	46520	46475	46366	46818	47536	Juta
Distribusi listrik(Rumah Tangga)	30563319	33361591	34393967	35753158	38591235	41184272	43753223	47324905	50184187	MW
Distribusi listrik (Industri)	34014123	35600196	37180353	36494853	40328206	42448363	43615446	45802511	47968859	MW
Produksi Batu Bara	434368	432588	351949	339100	354351	341202	313037	305137	314221	TON
Produksi Minyak Mentah	67105	71072	105539	113525	128479	149665	162,294	188,663	178 930	BAREL
Export Minyak dan Gas	62124	56320	57158	61058	71584	85659	100798	114100	137020	US \$
Import Minyak dan Gas	33514	30962	31288	32550	46524	57700	61065	74473	129197	US \$
Beban Puncak	20850	21052	21114	21207	21459	22515	24846	25212	25574	MW

Proses adaptasi yang terjadi dalam sistem *ANFIS* dikenal juga dengan pembelajaran. Parameter-parameter *ANFIS* (baik *premise* maupun *consequent*) Selama proses belajar akan diperbaharui menggunakan metode pembelajaran. Metode pembelajaran yang digunakan dalam sistem *ANFIS* adalah algoritma pembelajaran hibrid. Algoritma ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian arah maju dan bagian arah mundur. Pada bagian arah maju, proses adaptasi dilakukan menggunakan metode *RLSE* (*Recursive Least Square Estimator*) dan terjadi pada parameter *consequent*. Metode *RLSE* dapat diterapkan karena parameter konsekuen yang diperbaiki adalah parameter linier.

Metode *RLSE* akan mempercepat proses belajar hibrid. Kemudian setelah parameter konsekuen didapatkan, data masukan dilewatkan jaringan adaptif kembali dan hasil keluaran jaringan adaptif ini dibandingkan dengan keluaran yang sebenarnya. Sedangkan pada bagian arah mundur, proses adaptasi dilakukan menggunakan metode *gradient-descent* dan terjadi pada parameter *premise*. Parameter konsekuen dibuat tetap. Kesalahan yang terjadi antara keluaran jaringan adaptif dan keluaran sebenarnya dipropagasikan balik dengan menggunakan *gradient descent* untuk memperbaiki parameter premis. Pembelajaran ini dikenal sebagai Algoritma *backpropagation-error*. Satu tahap arah pembelajaran maju-mundur dinamakan satu *epoch* [6].

Model *ANFIS* yang akan digunakan untuk proses prediksi adalah sebagai berikut:

- Simulasi peramalan beban dengan JST dilakukan dengan menggunakan program MATLAB 2010 b
- Menggunakan sistem inferensi fuzzy model sugeno orde satu, sehingga bagian dari konsekuen dari aturan jika-maka fuzzy merupakan suatu persamaan linier.
- Bentuk fungsi keanggotaan yang akan digunakan untuk proses pembelajaran adalah *generalized bell*.
- Jumlah fungsi keanggotaan yang ditetapkan ke setiap variabel masukan. Penentuan jumlah aturan menggunakan strategi pembagian grid (*grid partition*), yaitu :

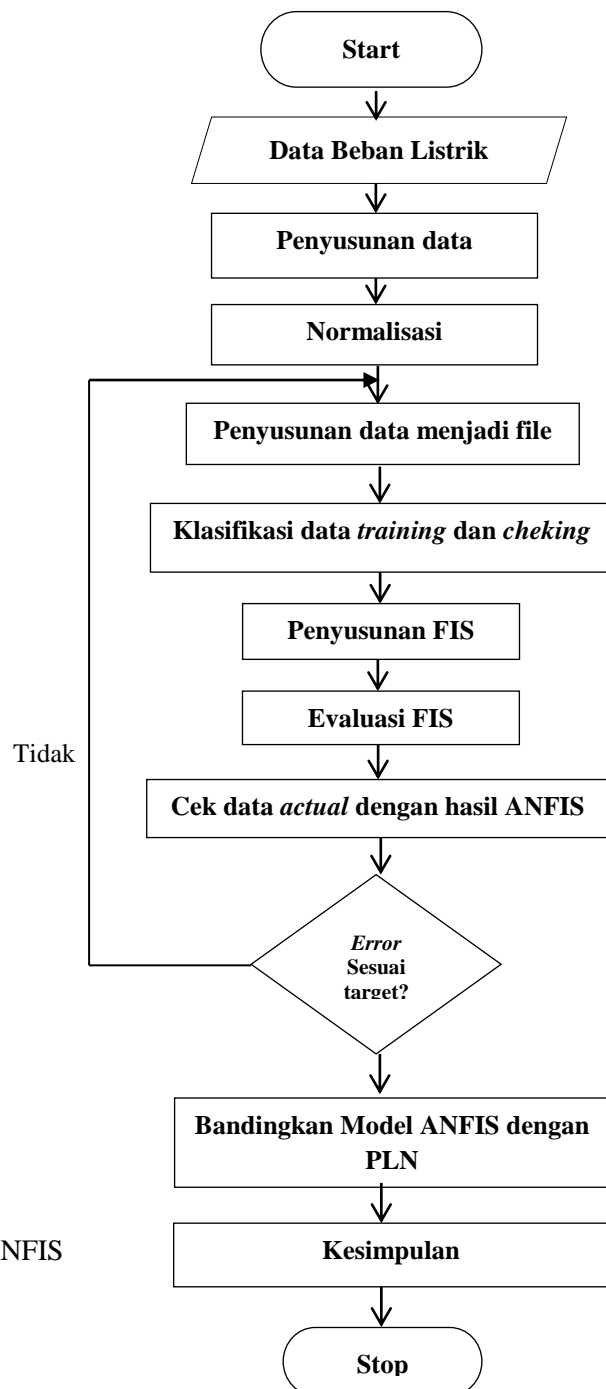
$$\text{Jumlah aturan} = (MF)^{\text{jumlah aturan}}$$

dimana *MF* adalah jumlah fungsi keanggotaan untuk tiap-tiap masukan.

- Untuk melakukan proses pembelajaran, diperlukan pasangan data masukan-keluaran. Pasangan data ini akan dibagi menjadi dua bagian yaitu data untuk proses latihan (data training) dan proses pengecekan (data *checking*). Proses pembelajaran akan berhenti.
- Akan tetapi lebih menguntungkan apabila data yang akan diolah dalam keadaan normal, misalkan pada interval [0 1]. Dengan demikian, kita perlu melakukan normalisasi untuk suatu nilai u , menjadi u normal (\hat{u}) dengan rumus :

$$\hat{U} = \frac{U - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \quad (8)$$

Diagram alir (*flowchart*) untuk prakiraan beban listrik Model ANFIS yang akan digunakan dapat dijelaskan pada gambar 2 sebagai berikut:



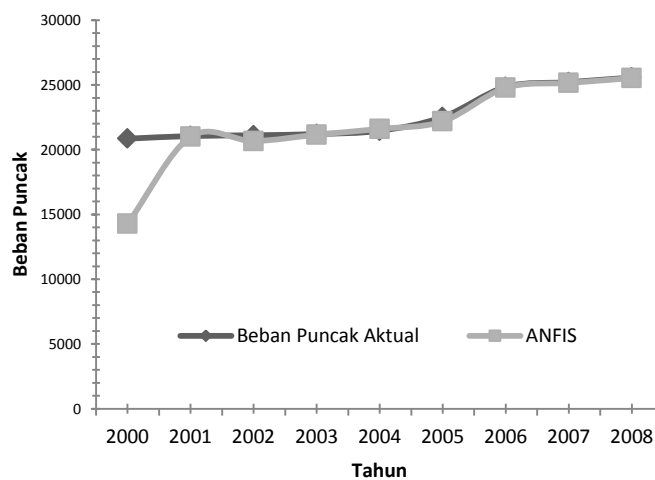
Gambar 2. Flow chart model prakiraan ANFIS

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari penelitian Prakiraan beban puncak jangka panjang yang dilakukan menggunakan metode *ANFIS* (*adaptive neuro fuzzy inference systems*) dan dibandingkan dengan data aktual dari tahun 2000 sampai 2008 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Model prakiraan ANFIS dan Beban puncak aktual

Tahun	Beban Puncak	ANFIS	Error	Error (%)	Rata - rata error
2000	20850	14282	6568	31.50	
2001	21052	20999	53	0.30	
2002	21114	20667	447	2.10	
2003	21207	21154	53	0.20	
2004	21459	21606	147	0.70	4.11%
2005	22515	22185	330	1.50	
2006	24846	24781	65	0.30	
2007	25212	25155	57	0.20	
2008	25574	25523	51	0.20	

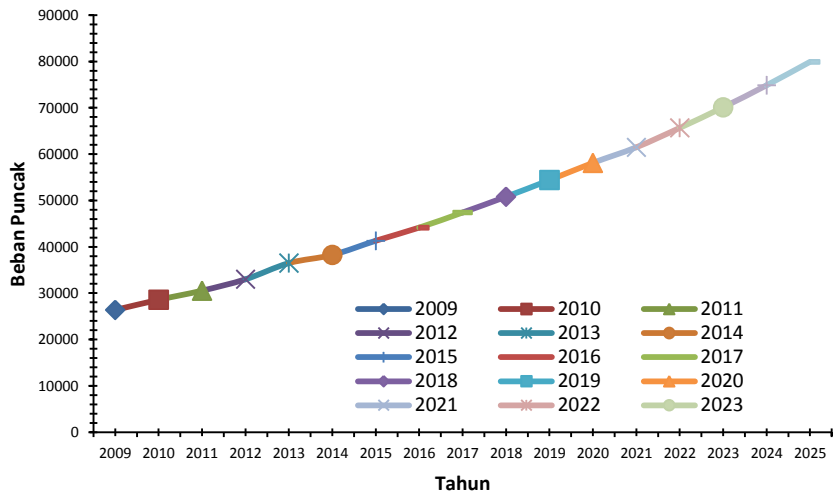


Gambar 3. Grafik perbandingan ANFIS dan Beban puncak aktual

Dalam Tabel 2 dan Gambar 3 tersebut juga disajikan data riil berdasarkan statistik PLN tahun 2000 - 2008 dan hasil prakiraan beban puncak berdasarkan perhitungan beban puncak dengan metode ANFIS diperoleh hasil bahwa prakiraan beban di Indonesia pada awal tahun 2000 sampai akhir tahun 2008 akan mengalami kenaikan rata-rata sekitar 4,10% selama periode tahun 2000 sampai tahun 2008.

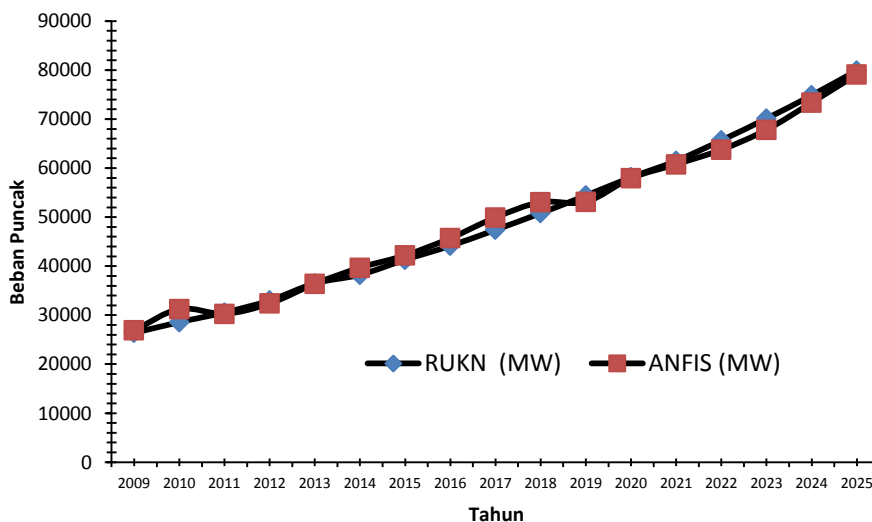
Tabel 3. Prakiraan beban puncak jangka panjang berdasarkan RUKN (Rencana Umum Kelistrikan Negara) tahun 2009 – 2025 [7] .

Tahun	RUKN (MW)
2009	26375
2010	28568
2011	30540
2012	32991
2013	36489
2014	38242
2015	41309
2016	44143
2017	47403
2018	50807
2019	54397
2020	58118
2021	61481
2022	65664
2023	70115
2024	74859
2025	79920



Gambar 4. Grafik beban puncak di Indonesia

Pada Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukkan prakiraan beban puncak di Indonesia pada periode tahun 2009 – 2025. Data setiap tahunnya mengalami peningkatan yang cukup besar pada tahun 2009 (26374 MW) sampai tahun 2025 (79920 MW). Secara nasional dapat diproyeksikan bahwa menurut RUKN, beban puncak diperkirakan pada tahun 2025 adalah 79.920 MW [7] .



Gambar 5. Grafik perbandingan RUKN dan ANFIS

Tabel 4. Perbandingan beban puncak RUKN dan ANFIS

Tahun	RUKN (MW)	ANFIS (MW)	Kelajuan Data ANFIS	%	Rata - rata (%)
2009	26375	26919	1396	5	
2010	28568	31253	4334	16.10015	
2011	30540	30280	-973	-3.1133	
2012	32991	32384	2104	6.948481	
2013	36489	36406	4022	12.41971	
2014	38242	39689	3283	9.017744	
2015	41309	42198	2509	6.321651	
2016	44143	45711	3513	8.325039	
2017	47403	49939	4228	9.249415	6.93 %
2018	50807	53050	3111	6.2296	
2019	54397	53120	70	0.131951	
2020	58118	57960	4840	9.111446	
2021	61481	60790	2830	4.882678	
2022	65664	63760	2970	4.885672	
2023	70115	67830	4070	6.383312	
2024	74859	73380	5550	8.18222	
2025	79920	79134	5754	7.841374	

Pada Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan ramalan prakiraan beban puncak menggunakan metoda ANFIS pada periode tahun 2009 – 2025. Data setiap tahunnya mengalami peningkatan pada tahun 2009 (26919 MW) sampai tahun 2025 (79134 MW). Berdasarkan data ANFIS, ramalan kebutuhan listrik sampai akhir tahun studi (2025) diperkirakan tumbuh 6,93% per tahun.

KESIMPULAN

Hasil ramalan beban puncak pada tahun 2025 dengan metode ANFIS tidak berbeda jauh dengan ramalan dalam Rencana Umum Kelistrikan Nasional (RUKN). Hasil proyeksi dari RUKN maupun ANFIS cukup baik, karena secara umum, perusahaan listrik akan menerima kesalahan ramalan (*error*) sebesar 10% untuk ramalan beban jangka panjang.^[9-10]

Hasil simulasi ANFIS untuk periode 2001-2025, memperlihatkan bahwa laju kenaikan beban tahunan rata-rata sekitar 6,93%. Ini merupakan suatu refleksi keadaan pertumbuhan ekonomi suatu negara yang baik dan stabil. dari hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dan hasil penelitian para peneliti sebelumnya, kita mengharapkan untuk mendapatkan suatu perkiraan yang lebih baik dan lebih akurat untuk tahun-tahun mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurhayati, W. ,2007, Model prakiraan beban listrik jangka pendek menggunakan aplikasi ANFIS (ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM), Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [2] Kuncoro, A., H., 2005. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Listrik Jangka Panjang Pada System Kelistrikan Indonesia. Bekasi: Universitas Indonesia.
- [3] Abdullah, A., G., 2005. Perencanaan dan Pembuatan Perangkat Lunak Untuk Prediksi Beban Listrik Harian Berbasis Logika Fuzzy. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [4] Jang, J., S., R., Sun, C., T., Mizutani,E., 1997 , Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice-Hall International, New Jersey.
- [5] Kusumadewi, S., 2003, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [6] Adi, A., S. , 2000, Studi dan Penerapan Model Neuro-Fuzzy Dalam Prakiraan Cuaca, Skripsi S1 Jurusan Teknik Fisika ITB.
- [7] Anonim, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 25 April 2005.