

PERAMALAN SUSUT ENERGI JANGKA PENDEK MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* DAN *FEED FORWARD NEURAL NETWORK* BERDASARKAN KESEIMBANGAN BEBAN

Puguh Ady Mahendra

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : puguh.17050874011@mhs.unesa.ac.id

Unit Three Kartini, Widi Aribowo, Subuh Isnur Haryudo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : unitthree@unesa.ac.id, widiaribowo@unesa.ac.id, subuhisnur@unesa.ac.id

Abstrak

Pada proses penyaluran energi listrik terdapat suatu faktor rugi-rugi daya atau susut (*losses*). Susut (*losses*) adalah hilangnya energi listrik yang mempengaruhi keandalan kualitas energi listrik yang dipasok ke pelanggan. Salah satu permasalahan Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah tingginya nilai susut energi listrik akibat adanya ketidakseimbangan beban antar fasa pada jaringan distribusi tegangan rendah. Untuk mengurangi potensi susut energi yang tinggi di masa depan, dilakukan peramalan susut energi berdasarkan keseimbangan beban. Analisis keseimbangan beban pada jaringan distribusi tegangan rendah dilakukan guna mengurangi susut (*losses*) akibat adanya arus netral pada transformator. Penelitian ini menjelaskan metode peramalan berdasarkan keseimbangan beban. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network*. Peramalan susut energi jangka pendek merujuk pada perhitungan harian susut energi. Tujuan penelitian ini adalah memahami perhitungan susut energi berdasarkan keseimbangan beban dan mengetahui nilai susut energi yang terjadi selama satu hari kedepan. Penelitian ini memiliki kebaruan yaitu dilakukan peramalan susut energi jangka pendek menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) berdasarkan keseimbangan beban. Variabel masukan yang digunakan adalah data beban aktual PLN area Surabaya Barat. Berdasarkan hasil dari peramalan jangka pendek didapatkan hasil perhitungan nilai MSE sebesar 0,000131627 dan nilai MAPE sebesar 0,029797424%. Sehingga dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) didapatkan hasil peramalan yang maksimal dan lebih akurat selama satu hari kedepan. Hasil peramalan nantinya dapat digunakan oleh instansi terkait sebagai bahan pertimbangan guna meminimalisir kerugian energi listrik yang terjadi di masa depan.

Kata Kunci: *Feed Forward Neural Network*, *Fuzzy Logic*, Keseimbangan Beban, Peramalan, Susut Energi.

Abstract

In the process of distributing electrical energy, there is a power loss or loss factor. Losses are losses of electrical energy that affect the reliability of the quality of electrical energy supplied to customers. One of the problems of the State Electricity Company (PLN) is the high value of electrical energy losses due to an imbalance in the load between phases in the low voltage distribution network. To reduce the potential for high energy losses in the future, energy loss forecasting is carried out based on load balance. Load balance analysis on a low voltage distribution network is carried out to reduce losses due to the neutral current in the transformer. This study describes a forecasting method based on load balance. The method used in this research is Fuzzy Logic and Feed Forward Neural Network. Forecasting short-term energy loss refers to the daily calculation of energy loss. The purpose of this study is to understand the calculation of energy loss based on load balance and to know the value of energy loss that occurs during the next day. This research has a novelty, namely short-term energy loss forecasting using Fuzzy Logic and Feed Forward Neural Network (F-FFNN) methods based on load balance. The input variable used is the actual load data for the PLN West Surabaya area. Based on the results of short-term forecasting, the calculation results of the MSE value of 0.000131627 and the MAPE value of 0.029797424%. So that by using the Fuzzy Logic and Feed Forward Neural Network (F-FFNN) methods, the maximum and more accurate forecasting results are obtained for the next day. Forecasting results can later be used by the relevant agencies as a consideration to minimize electrical energy losses that occur in the future.

Keywords: Feed Forward Neural Network, Fuzzy Logic, Load Balancing, Forecasting, Losses Energy.

PENDAHULUAN

Optimalnya efisiensi sistem penyaluran energi listrik pada jaringan distribusi merupakan tuntutan utama akibat tingginya konsumsi energi listrik pada masa sekarang.

Dalam upaya memenuhi tingginya konsumsi energi listrik, terdapat ketidakseimbangan pembagian beban tiap fasanya. Utamanya berasal dari model sambungan rumah satu fasa (SR), yang tidak memperhitungkan keadaan beban fasa gardu distribusi selama penyambungan baru. Jika hal

ini tidak ditangani maka akan terjadi ketidakseimbangan beban pada transformator.

Ketidakseimbangan beban antara setiap fase (fase R, S, dan T), mengakibatkan arus mengalir pada titik netral dari transformator dan arus netral ini menyebabkan kerugian pada transformator, sehingga mengurangi kinerja transformator dalam melayani beban. Jika ketidakseimbangan ini terus berlanjut, dapat berakibat serius dan berdampak negatif bagi PT. PLN (Persero) atau Konsumen. Dengan menyeimbangkan beban, nilai arus netral dapat diturunkan, hal tersebut mengacu pada peraturan PLN (SK ED PLN Nomor0017.E/DIR/2014). Isi dari peraturan tersebut menyatakan bahwa ketidakseimbangan beban dengan persentase dibawah 20% dikategorikan cukup baik dan berpotensi meningkatkan penghematan energi atau *energy savings*.

PLN sebagai penyuplai energi listrik perlu melakukan analisis susut energi listrik sehingga kerugian energi listrik di masa mendatang mampu diminimalisir. Metode yang tepat untuk memprediksi susut energi listrik dimasa mendatang yaitu dengan melakukan peramalan susut energi listrik. Peramalan susut energi memiliki jangka waktu tertentu, sesuai dengan kebutuhan peramalan. Ada tiga jenis atau klasifikasi ilmu peramalan susut energi listrik. Kategori ini mengacu pada periode waktu tertentu yaitu peramalan untuk jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* untuk melakukan peramalan (*Forecasting*) susut energi jangka pendek berdasarkan keseimbangan beban. Beberapa penelitian terdahulu di bidang ketenagalistrikan mengenai keseimbangan beban dan peramalan, dilakukan oleh (Lezhniuk, 2008) yang membahas tentang *Evaluation and Forecast of Electric Energy Losses in Distribution Networks Applying Fuzzy-Logic*. Selanjutnya dilakukan oleh (Abhisek dan Willy, 2008) dengan judul *Feeder load balancing using fuzzy logic and combinatorial optimization-based implementation*. Kemudian penelitian selanjutnya ada (Habib, 2020) melakukan penelitian tentang peramalan Beban Listrik Jangka Pendek menggunakan Metode *Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Decomposition Feed Forward Neural Network*.

Berdasarkan referensi penelitian di atas, beberapa penelitian banyak membahas mengenai keseimbangan beban dan peramalan susut energi jangka pendek menggunakan berbagai metode, baik menggunakan satu metode atau lebih dengan variabel daya, beban, dan lain-lain. Pada penelitian kali ini memiliki kebaruan yaitu dilakukannya proses peramalan jangka pendek (satu hari) menggunakan pemodelan matematis *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) dengan keseimbangan beban sebagai variabel baru peramalan susut energi listrik.

Metode *Fuzzy Logic-Based Load Balancing* merupakan metode yang digunakan sebagai perhitungan keseimbangan beban. Metode ini digunakan karena *Input* yang digunakan merupakan nilai arus fasa total (untuk masing-masing dari tiga fasa). Keluaran dari proses *Fuzzy Logic-Based Load Balancing* adalah nilai perubahan beban untuk setiap fasa. Kelebihan metode *Fuzzy Logic-Based Load Balancing* terletak pada konfigurasi perubahan beban sebagai masukan ke sistem yang berimplementasi pada penggeseran jumlah titik beban tertentu secara optimal (Abhisek, 2008).

Jaringan saraf tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) adalah algoritma pemecahan masalah komputer yang prinsip operasinya meniru jaringan saraf manusia. Salah satu jenis metode ini adalah jaringan saraf umpan-maju atau disebut dengan *Feed Forward Neural Network*. Metode ini digunakan oleh peneliti karena sifat dari proses pembelajaran yang tidak berulang (*loop*). Kelebihan dari metode *Feed Forward Neural Network* adalah nilai prediksi yang mendekati nilai sebenarnya, sehingga dapat menghasilkan kesalahan kecil dan mendeteksi atau menganalisis masalah yang sangat kompleks (Saman dan Bryan, 2011)

Perumusan masalah pada penelitian ini diantaranya menentukan cara untuk menghitung susut energi berdasarkan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic*, menentukan cara penggunaan metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* untuk melakukan peramalan susut energi, dan menguji akurasi peramalan dari metode (F-FFNN) menggunakan metode MSE dan MAPE.

Tujuan dari penelitian ini diantaranya memahami perhitungan susut energi berdasarkan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic*, memahami metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* untuk melakukan peramalan susut energi serta memahami uji kinerja dari metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN).

Jaringan Distribusi dan Keseimbangan Beban

Sistem tiga fasa adalah metode pendistribusian energi listrik yang umum digunakan di Indonesia. Sistem tiga fase yang menggunakan kabel netral disebut sistem tiga fase empat kabel dihitung menggunakan persamaan (1).

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T \quad (1)$$

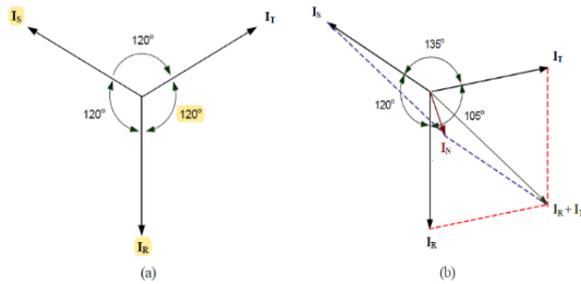
Keterangan:

\vec{I}_N = Vektor diagram arus netral

\vec{I}_R = Vektor diagram arus fasa R

\vec{I}_S = Vektor diagram arus fasa S

\vec{I}_T = Vektor diagram arus fasa T



Gambar 1 Vektor Diagram Arus
(Sumber: Fazari Abdillah, 2014)

Gambar 1 (a) menunjukkan sistem tiga fasa dengan beban seimbang untuk setiap fasa. Jika masing-masing nilai vektor ini dijumlahkan, nilai vektor arus tersebut adalah nol. Sistem dikatakan seimbang bahwa jumlah arus yang mengalir di setiap fase adalah sama dan perbedaan fase saling membentuk sudut 120°.

Gambar 1 (b) menunjukkan sistem tiga fasa dengan beban tidak seimbang. Jika masing-masing nilai vektor ini dijumlahkan, nilai vektor arus tersebut tidak sama dengan nol. Ini akan mengakibatkan munculnya nilai arus netral, dan besarnya arus netral ini akan dipengaruhi oleh besarnya ketidakseimbangan. ada beberapa kriteria Jika beban tidak seimbang pada setiap fase. Pertama, ketiga vektor sama dan sudut fase tidak membentuk sudut 120° satu sama lain. Kondisi kedua, di mana ketiga vektor tidak sama besar tetapi sudut fasa membentuk sudut 120°. Syarat ketiga adalah ketiga vektor tersebut tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120 antar fasa (Fazari, 2014).

Susut Energi Pada Jaringan Distribusi

Susut energi merupakan berkurangnya atau hilangnya energi listrik dalam proses penyaluran dari sumber pembangkitan menuju beban atau konsumen tiap satuan waktu. Ada dua jenis susut:

1. Susut teknis

susut energi listrik yang terjadi saat penyaluran dari pembangkitan sampai pada pelanggan atau konsumen. Susut teknis ini disebabkan dari permasalahan teknis dimana energi listrik diubah menjadi panas. Dasar rugi daya pada penghantar netral yang disebabkan oleh arus yang mengalir di titik netral dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\Delta P_N = R_N \times I_N^2 \tag{2}$$

Keterangan

ΔP_N : Rugi daya penghantar netral (kW)

R_N : Tahanan penghantar netral (Ω)

I_N : Arus penghantar netral (A)

Untuk total *losses* atau susut energi yang diakibatkan adanya arus netral dalam satuan waktu dihitung menggunakan persamaan (3).

$$W_{loss} = \Delta P_N \times t \tag{3}$$

Keterangan:

W_{loss} : Susut energi (kWh)

ΔP_N : Rugi daya penghantar netral (kW)

t : Periode (Waktu)

2. Susut non teknis

Merupakan susut energi yang diakibatkan oleh bagian dari luar sistem. Secara khusus seperti, dugaan pencurian listrik, *error* pembacaan meter, *error* alat ukur, dan lain lain.

Penentuan Penggunaan Penghantar

Kabel berisolasi ataupun kawat merupakan jenis penghantar yang harus ditentukan berdasarkan pertimbangan teknis penentuan pemakaian penghantar. Struktur dan kuantitas penggunaan penghantar juga mempengaruhi nilai resistansi konduktor, yang didasarkan pada persamaan hukum Ohm panas menggantikan satuan listrik, yaitu pada persamaan (4).

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \tag{4}$$

Keterangan:

R : Resistansi penghantar (Ω)

ρ : Resistivitas pada bahan (Ω/m)

L : Panjang penghantar (m)

A : Luas Penampang (m)

Fuzzy Logic-Based Load Balancing

Perhitungan keseimbangan beban dengan teknik logika *fuzzy* menggunakan *input* arus fasa total (untuk masing-masing dari tiga fasa). Untuk menghitung ketidakseimbangan rata-rata per fasa (*Avg*), dihitung menggunakan persamaan (5).

$$Avg = \frac{|Load_{ph1} - Load_{ph2}| + |Load_{ph2} - Load_{ph3}| + |Load_{ph3} - Load_{ph1}|}{3} \tag{5}$$

Berdasarkan persamaan (5), nilai $Load_{ph1}$, $Load_{ph2}$, $Load_{ph3}$ merupakan input yang diketahui berturut-turut yaitu beban pada fasa R, fasa S, dan fasa T.

Keluaran dari proses *load balancing* berbasis *fuzzy* adalah nilai perubahan beban untuk setiap fasa. Nilai negatif menunjukkan bahwa fasa tertentu memiliki beban berlebih dan harus melepaskan jumlah beban tersebut, sedangkan nilai positif menunjukkan bahwa fasa tertentu kurang dibebani dan harus menerima jumlah beban tersebut.

Konfigurasi perubahan beban ini adalah masukan ke sistem yang berimplementasi pada penggeseran jumlah titik beban tertentu secara optimal. Setelah simulasi konfigurasi perubahan beban terdapat nilai *error* yang dapat diselesaikan menggunakan persamaan nilai rata-rata *error* (AE) pada persamaan (6).

$$AE = \text{round} \left(\frac{\sum \Delta P_{fuzzy}}{3} \right) \quad (6)$$

Dengan menggunakan nilai rata-rata *error* (AE), akan menghasilkan matriks kesalahan (ΔP_{error}) antara tiga fasa dihitung dengan persamaan (7).

$$\Delta P_{error} = \begin{bmatrix} AE \\ AE \\ \sum \Delta P_{fuzzy} - 2AE \end{bmatrix} \quad (7)$$

Nilai *error* (ΔP) akibat konfigurasi perubahan beban dapat diselesaikan dengan persamaan (8).

$$\Delta P = \Delta P_{fuzzy} - \Delta P_{error} \quad (8)$$

Sehingga hasil akhir konfigurasi perubahan beban (P_{final}) dihitung menggunakan persamaan (9).

$$P_{final} = P_{in} + \Delta P \quad (9)$$

Selanjutnya kapasitas kelebihan beban maksimum pada setiap fasa adalah dua kali lebih besar dari beban rata rata. Jika melebihi beban maksimum, pengontrol *fuzzy* tidak boleh digunakan sebagai keseimbangan beban. Karena, bagaimanapun ketika fasa mencapai kondisi kelebihan beban 200%, pembebanan harus diputus dari layanan untuk mencegah kerusakan daya dan beban berlebih pada transformator (Abhisek, 2008).

Peramalan (Forecasting)

Peramalan merupakan sebuah metode dalam memprediksi keadaan dimasa yang akan datang melalui pengujian data dari masa lalu. Tujuan dari peramalan merupakan perkiraan kejadian-kejadian pada masa mendatang berdasarkan akan pola pada masa lampau. Dengan kata lain peramalan memerlukan histori data dari masa lampau untuk memperkirakan masa mendatang. Menurut (Marsudi, 2006), peramalan sendiri dapat dibagi menjadi tiga menurut klasifikasinya:

1. Peramalan untuk jangka pendek
Merupakan suatu teknik prediksi yang berdurasi beberapa jam hingga satu minggu kedepan.
2. Peramalan untuk jangka menengah
Merupakan suatu teknik prediksi yang memiliki durasi prakiraan dari mulai satu bulan mendatang sampai satu tahun mendatang.

3. Peramalan untuk jangka panjang
Merupakan suatu teknik prediksi yang memiliki durasi lebih dari satu tahun mendatang.

Akurasi Peramalan

1. *Mean Squared Error* (MSE)

MSE merupakan metode analisis menentukan nilai akurasi peramalan dari sebuah kesalahan. Perhitungan MSE melibatkan perbandingan nilai keluaran ($y_i(x)$) dengan nilai target ($T_i(x)$). Hasilnya adalah selisih dibagi jumlah variabel (n). Hal tersebut menyebabkan kesalahan (*error*) peramalan. Selisih antara kedua hasil yang diperoleh dapat ditentukan dengan rumus perhitungan MSE (Aribowo, 2020):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \{Y_t - Y'_t\}^2 \quad (10)$$

Keterangan:

- n : Jumlah seluruh *input* data
- Y_t : Data aktual pada periode waktu (t)
- Y'_t : Hasil peramalan periode t

2. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

MAPE merupakan algoritma selisih antara data aktual dan prediksi. Selanjutnya, dihitung sebagai persentase dari data aktual. Hasilnya didapatkan sebagai nilai rata-rata. MAPE mengindikasikan seberapa besar kesalahan dalam proses peramalan kemudian dibandingkan dengan nilai aktual pada deret periode tertentu. Rumus perhitungan MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - Y'_t}{Y'_t} \times 100\% \quad (11)$$

Keterangan:

- n : Jumlah seluruh *input* data
- Y_t : Data aktual pada periode waktu (t)
- Y'_t : Hasil peramalan periode t

Berdasarkan (Aribowo, 2020), nilai MAPE diinterpretasikan dalam 4 kategori yang di tampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Kategori MAPE

Range MAPE	Kemampuan Model
<10%	Sangat akurat
10-20%	Baik
20-50%	Wajar
>50%	tidak akurat

(Sumber: Aribowo, 2020)

Feed Forward Neural Network (FFNN)

Jaringan saraf tiruan atau *Artificial Neural Network* adalah algoritma pemecahan masalah komputer yang prinsip operasinya meniru jaringan saraf manusia. Salah satu jenis metode ini adalah jaringan saraf umpan-maju atau disebut dengan *Feed Forward Neural Network*. Metode ini digunakan oleh peneliti karena sifat dari proses pembelajaran yang tidak berulang (*loop*), dimana sinyal dilewatkan mulai *input layer* menuju *hidden layer* dan diteruskan ke *output layer* (Baliyan, 2015).

Proses bertukar informasi berada pada elemen (*neuron*). Dimana sinyal dikirim antara *neuron* yang terhubung, *neuron* terhubung mempunyai bobot, dan setiap *neuron* memiliki fungsi aktivasi untuk menentukan *output*. Berikut ini adalah istilah-istilah umum jaringan saraf tiruan (Kartini, 2019):

1. *neuron* atau simpul saraf: *Neuron* merupakan bagian dari pemrosesan ANN. *Neuron* mendapatkan data masukan, melakukan proses masukan, dan (melakukan beberapa perkalian yang terkait dengan fungsi *summation* dan aktivasi) ke *output*.
2. Lapisan jaringan: Kumpulan *neuron* yang terkoneksi membentuk lapisan (hierarki).
3. Masukan (*input*): Sinyal *input* ini terkait dengan atribut unik sampel atau data lain dari luar ditransmisikan ke lapisan berikutnya.
4. keluaran (*output*): solusi atau hasil dari *input* data.
5. *Hidden Layer*: Lapisan yang berfungsi memperluas kemampuan analisis untuk menangani masalah yang kompleks.
6. Bobot: Nilai matematis untuk koneksi yang mentransfer data dari satu lapisan ke lapisan lainnya. Bobot digunakan untuk menyetel jaringan menghasilkan keluaran yang diinginkan.
7. Fungsi *summation*: Analisis fungsi untuk mencari bobot rata-rata elemen masukan. Sederhananya, setiap nilai *input* (X_i) dikalikan dengan bobot (W_{ij}) dan ditambahkan (disebut penambahan bobot atau S_i).
8. Fungsi untuk aktivasi: Suatu fungsi yang menyatakan hubungan (fungsi komposit) antara tingkat aktivasi internal dalam bentuk linier atau non-linier.
9. Persamaan untuk FFNN
Masukan bobot pertama dan bias pertama dihitung berturut-turut pada persamaan 12 dan persamaan 13.

$$W = Net * I * W \{1.1\} \tag{12}$$

$$W = Net * b \{1.1\} \tag{13}$$

Keterangan: *Net* = Jaringan
I = Masukkan
W = Bobot
B = Bias

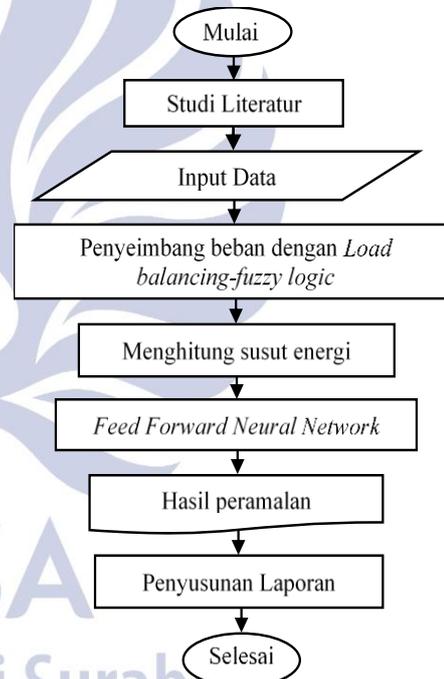
METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis pendekatan kuantitatif. Dimana penelitian ini merupakan penelitian hipotetis yang mensyaratkan seluruh penelitian harus dianalisa secara numerik. Pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini menggunakan jenis penelitian empiris dimana peneliti dapat memanipulasi variabel independen, mengontrol variabel dependen, dan menentukan rentang antar variabel independen. Penelitian ini nantinya akan memperoleh pentingnya hubungan antar variabel yang diteliti.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa langkah antara lain adalah dengan melakukan studi literatur tentang penelitian terkait, pengumpulan data penunjang dalam penelitian yang akan dilakukan, melakukan analisis data dan perhitungan menggunakan metode, menganalisis hasil perhitungan, menyusun laporan penelitian.



Gambar 2 Flowchart Rancangan Penelitian

Langkah-langkah pada Gambar 2 penelitian dari flowchart di atas dapat dijelaskan berikut:

1. Tahap studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh semua pengetahuan yang relevan untuk menyusun proposal penelitian ini.
2. Proses pengumpulan data, penulis mengumpulkan data tertentu yang diperlukan untuk penelitian.
3. Analisis dan perhitungan matematis dengan melakukan keseimbangan beban menggunakan *Fuzzy Logic* sebagai variabel untuk peramalan susut energi.
4. Menyelesaikan perhitungan susut energi dari *input* data beban hasil dari keseimbangan beban.

5. Analisis pemodelan matematis dengan menyelesaikan perhitungan dari *input* data menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) berdasarkan keseimbangan beban.
6. *Output* dari perhitungan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) yaitu simulasi peramalan dalam bentuk grafik dalam kurun waktu 24 jam kedepan pada tanggal 20 April 2021.
7. Penyusunan laporan, dalam tahap ini dilakukan proses penulisan dari hasil penelitian yang sudah diselesaikan.

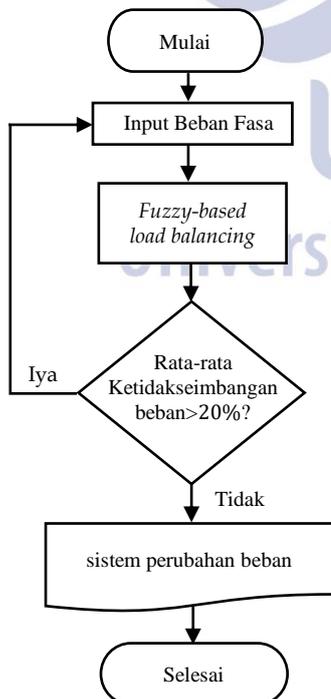
Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data-data yang mendukung penyelesaian penelitian diperoleh dari PT. PLN (Persero) PT. PLN UP3 (Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan) Surabaya Barat. Data yang diperoleh dari lapangan meliputi data beban pada gardu distribusi RB511 penyulang Bukit Bambe PT. PLN Persero UP3 Surabaya Barat, data karakteristik kabel, data panjang saluran dan jenis saluran.

Teknik Analisis Data

Pada tahap proses analisis data, penulis melakukan pengolahan data yang sudah dikumpulkan menggunakan dua metode perhitungan yakni *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Rancangan *flowchart* metode *Fuzzy Logic-Based Load Balancing* *Flowchart* perhitungan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



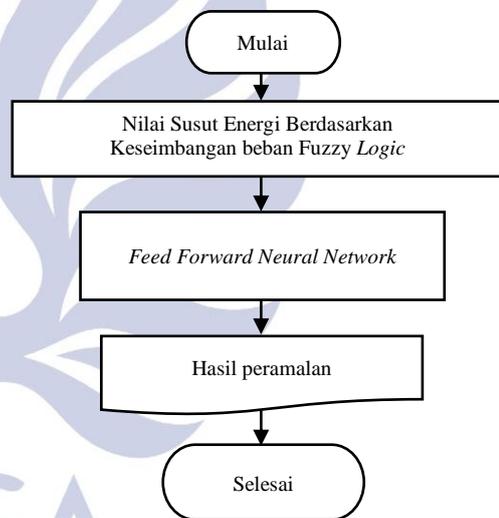
Gambar 3 *Flowchart* metode *Fuzzy Logic*

Pada Gambar 3 dijelaskan alur *Fuzzy Logic-Based Load Balancing*:

- a. Langkah pertama memasukkan data beban fasa total (untuk masing-masing dari tiga fasa).
- b. Melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban rata-rata, diperiksa terhadap ambang batas 20%.
- c. Melakukan perhitungan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic-Based Load Balancing*.
- d. Hasil dari keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic-Based Load Balancing* adalah nilai perubahan beban untuk setiap fasa yang digunakan sebagai variabel perhitungan susut energi.

2. Rancangan *flowchart* metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network*

Flowchart peramalan susut energi berdasarkan penyeimbang beban menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 *Flowchart* metode F-FFNN

Pada Gambar 4 dapat dijelaskan alur F-FFNN sebagai berikut:

- a. Langkah pertama memasukkan data hasil perhitungan susut energi berdasarkan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic*.
- b. Hasil dari perhitungan susut energi berdasarkan keseimbangan beban menggunakan metode *Fuzzy Logic* akan dijadikan masukan untuk peramalan menggunakan metode *Feed Forward Neural Network*.
- c. Kemudian akan didapatkan hasil simulasi peramalan jangka pendek (satu hari) menggunakan metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang berjudul “Peramalan Susut Energi Jangka Pendek Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* berdasarkan Keseimbangan Beban” adalah berupa grafik, peramalan susut energi listrik ini dilakukan setiap 6 (enam) jam dalam kurun waktu 1 (satu) hari kedepan, dimulai pukul 23.00 dan kembali lagi dihari selanjutnya pada pukul 23.00. Dimana yang akan diramalkan adalah tanggal 20 April 2021. Variabel *input* yang digunakan adalah data beban pada masing-masing fasa pada gardu distribusi RB511 penyulang Bukit Bambe PT. PLN Persero UP3 Surabaya Barat, data karakteristik kabel, data panjang saluran dan jenis saluran.

Resistansi Pada Penghantar Netral

Arus yang mengalir disepanjang kabel netral transformator mengakibatkan hilangnya daya listrik. Hilangnya daya menyebabkan daya yang mencapai ujung penerima lebih sedikit daripada ujung pengirim. Jenis penghantar dan diameter penghantar mempengaruhi nilai daya yang hilang pada transformator. Jenis kabel netral yang digunakan pada gardu distribusi RB511 adalah AAAC dengan diameter 70 mm². Menurut standar 41-8: 1981 Perusahaan Listrik Negara (SPLN), konduktor AAAC memiliki dimensi dan struktur disampaikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Kabel & Resistansi Penghantar

Kabel	Suhu (°C)	Resistansi Kabel (Ω/km)	Panjang Penghantar
AAAC (A3C) 70mm ² Aluminium	20	0,438	1545 m

(Sumber: PT. PLN UP3 Surabaya Barat, 2021)

Fuzzy Logic-Based Load Balancing

Pada bagian ini, menjelaskan teknik *load balancing* berbasis logika *fuzzy* secara rinci. Dengan melakukan perhitungan kapasitas rata-rata per fase dari sistem.

Perhitungan keseimbangan beban dengan metode *fuzzy logic* disimulasikan dengan *Matlab fuzzy toolbox* menggunakan teknik inferensial *fuzzy Mamdani*.

1. Fuzzy controller: input dan output

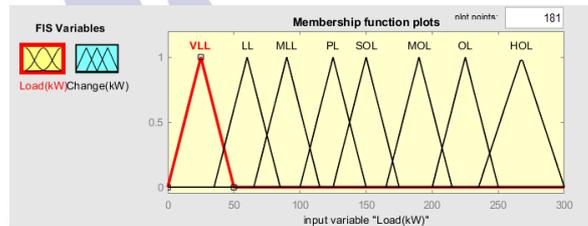
Untuk merancang pengontrol *fuzzy*, pertama kita merancang fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk variabel *input* dan *output*. Dengan tujuan keseimbangan beban, *input* masukan adalah 'Beban' yaitu, beban total dari masing-masing fasa, dan *output* sebagai 'Perubahan', yaitu perubahan beban (positif atau negatif) harus dibuat untuk setiap fasa. Tabel 3 merupakan nomenklatur *fuzzy* variabel *input* sebagai fungsi *input* keanggotaan *fuzzy* seperti pada Gambar 5. Tabel 4 merupakan nomenklatur *fuzzy* variabel *output* sebagai fungsi *output* keanggotaan *fuzzy* seperti pada Gambar 6.

Tabel 3 Nomenklatur *fuzzy* variabel *input*

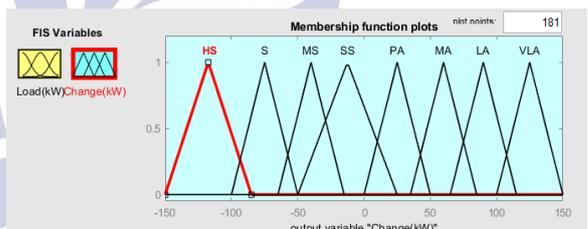
No	Input (Load) description	Fuzzy nomenclature	kW range
1	Very less loaded	VLL	0-50
2	Less loaded	LL	35-85
3	Medium less loaded	MLL	65-115
4	Perfectly loaded	PL	100-150
5	Slightly overloaded	SOL	125-175
6	Medium overloaded	MOL	165-215
7	overloaded	OL	200-250
8	Heavily overloaded	HOL	235-300

Tabel 4 Nomenklatur *fuzzy* variabel *output*

No	Output (Change) description	Fuzzy nomenclature	kW range
1	High subtraction	HS	-150 to -85
2	subtraction	S	-100 to -50
3	Medium subtraction	MS	-65 to -15
4	Slight subtraction	SS	-50 to 25
5	Perfect addition	PA	0-50
6	Medium addition	MA	35-85
7	Large addition	LA	65-115
8	Very large addition	VLA	100-150



Gambar 5 Fungsi variabel *input* keanggotaan *fuzzy*



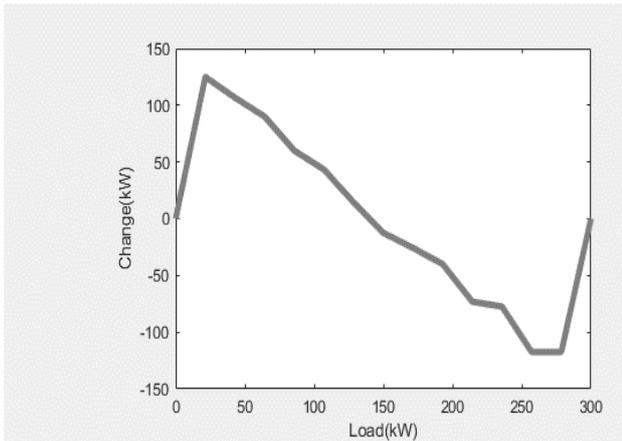
Gambar 6 Fungsi variabel *output* keanggotaan *fuzzy*

2. Fuzzy rules and surface

Selanjutnya adalah menentukan *fuzzy rule set* yang berfungsi mengatur variabel *input* dan variabel *output* yang ditunjukkan pada Tabel 5 sesuai dengan *input fuzzy*, variabel *output* dan aturan yang terkait, *fuzzy surface* ditunjukkan pada Gambar 7, yang menggambarkan hubungan nonlinier antara variabel *input* dan variabel *output*.

Tabel 5 Aturan *fuzzy* untuk variabel *input* dan *output*

Rule no.	Rule description
1	If Load is VLL then Change is VLA
2	If Load is LL then Change is LA
3	If Load is MLL then Change is MA
4	If Load is PL then Change is PA
5	If Load is SOL then Change is SS
6	If Load is MOL then Change is MS
7	If Load is OL then Change is S
8	If Load is HOL then Change is HS

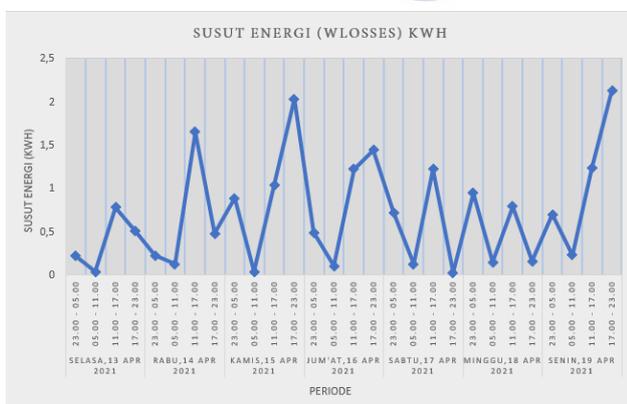


Gambar 7 Hubungan nonlinier variabel input dan output

Hasil Perhitungan Susut Energi berdasarkan Keseimbangan Beban dengan Metode Fuzzy Logic

Susut energi dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir melalui titik netral transformator jaringan distribusi tegangan rendah. Dari hasil pengolahan data dapat diketahui bahwa besarnya ketidakseimbangan beban pada sisi sekunder transformator mempengaruhi besarnya arus yang mengalir melalui titik netral transformator. Arus yang mengalir melalui titik netral transformator ini akan menyebabkan rugi daya. Rugi daya yang terjadi terus menerus dalam satu satuan waktu akan mengakibatkan susut energi.

Dengan menggunakan pemodelan matematis metode Fuzzy Logic berdasarkan keseimbangan beban, didapatkan nilai susut energi terbesar terjadi pada hari Senin pukul 17.00 sampai 23.00 dengan nilai 2,123665804 kWh. Hasil Analisis susut energi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hasil Perhitungan Susut Energi Fuzzy Logic-Based Load Balancing

Berdasarkan data grafik pada Gambar 8, disajikan Tabel 6 nilai susut energi berdasarkan keseimbangan beban menggunakan metode fuzzy-logic.

Tabel 6 Nilai Susut Energi Berdasarkan Keseimbangan Beban menggunakan metode Fuzzy-logic

Tanggal	Periode (t)	Susut Energi (kWh)
Selasa,13 Apr 2021	23.00 - 05.00	0,220540736
	05.00 - 11.00	0,03654234
	11.00 - 17.00	0,781100232
	17.00 - 23.00	0,503876642
Rabu,14 Apr 2021	23.00 - 05.00	0,222339838
	05.00 - 11.00	0,12596916
	11.00 - 17.00	1,646921037
	17.00 - 23.00	0,475344383
	23.00 - 05.00	0,884558499
	05.00 - 11.00	0,03654234
Kamis,15 Apr 2021	11.00 - 17.00	1,036829618
	17.00 - 23.00	2,026376696
	23.00 - 05.00	0,488615343
Jum'at,16 Apr 2021	05.00 - 11.00	0,1015065
	11.00 - 17.00	1,21941342
	17.00 - 23.00	1,438113234
	23.00 - 05.00	0,719299827
	05.00 - 11.00	0,12596916
	11.00 - 17.00	1,21941342
Sabtu,17 Apr 2021	17.00 - 23.00	0,028513176
	23.00 - 05.00	0,945503002
	05.00 - 11.00	0,14616936
Minggu,18 Apr 2021	11.00 - 17.00	0,78900434
	17.00 - 23.00	0,15809678
	23.00 - 05.00	0,697845413
Senin,19 Apr 2021	05.00 - 11.00	0,231444971
	11.00 - 17.00	1,227871753
	17.00 - 23.00	2,123665804

Peramalan Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network

Pada tahap proses peramalan, masukan yang digunakan sebagai input adalah besaran arus yang mengalir di titik netral transformator dan nilai susut energi hasil perhitungan menggunakan metode fuzzy logic berdasarkan keseimbangan beban.

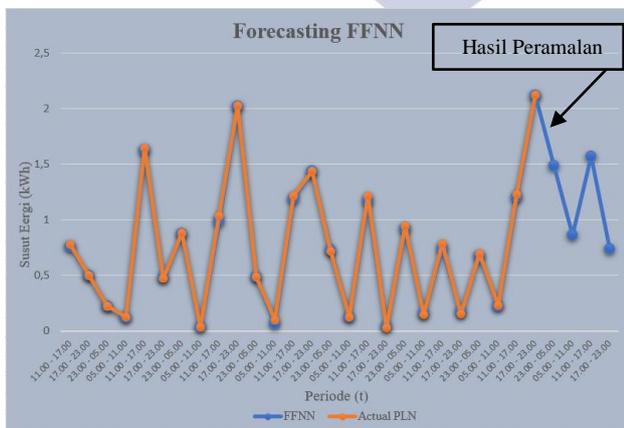
Jenis jaringan syaraf tiruan untuk peramalan merupakan jaringan syaraf tiruan struktur umpan maju atau *Feed Forward Neural Network*. Metode FFNN mempunyai kecenderungan tidak ada peniruan pembelajaran atau *loop*. Siyal bergerak dari proses *input layer* melewati *hidden layer* kemudian menuju *output layer*. Tabel 7 adalah rincian arsitektur yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Feed Forward Neural Network*. Jaringan ini terdiri dari satu lapisan *input*, satu lapisan tersembunyi dan satu lapisan *output*.

Tabel 7 Arsitektur Jaringan F-FFNN

Komponen Arsitektur	Keterangan
Input Layer	2 Neuron
Output Layer	1 Neuron
Hidden Layer	1 Layer
Neuron Hidden Layer	24 Neuron
Epoch	1000
Performance	0,001
Fungsi Aktivasi	Logsig Purelin
Fungsi Transfer/ Pembelajaran	Trainlm

Hasil Peramalan

Hasil peramalan susut energi dengan metode perhitungan *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) ini menampilkan grafik perbandingan dengan susut energi aktual dari tanggal 13 April 2021 sampai 20 April 2021 yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Hasil Peramalan F-FFNN

Pada Gambar 9 didapatkan grafik hasil simulasi dari peramalan susut energi jangka pendek menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) selama satu hari. Dengan hasil peramalan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil peramalan F-FFNN

Waktu	Hasil Peramalan Susut Energi (kWh)
23.00 - 05.00	1,487158436
05.00 - 11.00	0,8607078
11.00 - 17.00	1,57012648
17.00 - 23.00	0,737093795
Total	4,655086511

Akurasi Peramalan

Pada penelitian yang disusun ini digunakan dua metode perhitungan akurasi peramalan yakni metode (MSE) atau *Mean Square error* dan (MAPE) atau *Mean Absolute Percentage Error*. Hasil akurasi peramalan metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Akurasi Peramalan MSE dan MAPE

<i>Mean Square Error</i> (MSE)	<i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE)%
0,000131627	0,029797424

Tabel 9 merupakan nilai perhitungan MSE dan MAPE dengan metode *Fuzzy Logic* dan *Feed Forward Neural Network* (F-FFNN). Pada kasus hasil, nilai MSE memiliki nilai rendah sebesar 0,000131627 yang menghasilkan nilai error lebih kecil dari batas error yaitu (0,001) dan nilai MAPE sebesar 0,029797424% yang berarti model yang digunakan sudah benar sehingga hasil F-FFNN dapat digunakan sebagai acuan untuk meramalkan satu hari kedepan nilai susut energi yang terjadi.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode penerapan perhitungan susut energi listrik pada jaringan distribusi dengan menerapkan sarana *Fuzzy Logic* sebagai metode keseimbangan beban mempengaruhi besarnya arus netral transformator. Besaran arus di titik netral trafo ini akan mengakibatkan adanya rugi daya. Rugi daya yang terjadi secara terus menerus dalam satuan waktu akan menyebabkan susut energi listrik. Penggunaan metode hybrid *Fuzzy Logic - Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) berdasarkan keseimbangan beban sangat efisien dan akurat dalam meramalkan susut energi listrik pada satu hari kedepan. Karena memiliki hasil akurasi peramalan lebih kecil dari batasan *error* = 0.001 dengan didapatkan hasil MSE sebesar 0,000131627 dan nilai MAPE adalah 0,029797424% yang memiliki kemampuan model sangat akurat dibawah 10%. Sehingga hasil dari F-FFNN digunakan sebagai acuan untuk meramalkan susut energi satu hari kedepan.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk mengimplementasikan sistem perubahan beban menggunakan metode matematis lainnya sebagai upaya untuk meminimalisasi susut energi. Selanjutnya penggunaan metode *Fuzzy Logic-Feed Forward Neural Network* (F-FFNN) sebagai peramalan agar memperbanyak jumlah data yang digunakan sehingga semakin kecil tingkat error yang didapat dan tingkat akurasi peramalan semakin akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhisek. Ukil dan Willy Siti. 2008. *Feeder load balancing using fuzzy logic and combinatorial optimization-based implementation. Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 11, Pages 1922-1932, ISSN 0378-7796.*
- Aribowo. Widi. 2020. *Generalized Regression Neural Network For Long-Term Electricity Load Forecasting. Journal of International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA).* Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Baliyan. Arjun. 2015. *A Review of Short Term Load Forecasting using Artificial Neural Network Models. Journal of International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2015).* India: *Interscience Institue of Management and Technology Bhubasewar.*
- Fazari. Abdillah. 2014. *Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Sehari Di PT. PLN Area Bukittinggi.* TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2014) 1-6
- Habib. 2020. *Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode fuzzy multi-attribute making decision decomposition Feed Forward Neural Netwok (FMADM-Dec-FFNN).* Teknik Elektro, Volume 09, 649-657
- Kartini. Unit Three. 2019. *Load; Forecasting; Hydro thermal generation; k-NN-Feed Forward-NN; very short term, meteorology, modelling. Journal Of Electrical System, 15(1), 1-16.*
- Lezhniuk. Petro, Bevez dan Piskliarova. 2008. *Evaluation and forecast of electric energy losses in distribution networks applying fuzzy-logic.* IEEE, pp. 1-4.
- Marsudi. Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik.* Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Masviki. 2019. *Peramalan Daya Listrik PLTS On Grid Pada Rumah Tinggal Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor Decomposition Feed Forward Neural Network Berdasarkan Data Meteorologi.* Teknik Elektro, 9, 241-249.
- PT PLN. 2019. *Instruksi Kerja Teknik Penyeimbang Beban Pada SUTR.* Makassar
- PT PLN (Persero). 2014. *Edaran Direksi PT PLN (Persero) Nomor: 0017.E/DIR/2014 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo*
- PT PLN (Persero). 2021. *Data Kabel & Resistansi Penghantar PT. PLN UP3 Surabaya Barat.*
- Renaldi, Sukrisna. 2020. *Minimalisasi Susut Energi Pada Jaringan Distribusi Tak Seimbang Menggunakan Metode Sensitivitas Dan Feed Forward Neural Network Berdasarkan Faktor Losses.* Teknik Elektro. 09, 01, 743-747.
- Saman. Razavi dan Bryan Tolson. 2011. *A New Formulation for Feedforward Neural Networks.* in *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 22, no. 10, pp. 1588-1598.