

Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia

Arief Heru Kuncoro dan Rinaldy Dalimi
Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Indonesia
Email: ariefher@yahoo.com, rinaldy@eng.ui.ac.id

Abstrak

Studi tentang peramalan beban puncak tenaga listrik dalam sistem kelistrikan di Indonesia telah dilakukan dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) - Propagasi Balik, dengan periode studi 2001- 2025. Ramalan beban puncak listrik jangka panjang sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor ekonomi. Dalam studi ini dipilih data ekonomi yang diperkirakan sangat mempengaruhi ramalan beban tenaga listrik jangka panjang, yang dalam hal ini menjadi masukan JST, yaitu: Produk Domestik Bruto (PDB) per-kapita, Populasi, Jumlah Rumah Tangga, Rasio Elektrifikasi, Jumlah Polusi CO₂, Harga Minyak Mentah Rata-rata, Harga Batubara Rata-rata, Pemakaian Energi Final, Kebutuhan Pemakaian Energi Final Sektor Industri, dan Harga Listrik Rata-rata. Data yang dipergunakan untuk pembelajaran adalah data sebenarnya (actual data), mulai tahun 1990 sampai dengan 2000. Hasil ramalan beban puncak pada akhir tahun studi (2025) dengan metode JST tidak berbeda jauh dengan ramalan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN), yaitu masing-masing sebesar 85.584 MW dan 79.920 MW (terjadi perbedaan sekitar 6,6%). Menurut perhitungan dengan metode JST diperoleh hasil bahwa prakiraan beban puncak di Indonesia pada tahun 2005, 2010, 2015, 2020 dan 2025 adalah masing-masing 16.516 MW, 24.482 MW, 36.157 MW, 56.060 MW dan 85.584 MW.

Kata kunci: Ramalan beban puncak, Jaringan syaraf tiruan, Pembelajaran dan Faktor-faktor ekonomi.

Abstract

It has been studied the forecasting of electric power peak load in the Indonesian electric system by using Artificial Neural Network (ANN) Back Propagation method, with the study period is 2000 - 2025. The long-range forecasting of electric peak load is influenced by economic factors. In this study, it's selected the economic data which is estimated very influence to forecasting, which in this case become input of ANN, i.e.: Gross of Domestic Product (GDP) per-capita, Population, Amount of Households, Electrification Ratio, Amount of CO₂ Pollution, Crude Oil Price, Coal Price, Usage of Final Energy, Usage of Final Energy on Industrial Sector, and Average Electric Charges. Data used for study are actual data, start year 1990 up to 2000. Result of the peak load forecasting in the end of study (2025) by using ANN is 85,584 MW, meanwhile the load forecasting in the National Electricity General Plan (NEGP) is 79,920 MW (the difference of both is about 6.6%). Based on ANN approach is obtained results that the peak load forecasting in Indonesia in the year 2005, 2010, 2015, 2020 and 2025 are 16,516 MW, 24,482 MW, 36,157 MW, 56,060 MW and 85,584 MW respectively.

Keywords: Peak load forecasting, Artificial neural network, Training and Economic factors.

1. Pendahuluan

Permintaan tenaga listrik di suatu negara secara kontinu akan mengalami kenaikan, sejalan dengan pembangunan dan kemajuan negara tersebut.

Setiap negara atau perusahaan listrik, harus tahu secara tepat jumlah permintaan

kebutuhan energi listrik maksimum yang harus disediakan sampai pada periode tertentu. Namun untuk jangka panjang, baik meramal jumlah yang tepat kebutuhan tenaga maupun persiapan infrastruktur untuk suplai tenaga adalah cukup sulit, karena: sulitnya meramal permintaan beban puncak dengan tepat, beberapa data untuk

meramal jangka panjang tidak tersedia, sulitnya menyimpan energi listrik saat ini, diperlukan waktu yang cukup lama dan dana yang besar untuk membangun pembangkit listrik baru dan fasilitas transmisi, dan seterusnya.

Berdasarkan studi referensi, dapat disimpulkan bahwa beban listrik mempunyai banyak faktor yang kompleks, mempunyai karakteristik-karakteristik non-linear, dan hasil ramalan yang cukup bagus bisa diperoleh dengan menggunakan metode-metode tradisional. Namun, Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan metode yang bagus serta cocok yang dapat menemukan hubungan non-linear antara beban dan faktor-faktor ekonomi yang bervariasi dan faktor-faktor lainnya, serta dapat melakukan penyesuaian terhadap perubahan-perubahan yang terjadi. JST, khususnya metode *feed-forward* dan *feed-backward* dari propagasi balik, dilaporkan para ahli mempunyai kemampuan meramal dengan baik^[1].

Sejauh ini, kebanyakan JST telah diterapkan untuk ramalan beban jangka-pendek, dari beberapa menit sampai 24 jam. Hanya beberapa peneliti yang menggunakan JST untuk meramal beban listrik jangka-menengah dan jangka-panjang^[1]. Karena periode ramalan beban jangka-panjang berbeda dari satu negara dengan negara lainnya dan bahkan antara perusahaan satu dengan lainnya, maka membandingkan diantara mereka adalah sulit.

Sebagaimana diketahui ramalan beban listrik jangka-pendek, kondisi cuaca sangat mempengaruhi beban puncak, namun untuk ramalan beban jangka-panjang, faktor-faktor ekonomi sangat memainkan peranan penting untuk beban listrik dimasa mendatang. 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.

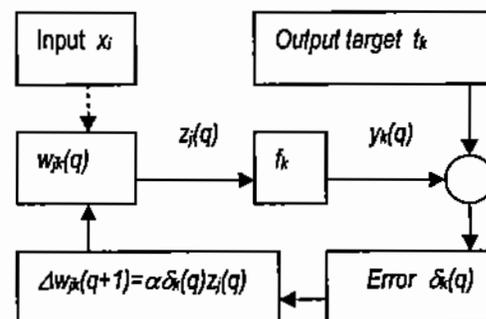
2. Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

JST atau *Artificial Neural Network (ANN)* adalah bagian dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence, AI*) yang merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah tiruan atau buatan dimaksudkan karena jaringan syaraf ini diimplementasikan dengan 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.

Model JST yang digunakan dalam penelitian untuk peramalan beban jangka-panjang ini adalah Propagasi Balik (*Back Propagation, BP*).

2.1. Struktur Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik

Keunggulan yang utama dari sistem jaringan syaraf tiruan adalah kemampuan untuk "belajar" dari contoh yang diberikan. Algoritma pembelajaran yang digunakan adalah algoritma propagasi balik. Pada algoritma ini digunakan sinyal referensi dari luar (sebagai pengajar) dibandingkan dengan sinyal keluaran JST, hasilnya berupa sinyal kesalahan (*error*).

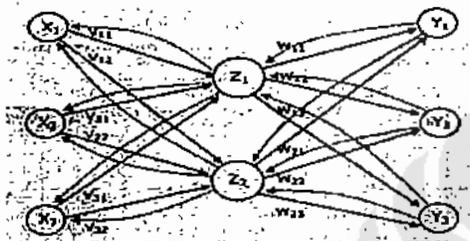


Gambar 1.
Blok diagram ilustrasi algoritma pembelajaran propagasi balik.

Keterangan:

- x_i sinyal masukan pembelajaran.
- w_{jk} bobot koneksi antara sel j ke sel k .
- z_j sinyal keluaran unit tersembunyi.
- f_k fungsi aktivasi.
- y_k sinyal keluaran pembelajaran.
- t_k sinyal keluaran target (referensi).
- δ_k sinyal kesalahan (*error*).
- α konstanta laju pembelajaran.
- q iterasi ke- q .

Dasar algoritma ini adalah memodifikasi bobot interkoneksi w_{jk} pada jaringan sehingga sinyal kesalahan mendekati nol (lihat Gambar 1 dan 2).



Gambar 2. Ilustrasi arsitektur JST propagasi balik^[2].

2.2. Algoritma Pelatihan Propagasi Balik

Algoritma pelatihan propagasi balik adalah sbb.^[2,3], (lihat Gambar 1, 2 dan 3):

- Inisialisasi bobot.
 - Kerjakan langkah-langkah berikut selama kondisi berhenti bernilai FALSE:
1. Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran, kerjakan:
 - Feed-forward:*
 - a. Tiap-tiap unit masukan (X_i , $i=1,2,3,\dots,n$) menerima sinyal masukan x_i (berupa 10 parameter data masukan, lihat Tabel 1), dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi).
 - b. Tiap-tiap unit tersembunyi (Z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan sinyal-sinyal masukan terbobot:

$$z_in_j = v_{oj} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (1)$$

Gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal keluaran-nya:

$$z_j = f(z_in_j) \quad (2)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit output).

- c. Tiap-tiap unit keluaran (Y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) menjumlahkan sinyal-sinyal masukan terbobot:

$$y_in_k = w_{ok} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (3)$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal keluaran-nya:

$$y_k = f(y_in_k) \quad (4)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit output).

Propagasi Balik:

- d. Tiap-tiap unit keluaran (Y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) menerima target referensi (berupa data target beban puncak, lihat Tabel 1), untuk dihitung informasi *error*-nya:

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_in_k) \quad (5)$$

kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{jk}):

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \quad (6)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{ok}):

$$\Delta w_{ok} = \alpha \delta_k \quad (7)$$

kirimkan δ_k ini ke unit-unit yang ada di lapisan bawahnya.

- e. Tiap-tiap unit tersembunyi (Z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan delta masukan-nya (dari unit-unit yang berada pada lapisan atasnya):

$$\delta_in_j = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (8)$$

kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi error:

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (9)$$

kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{ij}):

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \quad (10)$$

hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{oj}):

$$\Delta v_{oj} = \alpha \delta_j \quad (11)$$

- f. Tiap-tiap unit keluaran (Y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) memperbaiki bias dan bobotnya ($j=1,2,3,\dots,p$):

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \quad (12)$$

Tiap-tiap unit tersembunyi (Z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) memperbaiki bias dan bobotnya ($i=0,1,2,3,\dots,n$):

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \quad (13)$$

2. Tes kondisi berhenti.

3. Faktor-Faktor Penting Yang Berpengaruh Dalam Ramalan

Melalui suatu investigasi yang cermat dan teliti pada pemilihan parameter yang terkait dengan faktor-faktor ekonomi untuk ramalan beban jangka panjang, faktor-faktor di bawah ini diperkirakan sangat mempengaruhi ramalan beban tenaga listrik dimasa datang, yaitu (lihat Tabel 1 dan Gambar 3):

1. Produk Domestik Bruto (PDB)/Kapita.
2. Jumlah Populasi.
3. Jumlah Rumah Tangga (*Household*).
4. Rasio Elektrifikasi.
5. Jumlah Polusi CO₂.
6. Harga Minyak Mentah Rata-rata.

7. Harga Batubara Rata-rata.
8. Jumlah Pemakaian Energi Final.
9. Jumlah Kebutuhan Pemakaian Energi Final Sektor Industri.
10. Harga Listrik Rata-rata.

4. Simulasi Peramalan Dengan JST

Simulasi peramalan beban dengan JST dilakukan dengan menggunakan program MATLAB7 melalui langkah-langkah sbb.:

- a. Menyusun *Training Set Data* (TSD). TSD disusun sebagaimana tersaji dalam Tabel 1^[4-7].
- b. Membuat Jaringan (*Network*). Disain JST dibuat dengan 4 buah lapisan, dimana pada lapisan pertama, kedua, ketiga dan ke-empat masing-masing terdapat 10, 75, 5 dan 1 *neuron* (lihat Gambar 3).
- c. Melakukan Pembelajaran Jaringan.
- d. Melakukan simulasi peramalan beban menggunakan JST dengan masukan baru, dimana masukan baru tersebut merupakan data proyeksi dari 10 faktor penting yang berpengaruh dalam ramalan mulai tahun 2001 sampai dengan 2025, dari berbagai sumber data^[4,5,7,8,9,10].
- e. Diperolehnya hasil keluaran peramalan beban tenaga listrik tahun 2001-2025.

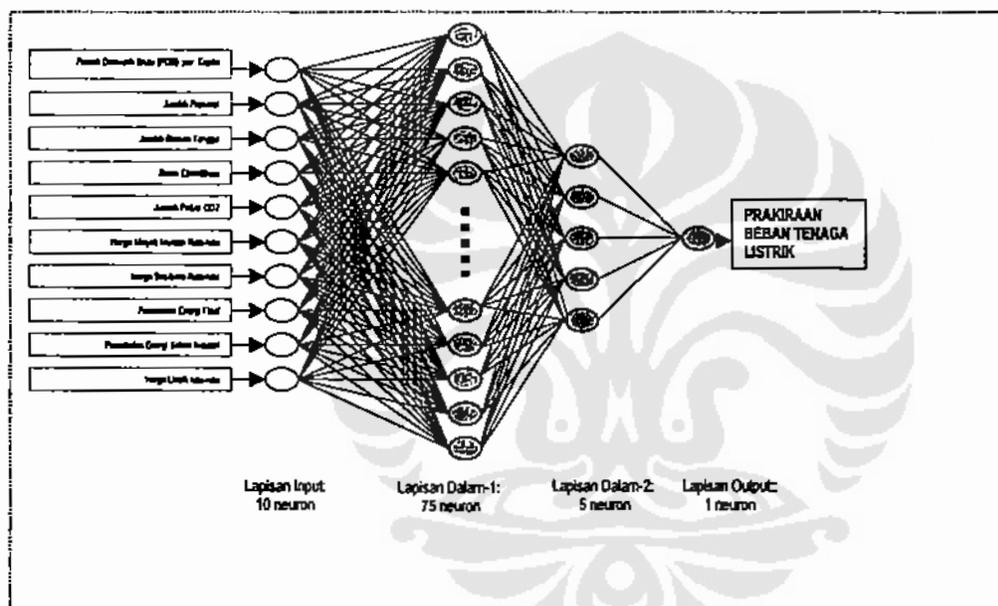
Selama pembelajaran dalam simulasi, JST terus merubah nilai bobot (*weight*) sampai nilai *error* yang dihasilkan kurang atau sama dengan 10^{-6} . Pada *epoch* ke 3278, JST telah melampaui target *error*, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.

5. Hasil-Hasil Simulasi

Hasil simulasi dari penelitian ramalan beban puncak jangka panjang yang dilakukan untuk tahun 2001-2025 dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 1.
Data masukan dan data target untuk pembelajaran program JST^[4-7].

		Satuan	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
A	DATA MASUKAN:												
1	POB per Kapita	100.000 Rp	14,6870	15,7769	16,6853	17,5545	18,7334	20,0074	21,3244	21,6800	18,5522	18,6931	18,5648
2	Populasi Penduduk	10 Juta	17,9248	18,1763	18,4278	18,6794	18,9309	19,1825	19,4340	19,6857	20,2873	20,3047	20,3256
3	Jumlah Rumah Tangga	Juta	39,6950	40,8150	41,8440	42,9130	44,0600	45,6530	47,1950	48,2810	49,3830	50,3430	51,5130
4	Rasio Elektrifikasi	%	25,3300	27,0400	28,6000	30,8300	32,2600	42,1900	48,9600	51,7600	51,1300	51,7500	52,0000
5	Jumlah Polusi CO2	10 Juta Ton	10,5700	11,5740	12,4590	12,9230	14,3420	15,3460	18,0530	18,3480	18,3010	19,5080	21,1390
6	Harga Minyak Mentah Rata-rata	US\$/barrel	22,3100	19,4700	18,7900	17,2500	15,8700	17,1100	20,1600	19,0400	12,4700	17,5200	28,3900
7	Harga Batubara Rata-rata	US\$/Ton	38,9988	33,7036	32,2134	31,5415	34,5025	30,8564	23,6075	10,9850	13,4441	19,6514	16,3868
8	Pemakaian Energi Final	10 Juta SBM	22,7672	24,5318	26,9006	29,2752	30,4749	33,0488	35,6732	37,7240	36,9514	38,9717	42,1279
9	Pemakaian Energi Final Industri	10 Juta SBM	8,5295	7,2970	8,6691	9,6709	10,7596	12,0123	12,5674	12,6307	12,6873	13,5756	15,9286
10	Harga Listrik Rata-rata	cent US\$/kWh	6,1667	6,2546	6,5562	6,8251	6,9968	7,0720	7,0881	2,9572	2,6042	3,0677	2,9527
B	DATA TARGET:												
1	Beban Puncak (GWe) PLN	GWe	5,8981	6,1296	6,5392	7,4090	8,6587	9,8960	11,3270	12,8180	12,9070	14,3158	15,3200



Gambar 3.
Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang digunakan untuk ramalan beban jangka panjang.

Dalam tabel dan gambar tersebut juga disajikan Data Riil berdasarkan Statistik PLN tahun 2001-2003 dan hasil ramalan beban puncak dalam Rencana Umum Kelistrikan Nasional (RUKN) tahun 2005-2025 dari Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DJLPE-DESDM).

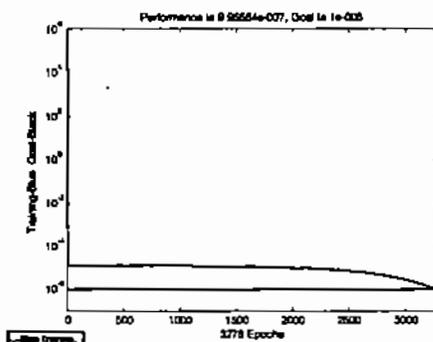
Berdasarkan perhitungan ramalan beban puncak dengan metode JST diperoleh hasil bahwa prakiraan beban di Indonesia pada awal tahun studi (2001) sampai akhir tahun

studi (2025) akan mengalami kenaikan yang cukup besar yaitu dari 17.098 MW (pada tahun 2001), menjadi 85.584 MW (pada tahun 2025), (lihat Tabel 2).

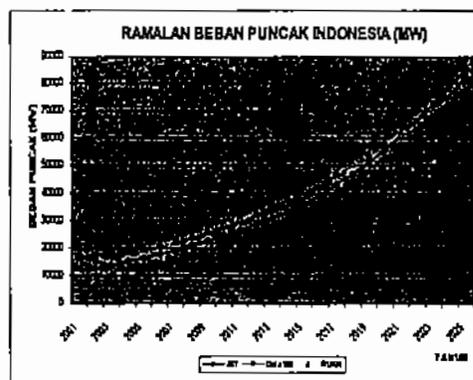
Dengan demikian, beban akan meningkat dengan laju kenaikan beban tahunan rata-rata sekitar 7,1% selama periode tahun studi 2001-2025.

Berdasarkan RUKN, ramalan kebutuhan listrik secara nasional sampai akhir tahun studi (2025) diperkirakan tumbuh 6,8% per tahun. Konsumsi/kebutuhan tenaga listrik pada tahun 2025

diharapkan mencapai 450 TWH. Secara nasional dapat diproyeksikan bahwa menurut RUKN, beban puncak diperkirakan pada tahun 2025 adalah 79.920 MW^[11].



Gambar 4. Grafik penurunan error JST sejak awal training sampai tercapainya target error.



Gambar 5. Ramalan perkiraan beban puncak di Indonesia tahun 2001-2025.

Tabel 2. Ramalan beban puncak di Indonesia (MW)

Tahun	JST	Data Riil ^[7]	RUKN ^[11]
2001	17098	16314	
2002	15365	17160	
2003	13692	17949	
2004	15226		
2005	16516		19942
2006	17854		21354
2007	19333		22902
2008	20890		24432
2009	22567		26375
2010	24482		28568
2011	26472		30540
2012	28580		32991
2013	30936		36489
2014	33443		38242
2015	36157		41309
2016	39557		44143
2017	43277		47403
2018	47228		50807
2019	51510		54397
2020	56060		58118
2021	61188		61481
2022	66714		65664
2023	72637		70115
2024	78884		74859
2025	85584		79920

Note: Beban puncak riil tahun 2000: 15320 MW.

Tabel 3. Laju kenaikan rata-rata beban tahunan dengan metode JST.

Tahun	Kenaikan Tenaga (MW)	Laju kenaikan Tahunan Rata-rata
2001-2005	1196	2,1%
2006-2010	7966	8,2%
2011-2015	11675	8,1%
2016-2020	19903	9,2%
2021-2025	29523	8,8%

Sedangkan menurut proyeksi JST diperkirakan beban puncak pada tahun 2025 adalah 85.584 MW, dengan laju pertumbuhan tahunan rata-rata 7,1%.

Dengan demikian terjadi perbedaan proyeksi beban puncak pada tahun 2025 antara JST dan RUKN sebesar 5.664 MW (perbedaannya sekitar 6,6%).

6. Kesimpulan

Hasil ramalan beban puncak pada tahun 2025 dengan metode JST tidak berbeda jauh dengan ramalan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN), yaitu masing-masing sebesar 85.584 MW dan 79.920 MW (perbedaannya sekitar 6,6%).

Hasil proyeksi dari RUKN maupun JST cukup baik, karena secara umum, perusahaan listrik akan menerima kesalahan ramalan (*error*) sebesar 10% untuk ramalan beban jangka panjang^[1].

Hasil simulasi JST untuk periode studi 2001-2025, memperlihatkan bahwa laju kenaikan beban tahunan rata-rata sekitar 7,1%. Ini merupakan suatu refleksi keadaan pertumbuhan ekonomi suatu negara yang baik dan stabil.

Berdasarkan perhitungan ramalan dengan metode JST diperoleh hasil bahwa prakiraan beban tenaga listrik di Indonesia pada tahun 2005, 2010, 2015, 2020 dan 2025 adalah masing-masing 16.516 MW, 24.482 MW, 36.157 MW, 56.060 MW dan 85.584 MW.

Dari hasil simulasi JST dapat diketahui pula bahwa beban akan meningkat dengan laju kenaikan beban tahunan rata-rata sekitar 2,1% untuk periode tahun 2001-2005; 8,2% untuk periode 2006-2010; 8,1% untuk periode 2011-2015; 9,2% untuk periode 2016-2020; dan kemudian menjadi 8,8% untuk periode 2021-2025 (Table 3).

Dengan mempertimbangkan hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dan juga pertimbangan hasil-hasil dari penelitian para peneliti sebelumnya, kita mengharapkan untuk mendapatkan suatu ramalan perkiraan yang lebih baik dan lebih akurat untuk tahun-tahun mendatang.

Daftar Acuan

1. H. Iwamiya, and B. Kermanshahi, *Long-term Load Forecasting using Neural Nets*, Department of Electronics & Information Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan.
2. S. Kusumadewi, *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
3. L.V. Fausett, *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice-Hall, 1994.
4. Anonim, *Laporan Perekonomian Indonesia 2002*, Biro Pusat Statistik (BPS), Jakarta, Indonesia, 2002.
5. Anonim, *Prakiraan Energi Indonesia 2010*, Indonesia's Energy Outlook 2010, Pusat Informasi Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), EAPO, Jakarta, 2002.
6. Anonim, *Statistik PLN 1999/90 sampai dengan 1993/1994*, Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat, Dinas Informasi & Statistik PLN, Jakarta, 1990-1994.
7. Anonim, *Statistik PLN 1994 sampai dengan 2003*, PT. PLN (Persero), Jakarta, 1995-2004.
8. Anonim, *Buku Pegangan Statistik Ekonomi Energi Indonesia 2002*, Pusat Informasi Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), EAPO, Jakarta, 2002.
9. Anonim, *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia*, Indonesia's Team and International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002.
10. Anonim, *Energy Prices, Annual Energy Outlook 2004 with Projections to 2025*, source: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo>.
11. Anonim, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 25 April 2005.