

Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Kebutuhan Beban Listrik Jangka Panjang di Kabupaten Jember

Dodi Setiabudi, Sholeh Hadi Pramono, dan Erni Yudaningtyas

Abstrak—Ketersediaan energi listrik sebagai salah satu infrastruktur penting sangat diutamakan. Semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi pada suatu daerah maka konsumsi energi listrik juga akan semakin meningkat. Pemenuhan kebutuhan energi listrik pada suatu daerah diperlukan perencanaan sistem tenaga listrik yang tepat.

Penelitian ini mengembangkan suatu model Sistem pendukung keputusan (SPK) untuk penentuan kebutuhan beban listrik jangka panjang di kabupaten Jember. Model SPK terdiri dari subsistem peramalan beban puncak listrik jangka panjang menggunakan metode Jaringan syaraf tiruan (JST) *backpropagation* dan subsistem penentuan lokasi penempatan trafo distribusi menggunakan metode *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peramalan beban puncak listrik menggunakan JST *backpropagation* memiliki rata-rata *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* sebesar 17,09%, sedangkan nilai preferensi terbesar untuk pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi menggunakan metode *TOPSIS* menghasilkan nilai sebesar 0,5000237167 yaitu lokasi sukorambi.

Kata Kunci—Peramalan beban puncak listrik jangka panjang, Sistem Pendukung Keputusan, Jaringan Syaraf Tiruan, *backpropagation*, *TOPSIS*.

I. PENDAHULUAN

PENAMBAHAN panjang jaringan transmisi tenaga listrik mengalami peningkatan sebesar 11% selama periode 5 tahun sejak tahun 2004 [3], perkembangan sektor industri dan pariwisata diramalkan mengalami pertumbuhan beban dengan pesat. Penyediaan tenaga listrik harus menjadi prioritas dalam pembangunan dan dalam prosesnya harus dikembangkan dengan prinsip-prinsip keterandalan. Dengan menggunakan SPK yang baik diharapkan membantu pihak PLN sebagai

pengguna SPK untuk memperkirakan, mengalokasikan kapasitas kebutuhan beban listrik untuk periode kedepan dan perencanaan pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada pengembangan jaringan baru yang tepat merujuk pada hasil peramalan beban listrik jangka panjang.

Peramalan beban listrik adalah penopang dasar untuk operasi manajemen dan kontrol *real-time* sistem operasi listrik [7]. Sebuah perencanaan sistem tenaga listrik dibuat berdasarkan hasil estimasi beban listrik. Metode prakiraan beban listrik jangka panjang dengan rentang 1 sampai 10 tahun [1] selama ini yang digunakan PLN adalah dengan cara konvensional berbasis metode statistik, yaitu metode koefisien beban yang dilakukan dengan mempelajari data historis beban listrik terdahulu.

JST adalah algoritma penyelesaian masalah komputasi yang prinsip kerjanya menirukan jaringan syaraf manusia. Salah satu jenis dari metode JST yaitu *Backpropagation*. Metode ini dipilih karena saat *output* tidak sama dengan target yang diharapkan maka *output* akan disebarkan mundur (*backward*) pada *hidden layer* untuk diteruskan ke unit pada *input layer*, sehingga akan ada umpan balik untuk memvalidasi hasil keluaran JST [3]. Pada penelitian ini Metode *JST Backpropagation* digunakan untuk subsistem peramalan beban puncak listrik jangka panjang.

Metode *TOPSIS* menggunakan prinsip bahwa alternatif yang terpilih tidak hanya mempunyai jarak terpendek dari solusi ideal positif, namun juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif [9]. Metode *TOPSIS* digunakan untuk subsistem pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada pengembangan jaringan baru, sehingga dapat menghasilkan suatu rekomendasi keputusan yang tepat.

Menjawab berbagai permasalahan dalam hal perencanaan sistem tenaga listrik yang tepat maka dibutuhkan suatu sistem pendukung keputusan (SPK) pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada pengembangan jaringan baru berdasarkan peramalan beban listrik jangka panjang.

II. DASAR TEORI

A. Peramalan beban listrik jangka panjang

Secara umum, beban yang dilayani oleh sistem distribusi listrik ini dibagi dalam beberapa sektor yaitu

Dodi Setiabudi adalah Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: gbdoydist@gmail.com)

Sholeh Hadi Pramono adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, (email: sholehpramono@gmail.com)

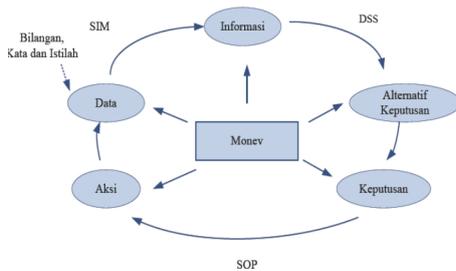
Erni Yudaningtyas adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email : erni_yudaningtyas@yahoo.co.id).

sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor publik atau umum. Masing – masing sektor mempunyai karakteristik – karakteristik yang berbeda. Ramalan dalam bidang tenaga listrik pada dasarnya merupakan ramalan kebutuhan energi listrik (watt jam) dan ramalan beban tenaga listrik (watt). Keduanya disebut dengan istilah *load (demand) forecasting*. Hasil peramalan ini dipergunakan untuk membuat rencana pemenuhan kebutuhan maupun pengembangan penyediaan tenaga listrik setiap saat secara baik dan kontinyu. Peramalan beban listrik jangka panjang adalah untuk jangka waktu di atas satu tahun [1].

B. Sistem pendukung keputusan (SPK)

SPK adalah suatu sistem interaktif berbasis komputer yang dapat membantu para pengambil keputusan dalam menggunakan data dan model untuk memecahkan persoalan yang bersifat tidak terstruktur [8].

Mengambil atau membuat keputusan adalah suatu proses yang dilaksanakan orang berdasarkan pengetahuan dan informasi yang ada [6]. Keputusan dapat diambil dari alternatif keputusan yang ada. Alternatif keputusan tersebut dapat dilakukan dengan adanya informasi yang diolah dan disajikan dengan dukungan sistem penunjang keputusan

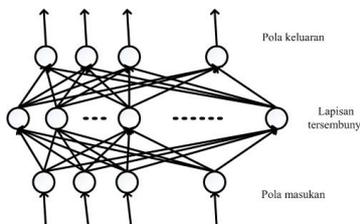


Gambar. 1 .Siklus dari data, informasi dan keputusan menjadi aksi

C. Jaringan syaraf tiruan *backpropagation*

Jaringan syaraf tiruan adalah suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologi [2]. Ide dasarnya adalah mengadopsi cara kerja otak manusia yang memiliki ciri – ciri *pararel processing, processing element* dalam jumlah besar dan *faulttolerance*.

Jaringan propagasi balik terdiri atas tiga atau lebih lapisan atau *layer*[5]. Perbedaannya hanya pada jumlah lapisan tersembunyi yang dimiliki.



Gambar.2.Lapisan Jaringan *Backpropagation*

Algoritma selengkapnya pelatihan jaringan *backpropagation* adalah sebagai berikut [2]:

1. Langkah 0 : Inisialisasi bobot-bobot (tetapkan dalam nilai acak kecil)

2. Langkah 1 : Bila syarat berhenti adalah salah, kerjakan langkah 2 sampai 9.
3. Langkah 2 : Untuk setiap pasangan pelatihan, kerjakan langkah 3 sampai 8.

Umpan maju :

4. Langkah 3 : Tiap unit masukan ($x_i, i = 1, \dots, n$) menerima isyarat masukan x_i dan diteruskan ke unit-unit tersembunyi.

5. Langkah 4 : Tiap unit tersembunyi ($z_j, j = 1, \dots, p$) menjumlahkan isyarat masukan berbobot,

$$z_{in_j} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \tag{1}$$

dengan menerapkan fungsi aktivasi hitung :

$$Z_j = f(z_{in_j}) \tag{2}$$

dan kirim isyarat ini ke unit-unit keluaran.

6. Langkah 5 : Tiap unit keluaran ($y_k, k = 1, \dots, m$) menjumlahkan isyarat masukan berbobot,

$$y_{in_j} = w_{0k} + \sum_{i=1}^p z_i w_{jk} \tag{3}$$

dengan menerapkan fungsi aktivasi hitung,

$$y_k = f(y_{in_k}) \tag{4}$$

Perambatan Balik *Error* :

7. Langkah 6 : Tiap unit keluaran ($y_k, k = 1, \dots, m$) menerima pola sasaran berkaitan dengan pola pelatihan masukannya.

Hitung error informasi :

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{in_k}) \tag{5}$$

Hitung koreksi bobot dan biasnya:

$$\Delta W_{jk} = \alpha \delta_k z_j \tag{6}$$

$$\Delta w_{0k} = \alpha \delta_k \tag{7}$$

8. Langkah 7 : Tiap unit tersembunyi ($z_j, j = 1, \dots, p$) menjumlahkan delta masukannya (dari unit-unit di lapisan atasnya).

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \tag{8}$$

Hitung error informasinya :

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

Hitung koreksi bobot dan biasnya :

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i \tag{10}$$

Perbaharui bobot dan bias :

9. Langkah 8 : Tiap-tiap unit output ($Y_k, k=1,2,3, \dots, m$) memperbaiki bias dan bobotnya ($j=0,1,2, \dots, p$):

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \tag{11}$$

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

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \tag{12}$$

10. Langkah 9 : Uji syarat berhenti

D. TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)

Multiple criteria decision making (MCDM) merupakan bagian dari problem pengambilan keputusan yang relatif kompleks. Salah satu metode yang digunakan untuk menangani permasalahan ini, adalah *TOPSIS*. Langkah-langkah perhitungandengan metode *TOPSIS* sebagai berikut [4]:

- Menghitung matriks keputusan ternormalisasi
- Menghitung matriks keputusan ternormalisasi terbobot
- Menghitung matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif
- Menghitung jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi positif dan matriks solusi ideal negatif.
- Menentukan nilai preferensi setiap alternatif.

Algoritma dari TOPSIS ini adalah sebagai berikut (x):

- Ranking Tiap Alternatif

TOPSIS membutuhkan ranking kinerja setiap alternatif A_i pada setiap kriteria C_j yang ternormalisasi yaitu:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (13)$$

dimana $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$; x = input data dan r adalah ranking tiap alternatif

- Membuat matriks keputusan ternormalisasi terbobot v yang elemen-elemennya ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (14)$$

dengan $i=1,2,\dots,m$ dan $j=1,2,\dots,n$

Dimana:

v_{ij} = adalah matriks ternormalisasi terbobot

w_j = vektor bobot ke - i

r = ranking tiap alternatif

- Solusi Ideal Positif Dan Negatif

Solusi ideal positif A^+ dan solusi ideal negatif A^- dapat ditentukan berdasarkan ranking bobot ternormalisasi (v_{ij}) sebagai berikut:

$$A^+ = \{(\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{y_1^+, y_2^+, y_3^+, \dots, y_n^+\} \quad (15)$$

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} \\ = \{y_1^-, y_2^-, y_3^-, \dots, y_n^-\} \quad (16)$$

Dimana :

$v_{ij}^+ a \quad h :$

– $\min v_{ij}$, jika j adalah atribut biaya (c_i^-)

– $\max v_{ij}$, jika j adalah atribut keuntungan (b_i^+)

$v_{ij}^- a \quad h :$

– $\max v_{ij}$, jika j adalah atribut keuntungan (b_i^+)

– $\min v_{ij}$, jika j adalah atribut biaya (c_i^-)

- Jarak Dengan Solusi Ideal

Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif. Terdiri dari jarak alternatif dari solusi ideal positif (S^+) dan jarak alternatif dari solusi ideal negatif (S^-). Persamaan untuk menghitung jarak alternatif dari solusi ideal positif (S^+) adalah:

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

Dan persamaan untuk menghitung jarak alternatif dari solusi ideal negatif (S^-) adalah:

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, m \quad (18)$$

Dimana:

s_i^+ adalah jarak alternatif ke- i dari solusi ideal positif, s_i^- adalah jarak alternatif ke- i dari solusi ideal negatif, v_{ij} adalah elemen dari matriks keputusan yang ternormalisasi terbobot v , v_j^+ adalah elemen matriks solusi ideal positif, v_j^- adalah elemen matriks solusi ideal negatif.

- Nilai Preferensi Untuk Setiap Alternatif

Kedekatan relatif terhadap solusi ideal positif dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$C_i^+ = \frac{s_i^-}{(s_i^- + s_i^+)}, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

Dimana :

C_i^+ adalah kedekatan relatif dari alternatif ke- i terhadap solusi ideal positif,

S_i^+ adalah jarak alternatif ke- i dari solusi ideal positif,

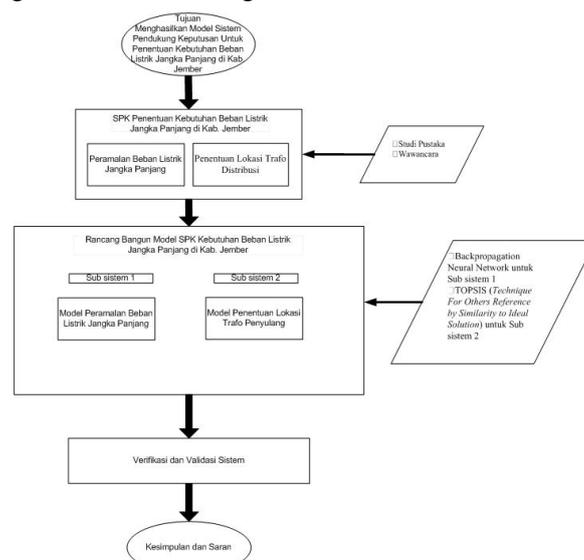
S_i^- adalah jarak alternatif ke- i dari solusi ideal negatif.

Nilai C_i^+ yang lebih besar menunjukkan bahwa alternatif A_i lebih dipilih.

III. METODE PENELITIAN

Terdapat dua tahapan dalam penelitian ini. Tahap pertama adalah mengembangkan model subsistem peramalan beban listrik jangka panjang di kabupaten. Data sekunder yang digunakan adalah data jumlah populasi penduduk, jumlah rumah tangga, jumlah pelanggan listrik tiap – tiap sektor dan penggunaan beban listrik sektor industri yang diperoleh dari PT. PLN APJ dan BPS kabupaten Jember.

Tahap kedua adalah mengembangkan model subsistem pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada jaringan baru. Data sekunder yang digunakan adalah, tingkat kenaikan beban puncak, panjang sambungan rumah, kapasitas terpasang trafo, jumlah gardu trafodan energi listrik terjual yang diperoleh dari PT. PLN APJ Jember. Integrasi tahapan solusi masalah digambarkan dalam diagram alir dibawah.

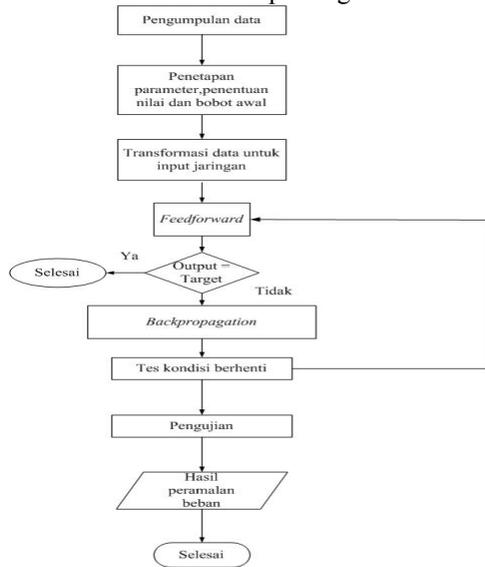


Gambar 2. Kerangka berfikir

A. Subsistem peramalan beban listrik

Gambar 4 merupakan tahapan peramalan beban listrik jangka panjang menggunakan JST

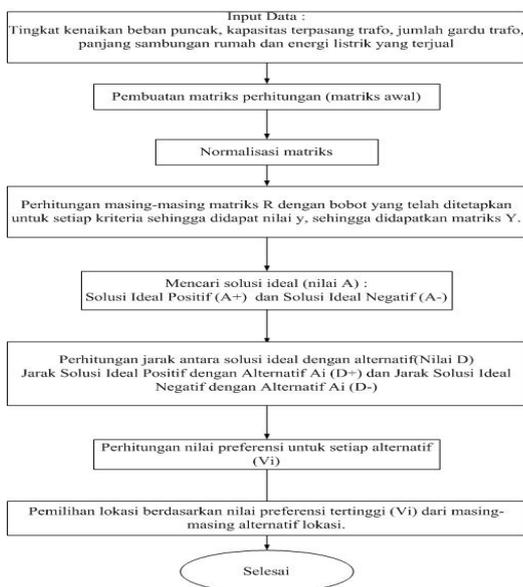
backpropagation. Algoritma ini mengadopsi pendekatan incremental dalam memperbarui bobot, yaitu bobot berubah segera setelah pola pelatihan dilakukan. Proses pelatihan akan dihentikan sampai target error tercapai.



Gambar. 3. Diagram alir peramalan beban listrik menggunakan metode JST *backpropagation*

B. Subsistem pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada jaringan baru.

Pada proses perhitungan dengan menggunakan metode *TOPSIS*, beberapa aspek yang diperlukan terkait adalah kebutuhan input, proses dan output. Diagram alir ketiga proses di atas ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar.5 Tahapan pemilihan lokasi penempatan trafo distribusi pada pengembangan jaringan baru menggunakan TOPSIS.

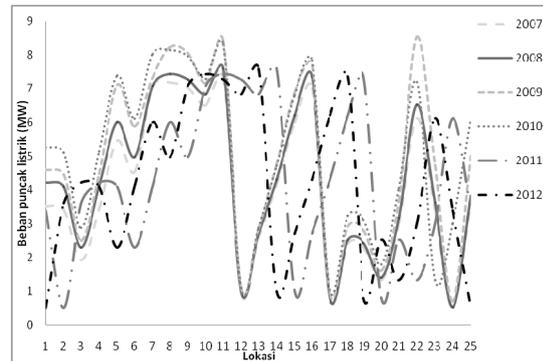
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan data

Data historis diambil 6 tahun ke belakang tiap lokasi yang ada di kabupaten Jember dengan 6 variabel masukan yaitu Populasi Penduduk, Jumlah Rumah

Tangga, Pelanggan Sektor Publik, Pelanggan Sektor Bisnis, Pelanggan Sektor Industri, Penggunaan Sektor Industri dan terdapat 1 variabel sebagai target yaitu Beban puncak Listrik. Dengan demikian ada 36 data masukan (6 x 6) sebagai historis untuk pelatihan per lokasi. Jumlah total data masukan menjadi 36 x 25 kecamatan yaitu 900 data masukan. Data yang dikumpulkan adalah data historis dari tahun 2007 sampai tahun 2012.

Salah satu contoh dari keenam variabel adalah data target. Data target adalah data beban puncak listrik dalam satuan MW. Gambar 5 memperlihatkan data beban puncak listrik se-kabupaten Jember



Gambar. 4. Laju pertumbuhan beban puncak listrik Kabupaten Jember (PT.PLN APJ dan UPT Jember, 2013).

Normalisasi data adalah proses penskalaan data input sesuai dengan *range* fungsi aktivasi yang digunakan.

Dari data master diketahui data minimum=0,496049 dan data maksimum=40532157. *Backpropagation* menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner dengan interval [0,1] di mana *Upperbound*=1 dan *Lowerbound*=0.

Normalisasi data untuk metode *Backpropagation* :

1. Cari nilai α

$$\alpha = \frac{U - L(x)}{m(x) - m(x)}$$

$$\alpha = \frac{1 - 0}{4 - 0,4}$$

$$\alpha = 2,46718 \cdot 10^{-8}$$

2. Cari nilai β

$$\beta = Upperbound - (\alpha * (\max(x)))$$

$$\beta = 1 - (2,46718 \cdot 10^{-8} * 40532157)$$

$$\beta = -0,000012710726$$

3. Cari nilai x'

$$x' = \alpha * x + \beta$$

$$x' = 2,46718 \cdot 10^{-8} * 78420 + (-0,000012710726)$$

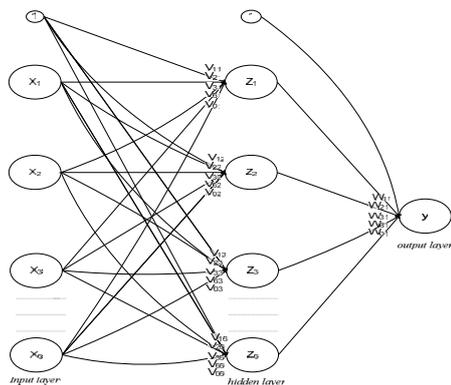
$$x' = 0,0019220519$$

B. Analisis metode *backpropagation*.

Arsitektur pelatihan JST yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 3 *layer*, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Jumlah neuron lapisan masukan sebanyak 6 neuron, penentuan jumlah neuron berdasarkan parameter yang dijadikan faktor yang mempengaruhi peramalan beban listrik. Gambar 7 menunjukkan pola arsitektur jaringan.

Berikut ini algoritma pelatihan metode *Backpropagation* yang terdiri dari tiga tahapan:

1. Inisialisasi bobot (ambil bilangan random yang cukup kecil)
2. Selama kondisi berhenti bernilai salah, kerjakan:
 - Tahap 1: Perambatan Maju (Feed Forward)
 - a. Setiap unit input (x_i , $i=1,2,3,\dots,n$) menerima sinyal x_i dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan tersembunyi.
 - b. Setiap unit tersembunyi (z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan bobot sinyal input dengan persamaan (1). Dan menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output-nya dengan persamaan (2.) kemudian mengirimkan sinyal tersebut ke semua unit output.
 - c. Setiap unit output (y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) menjumlahkan bobot sinyal input dengan persamaan (3). Dan menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal outputnya dengan persamaan (4).



Gambar. 5. Arsitektur pelatihan JST

Tahap 2: Perambatan Balik (Back Forward)

- a. Setiap unit output (y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) menerima pola target yang sesuai dengan pola input pembelajaran, kemudian hitung *error* dengan persamaan (5) kemudian hitung koreksi bobot dengan persamaan (6).
- b. Setiap unit tersembunyi (z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan delta input-nya dengan persamaan (8)

Untuk menghitung informasi *error*, kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktifasinya dengan persamaan (9) kemudian hitung koreksi bobot dengan persamaan (10).

Setelah itu, hitung koreksi bias dengan persamaan (10)

Tahap 3: Perubahan Bobot dan Bias

- a. Setiap unit output (y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) dilakukan perubahan bobot dan bias ($j=0,1,2,\dots,p$) dengan persamaan (11)

Setiap unit tersembunyi (z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) dilakukan perubahan bobot dan bias ($i=0,1,2,\dots,n$) dengan persamaan (12)

- b. Tes kondisi berhenti.
- c. Algoritma Pengujian Metode *Backpropagation*
 1. Load bobot dan bias *input layer* (v_{ij}) dan *hidden layer* (w_{ij}) hasil pelatihan.
 2. Setiap unit input (x_i , $i=1,2,3,\dots,n$) menerima sinyal x_i dan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan tersembunyi.
 3. Setiap unit tersembunyi (z_j , $j=1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan bobot sinyal input dengan persamaan

- (1) dan menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output-nya dengan persamaan (2).
4. Setiap unit output (y_k , $k=1,2,3,\dots,m$) menjumlahkan bobot sinyal input dengan persamaan (3) dan menerapkan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal output-nya dengan persamaan (4).

Pada data epoch kedua, juga dilakukan langkah-langkah yang sama dengan menggunakan bobot baru atau nilai bobot akhir hasil pengolahan data pada epoch pertama. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang sampai pada epoch yang ditentukan (1000) atau target error yang ditentukan (0,01).

Setelah proses pelatihan selesai, *Backpropagation* dapat dipakai untuk pengujian. Berikut ini pengujian algoritma metode *Backpropagation*:

1. Operasi pada Hidden Layer dengan persamaan (1)

$$z_{in1} = 0.1 + (0.01 * 0.0019220519) + (0.01 * 0.0002504634) + (0.01 * 0.0000122913) + (0.01 * 0.0000048651) + (0.01 * 0.0000125873) + (0.01 * 0.3905400823)$$

$$z_{in1} = 0.103926829$$
2. Fungsi aktivasi pada hidden layer dengan persamaan (2)

$$Z_j = f(z_{inj})$$

$$Z_1 = \frac{1}{1 + e^{-0.1}} = 0.525958415$$
3. Operasi pada output layer dengan persamaan (3)

$$y_{ink} = w_0 + w_1 * z_1 + w_2 * z_2 * w_3 * z_3$$

$$y_{ink} = 0.3 + (0.2 * 0.5347602100) + (0.5 * 0.5498896453) + (0.1 * 0.5639560100) = -1.00000020997$$

Berdasarkan pola data yang diujikan (pola data pada tahun 2008 di lokasi Rambipuji) dapat diketahui nilai $\min=4.08198$ dan $\max=22084813$. Hasil pengujian berupa data yang diskalakan dengan notasi x' atau $y_{ink}=-1.00000020997$. Sedangkan berdasarkan fungsi identitas pada pengujian yang memiliki interval $[-1,1]$ dapat diketahui *Upperbound*=1 dan *Lowerbound*=-1. Sehingga perhitungan denormalisasinya adalah sebagai berikut:

1. Cari nilai α

$$\alpha = \frac{U - L}{m(x) - m(x)}$$

$$\alpha = \frac{1 - (-1)}{2 - (-4.0)}$$

$$\alpha = 9.056 \cdot 10^{-8}$$
2. Cari nilai β

$$\beta = \text{Upperbound} - (\alpha * (\max(x)))$$

$$\beta = 1 - (9.056 \cdot 10^{-8} * 22084813)$$

$$\beta = -1.0000006528$$
3. Cari nilai x

$$x' = \alpha * x + \beta$$

$$x = \frac{x' - \beta}{\alpha}$$

$$x = \frac{-1.0 - (-1.0)}{9.0 \cdot 10^{-8}}$$

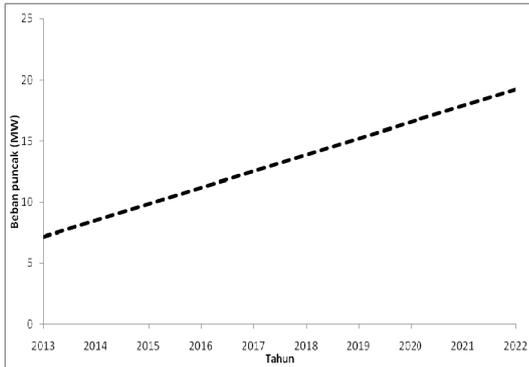
$$x = 4.889880$$

Dari hasil denormalisasi dapat diketahui bahwa data hasil prediksi beban puncak adalah 4.889880 MW

C. Peramalan beban listrik.

Setelah melakukan pelatihan dilanjutkan dengan tahap berikutnya yaitu prakiraan atau prediksi, dalam tahap ini dilakukan prakiraan untuk 10 tahun mendatang yaitu sampai dengan tahun 2022. Hasil prediksi pada

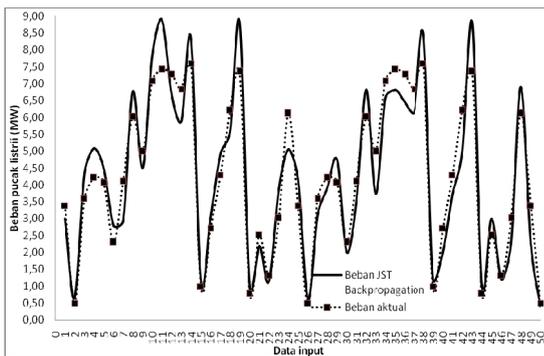
gambar 6 dibawah diambil dari data prediksi lokasi Glantangan



Gambar.6. Grafik prediksi beban puncak 10 tahun ke depan

D. Pengujian metode *backpropagation*

Data selama 2 tahun terakhir juga digunakan sebagai data untuk menguji validitas data antara data yang dihasilkan oleh PT.PLN APJ-UPT Jember dan data hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 dibawah sehingga dapat diketahui nilai error yang dihasilkan.



Gambar. 7. Perbandingan beban puncak aktual dan JST *backpropagation*

Perhitungan akurasi Backpropagation terhadap target dihitung dengan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE) :

$$M = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

$$= \frac{100\%}{50} \sum_{t=1}^5 |854,74|$$

$$= 17.09\%$$

A. Analisis Metode *Technique For Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*

Langkah-langkah penerapan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis-jenis kriteria pemilihan lokasi penempatan trafo pada pengembangan jaringan baru.
2. Menyusun kriteria-kriteria pemilihan lokasi penempatan trafo dalam matriks berpasangan seperti tabel I dengan jumlah $n = 5$ yaitu tingkat kenaikan beban, energy listrik terjual, kapasitas terpasang trafo, jumlah trafo terpasang dan panjang saluran trafo

TABEL I
Matriks Berpasangan Untuk Kriteria Pemilihan Lokasi Penempatan Trafo

Kriteria	TKB	KWH	KAP	JUM	PS
TKB	1	3	5	7	9
KWH	0,333	1	3	3	7
KAP	0,2	0,333	1	3	5
JUM	0,143	0,333	0,333	1	3
PS	0,111	0,143	0,2	0,333	1
Jumlah	1,787	4,809	9,533	14,333	25

3. Membagi setiap elemen pada kolom dengan jumlah per kolom yang sesuai dari nilai-nilai elemen matriks pada tabel I

TABEL II
Hasil Matriks Normalisasi

Kriteria	TKB	KWH	KAP	JUM	PS
TKB	0,559597	0,62383	0,524494	0,488383	0,36
KWH	0,186346	0,207943	0,314696	0,209307	0,28
KAP	0,111919	0,069245	0,104899	0,209307	0,2
JUM	0,080022	0,069245	0,034931	0,069769	0,12
PS	0,062115	0,029736	0,02098	0,023233	0,04

4. Menghitung bobot masing-masing kriteria dengan cara membagi masing-masing jumlah baris dalam tabel II dengan jumlah elemen atau jumlah kriteria ($n = 5$).

TABEL III
Bobot Kriteria

TKB	0,511261
KWH	0,239659
KAP	0,139074
JUM	0,074794
PS	0,035213

5. Membuat matriks keputusan. matriks keputusan mengacu terhadap m alternatif yang akan dievaluasi berdasarkan n kriteria. Hasil matriks keputusan dapat dilihat pada tabel IV

TABEL IV
Hasil Perhitungan Matriks Keputusan

Lokasi	KAP	JUM	PS	KWH	TKB
Arjasa	3	5	5	2	4
Rambipuji	3	4	4	3	3
Tanjung	2	1	1	2	1
Seruji	3	2	2	4	2
Tegal boto	2	1	1	1	1
Karimata	2	1	1	5	1
Pakusari	5	4	4	4	2
Ambulu	5	2	3	5	2
Sukorambi	4	2	2	5	2
Mayang	5	5	5	5	4
Blater	5	5	5	4	1
Glantangan	1	1	1	1	1
Balung	4	2	3	2	2
Gajah mada	2	1	1	3	1
Kalisat	4	5	5	4	3
Watu ulo	5	5	5	5	4
Yosorati	1	3	3	1	1
Kencong	3	4	4	3	4
Sumberbaru	2	2	2	2	4
Bangsalsari	1	2	2	4	3
Gambirano	4	4	4	2	4
Puger	2	2	3	1	2
Sidomekar	3	3	3	3	1
Semoro	1	2	2	1	1
Gumukmas	4	4	4	3	1

6. Membuat matriks keputusan ternormalisasi R untuk memperkecil range data

TABEL V
HASIL PERHITUNGAN MATRIKS KEPUTUSAN
TERNORMALISASI

Lokasi	KAP	JUM	PS	KWH	TKB
Arjasa	0,180	0,310	0,302	0,121	0,319
Rambipuji	0,180	0,248	0,241	0,181	0,239
Tanjung	0,120	0,062	0,060	0,121	0,080
Seruji	0,180	0,124	0,121	0,241	0,160
Tegal boto	0,120	0,062	0,060	0,060	0,080
Karimata	0,120	0,062	0,060	0,302	0,080
Pakusari	0,300	0,248	0,241	0,241	0,160
Ambulu	0,300	0,124	0,181	0,302	0,160
Sukorambi	0,240	0,124	0,121	0,302	0,160
Mayang	0,300	0,310	0,302	0,302	0,319
Blater	0,300	0,310	0,302	0,241	0,080
Glantangan	0,060	0,062	0,060	0,060	0,080
Balung	0,240	0,124	0,181	0,121	0,160
Gajah mada	0,120	0,062	0,060	0,181	0,080
Kalisat	0,240	0,310	0,302	0,241	0,239
Watu ulo	0,300	0,310	0,302	0,302	0,319
Yosorati	0,060	0,186	0,181	0,060	0,080
Kencong	0,180	0,248	0,241	0,181	0,319
Sumberbaru	0,120	0,124	0,121	0,121	0,319
Bangsalsari	0,060	0,124	0,121	0,241	0,239
Gambirano	0,240	0,248	0,241	0,121	0,319
Puger	0,120	0,124	0,181	0,060	0,160
Sidomekar	0,180	0,186	0,181	0,181	0,080
Sembo	0,060	0,124	0,121	0,060	0,080
Gumukmas	0,240	0,248	0,241	0,181	0,080

7. Membuat matriks keputusan ternormalisasi terbobot V

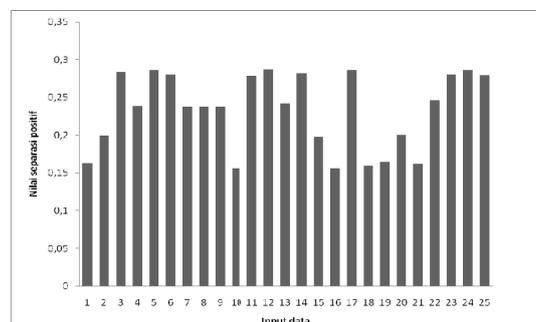
TABEL VI
HASIL PERHITUNGAN MATRIKS TERNORMALISASI
TERBOBOT

Lokasi	KAP	JUM	PS	KWH	TKB
Arjasa	0,025	0,023	0,011	0,029	0,163
Rambipuji	0,025	0,019	0,008	0,043	0,122
Tanjung	0,017	0,005	0,002	0,029	0,041
Seruji	0,025	0,009	0,004	0,058	0,082
Tegal boto	0,017	0,005	0,002	0,014	0,041
Karimata	0,017	0,005	0,002	0,072	0,041
Pakusari	0,042	0,019	0,008	0,058	0,082
Ambulu	0,042	0,009	0,006	0,072	0,082
Sukorambi	0,033	0,009	0,004	0,072	0,082
Mayang	0,042	0,023	0,011	0,072	0,163
Blater	0,042	0,023	0,011	0,058	0,041
Glantangan	0,008	0,005	0,002	0,014	0,041
Balung	0,033	0,009	0,006	0,029	0,082
Gajah mada	0,017	0,005	0,002	0,043	0,041
Kalisat	0,033	0,023	0,011	0,058	0,122
Watu ulo	0,042	0,023	0,011	0,072	0,163
Yosorati	0,008	0,014	0,006	0,014	0,041
Kencong	0,025	0,019	0,008	0,043	0,163
Sumberbaru	0,017	0,009	0,004	0,029	0,163
Bangsalsari	0,008	0,009	0,004	0,058	0,122
Gambirano	0,033	0,019	0,008	0,029	0,163
Puger	0,017	0,009	0,006	0,014	0,082
Sidomekar	0,025	0,014	0,006	0,043	0,041
Sembo	0,008	0,009	0,004	0,014	0,041
Gumukmas	0,033	0,019	0,008	0,043	0,041

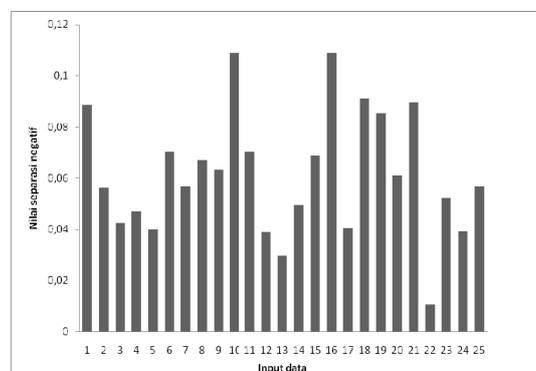
8. Menentukan matriks solusi ideal positif (A^+) dan solusi ideal negatif (A^-) yang tercantum pada tabel VII dibawah
9. Menghitung jarak alternatif dari solusi ideal positif (S^+) dan jarak alternatif dari solusi ideal negatif (S^-). Hasil perhitungan jarak alternatif dari solusi ideal positif (S^+) dapat dilihat pada gambar 8.
- Hasil perhitungan jarak alternatif dari solusi ideal negatif (S^-) dapat dilihat pada gambar 9.
9. Menghitung kedekatan relatif terhadap solusi ideal positif. Hasil perhitungan kedekatan relatif terhadap solusi ideal positif C^+ dapat dilihat pada gambar 10.

TABEL VII
HASIL PENENTUAN SOLUSI IDEAL POSITIF DAN
NEGATIF

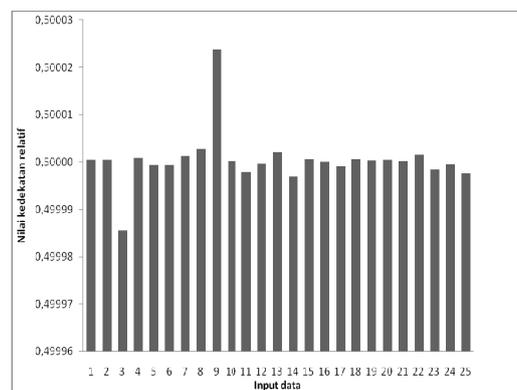
A^+	0,042	0,023	0,011	0,072	0,319
A^-	0,008	0,005	0,002	0,014	0,080



Gambar. 8. Hasil perhitungan separasi positif.



Gambar. 9. Hasil perhitungan separasi negatif.



Gambar. 10. Hasil perhitungan kedekatan relatif terhadap solusi ideal positif

Pada gambar 12, dapat dilihat bahwa alternatif yang menempati urutan pertama yaitu lokasi penempatan trafo distribusi wilayah Sukorambi dengan nilai preferensi terbesar yaitu 0.5000237167.

Pada fitur antarmuka pengguna diberikan beberapa menu atau fitur-fitur untuk dapat meneruskan proses sesuai dengan kebutuhan pengguna. Menu-menu tersebut yaitu:

- Peramalan Beban Listrik
- Perangkingan Penambahan Trafo

