

ANALISIS PERBANDINGAN METODE LOGIKA FUZZY DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN BACKPROPAGATION PADA PERAMALAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK JANGKA PANJANG DI INDONESIA SAMPAI TAHUN 2022

Nahar Nurkholiq^{*)}, Tejo Sukmadi, and Agung Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: nahar.nurkholiq@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini, untuk optimalisasi penyediaan energi listrik di Indonesia, diperlukan suatu perkiraan / peramalan kebutuhan energi listrik. Metoda peramalan yang digunakan adalah logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan backpropagation dengan dua lapisan tersembunyi dan satu lapisan output. Peramalan yang dilakukan bersifat jangka panjang, yaitu sampai tahun 2022. Peramalan / perkiraan kebutuhan energi listrik jangka panjang umumnya mengacu pada statistik masa lalu dan atas dasar analisis karakteristik konsumsi energi yang lalu. Karakteristik tersebut biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jumlah penduduk, jumlah pelanggan listrik (rumah tangga, industri, bisnis, sosial, gedung kantor pemerintah, penerangan jalan umum), rasio elektrifikasi, pertumbuhan ekonomi dan lain sebagainya. Sehingga, metoda logika fuzzy ini menggunakan data historis / aktual yang diakumulasikan dalam beberapa periode waktu, yaitu dari tahun 2004 sampai 2012. Hasil peramalan dengan menggunakan logika fuzzy dan menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik di Indonesia pada tahun 2022 sebesar 215.203 GWh. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan peramalan yang dilakukan oleh jaringan saraf tiruan backpropagation yaitu sebesar 242.120 GWh. Nilai kesalahan (error) antara hasil peramalan logika fuzzy dengan jaringan saraf tiruan backpropagation pada tahun 2022 masing- masing adalah 8,2413% dan 2,8027%.

Kata kunci : logika fuzzy, jaringan saraf tiruan back propagation, peramalan kebutuhan energi listrik, , data historis / aktual,

Abstract

In this research to optimize the energy supply of electricity in Indonesia required an estimation / forecasting of electric energy needs., forecasting methods used are fuzzy logic and Backpropagation neural network with two hidden layers and one output layer. Forecasting is done long term, until 2022. Forecast / estimate the long-term electric energy demand generally refers to the statistics of the past and on the basis of analysis of energy consumption characteristics ago. Such characteristics are usually influenced by several factors, such as population, number of electricity customers (home, industry, business, social, government office, public lighting), electrification ratio, economic growth and the others. Thus, this fuzzy logic method and Backpropagation neural network uses historical data / actual accumulated in several time periods, namely from 2004 to 2012. The results of forecasting using fuzzy logic and Backpropagation neural network shows that the electrical energy needs in Indonesia in 2022 amounted to 215.203 GWh. This value is not much different from the prediction made by Backpropagation neural network, which amounted to 242. 120 GWh. Error value between the results of forecasting with fuzzy logic to Backpropagation neural network in 2022 was 8,2413% and 2,8027% .

Key words : fuzzy logic, backpropagation neural network ,electric energy demand forecasting, historical data / actual,

1. Pendahuluan

Pertumbuhan permintaan tenaga listrik di Indonesia dalam dua tahun terakhir mencapai angka rata rata pertumbuhan sekitar 8,7% per tahun. Indikator penjualan energi listrik

yang merefleksikan permintaan tenaga listrik masyarakat meningkat dari 100.097,47 GWh pada tahun 2004 menjadi 173.990,79 GWh di tahun 2012. Jumlah energi listrik terjual pada tahun 2012 sebesar 173.990,75 GWh, meningkat 10,12% dibandingkan tahun sebelumnya.

Kelompok pelanggan Industri mengkonsumsi 60.175,96 GWh (34,59%), Rumah Tangga 72.132,54 GWh (41,46%), Bisnis 30.988,64 GWh (17,81%), dan Lainnya (sosial, gedung pemerintah dan penerangan jalan umum) 10.693,61 GWh (6,15%). Penjualan energi listrik untuk semua jenis kelompok pelanggan yaitu Industri, Rumah Tangga, Bisnis dan lainnya mengalami peningkatan masing-masing sebesar 9,96%, 10,78%, 9,47% dan 8,59%. Jumlah pelanggan pada akhir tahun 2012 sebesar 49.795.249 pelanggan meningkat 8,50% dari akhir tahun 2011. Harga jual listrik rata-rata per kWh selama tahun

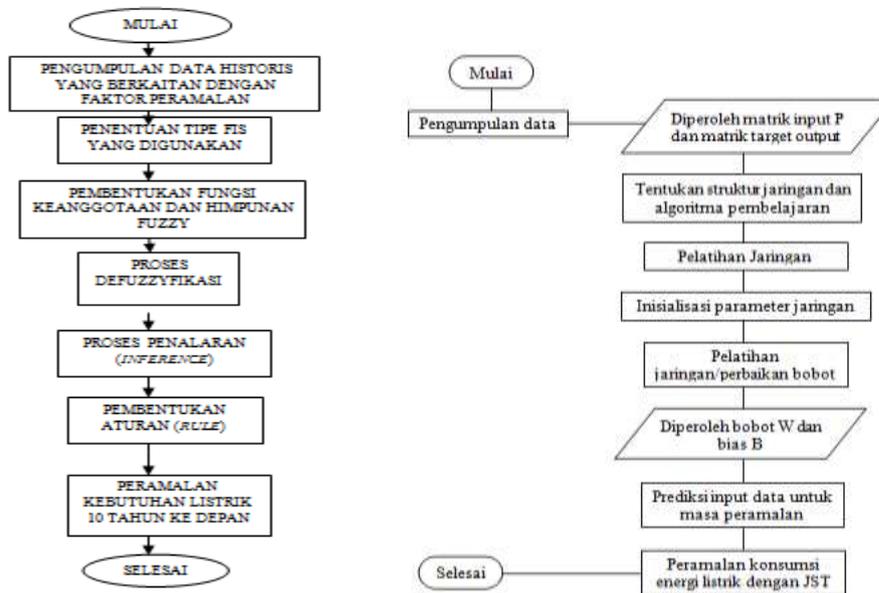
2012 sebesar Rp 728,32 lebih tinggi dari tahun sebelumnya sebesar Rp 714,24.

Untuk memenuhi permintaan terhadap tenaga listrik tersebut, saat ini PT. PLN Persero merencanakan akan membangun beberapa pembangkit listrik dengan semakin meningkatnya permintaan energi listrik di Indonesia dengan alasan sebagai berikut:

1. Rasio Elektrifikasi yang masih 75 %,.
2. Konsumsi energi listrik per kapita yang masih Rendah jika dibanding negara negara lain.

2. Metode

2.1. Metode Logika Fuzzy dan Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation



Gambar 1 Diagram alir metode logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan backpropagation

3. Hasil dan Analisa

3.1 Logika Fuzzy

3.1.1 Pengumpulan Data Historis / Aktual

Dengan menggunakan data historis atau aktual yang dikumpulkan mulai dari tahun 2004 sampai 2012, akan diramalkan kebutuhan energi listrik untuk 10 tahun ke depan. Berikut ini data yang didapatkan :

Tabel 1 Data aktual dari tahun 2004 sampai 2012

| Tahun | Jumlah Pelanggan (pelanggan) | | | | | | Populasi (10 ³ jiwa) | Rasio Elektrifikasi (%) | Pertumbuhan ekonomi | Konsumsi Energi (GWh) |
|-------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| | Rumah Tangga | Industri | Bisnis | Sosial | Gd.Kantor Pemerintah | Penerangan Jalan Umum | | | | |
| 2004 | 31.095.970 | 46.520 | 1.382.416 | 686.851 | 87.187 | 67.502 | 216.381 | 57 | 4,76 | 100.097 |
| 2005 | 32.174.922 | 46.475 | 1.455.797 | 716.194 | 89.533 | 76.432 | 219.204 | 62 | 5,8 | 107.032 |
| 2006 | 33.118.262 | 46.366 | 1.655.325 | 748.558 | 92.395 | 90.318 | 222.051 | 63 | 5,51 | 112.610 |
| 2007 | 34.684.540 | 46.818 | 1.610.574 | 790.781 | 97.886 | 103.130 | 224.904 | 64 | 6,31 | 121.247 |
| 2008 | 36.025.071 | 47.536 | 1.716.046 | 838.129 | 103.821 | 113.483 | 227.779 | 65,1 | 6,03 | 129.019 |
| 2009 | 37.099.830 | 47.900 | 1.879.429 | 861.067 | 114.971 | 114.488 | 230.632 | 65,8 | 4,57 | 134.582 |
| 2010 | 39.324.520 | 48.675 | 1.912.150 | 909.312 | 113.676 | 127.054 | 233.477 | 67,2 | 6,1 | 147.297 |
| 2011 | 42.577.542 | 50.365 | 2.049.361 | 963.766 | 120.246 | 133.865 | 236.331 | 72,9 | 6,5 | 157.993 |
| 2012 | 46.219.780 | 52.661 | 2.218.342 | 1.032.830 | 128.252 | 143.384 | 239.174 | 75,8 | 6,23 | 173.990 |

3.1.2 Pembentukan Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Pelanggan PLN jenis rumah tangga, industri, bisnis, sosial, gedung kantor pemerintah, penerangan jalan umum, serta jumlah penduduk / populasi, rasio elektrifikasi, pertumbuhan ekonomi dijadikan sebagai input peramalan, sedangkan konsumsi energi dijadikan sebagai output. FIS yang digunakan adalah tipe Mamdani. Masing-masing variabel tersebut memiliki himpunan ariabel bahasanya (*fuzzy set*) yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan (*membership function*) segitiga.

Tabel 2 Variabel himpunan fuzzy

| Fungsi | Variabel | Himpunan Fuzzy | Semesta Pembicaraan | Domain |
|--------|----------------------------|----------------|---------------------|---------------|
| Input | Rumah Tangga | A1 | 45.35 - 60.12 | 45.35 - 49.04 |
| | | A2 | | 47.2 - 50.89 |
| | | A3 | | 49.03 - 52.74 |
| | | A4 | | 50.9 - 54.59 |
| | | A5 | | 52.74 - 56.43 |
| | | A6 | | 54.59 - 58.28 |
| | | A7 | | 56.43 - 60.12 |
| Input | Industri | B1 | 50.07 - 56.36 | 50.09 - 52.17 |
| | | B2 | | 51.12 - 53.22 |
| | | B3 | | 52.18 - 54.26 |
| | | B4 | | 53.22 - 55.3 |
| | | B5 | | 54.26 - 56.36 |
| | | C1 | | 21.8 - 24.32 |
| | | C2 | | 23.05 - 25.59 |
| Input | Bisnis | C3 | 21.79 - 30.65 | 24.33 - 26.85 |
| | | C4 | | 25.58 - 28.12 |
| | | C5 | | 26.86 - 29.38 |
| | | C6 | | 28.11 - 30.65 |
| | | D1 | | 104.6 - 142.3 |
| | | D2 | | 109.9 - 120.7 |
| | | D3 | | 115.3 - 126.1 |
| Input | Sosial | D4 | 104.6 - 142.3 | 120.8 - 131.6 |
| | | D5 | | 126.1 - 136.9 |
| | | D6 | | 131.5 - 142.3 |
| | | E1 | | 130.5 - 146.3 |
| | | E2 | | 138.4 - 154.2 |
| | | E3 | | 146.2 - 162.2 |
| | | E4 | | 154.3 - 170.1 |
| Input | Gedung kantor pemerintah | E5 | 130.5 - 177.9 | 161.9 - 177.9 |
| | | F1 | | 153.5 - 181.5 |
| | | F2 | | 167.5 - 195.5 |
| | | F3 | | 175.7 - 193.7 |
| | | F4 | | 183.9 - 201.9 |
| | | F5 | | 192.1 - 210.1 |
| | | F6 | | 200.3 - 228.3 |
| Input | Penerangan jalan umum | G1 | 153.5 - 237.6 | 209.5 - 237.7 |
| | | G2 | | 217.7 - 245.7 |
| | | G3 | | 231.9 - 259.9 |
| | | G4 | | 246.1 - 274.1 |
| | | G5 | | 260.3 - 298.3 |
| | | G6 | | 274.5 - 312.5 |
| | | G7 | | 288.7 - 326.7 |
| Input | Jumlah penduduk / populasi | H1 | 241,9 - 267,7 | 252.9 - 278.9 |
| | | H2 | | 267.1 - 293.1 |
| | | H3 | | 292.3 - 318.3 |
| | | H4 | | 317.5 - 343.5 |
| | | H5 | | 342.7 - 368.7 |
| | | H6 | | 367.9 - 393.9 |
| | | H7 | | 393.1 - 419.1 |
| Input | Rasio Elektrifikasi | I1 | 75.69 - 93.4 | 75.7 - 82.78 |
| | | I2 | | 79.23 - 86.31 |
| | | I3 | | 82.77 - 89.85 |
| | | I4 | | 86.31 - 93.39 |
| | | I5 | | 5.94 - 6.146 |
| | | I6 | | 6.043 - 6.249 |
| | | I7 | | 6.146 - 6.352 |
| Input | Pertumbuhan ekonomi | J1 | 5.941 - 6.454 | 6.249 - 6.455 |
| | | J2 | | 6.249 - 6.455 |
| | | J3 | | 175.4 - 195.4 |
| | | J4 | | 185.4 - 205.2 |
| | | J5 | | |
| | | J6 | | |
| | | J7 | | |
| Output | Konsumsi energi listrik | J1 | | 195.1 - 215.1 |
| | | J2 | | 205.2 - 225.2 |

| | | |
|----|-------------|---------------|
| J3 | | 195.1 - 215.1 |
| J4 | 175.4 - 255 | 205.2 - 225.2 |
| J5 | | 215.3 - 235.1 |
| J6 | | 225.1 - 245.1 |
| J7 | | 235.2 - 255 |

3.1.3 Pembentukan Aturan atau Rule

Dengan memperhatikan hubungan antara berbagai input terhadap output, maka dapat dibuat aturan-aturan (*rule*) untuk peramalan tahun-tahun berikutnya. Sehingga didapatkanlah aturan sebanyak 211 aturan .

Berikut ini hasil peramalan konsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh logika *fuzzy* yang dibandingkan terhadap peramalan yang dilakukan regresi linier pada Ms.Excel :

Tabel 3 Perbandingan peramalan konsumsi energi listrik fungsi regresi linier Ms.Excel dengan logika fuzzy

| Tahun | Peramalan regresi linier (GWh) | Logika Fuzzy (GWh) | Error (%) |
|-------|--------------------------------|--------------------|-----------|
| 2013 | 175.407 | 215.203 | 22,6880 |
| 2014 | 184.253 | 215.216 | 16,8041 |
| 2015 | 193.100 | 213.544 | 10,5873 |
| 2016 | 201.947 | 214.896 | 6,4122 |
| 2017 | 210.793 | 220.185 | 4,4551 |
| 2018 | 219.640 | 215.203 | 2,0201 |
| 2019 | 228.487 | 235.101 | 2,8949 |
| 2020 | 237.334 | 238.505 | 0,4938 |
| 2021 | 246.180 | 245.093 | 0,4415 |
| 2022 | 255.027 | 215.203 | 15,6155 |

Dapat dilihat bahwa hasil peramalan antara regresi linier pada Ms.excel dengan logika *fuzzy* tidak jauh berbeda. Nilai *error* rata-rata yang didapat sebesar 8,2413%. Perlu diketahui, bahwa data peramalan konsumsi energi listrik yang dihasilkan oleh regresi linier Ms.excel hanya digunakan sebagai data pembanding, karena nilai konsumsi energi listrik untuk 10 tahun ke depan belum dapat dipastikan.



Gambar 2 Grafik perbandingan peramalan regresi linier dengan logika fuzzy

3.2 Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation

3.2.1 Penentuan Pola Input dan Target Output

Penentuan pola input pelatihan JST untuk peramalan konsumsi energi listrik didasarkan pada teori bahwa peningkatan konsumsi energi listrik dipengaruhi oleh perkembangan penduduk, standar kehidupan dan perkembangan ekonomi. Faktor-faktor yang diperkirakan mempengaruhi perkembangan beban listrik adalah:

1. Pelanggan PLN jenis rumah tangga
2. Pelanggan PLN jenis industri
3. Pelanggan PLN jenis bisnis
4. Pelanggan PLN jenis sosial
5. Pelanggan PLN jenis gedung kantor pemerintah
6. Pelanggan PLN jenis penerangan jalan umum
7. jumlah penduduk / populasi
8. Rasio elektrifikasi
9. Pertumbuhan ekonomi

3.2.2 Preprocessing atau Normalisasi Data

Sebelum data input pelatihan dilatihkan ke JST, perlu dilakukan proses preprocessing atau normalisasi data,

sehingga data diproses dengan nilai yang lebih kecil tanpa kehilangan karakteristik data. Normalisasi data input dan target output memungkinkan pelatihan JST menjadi lebih efisien. Pada penelitian ini *preprocessing* data dilakukan dengan mengubah rentang nilai data input menjadi rentang nilai yang lebih kecil yaitu [-1,1].

Dengan *Neural Network Toolbox* pada matlab, preprocessing data dilakukan menggunakan perintah berikut:

$$[PN, \text{minp}, \text{maxp}, TN, \text{mint}, \text{maxt}] = \text{premnmx}(P, T)$$

P dan T adalah matriks nilai asli dari data input dan target output, matriks PN dan TN adalah data input dan target output yang telah dinormalisasi. Nilai minimum dan maksimum data input dan target output disimpan pada vektor minp, maxp, mint dan maxt. Data input dan target output hasil normalisasi dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut :

Tabel 4 data input dan target output pelatihan JST yang telah dinormalisasi

| No | Data Input | Tahun | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| 1 | Rumah Tangga | -0.8688 | -1.0000 | -0.8657 | -0.6426 | -0.4517 | -0.2986 | 0.0182 | 0.4814 | 1.0000 |
| 2 | Industri | -0.9511 | -0.9654 | -1.0000 | -0.8564 | -0.6283 | -0.5126 | -0.2664 | 0.2705 | 1.0000 |
| 3 | Bisnis | -1.0000 | -0.8244 | -0.3470 | -0.4541 | -0.2018 | 0.1891 | 0.2674 | 0.5957 | 1.0000 |
| 4 | Sosial | -1.0000 | -0.8304 | -0.6433 | -0.3992 | -0.1255 | 0.0071 | 0.2860 | 0.6008 | 1.0000 |
| 5 | Gd. Kantor Pemerintah | -1.0000 | -0.8857 | -0.7464 | -0.4789 | -0.1899 | 0.3532 | 0.2901 | 0.6101 | 1.0000 |
| 6 | Penerangan Jalan Umum | -1.0000 | -0.7646 | -0.3986 | -0.0610 | 0.2119 | 0.2384 | 0.5696 | 0.7491 | 1.0000 |
| 7 | Jumlah Penduduk | -1.0000 | -0.7506 | -0.5018 | -0.2509 | 0.0010 | 0.2500 | 0.5006 | 0.7503 | 1.0000 |
| 8 | Rasio Elektrifikasi | -1.0000 | -0.4681 | -0.3617 | -0.2553 | -0.1383 | -0.0638 | 0.0851 | 0.6915 | 1.0000 |
| 9 | Pertumbuhan Ekonomi | -0.8031 | 0.2746 | -0.0259 | 0.8031 | 0.5130 | -1.0000 | 0.5855 | 1.0000 | -0.3161 |
| | Target Output | | | | | | | | | |
| 10 | Konsumsi Energi Listrik Total | -1.0000 | -0.8123 | -0.6613 | -0.4177 | -0.2172 | -0.0666 | 0.2775 | 0.5670 | 1.0000 |

Nilai maksimum dan minimum data input dan target output dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5 Nilai minp, maxp, mint, maxt preprocessing data

| No | Data Input | Minp | maxp |
|----|-------------------------------|----------|----------|
| 1 | Rumah Tangga | 32.1749 | 46.2190 |
| 2 | Industri | 46.3660 | 52.6610 |
| 3 | Bisnis | 13.8242 | 22.1834 |
| 4 | Sosial | 68.6851 | 103.2830 |
| 5 | Gd. Kantor Pemerintah | 87.1870 | 128.2520 |
| 6 | Penerangan Jalan Umum | 67.5020 | 143.3840 |
| 7 | Jumlah Penduduk | 108.3920 | 119.6989 |
| 8 | Rasio Elektrifikasi | 57.0000 | 75.8000 |
| 9 | Pertumbuhan Ekonomi | 4.5700 | 6.5000 |
| | Target Output | | |
| 10 | Konsumsi Energi Listrik Total | Mint | Maxt |

3.2.3 Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation

Pelatihan bertujuan untuk mengenalkan pola input ke JST. JST dianggap telah mampu mengenali pola yang dilatihkan jika telah memncapai nilai MSE yang diinginkan. Nilai MSE yang dihasilkan setiap iterasi (*epochs*) selama pelatihan sampai diperoleh nilai MSE yang diinginkan ($MSE = 1 \times 10^{-6}$).

Selama proses pelatihan, bobot-bobot dan bias akan diubah secara terus menerus. Hal ini bertujuan agar JST dapat menyesuaikan bobot-bobot setiap lapisan sengan target output. Bobot ini akan berubah sampai mencapai nilai MSE 1×10^{-6} .

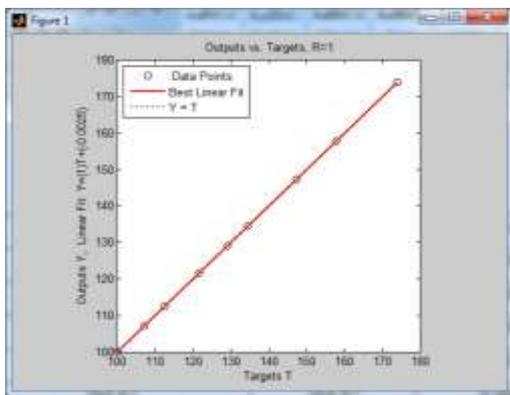
Analisa hasil pelatihan JST dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *postgre*. Fungsi ini akan membandingkan respon output jaringan secara regresi dengan target output pelatihan. Fungsi ini menghasilkan tiga parameter yaitu:

$$m = 1$$

$$b = 6.6432e-004$$

$$r = 1$$

ketiga parameter tersebut memperlihatkan bahwa pelatihan sudah berjalan dengan baik. Dari gambar 4 berikut dapat dilihat hasil pengujian dengan fungsi *postgre*



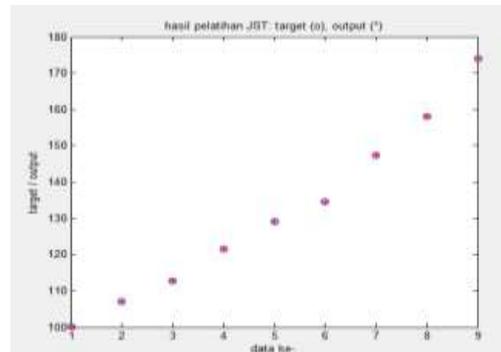
Gambar 3 Hasil pengujian dengan fungsi *postgre*

Selain dengan fungsi *postgre*, jaringan yang sudah dilatih juga dapat diuji dengan cara mensimulasikan kembali data input pelatihan ke JST tanpa menggunakan data target output dengan perintah *sim*. Hasil pengujian dengan perintah *sim* dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Hasil simulasi input data pelatihan

| No | Target output (T) | Hasil simulasi(a) | T-a |
|----|-------------------|-------------------|------|
| 1 | 100,10 | 100,10 | 0,00 |
| 2 | 107,03 | 107,03 | 0,00 |
| 3 | 112,61 | 112,61 | 0,00 |
| 4 | 121,61 | 121,61 | 0,00 |
| 5 | 129,02 | 129,02 | 0,00 |

| | | | |
|---|--------|--------|------|
| 6 | 134,58 | 134,58 | 0,00 |
| 7 | 147,30 | 147,30 | 0,00 |
| 8 | 157,99 | 157,99 | 0,00 |
| 9 | 173,99 | 173,99 | 0,00 |



Gambar 4 Hasil simulasi input data pelatihan

Dari Tabel 6 dan Gambar 4 dapat dilihat hasil simulasi input target dibandingkan dengan target output pelatihan. data target output dengan hasil simulasi memiliki nilai yang persis sama dengan selisih nilai sebesar 0, ini menjelaskan bahwa pelatihan telah berjalan dengan baik, atau JST telah mampu mengenali pola data input yang dilatihkan ke JST.

3.2.4 Hasil Peramalan

Data input JST untuk masa peramalan (2013-2022) yang diperoleh dari hasil *trenline* kemudian disimulasikan ke JST yang telah mengalami proses pelatihan. *Output* dari simulasi ini merupakan peramalan konsumsi energi listrik untuk tahun 2013 sampai tahun 2022. Hasil dari peramalan konsumsi energi listrik tahun 2013 sampai tahun 2022 dengan JST dapat dilihat pada tabel berikut 7 berikut:

Tabel 7 Hasil peramalan Konsumsi energi Listrik dengan JST

| Tahun | Hasil Peramalan Konsumsi energi Listrik (Gwh) |
|-------|---|
| 2013 | 179.578 |
| 2014 | 192.327 |
| 2015 | 201.535 |
| 2016 | 208.868 |
| 2017 | 215.549 |
| 2018 | 221.886 |
| 2019 | 227.874 |
| 2020 | 233.363 |
| 2021 | 238.156 |
| 2022 | 242.120 |

3.3 Perbandingan Metode Logika Fuzzy Dengan Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation Pada Peramalan Konsumsi Energi Listrik Di Indonesia Sampai Tahun 2022

Pada tabel 8 berikut menunjukkan perbandingan hasil peramalan dengan JST dan peramalan oleh Logika Fuzzy.

Tabel 8 perbandingan peramalan dengan JST dan Logika Fuzzy

| Tahun | Data Real | Peramalan dengan JST | Peramalan dengan Logika Fuzzy |
|-------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | Konsumsi energi listrik (Gwh) | Konsumsi energi listrik (Gwh) |
| 2004 | 100.097 | | |
| 2005 | 107.032 | | |
| 2006 | 112.610 | | |
| 2007 | 121.247 | | |
| 2008 | 129.019 | | |
| 2009 | 134.582 | | |
| 2010 | 147.297 | | |
| 2011 | 157.993 | | |
| 2012 | 173.990 | | |
| 2013 | | 179.578 | 215.203 |
| 2014 | | 192.327 | 215.216 |
| 2015 | | 201.535 | 213.544 |
| 2016 | | 208.868 | 214.896 |
| 2017 | | 215.549 | 220.185 |
| 2018 | | 221.886 | 215.203 |
| 2019 | | 227.874 | 235.101 |
| 2020 | | 233.363 | 238.505 |
| 2021 | | 238.156 | 245.093 |
| 2022 | | 242.120 | 215.203 |

Dalam tabel 8 diatas juga disajikan data real berdasarkan statistik dari tahun 2004-2012 dan hasil ramalan konsumsi energi listrik di Indonesia.

Dari hasil peramalan dengan JST, konsumsi energi listrik mengalami kenaikan yaitu dari 173.990 Gwh pada tahun 2012 menjadi sebesar 242.120 pada tahun 2022, terjadi peningkatan konsumsi energi listrik sebesar 68.130 Gwh. Sedangkan peramalan oleh Logika Fuzzy tahun 2012 sampai tahun 2022 adalah sebesar 41.213 Gwh. Pada grafik dibawah ini dapat dilihat perbandingan antara hasil peramalan dengan JST dengan hasil peramalan oleh Logika Fuzzy.antara hasil peramalan dengan JST dengan hasil peramalan oleh Logika Fuzzy.



Gambar 5 Grafik perbandingan hasil peramalan dengan JST dan Logika Fuzzy

Perbandingan error hasil ramalan JST dengan peramalan Logika Fuzzy dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9 Error perbandingan hasil peramalan dengan JST dan Logika Fuzzy

| Tahun | Peramalan dengan JST | Error (%) | Peramalan dengan Logika Fuzzy | Error (%) |
|---------------------|----------------------|-----------|-------------------------------|-----------|
| | | | | |
| 2013 | 179.578 | 2,3779 | 215.203 | 22,6880 |
| 2014 | 192.327 | 4,3817 | 215.216 | 16,8041 |
| 2015 | 201.535 | 4,3682 | 213.544 | 10,5873 |
| 2016 | 208.868 | 3,4272 | 214.896 | 6,4122 |
| 2017 | 215.549 | 2,2561 | 220.185 | 4,4551 |
| 2018 | 221.886 | 1,0224 | 215.203 | 2,0201 |
| 2019 | 227.874 | 0,2681 | 235.101 | 2,8949 |
| 2020 | 233.363 | 1,6728 | 238.505 | 0,4938 |
| 2021 | 238.156 | 3,2597 | 245.093 | 0,4415 |
| 2022 | 242.120 | 5,0609 | 215.203 | 15,6155 |
| Rata-rata error (%) | | 2,8027 | | 8,2413 |

Dari tabel diatas dapat dilihat hasil peramalan dengan JST tidak berbeda jauh dengan peramalan oleh logika fuzzy dengan rata-rata error 2.8027% untuk JST dan 8,2413% untuk logika fuzzy, hasil peramalan ini cukup baik karena perusahaan listrik akan menerima kesalahan ramalan 10% untuk peramalan konsumsi energi listrik jangka panjang.

4. Kesimpulan

Dapat dilihat bahwa hasil peramalan antara logika fuzzy dengan jaringan saraf tiruan backpropagation tidak jauh berbeda. Nilai error rata-rata yang didapat sebesar 8,2413 % untuk logika fuzzy dan 2,8027% untuk jaringan saraf tiruan backpropagation .Berdasarkan hasil peramalan konsumsi energi listrik di Indonesia tahun 2013 sampai tahun 2022 dengan Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation diperoleh hasil ramalan sebesar 242.120 Gwh dan logika fuzzy sebesar 215.203 Gwh untuk tahun 2022.

Referensi

- [1]. Arief Heru Kuncoro dan Rinaldy Dalimi. 2005. *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia*. Jurnal Teknologi, Edisi No. 3 Tahun XIX.
- [2]. CH.N.Elias, G.J. Tsekouras, S.Kavatza, and G.C. Contaxis. *A Midterm Forecasting Method Using Fuzzy Logic*. National Technical University of Athens, Greece.
- [3]. E. Srinivas and Amit Jain. 2009. *A Methodology for Short-Term Load Forecasting Using Fuzzy Logic and Similarity*. The National Conference on Advances in Computational Intelligence Applications in Power, India, March.
- [4]. Fuller, Robert. 1995. *Neural Fuzzy Systems*. Abo Akademi University.
- [5]. Hesham K. Alfares and Mohammad Nazeeruddin. 2002. *Electric Load Forecasting: Literature Survey and Classification of Methods*. International Journal of Systems Science, volume 33.
- [6]. Jong, J. S., *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*, Andi Offset, Yogyakarta, 2005.
- [7]. Kuncoro, Arif Heru dan Rinaldy Dalimi, 2005 "Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Indonesia", UI.

- [8]. Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu.
- [9]. Kyung-Bin Song. 2005. *Short-Term Load Forecasting for the Holidays Using Fuzzy Linear Regression Method*. IEEE Transactions On Power System, Vol. 20, No. 1, February.
- [10]. Maburr, Andik. 2011. *Face Recognition Using the Method of Adjacent Pixel Intensity Difference Quantization Histogram Generation*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh

\