



UNIVERSITAS INDONESIA

**MODEL PERAMALAN POLA BEBAN
JANGKA PANJANG SISTEM KETENAGALISTRIKAN
JAWA-MADURA-BALI MENGGUNAKAN
METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN UNTUK
ANALISIS KEANDALAN DALAM PERENCANAAN
PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN**

RINGKASAN DISERTASI

**Untuk memperoleh gelar Doktor dalam bidang
Ilmu Teknik Elektro yang dipertahankan di hadapan
Sidang Terbuka Senat Akademik Universitas Indonesia
di bawah Pimpinan Rektor Universitas Indonesia
Prof. Dr. Der. Soz. Gumilar Rusliwa Somantri
Pada hari Rabu, tanggal 23 Juli 2008, pukul 14.00 WIB**

Arief Heru Kuncoro

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

Promotor:
Prof. Dr. Ir. Zuhail, MSc.EE.
Guru Besar Tetap FTUI

Ko-Promotor:
Prof. Dr. Ir. Rinaldy Dalimi
Guru Besar Tetap FTUI

Panitia Penguji:

- 1. Prof. Dr. Ir. Zuhail, MSc.EE.**
- 2. Prof. Dr. Ir. Rinaldy Dalimi**
- 3. Prof. Dr. Ir. Sardy Sar**
- 4. Dr. Ir. Uno Bintang Sudibyo**
- 5. Dr. Ir. Rudy Setiabudi**
- 6. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., MT.**
- 7. Dr. Ing. Eko Adhi Setiawan, MT.**

DAFTAR ISI

	Halaman
Latar Belakang	1
Jaringan Syaraf Tiruan (JST)	2
Model Peramalan Beban Menggunakan Metode JST	4
Model Representasi Pola Kurva Lama Beban (KLB)	16
Proyeksi Kurva Lama Beban (KLB)	20
Aplikasi Model untuk Optimasi dan Analisis Keandalan	23
Kesimpulan	27
Daftar Acuan	29
Ucapan Terima Kasih	31
Riwayat Hidup	33

ABSTRAK

Pola beban sistem tenaga listrik yaitu pola permintaan beban puncak dan kurva lama beban (KLB) sangat berpengaruh dalam perencanaan pengembangan sistem pembangkitan jangka panjang. Pola beban tersebut mempengaruhi: nilai total biaya kumulatif pengembangan sistem, konfigurasi optimum variabel kandidat pembangkit, total tambahan kapasitas pembangkit terpasang, jumlah energi yang diproduksi, dan keandalan sistem (indeks LOLP (Loss Of Load Probability) & ENS (Energy Not Served)).

KLB merupakan parameter yang sangat penting untuk analisis sistem ketenagalistrikan, seperti estimasi biaya operasi sistem pembangkitan, prediksi jumlah energi yang diproduksi, dan untuk perhitungan tingkat keandalan. Dalam disertasi ini telah dikembangkan model peramalan beban puncak jangka panjang dan model KLB dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Model yang dikembangkan mampu melakukan komputasi secara paralel melalui pembelajaran dari pola-pola yang diajarkan, sehingga mampu menemukan hubungan non-linear antara beban dan faktor-faktor ekonomi, populasi, konsumsi energi listrik dan faktor-faktor lainnya, serta dapat melakukan penyesuaian terhadap perubahan-perubahan yang terjadi.

Model tersebut diaplikasikan pada sistem ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali (Jamali), dan hasil output peramalan beban puncak dan KLB-nya digunakan sebagai masukan dalam optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan dengan program WASP (Wien Automatic System Planning). Selanjutnya dilakukan analisis keandalan sistem berdasarkan hasil optimasi.

Untuk mengetahui keakuratan model yang dikembangkan, maka output hasil dari model yang dikembangkan dibandingkan dengan model lain. Hasil ramalan beban puncak pada tahun 2025 dengan metode JST tidak berbeda jauh dengan model ekonometrik Simple E yang digunakan untuk Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (Simple E-RUKN), yaitu masing-masing sebesar 57.030 MW dan 59.107 MW (perbedaannya sekitar 3,58%).

Berdasarkan metode JST, laju pertumbuhan beban tahunan rata-rata sekitar 7,1% selama periode tahun studi 2006-2025, sementara itu menurut Simple E-RUKN laju pertumbuhan sekitar 7,3% per tahun.

Model KLB berdasarkan JST yang dikembangkan, lebih mendekati KLB-Aktual, dibandingkan model KLB berdasarkan Snyder. Untuk proyeksi KLB berdasarkan metode JST, hasilnya cukup bagus.

LATAR BELAKANG

Setiap 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 kebutuhan tenaga listrik dengan tepat maupun merencanakan persiapan infrastruktur untuk suplai tenaga adalah cukup sulit, karena: sulitnya meramal permintaan beban puncak dengan tepat, beberapa data untuk peramalan beban tenaga listrik 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 sebagainya.

Dalam suatu sistem ketenagalistrikan, sangat penting dilakukan suatu perencanaan yang menyeluruh (komprehensif), yang meliputi antara lain: ramalan proyeksi beban tenaga listrik jangka panjang, optimasi perencanaan pengembangan pembangkitan untuk memenuhi permintaan energi listrik di masa depan, dan perencanaan pengembangan transmisi dan distribusi.

Dalam penelitian ini, digunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) (*Artificial Neural Network*, ANN) untuk pemodelan pola beban tenaga listrik, yaitu model untuk peramalan beban tenaga listrik jangka panjang, representasi model Kurva Lama Beban (KLB) atau *Load Duration Curve* (LDC), dan model proyeksi KLB, didukung dengan program WASP (*Wien Automatic System Planning*) untuk optimasi dan analisis keandalan dalam perencanaan pengembangan pembangkitan pada sistem ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali (Jamali).

Metode 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].

Sedangkan untuk optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan digunakan program WASP (*Wien Automatic*

System Planning Package). Program WASP menggunakan simulasi probabilitas untuk mengestimasi keandalan produksi sistem pembangkit serta memakai program dinamik untuk menentukan biaya pengembangan yang optimal (optimasi dievaluasi berdasarkan biaya keseluruhan total minimum). Tujuan utama dari program WASP adalah untuk melakukan optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan guna memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sesuai kebutuhan, pada waktu yang tepat, pada tingkat keselamatan dan keandalan yang diinginkan dengan harga pemakaian listrik semurah mungkin [2].

Dalam penelitian disertasi ini, program WASP juga digunakan untuk melakukan uji kasus pengaruh penggunaan berbagai bentuk pola KLB (berdasarkan representasi Data Aktual, metode JST, metode Regresi, dan metode Snyder). Disamping itu juga dilakukan penelitian tentang aplikasi proyeksi KLB dengan metode hibrid JST-Snyder. Dari hasil penelitian yang dilakukan kemudian dianalisis tentang hasil biaya pengembangan sistem pembangkitan, konfigurasi tambahan pembangkit kandidat yang optimum, energi (GWh) yang dihasilkan dalam optimasi, dan keandalan sistem dengan indeks LOLP (*Loss Of Load Probability*) dan ENS (*Energy Not Serve*).

JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST)

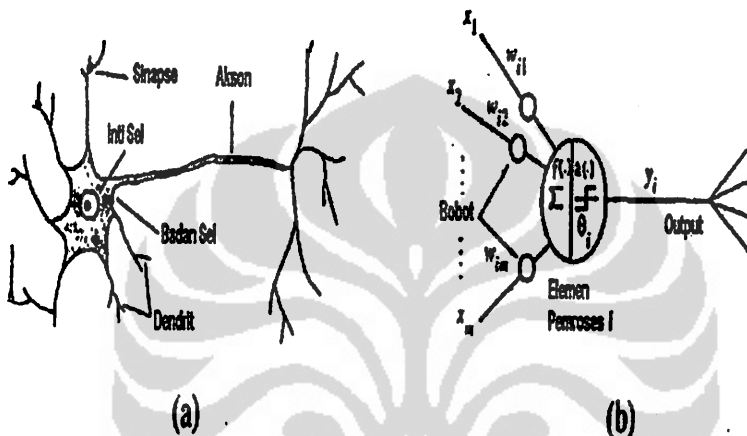
JST adalah suatu model pendekatan atau metode untuk memecahkan permasalahan dengan menirukan cara kerja (aktivitas) otak manusia, sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan, memanggil kembali dan mengolah informasi, serta melakukan proses pembelajaran, dan memberikan output solusi optimal berdasarkan pembelajaran pola informasi atau data yang diberikan.

JST merupakan suatu sistem pemroses informasi yang mempunyai karakteristik sebagaimana jaringan syaraf biologis, yang telah dikembangkan sebagai generalisasi model matematis dari otak manusia berdasarkan pada asumsi-asumsi sbb. [3] [4]:

- a. Pengolahan informasi terjadi pada neuron-neuron.
- b. Sinyal-sinyal antar neuron melalui link-link koneksi.

- c. Setiap link koneksi mempunyai bobot terkait.
- d. Setiap neuron menerapkan suatu fungsi aktivasi terhadap input jaringan (jumlah sinyal-sinyal input terbobot) untuk menentukan sinyal output.

Pada Gambar 1(b) diilustrasikan suatu model matematis sederhana berdasarkan model sel syaraf (neuron) biologis yang dibuat oleh McCulloch dan Pitts.



Gambar 1. (a). Model jaringan syaraf biologis, dan (b). Model matematis sederhana jaringan syaraf tiruan (JST) [5].

JST adalah struktur pemroses informasi terdistribusi paralel, dengan karakteristik [5] sbb.:

- a. Merupakan model matematis yang terinspirasi jaringan syaraf biologis.
- b. Terdiri dari sejumlah elemen pengolahan (EP) yang terinterkoneksi.
- c. Koneksi-koneksi tersebut membawa (bobot) pengetahuan.
- d. Elemen pengolahan (EP) secara dinamis dapat merespon stimulus input, dan respon tersebut tergantung pada informasi lokal sebelumnya; sehingga sinyal input sampai di EP melalui koneksi yang terkait dan bobotnya.

- e. JST mempunyai kemampuan untuk belajar, memanggil kembali (*recall*) dan generalisasi dari data pembelajaran dengan menentukan atau menyesuaikan bobot koneksi.
- f. Perilaku kolektif JST menunjukkan kekuatan komputasi, dan tidak ada neuron tunggal membawa informasi khusus (namun terdistribusi).

Dengan karakteristik tersebut, maka JST juga disebut sebagai: model pemroses terdistribusi paralel (*parallel distributed processing models*), model koneksionis (*connectionist models*), sistem pengorganisasi sendiri (*self-organizing systems*), atau sistem komputasi syaraf (*neuro-computing systems*),

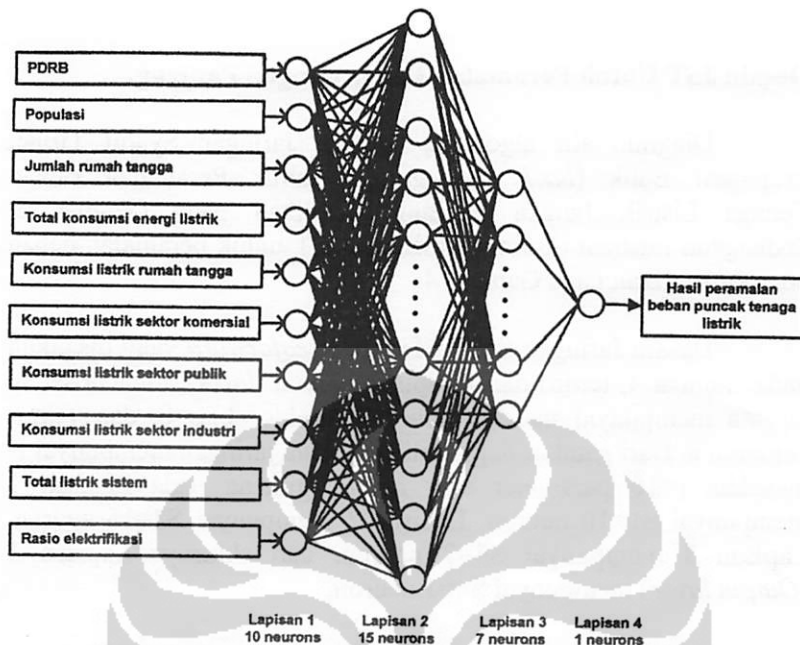
MODEL PERAMALAN POLA BEBAN JANGKA PANJANG MENGGUNAKAN METODE JST

Dalam penelitian ini digunakan Metode JST untuk pemodelan pola beban tenaga listrik. Ada 3 macam pemodelan pola beban yang diteliti, yaitu:

- a. Model peramalan pola beban puncak tenaga listrik jangka panjang pada sistem ketenagalistrikan,
- b. Model pola kurva lama beban (KLB), dan
- c. Model proyeksi pola KLB.

Rancangan Model

Dalam studi ini, variasi jenis-jenis Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dianalisis untuk menentukan model yang paling sesuai digunakan untuk ramalan beban puncak tenaga listrik jangka panjang. Aspek-aspek penting yang dipertimbangkan antara lain arsitektur jaringan dan metode pembelajaran (*training*). Hasil studi memperlihatkan bahwa model JST *Feed-forward Back Propagation* adalah model yang paling sesuai untuk tujuan peramalan beban puncak tahunan sampai tahun 2025 (disain model JST yang diusulkan lihat Gambar 2).



Gambar 2. Model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang didesain untuk ramalan beban jangka panjang.

Rancangan Penelitian

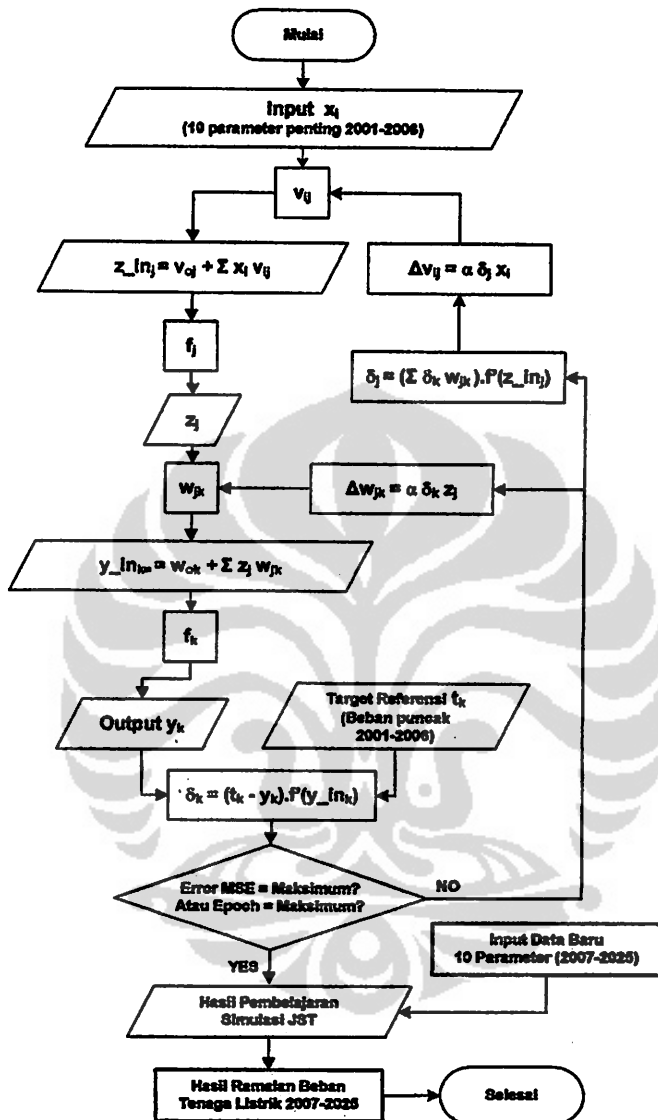
Pertama-tama adalah menentukan faktor-faktor (parameter) yang diperkirakan sangat mempengaruhi ramalan beban tenaga listrik di masa datang, yaitu:

- Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).
- Jumlah populasi.
- Jumlah rumah tangga (*household*).
- Total konsumsi energi listrik.
- Konsumsi listrik sektor rumah tangga.
- Konsumsi listrik sektor komersial.
- Konsumsi listrik sektor publik.
- Konsumsi listrik sektor industri.
- Total energi listrik sistem ketenagalistrikan Jamali.
- Rasio Elektrifikasi.

Desain JST Untuk Peramalan Beban Jangka Panjang.

Diagram alir algoritma Metode Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik (*back propagation*) untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang, disajikan pada Gambar 3. Sedangkan ilustrasi desain simplifikasi JST untuk peramalan beban puncak disajikan pada Gambar 4.

Desain Jaringan Syaraf Tiruan *Feedforward* yang disajikan pada Gambar 4, terdiri dari 4 lapisan neuron (*layer*), dimana setiap lapisan mempunyai matriks bobot W , vektor bias b , dan vektor keluaran a . Dari gambar dapat dilihat bahwa jaringan mempunyai R masukan (=10 parameter unit input), dimana pada Lapisan 1 mempunyai $S_1=10$ neuron, Lapisan 2 mempunyai $S_2=15$ neuron, Lapisan 3 mempunyai $S_3=7$ neuron, dan akhirnya Lapisan 4 (*Output layer*) mempunyai $S_4=1$ neuron.



Gambar 3. Diagram alir algoritma pembelajaran JST propagasi balik untuk peramalan beban tenaga listrik jangka panjang.

Keterangan:

x_i	sinyal input pelatihan, berupa data historis 10 parameter penting yang mempengaruhi peramalan beban jangka panjang tahun 2001-2006.
v_{ij}	bobot koneksi antara sel i ke sel j .
z_{in_j}	sinyal output unit tersembunyi sebelum ter-aktivasi.
f	fungsi aktivasi.
z_j	sinyal output unit tersembunyi setelah ter-aktivasi.
w_{jk}	bobot koneksi antara sel j ke sel k .
y_{in_k}	sinyal output pelatihan sebelum ter-aktivasi.
y_k	sinyal output pelatihan setelah ter-aktivasi.
t_k	sinyal output target (referensi), berupa data historis beban puncak tenaga listrik, selama 6 tahun mulai 2001-2006.
δ	sinyal kesalahan (<i>error</i>).
α	konstanta laju pembelajaran = η ($10^{-3} < \alpha < 10$), default=0,01 [5].
Δ	koreksi bobot.

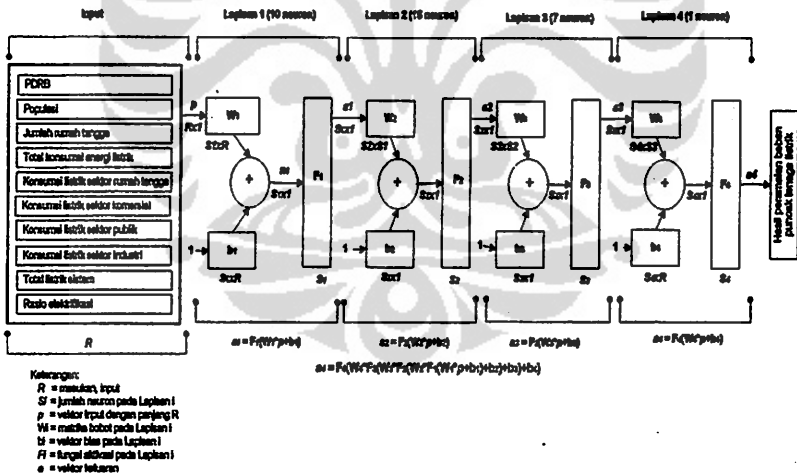
Simulasi JST Untuk Peramalan Beban Jangka Panjang.

Simulasi JST untuk peramalan beban puncak jangka panjang dilakukan dengan menggunakan program MATLAB7 melalui langkah-langkah sbb.:

- a. Menyusun *Training Set Data* (TSD).
TSD disusun berasal dari berbagai macam sumber data sekunder, antara lain dari: Biro Pusat Statistik (BPS), PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Persero), Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), International Atomic Energy Agency (IAEA), dll. [6] [7] [8] [9][10] [11] [12].
- b. Membuat Jaringan (*Network*).

Disain JST dibuat dengan 4 buah *layer*, dimana pada *layer* pertama, kedua, ketiga dan ke-empat masing-masing terdapat 10, 15, 7 dan 1 *neuron*.

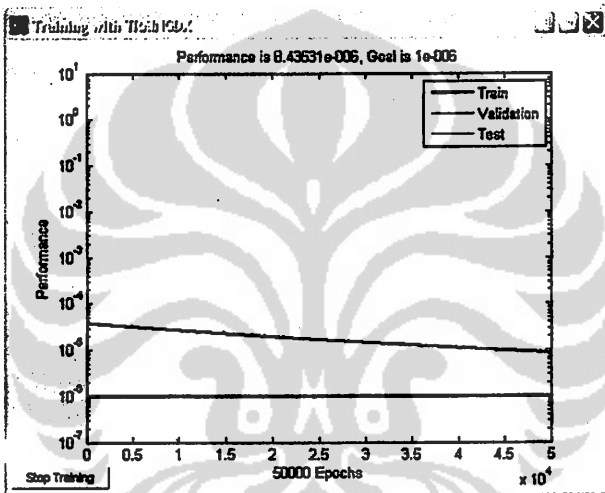
- c. Melakukan Training Jaringan.
 Dalam training ini perlu ditetapkan dahulu parameter training yang digunakan, antara lain frekwensi tampilan grafik performa jaringan, banyaknya iterasi yang dilakukan dalam training.
- d. Melakukan simulasi JST dengan input baru, dimana input baru tersebut merupakan data proyeksi dari 10 faktor penting yang berpengaruh dalam ramalan mulai tahun 2007 sampai dengan 2025, dari berbagai sumber, antara lain dari BPS, PT. PLN (Persero), DESDM, International Atomic Energy Agency (IAEA), dll. [7][8][13][14][15].
- e. Akan diperoleh hasil ramalan beban tenaga listrik tahun 2007 – 2025.



Gambar 4. Desain Jaringan Syaraf Tiruan *Feedforward* (4 lapisan neuron) untuk Peramalan Beban Puncak.

Hasil Simulasi JST untuk Peramalan Beban

Selama pembelajaran dalam simulasi, JST terus merubah nilai bobot (*weight*) sampai nilai *error* maksimum tercapai atau nilai *epoch* maksimum terlampaui. Di dalam penelitian, nilai *mean square error* maksimum di-set sama dengan 10^{-6} dan nilai *epoch* maksimum di-set 50000. Ternyata *epoch* maksimum terlampaui dengan nilai *Mean Square Error* (MSE) sama dengan $8,43531 \cdot 10^{-6}$, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik penurunan error JST sejak awal pembelajaran/training sampai tercapainya target *epoch*.

Hasil penelitian ramalan beban puncak tenaga listrik jangka panjang pada sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali yang dilakukan untuk periode studi tahun 2007-2025 dapat dilihat pada Tabel 1, dan Gambar 6.

Dalam tabel dan gambar tersebut disajikan hasil proyeksi beban dengan metode JST, data aktual berdasarkan Statistik PLN tahun 2001-2006 dan hasil ramalan beban puncak dalam Rencana Umum Kelistrikan Nasional (RUKN) tahun 2005-2025 dari

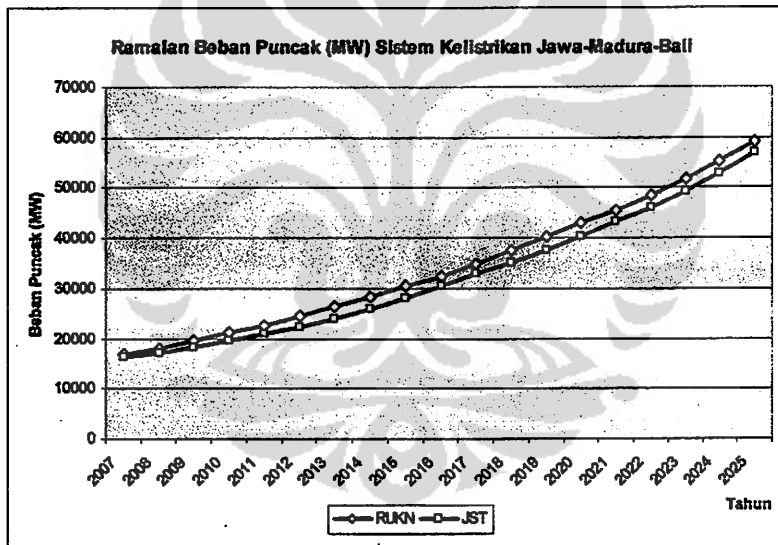
Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DJLPE-DESDM).

Tabel 1. Ramalan beban puncak sistem kelistrikan Jamali (MW).

Tahun	JST	Data Aktual	RUKN
2001		12577	
2002		13374	
2003		13682	
2004		14398	
2005		14821	14851
2006		15396	15886
2007	16270		17008
2008	17250		18090
2009	18280		19525
2010	19740		21152
2011	20950		22563
2012	22310		24393
2013	24050		26362
2014	26000		28262
2015	28150		30575
2016	30460		32509
2017	32930		34957
2018	35180		37519
2019	37640		40215
2020	40270		43018
2021	43250		45386
2022	46120		48502
2023	49340		51815
2024	52950		55343
2025	57030		59107

Berdasarkan perhitungan ramalan beban puncak dengan metode JST diperoleh hasil bahwa prakiraan beban puncak sistem kelistrikan Jamali dari tahun 2006 sampai akhir tahun studi (2025) akan mengalami kenaikan sebesar 41.634 MW yaitu dari 15.396 MW (pada tahun 2006), menjadi 57.030 MW (pada tahun 2025). Dengan demikian, beban akan meningkat dengan laju kenaikan beban tahunan rata-rata sekitar 7,1% selama periode tahun studi 2006-2025, (lihat Gambar 6).

Hasil perhitungan ramalan dengan metode JST memperlihatkan bahwa prakiraan beban tenaga listrik di sistem Jamali pada tahun 2007, 2010, 2015, 2020 dan 2025 adalah masing-masing 16.270 MW, 19.740 MW, 28.150 MW, 40.270 MW dan 57.030 MW.



Gambar 6. Ramalan perkiraan beban puncak sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali tahun 2007-2025.

Berdasarkan RUKN, ramalan kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan Jamali sampai akhir tahun studi (2025) diperkirakan tumbuh 7,3% per tahun. Konsumsi/kebutuhan tenaga

listrik pada tahun 2025 diharapkan mencapai 348 TWh, dengan perkiraan proyeksi beban puncak sekitar 59.107.

Dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional disebutkan bahwa prakiraan beban tenaga listrik di Indonesia pada tahun 2007, 2010, 2015, 2020 dan 2025 adalah masing-masing 17.008 MW, 21.152 MW, 30.575 MW, 43.018 MW dan 59.107 MW.

Hasil proyeksi ramalan beban puncak dengan metode JST lebih rendah dibandingkan dengan ramalan RUKN. Hasil proyeksi ramalan beban puncak dengan metode JST dan ramalan RUKN kiranya cukup baik, karena rata-rata perbedaan hasil ramalan pada tahun 2025 dari metode JST terhadap ramalan RUKN adalah sekitar 3,58%. Hasil proyeksi ramalan beban dari kedua metode tersebut cukup baik, karena secara umum, perusahaan listrik akan menerima kesalahan ramalan (*error*) sebesar 10% untuk ramalan beban jangka panjang [1].

Validasi Desain Konstruksi Model JST.

Untuk mengetahui apakah desain dan konstruksi model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang disusun dapat digunakan sesuai dengan yang diharapkan, yaitu dengan kesalahan (*error*) seminimal mungkin, maka dilakukan validasi program.

Validasi dilakukan dengan memasukkan Input Data Baru 10 parameter untuk tahun 1990-2000, setelah dilakukan simulasi JST. Outputnya adalah 'Hasil simulasi JST ramalan beban tenaga listrik untuk tahun 1990-2000', yang akan dibandingkan dengan 'Target Data Beban Puncak 1990-2000'. Jika perbedaan tersebut sangat kecil, maka desain konstruksi model JST yang disusun cukup baik dan andal.

Komparasi antara Data Awal Beban Puncak dan Hasil Checking Output menggunakan Program JST, terlihat bahwa kesalahan yang terjadi hanya kecil sekali, dengan kwadrat kesalahan rata-rata (*mean square error*, MSE) sekitar $mse_{Validasi} = 8.3578.e-006$ (lihat Tabel 2). Dengan demikian dapat dikatakan program JST yang dibangun dapat bekerja cukup bagus sesuai yang diinginkan.

Tabel 2. Perbandingan Data Aktual Beban Puncak dan Nilai Output Checking Hasil Simulasi JST (MW)

Tahun	Beban Awal	Beban Hasil Validasi	kwadrat	MSE (<i>mean square error</i>)
	(10 Gwe)	(10 Gwe)	<i>error</i>	
2001	0.1258	0.1225	0.000011	0.000008
2002	0.1337	0.1334	0.000000	
2003	0.1368	0.1415	0.000022	
2004	0.1440	0.1465	0.000006	
2005	0.1482	0.1449	0.000011	
2006	0.1540	0.1536	0.000000	

Studi Sensitivitas Parameter Yang Mempengaruhi Peramalan Beban dengan Simulasi JST.

Studi sensitivitas ini adalah untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh dalam peramalan, dengan melakukan studi sensitivitas terhadap perubahan besarnya nilai data inputan proyeksi baru pada masing-masing parameter sebesar 2%.

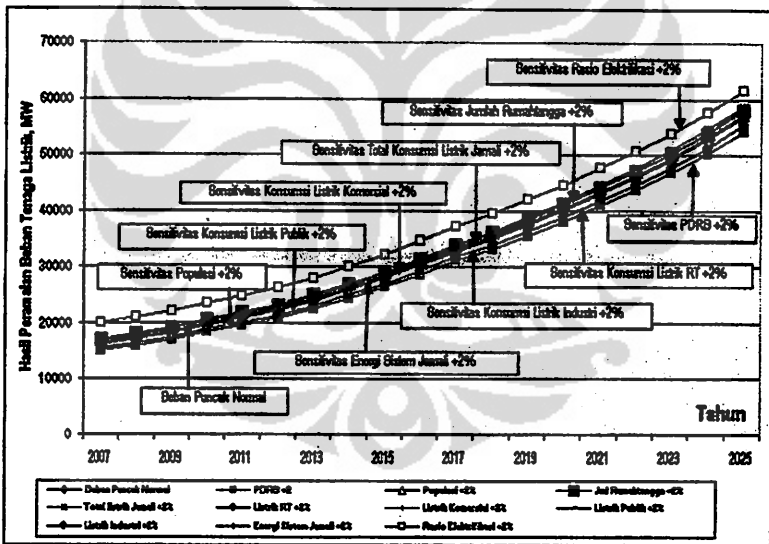
Metode yang digunakan adalah melalui langkah-langkah sbb.: menyusun Training Set Data (TSD), membuat Jaringan (*Network*), melakukan Pembelajaran Jaringan, melakukan Simulasi peramalan beban menggunakan JST dengan inputan baru yang merupakan data sensitivitas proyeksi dari 10 parameter penting yang berpengaruh dalam peramalan, dan akhirnya diperoleh hasil keluaran peramalan beban tenaga listrik tahun 2007-2025 dengan data sensitivitas.

Hasil Studi Sensitivitas Parameter.

Sedangkan hasil studi sensitivitas terhadap perubahan besarnya nilai data inputan proyeksi baru pada masing-masing parameter sebesar 2%, yang mempengaruhi peramalan beban

tenaga listrik jangka panjang 2007-2025 dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil peramalan beban tenaga listrik dengan data sensitivitas memperlihatkan bahwa parameter *Rasio Elektrifikasi* merupakan parameter yang mempunyai pengaruh paling besar, yaitu pengaruhnya rata-rata sekitar 14,3% terhadap hasil ramalan normal; diikuti oleh parameter *Produk Domestik Regional Bruto* (sekitar 5,9%); *Konsumsi listrik sektor Rumah Tangga* (sekitar 3,9%); *Jumlah Rumah Tangga* (sekitar 3,1%); *Total konsumsi listrik Jamali* (sekitar 3%); *Konsumsi listrik sektor Komersial* (sekitar 1,7%); *Populasi* (sekitar 0,5%); *Konsumsi listrik sektor Publik* (sekitar 0,23%); *Konsumsi listrik sektor Industri* (sekitar 0,13%); *Energi Sistem Jamali* (sekitar 0,09%).



Gambar 7. Hasil Peramalan Beban Tenaga Listrik dari studi sensitivitas terhadap perubahan besarnya nilai data inputan proyeksi baru pada masing-masing parameter sebesar +2%.

MODEL REPRESENTASI POLA KURVA LAMA BEBAN (KLB).

Kurva Lama Beban (KLB) didefinisikan sebagai suatu kurva yang memperlihatkan hubungan antara suatu beban tertentu dengan lamanya beban tersebut berlangsung. KLB tersebut diperoleh dari Kurva Beban.

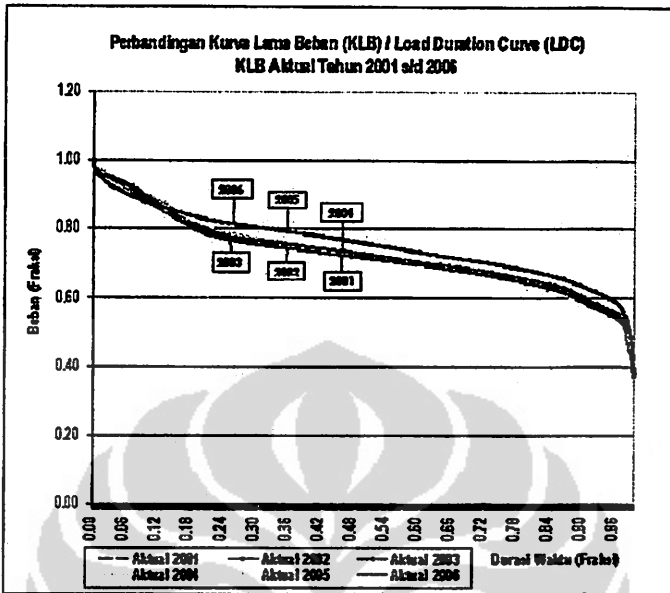
Dalam sub-bab ini dipaparkan hasil studi perbandingan representasi pola kurva lama beban (KLB) sistem kelistrikan Jawa-Madura-Bali tahun 2006, berdasarkan data aktual, metode Snyder, metode Regresi, dan metode jaringan syaraf tiruan (JST).

Dalam riset ini, dilakukan penelitian yang terkait dengan representasi KLB dengan beberapa metode, yaitu:

- a. Representasi pola KLB berdasarkan data aktual
- b. Representasi pola KLB berdasarkan metode Snyder.
- c. Representasi pola KLB berdasarkan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST).
- d. Perbandingan KLB berdasarkan data aktual, metode Snyder, metode Regresi, dan metode JST.

Representasi pola KLB berdasarkan data aktual

Data dari PLN untuk menyusun KLB adalah data beban yang tercatat tiap 0,5 jam, sehingga jumlah data beban sebanyak: $N = (24 \times 365) / 0,5 = 17520$ buah. Data tersebut diperoleh dari Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Jawa-Bali, PT. PLN (Persero), di Gandul, Jawa Barat, mulai tahun 2001 sampai dengan 2006. Gambar 8 merupakan hasil penyusunan pola Kurva Lama Beban (KLB) sistem ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali secara historis untuk tahun 2001-2006, yang akan dijadikan data target beban dalam penelitian tentang proyeksi KLB menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan.



Gambar 8. Pola KLB-Aktual sistem Jamali 2001-2006.

Representasi pola KLB berdasarkan metode Snyder.

Menurut Snyder, pola KLB dapat dinyatakan sebagai koefisien polinomial pangkat lima, dimana sangat erat kaitannya hanya pada dua besaran, yaitu ratio beban minimum terhadap beban maksimum (α) dan ratio beban rata-rata terhadap beban maksimum (β). Oleh karena itu dalam penyusunan pola KLB ini digunakan Persamaan (1) berikut ini untuk KLB sistem Jamali tahun 2006 [16][17]:

$$Y = 1 + 6(3\beta - \alpha - 2) X + (-82\beta + 27\alpha + 55)X^2 + 4(38\beta - 10\alpha - 28) X^3 + 20(-6\beta + \alpha + 5) X^4 + 32(\beta - 1) X^5 \dots (1)$$

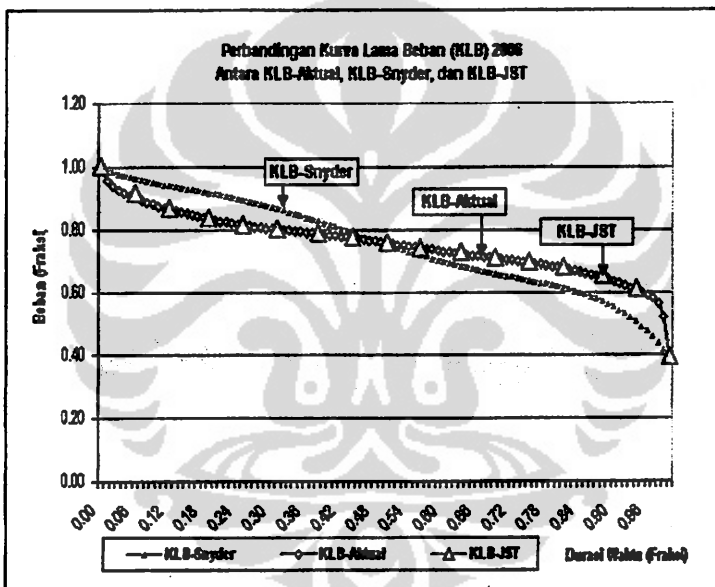
dimana :

- Y = ratio beban aktual terhadap beban maksimum
- α = ratio beban minimum terhadap beban maksimum

β = ratio beban rata-rata terhadap beban maksimum
X = waktu

Representasi pola KLB berdasarkan metode JST.

Oleh karena banyaknya data beban (yaitu sebanyak 17520 buah data beban per-tahun), maka dalam penelitian JST untuk representasi dan proyeksi KLB digunakan metode segmentasi, dimana KLB dibagi dalam segmen-segmen waktu yang sama, yaitu sebanyak 17 segmen.



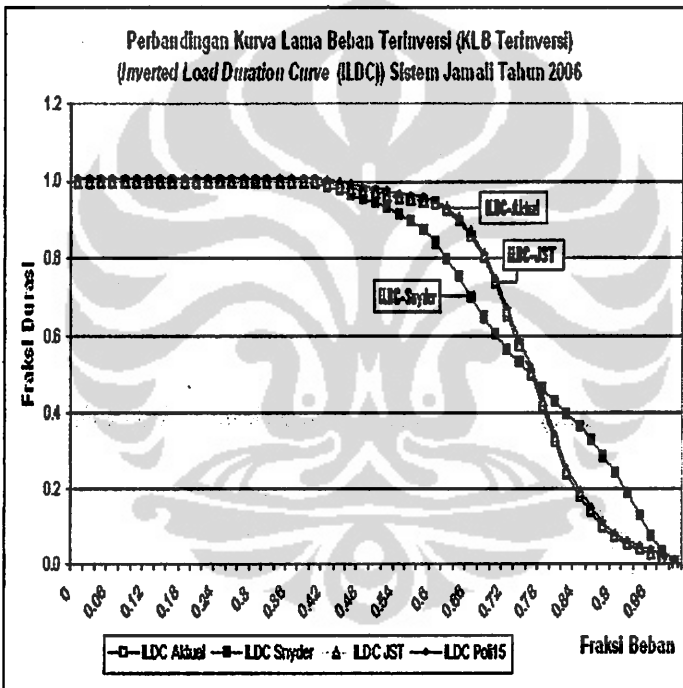
Gambar 9. Perbandingan representasi KLB sistem Jamali 2006 antara KLB-Aktual, KLB-Snyder, KLB-JST, dan KLB-Regresi polinomial pangkat 15.

Beban puncak, beban rata-rata dan beban minimum berdasarkan metode JST adalah masing-masing sebesar 14415 MW, 11681 MW dan 6100 MW. Sedangkan besar total energinya adalah 102010000 MWh, dimana bila dibandingkan dengan total

energi aktual hanya terdapat perbedaan 0.1155%, dan *mean square error* (MSE) terhadap kurva beban aktual sekitar 6.365E-05..

Pada Gambar 9 diilustrasikan perbandingan representasi KLB sistem Jamali 2006 antara KLB-Aktual, KLB-Snyder, dan KLB-JST.

Nilai *mean square error* (MSE) dari KLB-JST terhadap KLB-Aktual (MSE = 6,365.E-05) nilainya jauh lebih kecil bila dibandingkan KLB-Snyder terhadap KLB-Aktual (MSE = 3,91.E-03).



Gambar 10. Perbandingan representasi KLB Terinversi (ILDC) sistem Jamali 2006 antara ILDC-Aktual, ILDC-Snyder, KLB-JST.

Gambar 10 merupakan ilustrasi perbandingan KLB Terinversi (*Inverted Load Duration Curve*, ILDC) sistem Jamali

tahun 2006 antara ILDC-Aktual, ILDC-Snyder, dan ILDC-JST. Dalam penelitian ini, perubahan bentuk LDC ke ILDC dilakukan dengan menggunakan ekspansi deret Fourier.

PROYEKSI KURVA LAMA BEBAN (KLB).

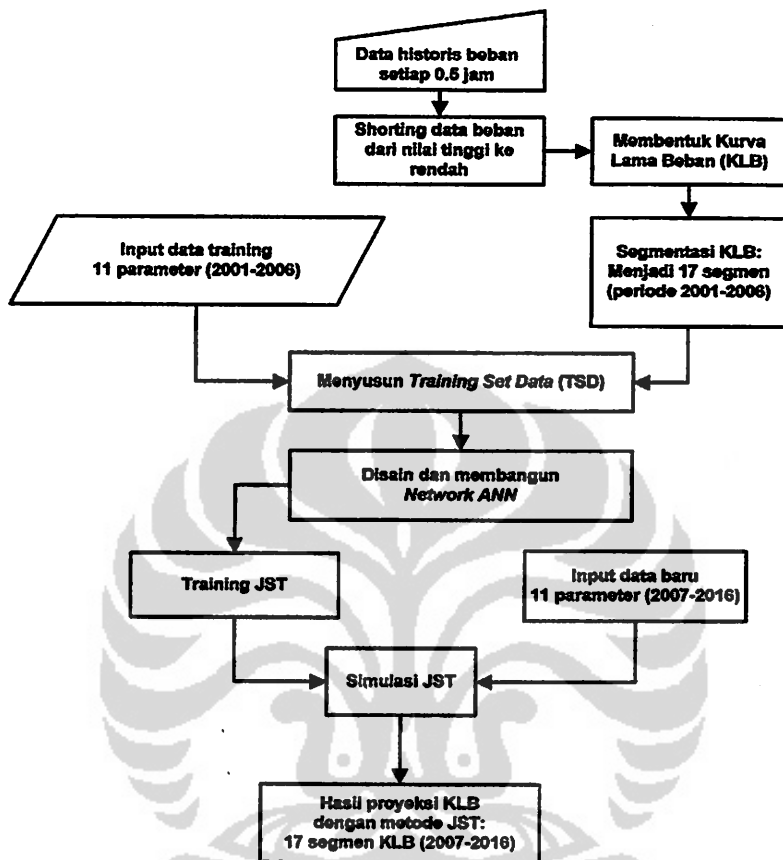
Dalam penelitian, dilakukan proyeksi KLB untuk tahun 2006 (sebagai validasi), dan tahun 2007 sampai dengan 2016.

KLB sangat erat terkait dengan beban puncak, konsumsi energi listrik tiap sektor, jumlah rumah tangga, populasi, dll., sehingga dalam penelitian ini bentuk model, disain dan diagram alir algoritma Jaringan Syaraf Tiruan untuk proyeksi Kurva Lama Beban, hampir sama dengan algoritma JST untuk peramalan beban puncak, hanya terjadi perbedaan skema data input dan data target untuk pembelajaran.

Parameter (faktor) penting yang diperkirakan sangat mempengaruhi proyeksi pola KLB di masa datang, adalah sama dengan parameter-parameter untuk peramalan beban jangka panjang ditambah dengan parameter beban puncak.

Dalam peramalan/proyeksi KLB berdasarkan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST), digunakan metode segmentasi, dimana KLB dibagi dalam segmen-segmen waktu yang sama, yaitu sebanyak 17 segmen. Sedangkan data pembelajaran JST yang digunakan adalah data historis KLB (yang terbagi dalam 17 segmen) sejak tahun 2001 sampai dengan 2006.

Pada Gambar 11 disajikan diagram alir simulasi JST untuk proyeksi Kurva Lama Beban (KLB), dengan pembagian 17 segmen.

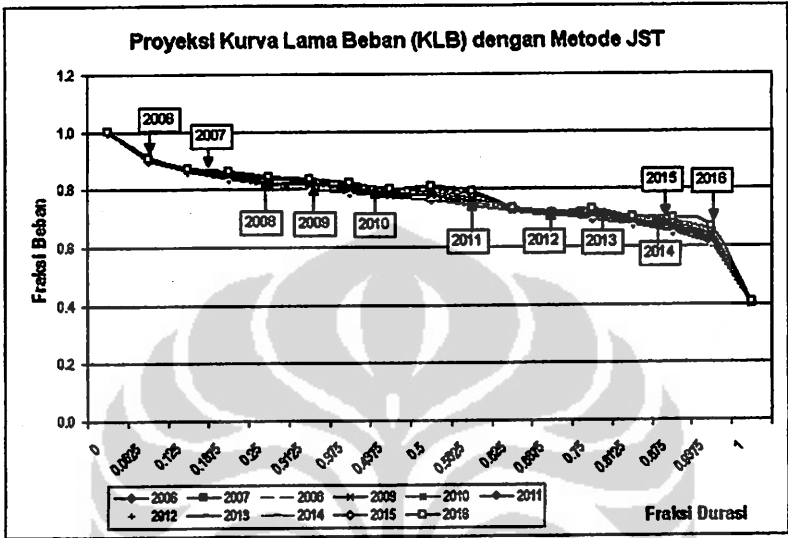


Gambar 11. Diagram alir proyeksi KLB berdasarkan metode JST dengan 17 segmen.

Hasil Proyeksi KLB Menggunakan Metode JST.

Dalam peramalan/proyeksi KLB berdasarkan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST), digunakan metode segmentasi, dimana KLB dibagi dalam segmen-segmen waktu yang sama, yaitu sebanyak 17 segmen. Sedangkan data pembelajaran JST yang digunakan adalah data historis KLB (yang terbagi dalam 17 segmen) sejak tahun 2001 sampai dengan 2006.

Gambar 12 merupakan gambar hasil ramalan/proyeksi pola kurva lama beban (KLB) sistem kelistrikan Jamali untuk tahun 2007 sampai 2016 dengan metode JST.



Gambar 12. Hasil ramalan/proyeksi pola KLB dengan metode JST pada sistem ketenagalistrikan Jamali tahun 2007-2016.

Terlihat bahwa kurva lama beban yang terbentuk pada awal tahun studi cukup bagus dan konsisten, dan hasil proyeksi “rasio beban minimum terhadap beban maksimum” dan “rasio beban rata-rata terhadap beban maksimum (faktor beban)”, hasilnya cukup bagus (lihat fraksi beban pada saat fraksi durasi 0,5 dan 1 pada Gambar 12).

APLIKASI MODEL UNTUK OPTIMASI DAN ANALISIS KEANDALAN.

Beban puncak tenaga listrik dan KLB merupakan dua parameter yang sangat menentukan hasil optimasi dalam perencanaan pengembangan sistem pembangkitan. Dalam penelitian ini, untuk optimasi digunakan WASP (Wien Automatic System Planning Package), yang dikembangkan untuk optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan. Optimasi dievaluasi berdasarkan biaya keseluruhan total minimum.

Salah satu cara yang banyak digunakan untuk menyatakan tingkat keandalan sistem (pembangkit) adalah indeks LOLP (*Loss Of Load Probability*) dan ENS (*Energy Not Served*).

Inverted Load Duration Curve (ILDC) diperlukan untuk menentukan nilai LOLP dan ENS, agar dapat memperkirakan besarnya pembebanan maupun produksi listrik yang dapat dibangkitkan oleh setiap unit pembangkit dalam suatu sistem, yaitu dengan cara menempatkan unit-unit pembangkit tersebut dalam kurva ILDC, berdasarkan urutan pembebanan yang telah ditentukan sesuai dengan nilai ekonomisnya (*merit order*).

Untuk mengevaluasi LOLP dan ENS terkait dengan perencanaan pengembangan sistem pembangkitan (konfigurasi pembangkitan yang optimal), diperlukan membuat kurva lama beban ekuivalen (ELDC) dan menentukan kapasitas terpasang pembangkitan dalam sistem. Efek dari pemadaman tak terencana dari setiap unit pembangkit termal pada kurva lama beban (LDC) dihitung, dan LDC dikonvolusi untuk membuat ELDC final (lihat Gambar 13). Jika ICP adalah total kapasitas pembangkit dalam sistem, LOLP dapat dihitung dengan mengukur ordinat pada beban = ICP pada kurva ELDC final ($ELDC_N$), dan ENS dihitung dengan mengintegrasikan daerah dibawah kurva dengan persamaan [18]:

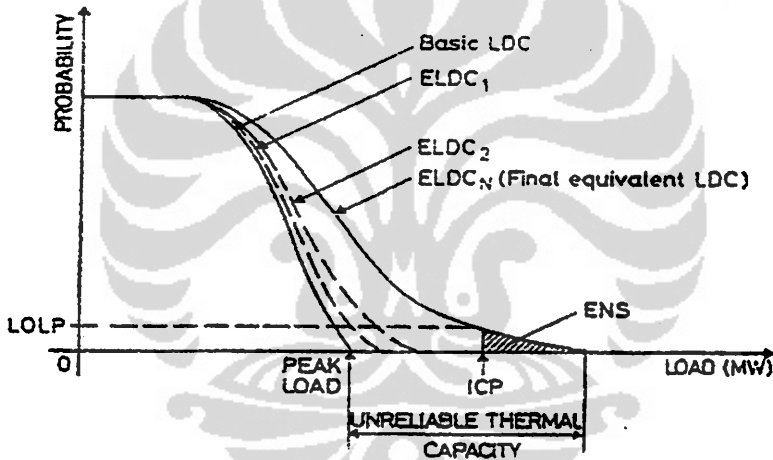
$$ENS = T * \int_{ICP}^{\infty} ELDC_N dx \quad \dots (2)$$

dimana:

T = lama periode (dalam satuan jam).

Karena ELDC direpresentasikan dalam WASP dengan deret Fourier, maka diperlukan pengembangan algoritma khusus untuk menghitung beberapa kondisi batasan.

Representasi ELDC dengan metode Fourier sangat akurat, sampai titik dimana kapasitasnya lebih kecil dari pada jumlah permintaan beban puncak ditambah 2 kali beban minimum. Karenanya, kasus diluar range kapasitas ini untuk penerapan metode Fourier harus dipertimbangkan oleh program. Bagaimanapun, mari kita coba bagaimana LOLP dan ENS dihitung dengan algoritma untuk kasus normal sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Perhitungan LOLP & ENS dengan Simulasi Probabilistik [18].

Untuk menekan kemungkinan *error*, karena osilasi dari fungsi yang diintroduksi oleh harmonisasi lebih tinggi dalam ekspansi Fourier, LOLP dievaluasi sebagai nilai rata-rata dari fungsi pada titik ICP [18].

$$LOLP = \frac{1}{TN} * \int_{ICP - \frac{1}{2}TN}^{ICP + \frac{1}{2}TN} y_N(x) dx \quad \dots (3)$$

dimana $y_N(x)$ adalah ELDC final ($ELDC_N$); dan untuk menghitung ENS digunakan batas atas integrasi XLIM (bukan tak terhingga):

$$ENS = T * PEAK * \int_{ICP}^{XLIM} y_N(x) dx \quad \dots (4)$$

Jika nilai integral lebih kecil dari nol, maka nilai LOLP dan ENS di-set nilainya nol.

Analisis Hasil Implementasi Model Pola KLB

Dari hasil eksekusi optimasi perencanaan pengembangan pembangkitan pada sistem ketenagalistrikan menggunakan program WASP yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa aplikasi tipe representasi pola Kurva Lama Beban (KLB) baik berdasarkan model Snyder (Studi-kasus-3), maupun metode JST (Studi-kasus-4) terhadap KLB Aktual (Studi-kasus-1), mempunyai pengaruh sebagai berikut:

- nilai total biaya kumulatif pengembangan sistem (*cumulative objective function*), dimana selama periode studi, perbedaannya sekitar 3,4% (untuk Studi-kasus-3 terhadap Studi-kasus-1) dan 0,9% (untuk Studi-kasus-4 terhadap Studi-kasus-1)
- total tambahan kapasitas terpasang, dimana selama periode studi, perbedaannya sekitar 2,5% (untuk Studi-kasus-3 terhadap Studi-kasus-1), dan sekitar 0,4% (untuk Studi-kasus-4 terhadap Studi-kasus-1).
- jumlah energi yang diproduksi, dimana selama periode studi, perbedaannya sekitar sekitar 0,2% (untuk Studi-

kasus-3 terhadap Studi-kasus-1), dan sekitar 0,6% (untuk Studi-kasus-4 terhadap Studi-kasus-1).

- **LOLP, dimana selama periode studi, perbedaannya sekitar 7,7% (untuk Studi-kasus-3 terhadap Studi-kasus-1), dan 0,9% (untuk Studi-kasus-4 terhadap Studi-kasus-1).**
- **energi tak terlayani ENS, dimana selama periode studi, perbedaannya sekitar 22,6% (untuk Studi-kasus-3 terhadap Studi-kasus-1), dan 4,4% (untuk Studi-kasus-4 terhadap Studi-kasus-1).**

Secara umum dapat disimpulkan bahwa representasi model pola KLB-JST (Studi-kasus-4) lebih mendekati pola KLB-Aktual (Studi-kasus-1), dibandingkan model pola KLB-Snyder (Studi-kasus-3) berdasarkan pertimbangan parameter nilai total biaya kumulatif pengembangan sistem, total tambahan kapasitas terpasang, LOLP dan energi tak terlayani ENS.



KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Model jaringan syaraf tiruan (JST) yang didesain dan disusun telah berhasil dikembangkan dan diterapkan untuk:
 - a. Model peramalan pola beban puncak sistem ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali (sistem Jamali).
 - b. Model representasi pola KLB sistem Jamali.
 - c. Model proyeksi pola KLB sistem Jamali.
2. 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 57.030 MW dan 59.107 MW (perbedaannya sekitar 3,58%). Berdasarkan metode JST, laju pertumbuhan beban tahunan rata-rata sekitar 7,1% selama periode tahun studi 2006-2025, sementara itu menurut RUKN laju pertumbuhan diperkirakan sekitar 7,3% per tahun.
3. Validasi terhadap program JST yang dibangun dilakukan dengan menguji data masukan tahun 2001 s/d 2006 untuk menganalisis hasil output beban puncak tahun 2001 s/d 2006. Hasilnya cukup baik, karena output beban puncak hasil uji validasi dengan output beban puncak aktual mempunyai nilai MSE (*mean square error*) cukup kecil, yaitu sekitar 8.10^{-6} .
4. Studi sensitivitas dilakukan terhadap perubahan besarnya nilai data inputan proyeksi baru pada masing-masing parameter sebesar 2%, yang akan mempengaruhi hasil peramalan beban tenaga listrik jangka panjang 2007-2025. Hasil peramalan beban tenaga listrik dengan data sensitivitas memperlihatkan bahwa parameter Rasio Elektrifikasi merupakan parameter yang mempunyai pengaruh paling besar.
5. Model kurva lama beban (KLB) yang dibangun dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan, hasilnya cukup bagus dan *reasonable*, karena pola kurva-nya mendekati pola KLB berdasarkan data aktual (KLB-aktual), dengan nilai parameter *mean square error* (MSE) sekitar $6,365.10^{-5}$.

6. Model proyeksi KLB berdasarkan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST), digunakan metode segmentasi, dimana KLB dibagi dalam segmen-segmen waktu yang sama, sehingga diperoleh sebanyak 17 segmen tingkat beban. Hasil proyeksi tingkat beban untuk KLB yang terbentuk pada awal tahun studi cukup bagus dan konsisten, tercermin dari hasil proyeksi “rasio beban minimum terhadap beban maksimum (α)” dan “rasio beban rata-rata terhadap beban maksimum (faktor beban) (β)”, hasilnya cukup bagus.
7. Aplikasi hasil peramalan beban puncak metode JST dan model KLB-JST dalam optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jawa-Madura-Bali periode 2006-2025, memberikan hasil yang representatif dan mendekati hasil optimasi dengan KLB-Aktual, dimana: nilai total biaya kumulatif pengembangan sistem (*cumulative objective function*) sebesar US\$ 43917.10⁶, dengan konfigurasi optimum tentang penambahan kapasitas kandidat pembangkit selama periode studi adalah PLTU-Batubara sekitar 30.600 MWe (61,4% dari total kapasitas kandidat pembangkit pada sistem Jamali), PLT-LNG sekitar 5.840 MWe (11,7%), PLT-Gas sekitar 6.400 MWe (12,8%), PLTN sekitar 5.000 MWe (10,0%), PLT-*Combined Cycle* sekitar 1200 MWe (2,4%), dan PLTA-Pump sekitar 800 MWe (1,6%).
8. Hasil analisis keandalan sistem pembangkitan berdasarkan nilai LOLP dan ENS, memperlihatkan bahwa perbedaan hasil perhitungan keandalan antara KLB-JST dibandingkan KLB-Aktual adalah relatif sangat kecil (sekitar 0,94% untuk perbedaan LOLP dan 4,44% untuk perbedaan ENS). Hal ini dikarenakan, pola KLB antara keduanya hampir similar..
9. Untuk penelitian lebih lanjut, diharapkan untuk dapat mengembangkan metode/model peramalan dengan jaringan syaraf tiruan (JST) yang dikombinasikan (di-hibrid) dengan sistem pakar, logika fuzzy, dan atau algoritma genetika, untuk mendapatkan model peramalan yang lebih cerdas, semakin baik, dan akurat.

DAFTAR ACUAN

- [1] Hiroshi Iwamiya, Bahman Kermanshahi, "Long-term Load Forecasting using Neural Nets", *ICEE2K Neural Networks for Power System Applications*, Kitakyusu, Japan, July 2000, hal.425-428.
http://www.buet.ac.jp/~bahman/achivment/hiroshi_ICEE.
- [2] Young-Chang Kim, *Wien Automatic System Planning Package (WASP), Prepared for IAEA (RCA) Training Workshop on WASP-IV*, Korea Electric Power Corp. (KEPCO), Taejon, 1997.
- [3] Laurene V. Fausett, *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice-Hall, 1994.
- [4] Marzuki Khalid, *Introduction to Artificial Neural Networks*, AI and Control Research Group, Universiti Teknologi Malaysia, 1998.
- [5] Chin-Theng Lin, C.S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems, A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 1994, ch. 9-10, hal. 205-262.
- [6] PLN, *Statistik PLN 2000 s/d 2005*, PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Persero), Jakarta, 2001 - 2006.
- [7] IAEA, *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia*, Indonesia's Team and International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002.
- [8] DESDM, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Jakarta, 25 April 2005.
- [9] PLN, *Statistik 2005 PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Jawa Bali*, PT. PLN (Persero), Jakarta, Agustus 2006.

- [10] BPS, *Statistik Indonesia (Statistical Yearbook of Indonesia)*, tahun 2000 s/d 2006, Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta, Indonesia.
- [11] DESDM, *Buku Pegangan Statistik Ekonomi Energi Indonesia 2002*, Pusat Informasi Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), EAPO, Jakarta, 2002.
- [12] BPS, *Laporan Perekonomian Indonesia 2002*, Biro Pusat Statistik (BPS), Jakarta, Indonesia, 2002.
- [13] DESDM, *Penjabaran Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN)*, Departemen Pertambangan dan Energi (DESDM), Jakarta, 2004.
- [14] DESDM, *Prakiraan Energi Indonesia 2010*, Indonesia's Energy Outlook 2010, Pusat Informasi Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), EAPO, Jakarta, 2002.
- [15] BAPPENAS-BPS-UNFPA, *Proyeksi Penduduk Indonesia (Indonesia Population Projection) 2000-2025*, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) – Badan Pusat Statistik (BPS) – United Nations Population Fund (UNFPA) Indonesia, Jakarta, 2005.
- [16] Zuhail, *Ketenagalistrikan Indonesia*, Ganesa Prima, Jakarta, 1995.
- [17] S. Rahman, Rinaldy, An Efficient Load Model for Analyzing Demand Side Management Impacts, *EEE Transactions on Power Systems*, Vol. 8, No. 3, August 1993.
- [18] IAEA, *Wien Automatic System Planning (WASP) Package, A Computer Code for Power Generating System Expansion Planning, Version WASP-III Plus, User's Manual, Volume 2: Appendices*, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1995.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam. Atas rahmat, hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Disertasi berjudul: “Model Peramalan Pola Beban Jangka Panjang Sistem Ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Analisis Keandalan Dalam Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkitan”.

Disamping itu penulis menghaturkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

Prof. Dr. Ir. Zuhul Abdul Kadir, MSc.EE (selaku Promotor) dan Prof. Dr. Ir. Rinaldy Dalimi (selaku Ko-Promotor) yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga disertasi ini dapat selesai dengan baik.

Prof. Dr. der Soz. Gumilar Rusliwa sebagai Rektor Universitas Indonesia, Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng. sebagai Dekan Fakultas Teknik UI, dan Dr. Ir. Moh. Asvial sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro FT-UI.

Prof. Dr. Ir. Sardy Sar, Dr. Ir. Uno Bintang Sudibyo, Dr. Ir. Rudy Setiabudy, Dr. Ir. Iwa Garniwa MK., MT., dan Dr. Ing. Eko Adhi Setiawan, MT., selaku anggota Tim Penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk perbaikan disertasi.

Bapak Dr. Hudi Hastowo (Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional, BATAN), Bapak Ir. Adiwardojo (Deputi Bidang Pengembangan Teknologi dan Energi Nuklir), Bapak Dr. Achmad Sarwiyana Sastratenaya (Kepala Pusat Pengembangan Energi Nuklir), Bapak Karsono MSc. (Kepala Pusdiklat), Dr. Arnold Y. Soetrisnanto, Ir. Edi Sartono, Dr. Sudi Ariyanto, Mari Indriana MSi., yang telah memberi dorongan semangat, saran dan petunjuk sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Pejabat dan staf Perpustakaan di: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), PT. PLN (Persero), Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa-Bali (PT. PLN-P3B) Gandul, Badan Pusat Statistik (BPS), Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi

(DJLPE), Pusdiklat Ketenagalistrikan dan Energi Baru Terbarukan (KEBT) Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral (DESDM), dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), atas bantuan referensi buku dan data yang diperlukan untuk penyusunan disertasi ini.

Rekan-rekan di BATAN, PLN, DJLPE, KEBT, UI (&Alumni), UII, dan UHAMKA, terutama Ir. Suparman, MT., Bapak/Ibu Spto Prayogo, Bapak/Ibu Sartono, Ibu Sri Kusumadewi, Dr. Muhammad Subekti, Ibu Maya Kalalo, Bapak Ikbal, Bapak Titovianto, Bapak Chrisnawan Anditya, Mujirudin, MT., Endy Syaiful Alim, MT., Harry Ramza, MT., Victor, MKom., PH. Gunawan, MT., Emilia, ST., Ir. Agus R. Utomo, MT., Ir. Edwaren Liun, Drs. Masdin, Nasrullah, SE., Herdinie, ST., Ir. Djati, MEng., Ir. Ida, MEng., Nuryanti, SSi., Elok Satiti, SSi., Ir. Sriyana, MT., Dr. June, dan Ir. Saut, yang telah memberikan dorongan semangat, bantuan dan informasinya.

Yang terhormat & tercinta Bapak/Ibu H. Mohammad Umar, Bapak(alm.)/ Ibu Hj. Raden Tarumintardjo, Istri tercinta Diajeng Titien, dan Ananda tersayang Astarina & Akbar, serta Saudara-saudari terkasih Ir. Habil, MM., Dra. Ida, Ir. Rudi, MM., Dra. Atiek, Pramono, SE., Indah, SE., Ir. Agus, Aniek, MP., Yuliedy, SSi., dan Yuni, SH., yang telah memberikan do'a, dukungan moril & materiil, serta dorongan semangat dengan penuh keiklasan & pengertian.

Semoga Allah S.W.T. memberikan balasan atas semua jasa baik dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Penulis,

Arief Heru Kuncoro

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Nama : ARIEF HERU KUNCORO
2. NPM : 840303001X
3. Tempat/tgl. lahir : Sragen, 29 April 1963
4. Status : Menikah
5. Agama : Islam
6. Instansi : Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Pusat Pengkajian Energi Nuklir (PPEN)
7. NIP : 330004591
8. Pangkat/Golongan : Pembina / IV-A
9. Alamat kantor : PPEN-BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710, Telp. 5251109 Ex.379 atau 5204243 Fax. 5204243
10. Alamat rumah : Perumahan Batan Indah Blok E No.54, Setu, Serpong, Tangerang, Banten, Email : ariefher@yahoo.com.
11. Riwayat Pendidikan Formal :
 - 2003 – Sekarang : Program S3, Pascasarjana Universitas Indonesia Program Studi Teknik Elektro
 - 1997 - 1999 : Studi Pascasarjana Universitas Indonesia Bidang Studi Teknik Elektro (Tenaga Listrik)
 - 1982 - 1988 : Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Nuklir, UGM
 - 1979 - 1982 : SMA Negeri 3 Surakarta
 - 1976 - 1979 : SMP Negeri 7 Surakarta
 - 1970 - 1976 : SD Muhammadiyah I Palur, Surakarta
12. Riwayat Pekerjaan :
 - 1990 – sekarang: Pengkaji/peneliti di Pusat Pengkajian Energi Nuklir (PPEN)-BATAN

- 1988 – 1990 : *Engineer* di Perusahaan Kontraktor

13. Pendidikan Non Formal (Diklat):

- Diklat Keahlian Dasar *Ilmu dan Teknologi Nuklir*, Pusdiklat-BATAN, Jakarta, 1990.
- Diklat Keahlian *Perencanaan Pengembangan Sistem Kelistrikan*, BATAN, Jakarta, 1991.
- Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir*, BATAN, Puspiptek, Serpong, 1995.

14. Training/Workshop International/Regional:

- Workshop on Nuclear Power Project Management, International Atomic Energy Agency (IAEA) - BATAN, Jakarta, 28 November - 9 December 1994.
- Regional Training Course on Safety and Reliability Improvements Through Optimized Maintenance of Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency (IAEA), Guangdong Daya Bay Nuclear Power Station, China, 20 February – 10 March 1995.
- Workshop on Project Engineering of Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency (IAEA) – BATAN, Jakarta, 7-15 September 1995.
- Workshop on Technical and Economic Bid Evaluation, International Atomic Energy Agency (IAEA) – BATAN, Jakarta, 27 November - 1 December 1995.
- Workshop on Korea's Experiences with Nuclear Power Plant Projects, KEPCO (Korea Electric Power Corporation) - BATAN, Jakarta, 28-29 August 1996.
- Workshop on CANDU Overview, AECL (Atomic Energy of Canada Limited) - BATAN, Puspiptek, Serpong, 21-25 July 1997.
- Tutorial on Introduction to Neural Network and Fuzzy Logic and their Applications, Tutor from Malaysia, IEEE

Indonesia Section - University of Indonesia, Jakarta, 6-8 August, 1998.

- h) **Regional Training Course on Use of Agency Methodologies and Tools to Analyze Priority of Environmental Issues, IAEA-BATAN, Jakarta, Indonesia, 8 May - 2 June, 2000.**
- i) **Training on Use of Simpac Model, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.**
- j) **Nuclear Power Generation Basic Course, at Japan Electric Power Information Center, Inc. (JEPIC), The Japan Atomic Power Company (JAPC), Japan International Cooperation Agency, Japan, from January 9, 2003 to March 3, 2003.**

15. Daftar publikasi ilmiah selama mengikuti Program S3:

- a) **Arief Heru Kuncoro, Rinaldy Dalimi, *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang pada Sistem Kelistrikan di Indonesia*, Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Edisi No.3, Tahun XIX, September 2005 (Terakreditasi Dirjen Dikti Nomor: 39/Dikti/Kep/2004; ISSN: 0215-1685).**
- b) **A. H. Kuncoro, R. Dalimi, E. Sartono, *The Comparative Study of the Long-term Electricity Load Forecasting in Indonesia by Using Artificial Neural Network Method and Using MAED Simulation*, the 8th International Conference on Quality in Research (QiR), Faculty of Engineering, University of Indonesia, Depok, 9-10 August 2005 (ISSN: 1411-1284).**
- c) **Arief Heru Kuncoro, Rinaldy Dalimi, Sudi Ariyanto, *Analisis Perbandingan Hasil Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang pada Sistem Kelistrikan di Indonesia Menggunakan Metode JST dan Simulasi MAED terhadap Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN)*, Seminar Nasional ke-11 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, P2SRM-**

BATAN, LPKM - Universitas Brawijaya, Malang, 15 September 2005 (ISSN: 0854-2910).

- d) Arief Heru Kuncoro, Edwaren Liun, *Status PLTN dan Ketersediaan Sumber Daya Energi Nuklir di Dunia*, Seminar Nasional ke-11 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, P2SRM-BATAN, LPKM - Universitas Brawijaya, Malang, 15 September 2005 (ISSN: 0854-2910).
- e) Rinaldy Dalimi, Arief Heru Kuncoro, *Study Of Integrating Demand Side Management Potential To Power Generation Planning Trough Electric Power Load Forecasting*, Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Edisi No.1 Tahun XX, Maret 2006 (Terakreditasi Dirjen Dikti Nomor: 39/Dikti/Kep/2004; ISSN: 0215-1685).
- f) Arief Heru Kuncoro, Rinaldy Dalimi, Edi Sartono, M. Mujirudin, *Optimization of Power Generation Expansion Planning on the Jawa-Bali Electricity System 2005-2025*, the 9th International Conference on Quality in Research (QiR), Faculty of Engineering, University of Indonesia, Depok, 6-7 September 2006 (ISSN: 114-1284).
- g) Arief H. Kuncoro, Arnold Y. Soetrisnanto, Edi Sartono, *Studi Sensitivitas Parameter Yang Berpengaruh Dalam Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Menggunakan Simulasi Jaringan Syaraf Tiruan*, Seminar Teknologi Simulasi II, TechnoSim 2006, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 21 September 2006 (ISBN: 979-99818-3-2).
- h) Arief Heru Kuncoro, Zuhail, Rinaldy Dalimi, *The Long-Term Load Forecasting On The Java-Madura-Bali Electricity System Using Artificial Neural Network Method*, International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE), BATAN, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, November 13-14, 2007 (ISBN: 978-979-17090-0-2).

- i) Edwaren Liun, Arief Heru Kuncoro, Edi Sartono, *Environmental Impacts Assessment of Java's Electricity Generation Using Simpacts Model*, International Conference on Advances in Nuclear Science and Engineering (ICANSE), BATAN, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, November 13-14, 2007 (ISBN: 978-979-17090-0-2).
- j) Arief Heru Kuncoro, Zuhail, Sudi Ariyanto, *A Load Duration Curve Projection on the Java-Madura-Bali Electricity System Using Neural Network - Snyder Hybrid Method*, Jurnal Teknologi, Sekolah Tinggi Teknologi Jakarta, Edisi Volume 10, Nomor 2, Jakarta, Desember 2007 (Terakreditasi Dirjen Dikti, Nomor: 26/Dikti/Kep/2005, ISSN: 1410 – 8577).

