

ANALISIS IMPLEMENTASI JARINGAN SYARAF ADAPTIF UNTUK PERAMALAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK WILAYAH MALANG

Donni Frans Pasman⁽¹⁾, Moch Aziz Muslim⁽²²⁾, Moch Dhofir⁽²⁾

Abstrak : Kemajuan teknologi informasi memungkinkan kegiatan peramalan energi listrik dapat dilakukan dengan berbagai metode. Metode jaringan syaraf tiruan perambatan balik dan jaringan syaraf adaptif telah diterapkan pada kegiatan peramalan energi listrik. Keberhasilan peramalan ditentukan ketepatan data yang relevan. Dalam penelitian ini dipilih beberapa data meliputi : Produk Domestik Bruto perkapita, pertumbuhan penduduk, jumlah rumah tangga, jumlah energi total dan daya tersambung. Data yang dipergunakan adalah data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Malang dan PT PLN APJ Malang. Data untuk pembelajaran diambil mulai tahun 2001-2005, untuk pengujian mulai tahun 2006-2008 dan peramalan tahun 2009. Penelitian ini menyajikan suatu algoritma jaringan saraf adaptif untuk peramalan permintaan energi listrik. Studi empiris menunjukkan bahwa jaringan saraf adaptif algoritma konvergensi lebih cepat dan presisi yang lebih tinggi daripada algoritma jaringan saraf. Hasil peramalan memperlihatkan error rata-rata sangat kecil, yaitu sebesar 1%.

Kata kunci : Peramalan, Jaringan Syaraf Adaptif.

PENDAHULUAN

Peramalan adalah suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi di masa depan berdasar informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki agar kesalahannya (selisih antara apa yang terjadi dengan hasil perkiraan) dapat diperkecil.^[1]

Energi listrik memegang peranan yang besar dalam pengembangan ekonomi nasional, bahkan sering energi listrik itu dianggap sebagai darah kehidupan ekonomi. Oleh karena itu disadari baik oleh negara-negara maju maupun negara-negara berkembang bahwa pembangunan infrastruktur dalam penyediaan energi secara tepat dan berdaya guna tinggi merupakan syarat mutlak untuk meningkatkan kegiatan ekonomi.^[3]

Berdasarkan studi referensi, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik mempunyai banyak faktor yang kompleks, mempunyai karakteristik-karakteristik nonlinear, dan hasil ramalan yang cukup bagus bisa diperoleh dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST). JST merupakan suatu sistem yang didasarkan pada cara kerja jaringan syaraf manusia^[11]. JST memungkinkan suatu sistem belajar dan melakukan generalisasi sehingga diharapkan sistem tidak hanya mengenali data-data yang sudah pernah diberikan, tetapi juga data baru.

¹ Mahasiswa Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang

² Dosen Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang

KAJIAN TEORI

Penelitian lain yang berkaitan dengan jaringan syaraf tiruan dan peramalan adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik beban harian saat hari libur berbeda dengan hari biasa. serba tidak pasti dan cenderung mengalami penurunan. Ketidakpastian beban ini, jika tidak diperkirakan akan sangat mempengaruhi operasi unit-unit pembangkit yang ada. Penjadwalan operasi dan alokasi pembangkit cadangan dapat mengganggu keandalan sistem tenaga listrik. Pada peramalan beban harian untuk hari-hari libur umat hindu di Bali yang kondisinya tidak tentu, sulit dilakukan oleh metode peramalan konvensional. Pada penelitian ini diusulkan peramalan dengan metode *artificial neural network*. Kelebihan metode ini dapat dengan mudah memformulasikan pengalaman dan pengetahuan peramal dan sangat fleksibel dalam perubahan aturan peramalan. Epoch yang digunakan adalah 75000 dengan goal 0,00001 dan learning rate 0,01. Hasil peramalan memperlihatkan *error* rata-rata sangat kecil, yaitu dibawah 1 %. Hal ini dijelaskan oleh I Made Mataram^[8].
- b. Peramalan beban puncak tenaga listrik dalam sistem kelistrikan di Indonesia telah dilakukan dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan (JST)-perambatan balik. dengan periode studi 2001-2025. Ramalan beban puncak listrik jangka panjang sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor ekonomi. Hasil ramalan beban puncak pada akhir tahun studi (2025) dengan metode JST tidak berbeda jauh dengan ramalan dalam Rencana Umum Ketanagalistrikan Nasional (RUKN). yaitu masing-masing sebesar 85.584 MW dan 79.920 MW (terjadi perbedaan sekitar 6,6%). Arief H. K dan Rinaldy D^[9].
- c. Peramalan permintaan logistik merupakan suatu proses pemrograman antara kebutuhan logistik dan alokasi sumber daya logistik. Algoritma jaringan syaraf biasanya diterapkan untuk peramalan permintaan logistik. Namun dalam pencapaian optimisasi dan konvergensi akan sangat lambat ketika data pelatihan yang diberikan berlebihan. Pada penelitiannya disajikan suatu algoritma jaringan syaraf adaptif untuk peramalan permintaan logistik. Studi empiris menunjukkan bahwa antara tahun 2001 hingga 2006 jaringan syaraf adaptif memiliki forecasting error rate rata-rata sebesar 0,641667% dan algoritma jaringan syaraf memiliki forecasting error rate rata-rata sebesar 0,921667%. Xuhui. B^[2].

Kondisi Kelistrikan Saat Kini

Distribusi tenaga listrik di kotamadya Malang berasal dari beberapa gardu induk yaitu Polehan, Kebon Agung, Sengkaling dan Blimbing, Gardu induk akan mendistribusikan ke beberapa tempat di wilayah Malang sesuai dengan kebutuhan masyarakat (konsumen).

Jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah dan tegangan rendah diatur sesuai distribusinya. Distribusi listrik diarahkan menjangkau seluruh kota dan masa mendatang ini titik beratnya diarahkan pada pembangunan kelistrikan di pedesaan, penerapan jalan-jalan arteri, taman dan pemukiman baru.

Beban listrik dapat dibagi atas empat jenis menurut kategori tarif, yaitu :

a. Beban Sosial

Yang termasuk beban sosial adalah :

- Rumah ibadah.
- Sekolah
- Rumah Sakit

b. Beban rumah tangga

Menurut kebutuhan daya (VA) dan peralatan yang dipakai beban rumah tangga dapat dibedakan lagi menjadi :

- beban rumah tangga sederhana (60 – 250 VA)
- beban rumah tangga sedang (500 – 2500 VA)
- beban rumah tangga besar (3000 VA keatas)

Peralatan listrik yang digunakan pada rumah tangga sederhana biasanya hanya untuk penerangan, radio, setrika dan televisi kecil. Pada rumah tangga sedang dan besar dimana masih memakai sistim satu fasa tetapi sudah dilengkapi dengan Kwh meter, pemakaiannya selain penerangan biasanya juga untuk lemari es, kipas angin, kompor listrik, komputer, televisi, AC, *water heater*, *washing machine* dan pompa air.

c. Beban komersial

Yang termasuk beban komersial meliputi :

- Pertokoan (pasar, gudang, supermarket dan apotik).
- Tempat-tempat hiburan (bioskop, rumah makan dan pusat rekreasi).
- Hotel dan bank-bank.

d. Beban Industri

Di negara maju pemakaian energi listrik sebagian besar adalah untuk kebutuhan industri, tidak demikian halnya di Indonesia dan negara berkembang lainnya dimana kebutuhan terbesar adalah pada kebutuhan rumah tangga.

Keuntungan dari pada sektor industri disamping pemakaian daya yang besar juga letaknya tidak terpencar-pencar seperti beban rumah tangga. Dengan mengetahui jumlah energi listrik yang dipakai oleh masing-masing jenis ini yaitu penerangan dan produksi maka dapat diketahui konsumsi energi listrik di kotamadya Malang ini.

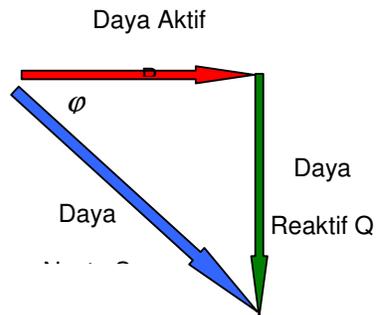
Daya Listrik

Dengan bertambahnya jumlah pelanggan, tentu kapasitas tenaga listrik yang tersambung akan cenderung meningkat. Daya tersambung juga memiliki pengaruh terhadap kebutuhan tenaga listrik. Pelanggan pada saat mengajukan untuk menjadi konsumen tenaga listrik akan menentukan kapasitas daya yang terpasang sesuai dengan kebutuhannya. Hal inilah yang menjadikan, faktor ini berpengaruh terhadap kebutuhan tenaga listrik.

Dalam listrik AC ada tiga jenis daya, khususnya untuk beban yang memiliki impedansi (Z).

- a. Daya semu (S. VA. Volt Amper)
- b. Daya aktif (P. W. Watt)
- c. Daya reaktif (QL . VAR. Volt Amper Reaktif)

Hubungan antara ketiga jenis daya tersebut ditunjukkan pada Gambar-1.



Gambar-1 Segitiga Daya Aktif, Reaktif dan Semu^[13]

Penjumlahan vektor dari daya aktif dan daya reaktif menghasilkan daya nyata.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{1}$$

dimana:

S = daya nyata (kVA)

P = daya aktif (kW)

Q = daya reaktif (kVAr)

$$Faktor\ Daya = \frac{daya\ aktif}{daya\ nyata}$$

$$= \frac{P}{S} = \cos\phi \tag{2}$$

PLN akan membebankan biaya kelebihan pemakaian KVARh apabila:

- 1. Faktor daya ($\cos\phi < 0.85$)
- 2. Pemakaian KVARh total $> 0.62 \times$ pemakaian kWh total (LWBP/Luar Waktu Beban Puncak + WBP/ Waktu Beban Puncak)

Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$KVARh\ yang\ dibayar = KVARh\ terpakai - (0.62 \times kWh\ total\ terpakai)$$

Konsep Runtun Waktu

Dekomposisi data *time series* berkaitan erat dengan pemahaman sebuah data runtun waktu yang dapat diuraikan menjadi empat komponen.

Berikut penjelasan keempat komponen data *time series*:

- a. *Trend* → simbol T

Pada dasarnya, trend adalah kecenderungan arah data dalam jangka panjang. *Trend* sebuah data dapat saja menaik, tetap atau menurun. Dalam proses penguraian data runtun waktu, trend dapat dinyatakan dalam bentuk sebuah garis lurus atau kurva yang ‘smooth’. walaupun hampir semua proses penguraian

tersebut akan menyatakan *trend* dalam sebuah persamaan yang menghasilkan sebuah garis lurus.

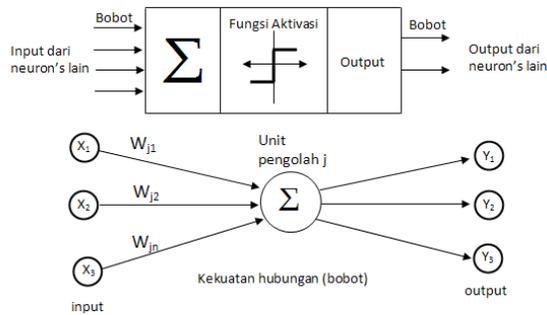
- b. Siklis (*Cyclical*) → simbol C
Siklis adalah gelombang (fluktuasi) dari data untuk waktu lebih dari satu tahun. Dalam praktek, kriteria siklis ini sulit dideteksi dan tidak dapat dipisahkan dari kriteria trend. Sebagai contoh, tingkat hunian hotel diperkirakan akan naik dalam jangka waktu lima tahun, namun setelah itu tingkat hunian cenderung stagnan dan mulai mengalami penurunan.
- c. Musiman (*Seasonal*) → simbol S
Sesuai dengan namanya, kriteria ini adalah fluktuasi data yang terjadi secara periodik dalam jangka waktu satu tahun; *seasonal* dapat berupa triwulan, kuartalan, bulanan atau mingguan. Kriteria ini dapat terjadi oleh karena sifat musiman misalnya pada saat *weekend* pengunjung hotel diperkirakan meningkat maka data yang diambil adalah *seasonal* mingguan.
- d. Iregular (*Irregular*) → simbol I
Kriteria ini adalah 'sisa' setelah ketiga kriteria lain yang dapat terdeteksi. Iregular adalah kejadian yang tidak terduga dan bersifat random, namun kemunculannya dapat mempengaruhi data *time series*. Kejadian tersebut dapat berupa gempa bumi, perang, aksi terorisme, pemogokkan buruh atau kejadian tak terduga lainnya. Namun kejadian tersebut tentu tidak berulang terus menerus dan waktu persis kejadiannya tidak dapat diprediksi (ciri dari random).

Tidak semua data *time series* harus mempunyai keempat komponen tersebut, misal data dalam jangka pendek. Seperti contoh data produksi listrik untuk satu minggu, data tersebut tidak memiliki komponen *seasonal* atau siklis. Jika data tidak memiliki keempat komponen, tentu proses dekomposisi data tidak perlu dilakukan. Proses *forecasting* terhadap data semacam itu cukup dilakukan dengan metode *moving average* atau lainnya.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) ^[5]

Jaringan syaraf tiruan (untuk selanjutnya disingkat JST), didefinisikan sebagai suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia (JSB). JST tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia (*human cognition*) yang didasarkan atas asumsi sebagai berikut :

- a. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut neuron.
- b. Sinyal mengalir diantara sel syaraf/neuron melalui suatu sambungan penghubung.
- c. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian. Bobot ini akan digunakan untuk menggandakan/mengalikan sinyal yang dikirim melaluinya.
- d. Setiap sel syaraf akan menerapkan fungsi aktivasi terhadap sinyal hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan sinyal keluarannya.



Gambar-2 Model Struktur Neuron JST^[6]

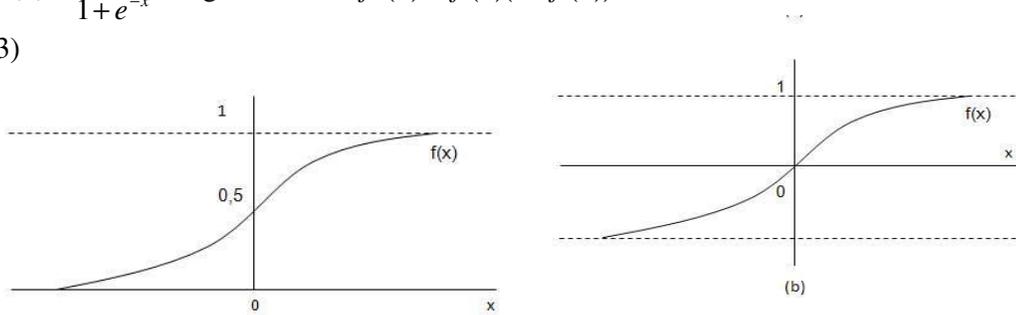
Karakteristik dasar JST dan model struktur neuron ditunjukkan dalam Gambar-2. Algoritma untuk JST beroperasi secara langsung dengan angka sehingga data yang tidak numerik harus diubah menjadi data numerik. JST tidak diprogram untuk menghasilkan keluaran tertentu. Semua keluaran atau kesimpulan yang ditarik oleh jaringan didasarkan pada pengalamannya selama mengikuti proses pembelajaran. Pada proses pembelajaran, ke dalam JST dimasukkan pola-pola input dan output lalu jaringan akan diajari untuk memberikan jawaban yang bisa diterima.

Fungsi Aktivasi ^[7]

Fungsi aktivasi yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat yaitu: kontinu, terdiferensial dengan mudah, merupakan fungsi yang naik monoton dan derivatifnya mudah dihitung. Salah satu fungsi yang memenuhi keempat syarat tersebut, yang sering dipakai adalah fungsi sigmoid biner dengan range (0.1).

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \text{ dengan turunan } f'(x) = f(x)(1 - f(x))$$

(3)



Gambar -3 Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner (a) dan Bipolar (b)^[7]

Fungsi lain yang sering dipakai adalah fungsi sigmoid bipolar yang bentuk fungsinya mirip dengan fungsi sigmoid biner, tetapi dengan range (-1.1).

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1 \text{ dengan turunan}$$

$$f'(x) = \frac{(+f(x))(1 - f(x))}{2}$$

(4)

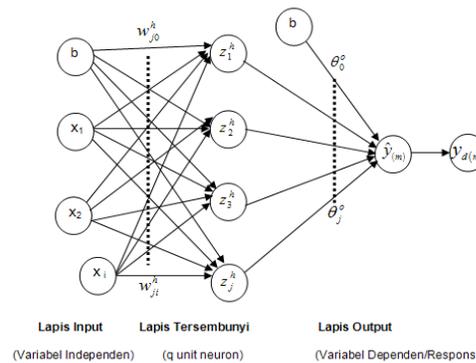
Jaringan Syaraf Tiruan Multi Lapis

Keterbatasan jaringan neural satu lapis dalam pemetaan dapat diatasi oleh multi lapis, karena dapat belajar setiap pemetaan kontinyu dengan akurasi yang lebih baik. Jaringan multi lapis dapat menggunakan pelatihan yang merambat balik galat yang merupakan metode penurunan gradien. Metode untuk meminimisasikan galat kuadrat total dari keluaran jaringan dapat dilakukan dengan melibatkan tiga langkah sebagai berikut :

- Umpan maju pola pelatihan masukan
- Perhitungan dan perambatan balik galat terkait
- Pengaturan bobot.

Setelah pelatihan, aplikasi jaringan hanya komputasi fase umpan maju. Walaupun pelatihannya lama, tetapi jaringan yang terlatih dapat menghasilkan keluaran dengan sangat tepat.

Jaringan neural multi lapis dengan satu lapis unit tersembunyi ditunjukkan dalam Gambar-4.



Gambar -4 Jaringan Syaraf Multi Lapis^[5]

Unit keluaran dan tersembunyi mempunyai prasikap (bias) yang berlaku sebagai bobot koneksi dari unit yang keluarannya selalu satu.

Proses Umpan Maju

Langkah1. Setiap unit masukan ($x_i, i=1, \dots, n$) menerima sinyal masukan x_i dan meneruskan sinyal ini ke semua unit di dalam lapisan tersembunyi di atasnya.

Langkah2. Setiap unit tersembunyi ($z_j^h, j=1, \dots, p$) menjumlahkan sinyal masukan terbobotnya.

$$z_j^h = \sum_{i=1}^p w_{ji}^h x_i + b_j^h \quad (5)$$

Hitung sinyal keluarannya dengan fungsi aktivasinya yang digunakan.

$$a_j^h = f_j^h(z_j^h) \quad (6)$$

dan kirimkan sinyal ini ke semua unit di dalam lapisan keluaran

Langkah.3. Setiap unit keluaran $(y_{(m)}^o, m=1, \dots, n)$ menjumlahkan sinyal masukan

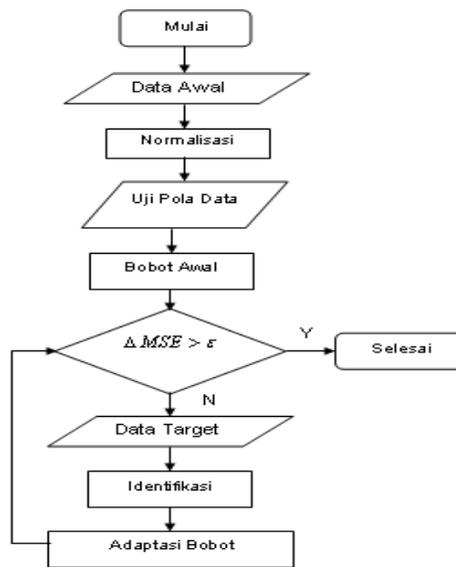
terbobotnya $y_{(m)}^o = \sum_{j=1}^q a_{j(m)}^h \theta_j^o + b^o$ dan hitung sinyal keluarannya dengan fungsi aktivasi :

$$\hat{y}_{(m)} = a_{(m)}^o = f(y_{(m)}^o) \tag{7}$$

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Teori

Kerangka teori penelitian ditunjukkan dalam Gambar-5.



Gambar-5 Kerangka Teori JST Adaptif

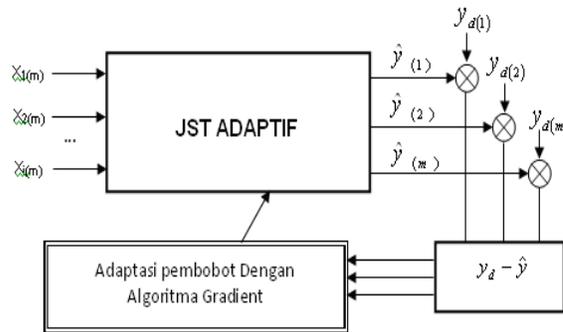
Hipotesis

Model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk peramalan permintaan Energi Listrik tergantung pada kumpulan data yang didasarkan pada urutan sekuensial waktu atau tergantung pada transformasi sekuensial waktu yang memiliki karakteristik non linear dari JST tersebut.

JST menggunakan banyak neuron untuk pendekatan fungsi lapis masukan $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, fungsi lapis tersembunyi $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ dan fungsi keluaran $f(y_1, y_2, \dots, y_n)$. JST adaptif mempunyai tiga fungsi berikut:

- a. Mengidentifikasi karakteristik sistem.
- b. Membandingkan dengan karakteristik optimal.
- c. Modifikasi bobot.

Model konfigurasi jaringan syaraf adaptif ditampilkan dalam Gambar-6.



Gambar-6 Model Konfigurasi Jaringan Syaraf Adaptif

dimana :

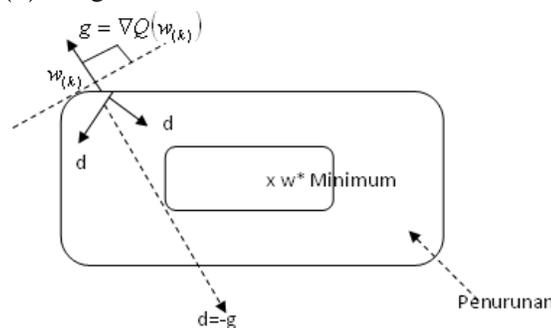
- $\hat{y}_{(m)}$ adalah keluaran dari peramal jaringan syaraf
- $y_{d(m)}$ adalah target.
- $x_i(k)$ adalah variabel input.
- v_{ji}^h adalah bobot antara masukan dan lapisan tersembunyi.
- w_j^o adalah bobot antara lapisan tersembunyi dan keluaran.
- k adalah urutan waktu.
- $\delta \in R$ adalah kesalahan output.

Metode penurunan (descent) dipergunakan untuk meminimasi fungsi objektif Q yang didefinisikan di dalam perubahan bobot $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$. Minimisasi ini dilakukan dengan mencari titik minimum $w = w^*$ yang meminimkan $Q(w)$. Umumnya fungsi objektif Q mempunyai bentuk nonlinear terhadap parameter w yang dapat diatur. Karena kompleksitas Q , maka digunakan algoritma iteratif untuk mengeksplorasi perubahan bobot secara efisien. Pada metode penurunan iteratif, titik selanjutnya $w(k+1)$ ditentukan oleh titik kini (sekarang) $w(k)$ menurut arah vektor :

$$w(k+1) = w(k) + \alpha Q'(w), \quad \alpha > 0 \tag{8}$$

dengan α adalah suatu koefisien pembelajaran (learning rate).

Setelah keputusan arah diambil. semua algoritma menuju ke titik minimum lewat garis yang berangkat dari $w(k)$ dengan arah d.



Gambar-7 Arah Penurunan D Yang Layak Dari w_{kini} .

Untuk $D = -G$ Merupakan Arah Penurunan Tercuram.

Konsep dan Variabel

Studi pustaka atau metode Literatur merupakan penelaahan akan sumber pustaka yang relevan dan digunakan untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan dalam penelitian dalam hal ini yang dimaksud adalah buku-buku panduan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. setelah itu dilanjutkan dengan penelaahan isi dari sumber pustaka tersebut. Penelaahan yang dilakukan memunculkan ide dan dijadikan sebagai landasan untuk penelitian.

Data-data yang akan diolah adalah data teknis dari PLN dan data sosial ekonomi yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS). Faktor-faktor yang berpengaruh dalam peramalan penyediaan kebutuhan tenaga listrik dimasa datang, yaitu :

- a. Produk Domestik Regional Bruto (PRDB)
- b. Jumlah Pelanggan
- c. Pertumbuhan penduduk
- d. Jumlah rumah tangga
- e. Jumlah daya rata-rata
- f. Faktor Beban

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 10 bulan, mulai bulan Oktober 2009 sampai dengan Juli 2010.

Tempat penelitian akan dilaksanakan pada :

- a. PT PLN Wilayah Malang
- b. Badan Pusat Statistik Wilayah Malang

Bahan dan Alat

Bahan yang dipergunakan untuk menunjang penelitian ini adalah :

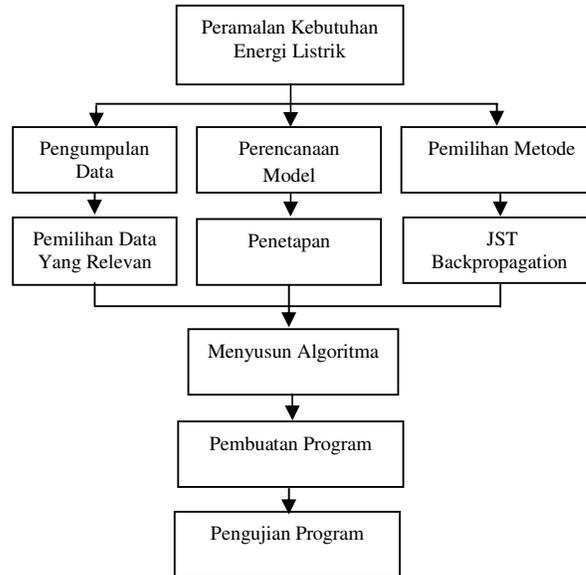
- Data statistik dari PT PLN Wilayah Malang dan BPS Malang.

Alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah:

- Seperangkat *personal computer* / notebook.
- Perangkat lunak (*software Matlab7*) untuk analisa data

4.1 Tahap-Tahap Penelitian

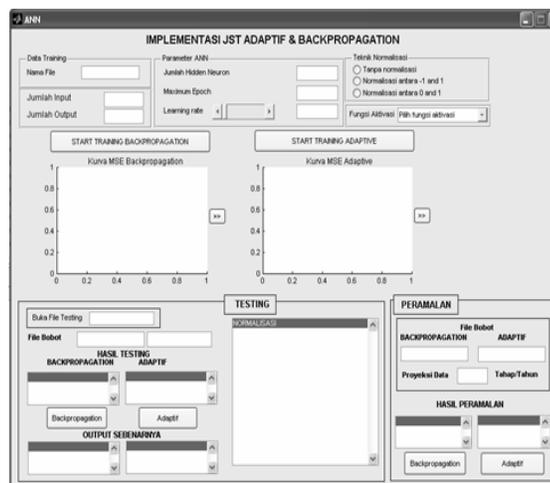
Tahap Penelitian mengikuti Diagram berikut :



Gambar-8 Diagram Tahap Penelitian

Perancangan Dan Implementasi Desain Aplikasi JST Adaptif

Selain sebagai software yang andal di bidang pengolahan numerik, matlabpun andal di bidang peramalan. Selanjutnya aplikasi peramalan akan ditunjukkan pada Gambar-9.



Gambar-9 Implementasi JST Adaptif Dengan GUI Matlab 7

Prinsip Kerja Jaringan Syaraf Adaptif^[2]

Dalam pemodelan statistik, jaringan syaraf tiruan dapat dipandang sebagai suatu kelas yang fleksibel dari fungsi-fungsi nonlinear. Secara umum, model ini bekerja dengan menerima suatu vektor dari input x dan kemudian menghitung suatu respon atau output $\hat{y}(x)$ dengan memproses (perambatan) x melalui elemen-elemen proses yang

saling terkait. Elemen-elemen proses tersusun dalam beberapa lapis (layer). Dari data input x , mengalir dari satu lapis ke lapis berikutnya secara berurutan. Dalam tiap-tiap lapis, input-input ditransformasi ke dalam lapis secara nonlinear oleh elemen-elemen proses dan kemudian diproses maju ke lapis berikutnya. Akhirnya, nilai-nilai output \hat{y} yang dapat berupa nilai-nilai skalar atau vektor, dihitung pada lapis keluaran.

$$\hat{y}_{(m)} = a_{(m)}^o = f^o(y_{(m)}^o) = f^o\left(\sum_{j=1}^q w_j^o a_{j(m)}^h\right)$$

$$\hat{y}_{(m)} = f[x_{i(m)}(k), v_{ji}^h, w_j^o] = z^T[x_{i(m)}(k), v_{ji}^h]w_j^o \tag{9}$$

dimana :

$x_{i(m)}$ = variabel input sebanyak p. (i=1.2.....p)

$\hat{y}_{(m)}$ = nilai estimasi dari variabel output

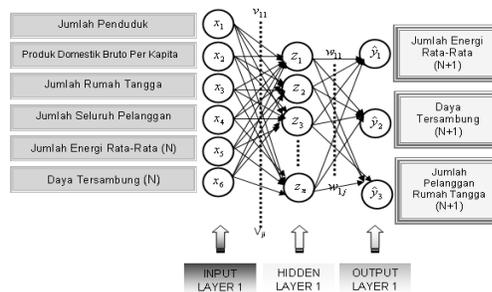
m = indeks pasangan data input-target ($x_{i(m)}, y_{d(m)}$). m=1.2.....n

v_{ji}^h = bobot dari input ke lapis tersembunyi. (j=1.2.....q)

f_j^h = fungsi aktifasi di neuron ke-j pada lapis tersembunyi. (j=1.2.....q)

w_j^o = bobot dari lapis tersembunyi ke output. (j=1.2.....q)

f^o = fungsi aktifasi pada neuron di lapis output



Gambar-10. Arsitektur Jaringan Syaraf Adaptif

Beberapa notasi akan digunakan untuk memperjelas penjabaran proses input-output jaringan syaraf adaptif pada Gambar-10 di atas. *Superscript "h"* digunakan sebagai indeks yang menyatakan lapis tersembunyi (*hidden layer*) dan "o" untuk indeks yang menyatakan lapis output. Digunakan juga z_j^h untuk menyatakan suatu vektor nilai-nilai setelah proses penjumlahan input dan bobot-bobot pada lapis tersembunyi di neuron ke-j.

Karena kemampuan pendekatan jaringan saraf, kita selalu dapat menemukan jaringan saraf f maju memenuhi:

$$y_d(k+1) = f[x(k), v(k), w(k)] = z^T[x(k), v(k)]w(k)$$

$$y(k+1) = y_d(k+1) - \delta(k) \tag{10}$$

Dimana $y_d(k+1)$ adalah target peramalan jaringan saraf dari $y(k+1)$, $x(k)$ adalah variabel input, v adalah bobot antara lapisan tersembunyi dan masukan, w adalah bobot lapisan tersembunyi dan keluaran sedangkan, k adalah urutan waktu dan $\delta \in \mathbb{R}$ adalah kesalahan output. Ditetapkan satu model prediksi jaringan saraf sebagai berikut:

$$y_d(k+1) = z^T(z, v)w$$

Kemudian

$$y(k+1) = y_d(k+1) + \delta_1 = z^T(z_1, v)w + \delta_1$$

$$y(k+2) = y_d(k+1) + \delta_1 + \delta_2 = z^T(z_1, v)w + \delta_1$$

...

$$y(k+d) = y_d(k+d) + \sum_{i=1}^d \delta_i = z^T(z_d, v)w + \sum_{i=1}^d \delta_i$$

Jaringan saraf dapat memperkirakan ketidak linearan kurva, kesalahan prediksi dalam setiap langkah $\delta_i (i = 1, 2, \dots, d)$ dapat mencapai perubahan kecil yang mengarah $\delta_1 + \delta_2 + \dots + \Delta_d$ sesuai perubahan algoritma gradient. Hal ini dapat memperbaiki hasil dari peramalan.

Kita dapat melatih jaringan saraf dengan parameter konfigurasi sebelumnya. Kemudian kita mempertahankan keluaran agar tetap konstan terhadap target dengan memodifikasi parameter jaringan. Diasumsikan bahwa model jaringan saraf f adalah ditunjukkan dalam Gambar-6, dan kemudian ramalan mengandung harapan hubungan masukan-keluaran sebagai berikut:

$$y(k+1) = z^T[x(k), v]w^* + \eta(k) \quad (11)$$

dimana $\eta(k)$ adalah residual jaringan saraf.

Dengan mengadaikan bahwa beta merupakan selisih antara update bobot hasil perhitungan dengan bobot yang diharapkan maka:

$$\beta(k) = w(k) - w^*$$

Untuk kesalahan prediksi menjadi:

$$\begin{aligned} \delta(k) &= y_d(k+1) - y(k+1) \\ &= z^T[x(k), v]\beta(k) - \eta(k) \end{aligned} \quad (12)$$

Untuk merubah bobot diterapkan suatu pengaturan parameter adaptif berdasarkan algoritma gradien

$$w(k+1) = w(k) - \alpha z[x(k), v]\delta(k), \quad \alpha > 0$$

Dengan mempertimbangkan kestabilan sistem maka dapat dirumuskan:

$$\begin{aligned} \beta(k+1) &= \beta(k) - \alpha \phi[x(k), v]\delta(k) \\ \delta(k) &= z^T[x(k), v]\beta(k) - \eta(k) \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan mempertimbangkan algoritma konvergensi (5.4), maka fungsi Lyapunov menjadi:

$$v(k) = \beta^T(k)\beta(k) + \alpha^2 \sum_{j=k}^{\infty} \eta^2(j) + \sum_{j=k}^{\infty} \delta^2(j) + \alpha^2 \sum_{j=k}^{\infty} Z^T[x(j), v]\delta^2(j)$$

Dengan mensubstitusi ke persamaan (13) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 v(k+1) - v(k) &= \beta^T(k+1)\beta(k+1) - \alpha^2 \eta^2(k) - \\
 &\quad - \delta^2(k) - \alpha^2 z^T[x(k), v]z[x(k), v]\delta^2(k) \\
 &= -2\alpha\delta^2(k) - [\alpha\eta(k) + \delta(k)]^2 < 0
 \end{aligned}$$

Jadi sistem yang digambarkan oleh (13) stabil, dan algoritma (12) adalah konvergen

Data Peramalan

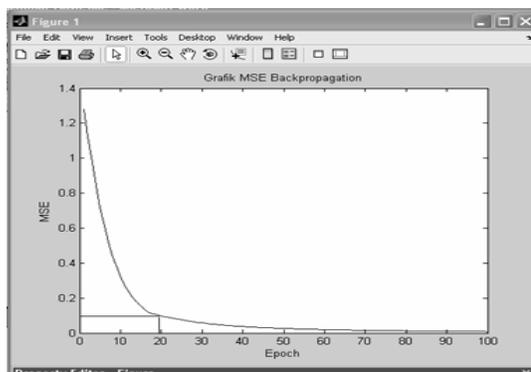
Data peramalan diberikan oleh PT.PLN APJ Malang mulai tahun 2001 sampai dengan 2009.

Tahun	Jumlah Pelanggan	PDRB Perkapita	Penduduk	Jumlah Rumah Tangga	Energi Rata-Rata	Daya Tersambung
2001	60,6660	8,71538	74,3508	57,1318	8,352393	60,043836
2002	62,5270	9,87037	77,2642	58,7007	8,736038	62,517273
2003	63,6859	10,81226	79,3410	59,7371	9,033699	63,132334
2004	64,9779	14,92127	79,8104	60,8983	9,479870	64,788534
2005	66,3511	16,52032	80,2763	62,0737	10,126663	66,126627
2006	67,3662	18,08365	80,7543	62,9526	10,767532	67,111762
2007	68,7850	22,41526	81,2209	64,2761	11,329562	68,563782
2008	70,1172	25,29290	81,6637	65,5101	11,940309	69,976527
2009	71,6966	29,86895	82,1351	66,9463	12,566688	71,432561

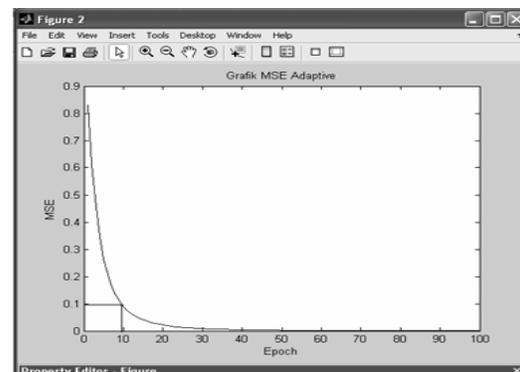
Tabel 5.1 Data Peramalan

Hasil Pelatihan

Pelatihan dilaksanakan dengan input 6; output 2; Hidden 4; Epoch 500; Aktifasi Sigmoid Bipolar; dan Learning Rate:0,03



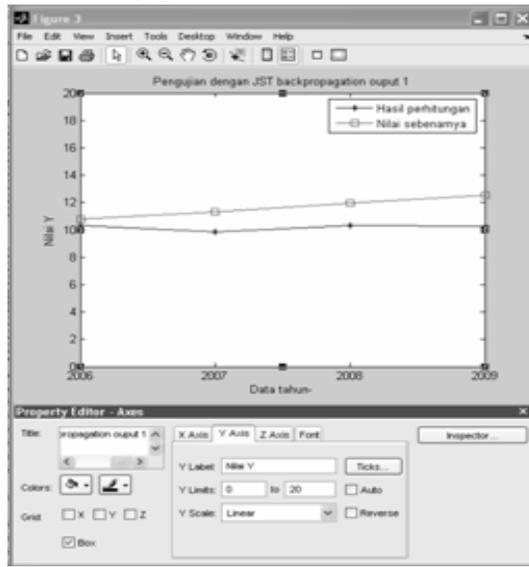
(a)



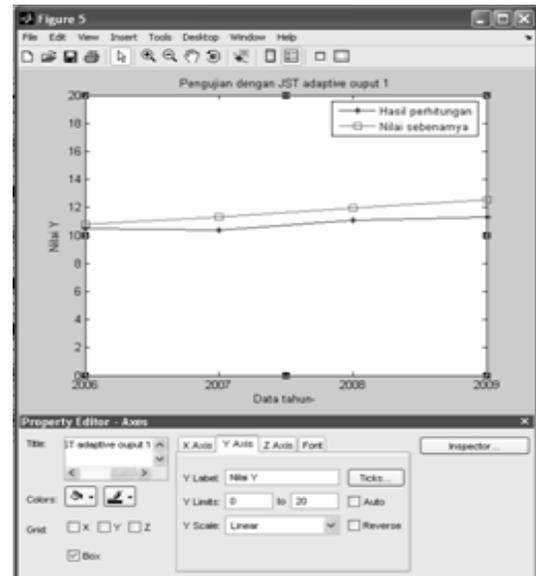
(b)

Gambar-11 (a) MSE Backpropagation, (b) MSE Adaptif

Hasil Pengujian



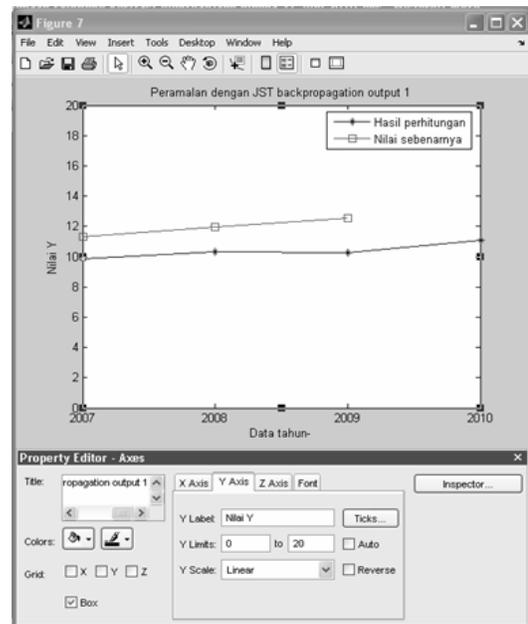
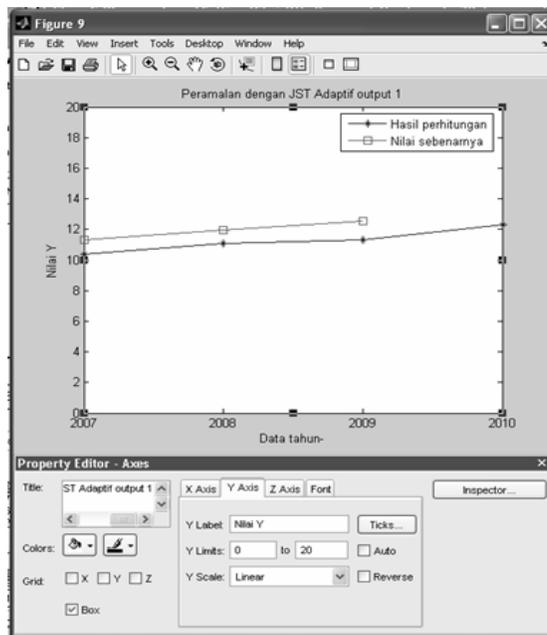
(a)



(b)

Gambar-12 a Hasil Pengujian Keluaran Energi Rata-Rata Dengan Backpropagation
 b. Hasil Pengujian Keluaran Energi Rata-Rata Dengan Adaptif

Hasil Peramalan



Gambar-13 Hasil Peramalan Keluaran Energi Rata-Rata Dengan Backpropagation

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, algoritma jaringan saraf adaptif dan algoritma jaringan saraf perambatan balik diterapkan dalam peramalan kebutuhan energi listrik wilayah Malang. Algoritma jaringan saraf adaptif dalam pembelajarannya memberikan hasil yang lebih baik dengan pencapaian MSE 0,1 pada iterasi ke sepuluh sedangkan algoritma backpropagation menghasilkan MSE 0,1 pada iterasi ke duapuluh.

Hasil pengujian membuktikan bahwa tingkat akurasi algoritma jaringan saraf Adaptif lebih baik dibandingkan dengan algoritma jaringan saraf perambatan balik dengan selisih 0,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Singgih S. 2009 Business Forecasting Metode Peramalan Bisnis Masa Kini dengan Minitab dan SPSS. Penerbit Elex Media Komputindo
- [2] Xuhui. B. 2008. Adaptive Neural Network in Logistics Demand Forecasting. Proceedings International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation 2008 Manuscript Vol 1
- [3] Kasabov. N.K. 1998. Foundations of Neural Networks. Fuzzy Systems. and Knowledge Engineering. Massachusetts Institute of Technology.
- [4] Saludin M. 2006 Jaringan Syaraf Tiruan Sebagai Alat Bantu Peramalan Harga Saham. Penerbit Graha Ilmu
- [5] Siang. J.J. 2005. Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [6] Sri K. 2003 Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya). Penerbit Graha Ilmu.
- [7] Thomas S.W. 2005 Sistem Neuro Fuzzy Penerbit Graha Ilmu
- [8] I Made Mataram. "Peramalan Beban Hari Libur Menggunakan Artificial Neural Network". Journal Program Pascasarjana Teknik Kendali. Universitas Udayana. 2008.
- [9] Arief H. K. Rinaldy D. "Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia". *JURNAL TEKNOLOGI*. Edisi No. 3. Tahun XIX. September 2005. 211-217 ISSN 0215-1685.
- [10] Haykin. S. 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall International. Inc
- [11] Fausett. L.. Fundamentals of Neural Networks. Architecture. Algorithms dan Applications. Prentice Hall. 1994.
- [12] Zurada. J. M. 1992 Introduction to Artificial Neural Systems. West Pulishing Company.

- [13] Gonen. Turan. 1987. *Electric Power Distribution System Engineering*. McGraw-Hill Int. Ed
- [14] Landau. Ioan D.. System Identification and Control Design using P.I.M.+ software. Prentice Hall. 1988.
- [15] Willis. H.L.. 2002. *Spatial Electric Load Forecasting*. Second edition. Revised and Expanded. CRC Press.
- [16] Ioannou P.. Fidan B. 2006 Adaptive Control Tutorial. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia.
- [17] Nelles O.. 2000 Nonlinear System Identification. Springer.
- [18] Meier. A. 2006 Electric Power Systems. A John Wiley & Sons. Inc.. Publication.