

# Optimalisasi *Forecasting* Pembebanan Gardu Induk Jember Menggunakan Perbandingan Metode *Time Series* dan *Fuzzy* Sebagai Dasar *Uprating* Trafo

Galih Cahyaning Pratiwi<sup>1</sup>, Ir. Heery Setyawan, M.T.<sup>2</sup>, Aji Brahma Nugroho, S.Si., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jember, Jl. Karimata 49 Jember KODEPOS 68121 (telp: (0331) 336728; fax: (0331) 337957; e-mail: kantorpusat@unmuhjember.ac.id)

---



---

## ABSTRAK

---

*Abstrak*— *Forecasting* pembebanan jangka panjang dalam industri listrik diperlukan, karena menyediakan industri dengan permintaan daya masa depan yang berguna dalam menghasilkan, mentransmisikan dan mendistribusikan daya secara andal dan ekonomis. Belakangan ini, banyak teknik yang telah digunakan dalam *forecasting*, adapun teknik konvensional (deret waktu dan regresi), ada pula teknik kecerdasan buatan (*fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan). Dalam tugas akhir ini perkiraan pembebanan jangka panjang disajikan dalam model deret waktu (*time series*) dan logika *fuzzy* yang dibandingkan tingkat akurasi sebelum digunakan untuk *forecasting* jangka panjang. Model *time series* menggunakan histori data pembebanan Gardu Induk Jember, sedangkan model *fuzzy* dikembangkan berdasarkan peningkatan jumlah penduduk, infrastruktur pendidikan, infrastruktur kesehatan dan histori pembebanan Gardu Induk Jember. Kedua model digunakan untuk *forecasting* pada tahun penelitian berlangsung, yang dibandingkan tingkat akurasi untuk *forecasting* pembebanan tahun 2019-2027. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa antara 2 model yang diusulkan, model *fuzzy* lebih akurat. Analisis hasil *forecasting* menunjukkan bahwa transformator I mendekati batas maksimum pada tahun 2024 dengan pembebanan berkisar 42,9MVA, transformator II tidak diketahui tahun pembebanan mendekati batas maksimumnya, transformator III mendekati batas maksimum pada tahun 2023 dengan pembebanan berkisar 47,5MVA, transformator IV mendekati batas maksimum pada tahun 2021 dengan pembebanan berkisar 43,5MVA.

**Kata kunci:** *forecasting* pembebanan, *fuzzy*, *time series*, *uprating* transformator.

Copyright © 2019 Universitas Muhammadiyah Jember.

---

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan primer sebagai sarana yang dapat meningkatkan taraf hidup kesejahteraan masyarakat. Diantaranya digunakan sebagai sarana dalam bidang pendidikan, ekonomi, kesehatan, perindustrian, pendapatan suatu daerah, dan lain sebagainya. Hal ini menyebabkan konsumsi listrik dari waktu ke waktu cenderung mengalami peningkatan yang besarnya tidak dapat ditentukan secara pasti, ketidakpastian tersebut apabila tidak diperkirakan akan menimbulkan beberapa masalah. (Masarrang Maryanto, 2014)

Gardu Induk (GI) merupakan pusat pembebanan yang mensuplai energi listrik. Di beberapa daerah, permintaan terhadap energi listrik cenderung mengalami peningkatan. Pembebanan listrik yang ditanggung oleh gardu induk akan semakin besar karena semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik. Apabila pembebanan listrik yang ditanggung oleh gardu induk lebih besar dari kapasitasnya maka gardu induk akan mengalami *overload* yang berakibat pada terhentinya suplai tenaga listrik dan memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan transformator di gardu induk. (Suryo Wisnu Adi, 2014)

Agar permasalahan tersebut dapat dihindari, maka perlu adanya *forecasting* pembebanan listrik pada gardu induk. *Forecasting* adalah suatu kegiatan atau usaha memprediksi kondisi di masa yang akan datang. *Forecasting* pembebanan listrik jangka panjang dapat digunakan sebagai perencanaan untuk menentukan langkah-langkah guna mengantisipasi pertumbuhan beban yang terjadi pada gardu induk.

Metode *forecasting* yang lazim digunakan adalah metode *time series*, yaitu berupa suatu persamaan terhadap waktu. Selain itu, juga berkembang metode yang digunakan menganalisis sistem yang mengandung ketidakpastian dalam *forecasting*, yaitu logika *fuzzy* (kabur). (Effendi Hansi, 2009)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Syarif M. Bahtiar, (2014), Universitas Tanjungpura yang berjudul “Peramalan Beban dengan Menggunakan Metode Time Series Untuk Kebutuhan Tenaga Listrik di Gardu Induk Sungai Raya” menyatakan bahwa metode *time series* dengan data pembebanan Gardu Induk Sungai Raya selama 5 tahun dapat digunakan sebagai metode peramalan pembebanan Gardu Induk Sungai Raya. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2016-2035 pembebanan Gardu Induk Sungai Raya mengalami peningkatan yang signifikan dengan rata-rata 47,12 Ampere. Karena kapasitas Gardu Induk Sungai Raya 150KVA, maka gardu induk diperkirakan akan mengalami *overload* pada tahun 2023. Untuk penelitian sebelumnya yang dilakukan Danladi Ali, Michael Yohanna, (2016), Adamawa State University, Mubi, Nigeria dalam jurnal penelitian berjudul “Long-Term Load Forecast Modelling Using a Fuzzy Logic Approach”, menyatakan bahwa dengan data suhu kelembaban, dan pembebanan Gardu Induk selama 2 tahun yaitu tahun 2013 dan 2014, dapat direncanakan pembebanan gardu induk beberapa tahun yang akan datang dengan menggunakan fungsi perulangan. Masing-masing variabel selama 2 tahun tersebut dibandingkan sebagai data *forecasting* pembebanan gardu induk 1 tahun yang akan datang, kemudian diulang untuk mendapat pembebanan gardu induk 2 tahun yang akan datang, diulang kembali untuk mendapat pembebanan gardu induk 3 tahun yang akan datang. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada tahun 2015 kelembaban gardu induk berkisar 33% suhu gardu induk berkisar 25,5°C dan hasil *forecasting* pembebanan gardu induk sebesar 1,65MW dengan nilai errornya sebesar 6,9%, atau nilai akurasi sebesar 93,1%. Selain itu, penelitian ini menjelaskan bahwa semakin banyak data histori maka akan bisa dilakukan *forecasting* pada jangka waktu panjang.

Oleh karena itu dalam tugas akhir ini mengangkat tentang *forecasting* pembebanan listrik di Gardu Induk Jember dengan metode *time series* dan metode *fuzzy*. Metode *time series* sebagai metode untuk *forecasting* menggunakan suatu persamaan terhadap waktu. Sedangkan Metode *fuzzy* sebagai metode alternatif untuk *forecasting* menggunakan logika matlab. Pada penelitian ini, selain menggunakan data pembebanan Gardu Induk Jember selama 6 tahun, juga menggunakan data perkembangan jumlah penduduk dan data perkembangan infrastruktur dari Badan Pusat Statistik selama 6 tahun. Hasil dari perkiraan 2 metode akan dibandingkan dengan keadaan pembebanan di lapangan pada tahun penelitian berlangsung, sehingga akan didapat metode yang akurat untuk *forecasting* pembebanan Gardu Induk Jember. Melalui *forecasting* ini akan didapat langkah-langkah ketika pembebanan gardu induk terus meningkat sedangkan kapasitas trafo tidak memadai, sehingga dapat mencegah adanya *overload* yang dapat menimbulkan kerusakan peralatan di Gardu Induk Jember.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini antara lain adalah untuk memprediksi kebutuhan energi listrik di Gardu Induk Jember pada 9 tahun yang akan datang dengan melihat setiap pengaruh variabelnya. Serta untuk mengetahui kapasitas daya yang harus disediakan PT. PLN Jember untuk memenuhi kebutuhan energi listrik berdasarkan hasil perkiraan.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun penelitian tugas akhir ini memiliki beberapa manfaat antara lain adalah :

1. Membantu pihak PT. PLN (Persero) khususnya Gardu Induk Jember untuk memperkirakan permintaan energi listrik untuk 9 tahun ke depan.
2. Membantu PT. PLN (Persero) khususnya Gardu Induk Jember dalam melakukan perencanaan gardu induk.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

### 2.1.1 Metode *Time Series* Oleh Syarif M. Bahtiar, Tahun 2014

Penelitian yang dilakukan oleh Syarif M. Bahtiar (2014) dengan judul “*Peramalan pembebanan dengan menggunakan Metode Time Series Untuk Kebutuhan Tenaga Listrik di Gardu Induk Sungai Raya*” menyatakan bahwa metode *time series* dengan data pembebanan Gardu Induk Sungai Raya selama 5 tahun dapat digunakan sebagai metode peramalan pembebanan Gardu Induk Sungai Raya. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2016-2035 pembebanan Gardu Induk Sungai Raya mengalami peningkatan yang signifikan dengan rata-rata 47,12 Ampere. Karena kapasitas Gardu Induk Sungai Raya 150KVA, maka gardu induk diperkirakan akan mengalami *overload* pada tahun 2023.

### 2.1.2 Metode *Fuzzy* Oleh Danladi Ali, Tahun 2016

Penelitian yang dilakukan oleh Danladi Ali dan Michael Yohanna (2016) dengan judul “*Long-Term Load Forecast Modelling Using a Fuzzy Logic Approach*”, menyatakan bahwa dengan data suhu kelembaban, dan pembebanan Gardu Induk selama 2 tahun yaitu tahun 2013 dan 2014, dapat direncanakan pembebanan gardu induk beberapa tahun yang akan datang dengan menggunakan fungsi perulangan. Masing-masing variabel selama 2 tahun tersebut dibandingkan sebagai data *forecasting* pembebanan gardu induk 1 tahun yang akan datang, kemudian diulang untuk mendapat pembebanan gardu induk 2 tahun yang akan datang, diulang kembali untuk mendapat pembebanan gardu induk 3 tahun yang akan datang. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada tahun 2015 kelembaban gardu induk berkisar 33% suhu gardu induk berkisar 25,5°C dan hasil *forecasting* pembebanan gardu induk sebesar 1,65MW. Dengan nilai errornya sebesar 6,9%, atau nilai akurasi sebesar 93,1%. Selain itu, jurnal penelitian ini menjelaskan bahwa semakin banyak data histori maka akan bisa dilakukan *forecasting* pada jangka waktu panjang.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Gardu Induk

Gardu Induk (GI) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik yang berupa instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan. Gardu induk mempunyai peranan penting dalam pengoprasian tenaga listrik, tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Fungsi gardu induk sebagai berikut:

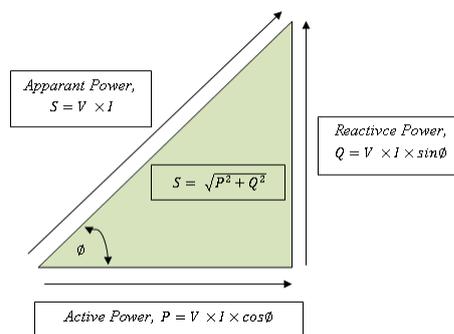
1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
2. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Pada dasarnya gardu induk terdiri dari saluran masuk dan dilengkapi dengan transformator daya, peralatan penghubung dan lainnya yang saling menunjang. Transformasi daya listrik dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50Hz) pada gardu induk diantaranya sebagai berikut (Sudaryatno Sudirham, 2012):

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500KV/150KV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah (150KV/70KV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150KV/20KV, 70KV/20KV).

### 2.2.2 Pembebanan Listrik

Secara umum pembebanan yang dilayani oleh sistem distribusi elektrik ini dibagi dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor usaha. Masing-masing sektor pembebanan tersebut mempunyai karakteristik-karakteristik yang berbeda, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Karakteristik pembebanan yang banyak disebut dengan pola pembebanan pada sektor perumahan ditujukan oleh adanya fluktuasi konsumen energi elektrik yang cukup besar. (Syarif M. Bahtiar, 2014) Daya listrik dinyatakan oleh persamaan berikut:



**Gambar 1. Segitiga Daya**  
(Sumber: Syarif M. Bahtiar, 2014)

$$P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- S = Daya Semu (VA)
- P = Daya Nyata (Watt)
- Q = Daya Reaktif (VAR)

**2.2.3 Metode Forecasting Pembebanan Gardu Induk**

Dalam *forecasting* pembebanan gardu induk, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, antara lain metode *fuzzy* dan regresi.

**1. Metode Time Series**

*Time series* atau runtun waktu adalah himpunan observasi data terurut dalam waktu. Metode *time series* adalah metode peramalan dengan menggunakan analisa pola hubungan antara variabel yang akan diperkirakan dengan variabel waktu. Peramalan suatu data *time series* perlu memperhatikan tipe atau pola data. Berupa kecenderungan arah data dalam jangka panjang, dapat berupa kenaikan maupun penurunan. (Syarif M. Bahtiar, 2014) Dirumuskan sebagai berikut:

$$T_t = a + bt \dots\dots\dots (4)$$

*a* dan *b* merupakan koefisien regresi, koefisien tersebut dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$a = \frac{(\sum Z)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum tz)}{(n)(\sum t^2) - (\sum t)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$b = \frac{n(\sum tz) - (\sum t)(\sum Z)}{(n)(\sum t^2) - (\sum t)^2} \dots\dots\dots (6)$$

- Keterangan: *Tt* = Komponen *Trend*  
*a, b* = Koefisien Regresi  
*n* = Jumlah Data  
*t* = Waktu

**2. Metode Fuzzy**

Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh (*UC Berkeley*) pada tahun 1965, sebagai suatu cara matematis untuk menyatakan keadaan yang tidak menentu (samar) dalam kehidupan sehari-hari. Ide ini didasarkan pada kenyataan bahwa di dunia ini suatu kondisi sering diinterpretasikan dengan ketidakpastian atau tidak memiliki ketepatan secara kuantitatif. Dengan logika *fuzzy*, dapat menyatakan informasi-informasi yang samar (kurang spesifik) tersebut.

Metode inferensi *fuzzy* antara lain metode Mamdani, Larsen, metode Tagaki Sugeno, dan metode tsukamoto. (Danladi Ali, 2016)

Variabel dalam himpunan *fuzzy* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu variabel linguistik dan variabel numerik. Setiap variable memiliki fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang

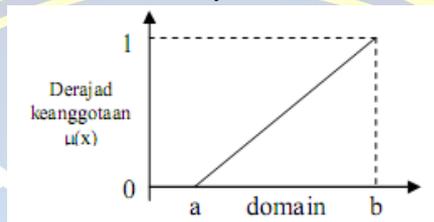
menunjukkan pemetaan titik *input* data ke dalam nilai anggotanya yang memiliki interval tertutup antara 0 sampai 1 yang disebut dengan derajat keanggotaan. (Masarrang M, 2014)

Nilai fungsi  $\mu_A$  menyatakan keanggotaan unsur  $x \in X$  dalam himpunan kabur  $A$ . Nilai fungsi 1 menyatakan keanggotaan penuh, dan nilai fungsi 0 menyatakan sama sekali bukan anggota himpunan kabur tersebut. Pada representasi linier, digambarkan sebagai suatu garis lurus berikut (Hansi Efendi, 2009):

a. Representasi Kurva Linier Naik

Kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan 0 bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Fungsi keanggotaannya adalah:

Grafiknya adalah:



**Gambar 2.** Grafik Kurva Naik  
 (Sumber: Hansi Efendi, 2009)

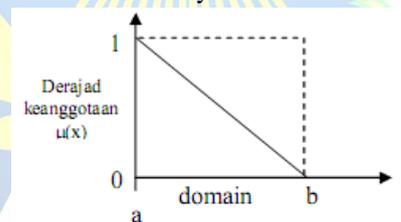
Persamaannya adalah:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

b. Representasi Kurva Linier Turun

Garis lurus yang dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Fungsi keanggotaannya adalah:

Grafiknya adalah:



**Gambar 3.** Grafik Kurva Turun  
 (Sumber: Hansi Efendi, 2009)

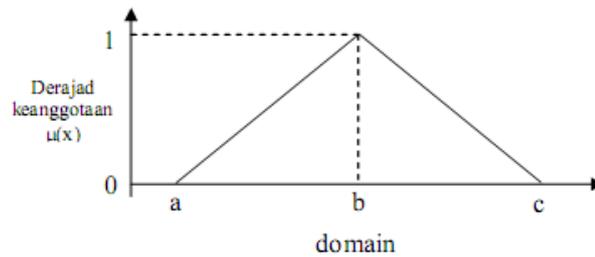
Persamaannya adalah:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x < a \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

c. Representasi Kurva Segitiga

Gabungan antara representasi linier naik dan representasi linier turun. Fungsi keanggotaannya adalah:

Grafiknya adalah:



**Gambar 4.** Grafik Kurva Segitiga  
 (Sumber: Hansi Efendi, 2009)

Persamaannya adalah:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x < a, x > c \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

Operator yang digunakan dalam penelitian ini adalah operator AND. Operator ini berhubungan dengan operasi interaksi pada himpunan. Hasil operasi operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan. Operator AND didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A \text{ AND } \mu_B \dots\dots\dots (10)$$

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \dots\dots\dots (11)$$

Jika 2 daerah *fuzzy* direalisasikan dengan implikasi sederhana, maka bentuk umumnya adalah sebagai berikut:

*Jika X adalah A maka Y adalah B*

Defuzzifikasi atau penegasan merupakan metode untuk memetakan nilai dari himpunan *fuzzy* ke dalam nilai *crisp*. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy* dalam range tertentu. (Hansi Efendi 2009)

**2.2.4 Capacity Balance Transformator**

*Capacity Balance Transformator* adalah cara mengetahui batas kapasitas transformator gardu induk dalam mendukung pembebanan, yang dikaitkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik berdasarkan perkiraan. Dengan *capacity balance*, dapat ditentukan tahun persiapan eksistensi transformator baru dan pengadaan gardu induk baru. Syarat-syarat gardu induk sebagai berikut (Nugroho A, 2009):

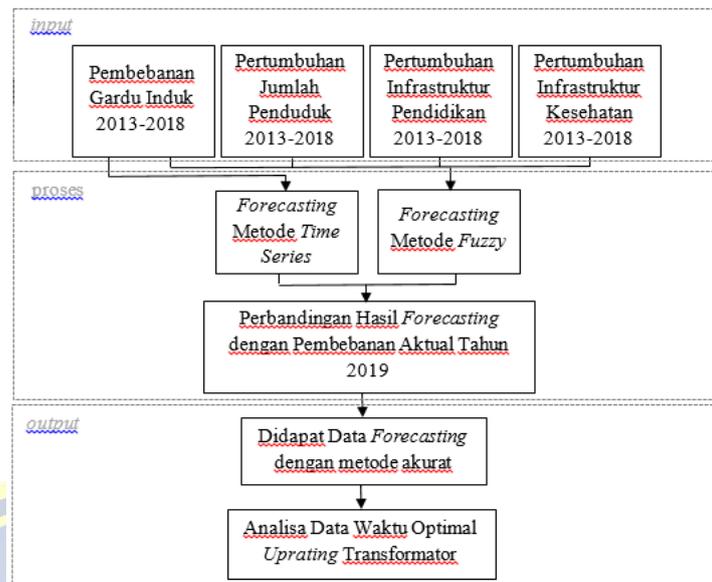
1. Dalam satu Gardu Induk (GI) hanya diijinkan 4 buah transformator.
2. Kapasitas transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator.
3. Bila pembebanan transformator mendekati 80%, harus dipersiapkan:
  - a. *Uprating*, bila kapasitas transformator di bawah 60 MVA.
  - b. Ditambahkan transformator baru, bila kapasitas transformator sudah 60MVA dan Gardu Induk (GI) tersebut jumlah transformatornya kurang dari 4.
  - c. Pembangunan Gardu Induk (GI) baru dengan transformator baru.

**3. METODE PENELITIAN**

**3.1 Studi Literatur**

Dilakukan dengan mempelajari literatur yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini, antara lain dalam mempelajari tentang dasar-dasar teknik perkiraan atau peramalan, analisis time series, analisis *fuzzy*, dan mempelajari tentang *capacity balance transformator* gardu induk.

**3.2 Diagram Blok Sistem**



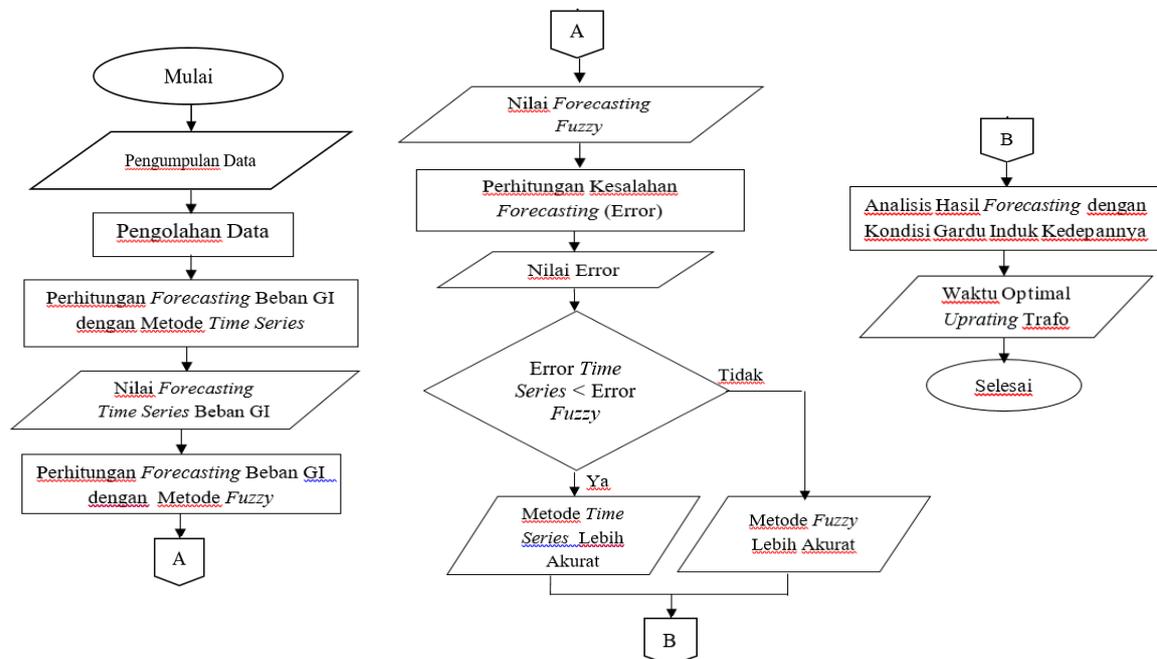
**Gambar 5.** Diagram Blok Sistem

### 3.3 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan pengumpulan data dari PT. PLN Jember berupa data statistik pembebanan trafo pada Gardu Induk Jember selama 7 tahun, mulai tahun 2013-2019. Data pembebanan gardu induk 2013-2018 untuk data histori *forecasting*, sedangkan data pembebanan gardu induk 2019 untuk data perbandingan akurasi metode. Adapun data dari Badan Pusat Statistik (BPS) berupa data statistik perkembangan jumlah penduduk di Kota Jember selama 6 tahun, mulai tahun 2013-2018

### 3.4 Prosedur Analisa Data

Analisa data perencanaan pembebanan di Gardu Induk Jember dengan metode *fuzzy*, dan regresi linier berganda digambarkan melalui diagram alir (*flowchart*) berikut:



**Gambar 6.** Flowchart Analisa Data

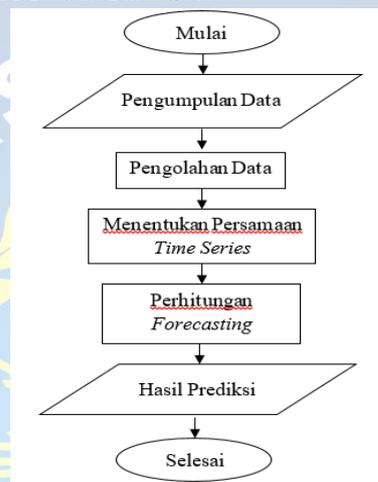
#### 3.4.1 Pengumpulan Data

Data penelitian didapat dari pembebanan Gardu Induk Jember pada 4 transformator selama 7 tahun 2013-2019. Data pembebanan gardu induk 2013-2018 untuk data histori *forecasting*, sedangkan data pembebanan gardu induk 2019 untuk data perbandingan akurasi metode. Data perkembangan jumlah penduduk serta perkembangan jumlah infrastruktur tiap kecamatan di Kabupaten Jember selama 6 tahun, mulai tahun 2013-2018.

**3.4.2 Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan dengan cara mengklasifikasi data pembebanan Gardu Induk Jember pada 4 transformator data pembebanan puncak saat siang hari dan malam hari. Pengolahan data pada perkembangan jumlah penduduk dan perkembangan jumlah infrastruktur dilakukan dengan mengklasifikasikan kecamatan yang menjadi pembebanan pada masing-masing transformator di Gardu Induk Jember.

**3.4.3 Forecasting Menggunakan Metode Time Series**



**Gambar 7.** Flowchart Metode Time Series

**Mengumpulkan Data dan Mengolah Data**

Mengumpulkan data statistik dari PT. PLN Jember pada tahun 2013-2018 yang merupakan data pembebanan pada Gardu Induk Jember, kemudian mengolah data yang diperlukan untuk perhitungan *forecasting* pembebanan selama 9 tahun yang akan datang.

**Menentukan Persamaan Time Series**

Persamaan *time series* merupakan persamaan suatu gerakan yang menunjukkan arah perkembangan, yaitu kecenderungan menaik dan menurun. Dapat dicari melalui rumus berikut:

$$T_t = a + b \dots\dots\dots (12)$$

*a* dan *b* merupakan koefisien regresi, koefisien tersebut dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$a = \frac{(\sum Z)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum tZ)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \dots\dots\dots (13)$$

$$b = \frac{n(\sum tZ) - (\sum t)(\sum Z)}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:

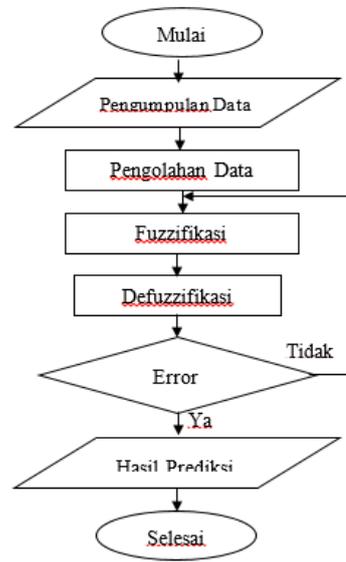
- Tt* = Komponen *Trend*
- a, b* = Koefisien Regresi
- t* = Waktu
- n* = Jumlah Data

**Perhitungan Forecasting**

Setelah didapat perseamaan *time series*, selanjutnya adalah perhitungan *forecasting*, dengan mensubstitusikan nilai urutan waktu atau tahun yang akan datang pada persamaan tersebut. Dari

perhitungan ini didapat hasil *forecasting* yang merupakan *output* dari analisis metode *time series*.

### 3.4.4 Forecasting Menggunakan Metode Fuzzy



Gambar 8. Flowchart Metode Fuzzy

#### Menentukan Metode Inferensi

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode inferensi mamdani sering disebut min-max. Kelebihannya metode mamdani bersifat intuitif, telah diterima secara luas. Metode ini setiap aturannya berbentuk implikasi (sebab-akibat) anteseden yang berbentuk konjungsi, mempunyai nilai keanggotaan minimum dan dan konsekuen gabungannya maksimum

#### Fuzzifikasi

Proses untuk mengubah variabel numerik menjadi variabel linguistik berupa menentukan fungsi keanggotaan himpunan-himpunan *fuzzy*, yang kemudian dinalarkan dengan *membership fuction* yang pada penelitian ini menggunakan operator AND.

#### Defuzzifikasi

Langkah terakhir dalam sistem logika *fuzzy* yang diekspresikan dalam bentuk nilai himpunan *fuzzy* ke suatu bilangan *crisp* yang menjadi hasil *forecasting*.

#### Mencari Error Terkecil

Setelah melalui tahap defuzzifikasi didapat hasil prediksi, hasil tersebut akan dihitung nilai kesalahannya menggunakan persamaan berikut:

$$Error = \left| \frac{Nilai\ Prediksi - Nilai\ Aktual}{Nilai\ Aktual} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

Apabila nilai prediksi masih jauh dari nilai actual, maka kembali ke fuzzifikasi untuk merubah desain kurva, hingga didapat nilai error terkecil yang bisa dijadikan nilai *forecasting*.

### 3.4.5 Menghitung Tingkat Akurasi Metode Forecasting

Menghitung nilai error dari metode *time series* dan *fuzzy* dengan acuan data aktual pembebanan gardu induk tahun 2019. Dari nilai error tersebut sebagai acuan metode yang tepat untuk analisis *uprating* trafo di gardu induk kedepannya.

### 3.4.6 Analisa Waktu Optimal Uprating Transformator

Menggunakan hasil *forecasting* dari metode yang tingkat akurasinya lebih baik, maka akan dilakukan analisa data waktu optimal *uprating* transformator berdasarkan prinsip dari *capacity balance transformator*.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Forecasting Menggunakan Metode Time Series**

**Tabel 1.** Data Aktual Forecasting Trafo I Metode Time Series

Tahun	Pembebanan Trafo Aktual (MVA)
2013	15,58
2014	16,67
2015	20,1
2016	24,17
2017	25,87
2018	27,11

Data histori pembebanan trafo I dari 2013-2018 bersifat linier. Dari data tersebut akan dicari konstanta yang mempengaruhi perubahan pembebanan tiap tahunnya.

**Tabel 2.** Data Perhitungan Persamaan Time Series Forecasting Trafo I

Tahun	Tahun Ke-t	Pembebanan Trafo Aktual Z	t <sup>2</sup>	tZ
2013	0	15,58	0	0
2014	1	16,67	1	16,67
2015	2	20,1	4	40,2
2016	3	24,17	9	72,51
2017	4	25,87	16	103,48
2018	5	27,11	25	135,55
$\Sigma$	<b>15</b>	<b>129,5</b>	<b>55</b>	<b>368,41</b>

Penentuan persamaan *time series* urutan tahun disebut (t), indeks musiman disebut (Z), perhitungan nilai (t) pangkat 2 dan perkalian antara nilai (t) dan (Z). Kemudian didapat nilai a dan b, yang selanjutnya disubstitusikan dalam persamaan 4.1.1.

$$a = 15,203 \quad \text{dan} \quad b = 2,552$$

$$Tt = a + bt \dots\dots\dots (16)$$

$$Tt = 15,203 + 2,552t \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

Tt = Komponen Trend

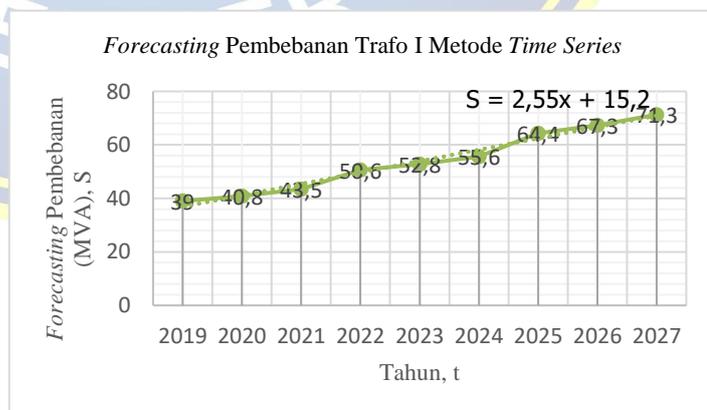
a, b = Koefisien Regresi

t = Waktu

Nilai (t) berupa urutan tahun, yang kemudian di substitusikan ke persamaan 4.1.2.

**Tabel 3.** Hasil Forecasting Pembebanan Trafo I Metode Time Series

Tahun	Tahun Ke-(t)	Tt (MVA)
2019	6	30,51
2020	7	33,07
2021	8	35,62
2022	9	38,17
2023	10	40,72
2024	11	43,27
2025	12	45,83
2026	13	48,34
2027	14	50,93



**Gambar 9.** Grafik *Forecasting* Pembebanan Trafo I Metode *Time Series*

Dengan cara seperti diatas digunakan untuk *forecasting* trafo I, II, III, IV dengan metode *time series* sehingga didapat hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.** Hasil *Forecasting* Pembebanan Trafo I Metode Fuzzy

Tahun	Hasil Forecasting Time Series Pembebanan (MVA)			
	Trafo I	Trafo II	Trafo III	Trafo IV
2019	30,51	17,92	34,9	37,21
2020	33,07	19,42	37,72	39,74
2021	35,62	20,91	40,53	42,28
2022	38,17	22,41	43,35	44,82
2023	40,72	23,90	46,17	47,35
2024	43,27	25,40	48,98	49,89
2025	45,83	26,90	51,80	52,42
2026	48,34	28,40	54,62	54,96
2027	50,93	29,88	57,44	57,5

**4.2 Forecasting Menggunakan Metode Fuzzy**

**Tabel 5.** Data Aktual *Forecasting* Trafo I Metode Fuzzy

Tahun	Jumlah Penduduk	Jumlah Infrastruktur Pendidikan	Jumlah Infrastruktur Kesehatan	Pembebanan Trafo Aktual (MVA)
2013	362633	203	45	15,58
2014	363618	241	49	16,67
2015	365577	316	52	20,10
2016	368264	394	57	24,17
2017	369965	429	58	25,87
2018	371569	433	67	27,11

Data selama 6 tahun akan diklasifikasi menjadi 2, yaitu data tahun 2013-2015 dan data tahun 2016-2018. Kemudian dilakukan perbandingan antara tahun 2013 dengan 2016, tahun 2014 dengan 2017, tahun 2015 dengan 2018 melalui persamaan 4.1.3, sehingga didapat data untuk *forecasting* selama tahun 2019-2021 pada tabel 4.1.5. Selanjutnya dilakukan perbandingan lagi antara tahun 2016 dengan 2019, tahun 2017 dengan 2020, tahun 2018 dengan 2021 melalui persamaan 4.1.3, sehingga didapat data untuk *forecasting* selama tahun 2022-2024 pada tabel 4.1.7. Perbandingan dilakukan lagi antara tahun 2019 dengan 2022, tahun 2020 dengan 2023, tahun 2021 dengan 2024 melalui persamaan 4.1.3, sehingga didapat data untuk *forecasting* selama tahun 2025-2027 pada tabel 4.1.9.

$$Y = X_1 + \left(\frac{X_2}{2}\right) \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:  $X_1$  = Batas Bawah  
 $X_2$  = Batas Atas  
 $Y$  = *Input Forecasting*

**Tabel 6.** Data *Forecasting* Trafo I Tahun 2019-2021 Metode Fuzzy

Penduduk			Infrastruktur Pendidikan		
2013	2014	2015	2013	2014	2015
362633	363618	365577	203	241	316
2016	2017	2018	2016	2017	2018
368264	369965	371569	394	429	433
Data Untuk Forecasting			Data Untuk Forecasting		
2019	2020	2021	2019	2020	2021
546765	548601	551362	400	456	533
Infrastruktur Kesehatan			Pembebanan Trafo I (MVA)		
2013	2014	2015	2013	2014	2015

45	49	52	15,58	16,67	20,10
2016	2017	2018	2016	2017	2018
57	58	67	24,17	25,87	27,11
Data Untuk Forecasting			Data Untuk Forecasting		
2019	2020	2021	2019	2020	2021
74	78	86	27,67	29,61	33,66

Setelah perhitungan data input logika fuzzy, selanjutnya menentukan nilai himpunan masing-masing variabel. 1 variabel terdiri atas 3 himpunan, yaitu himpunan A, B, C sebagai berikut:

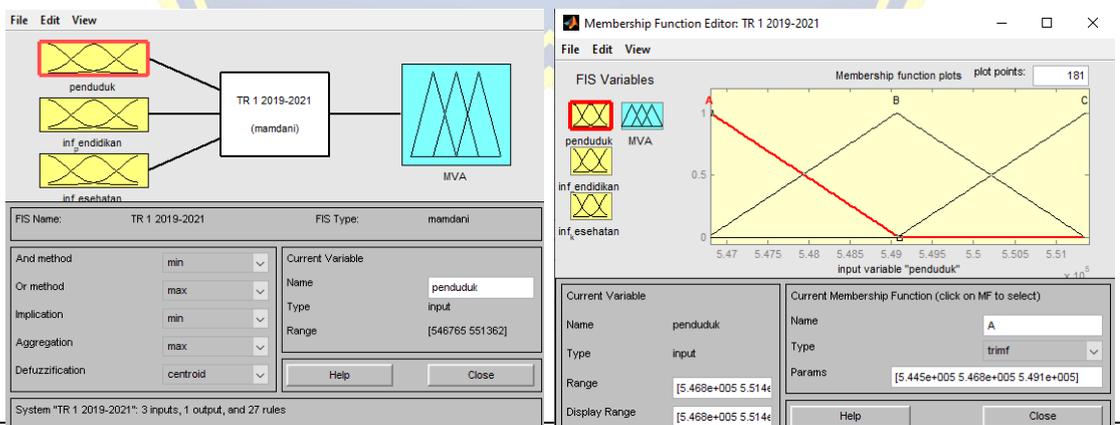
**Tabel 7.** Data Himpunan Fuzzy Forecasting  
 Trafo I Tahun 2019-2021

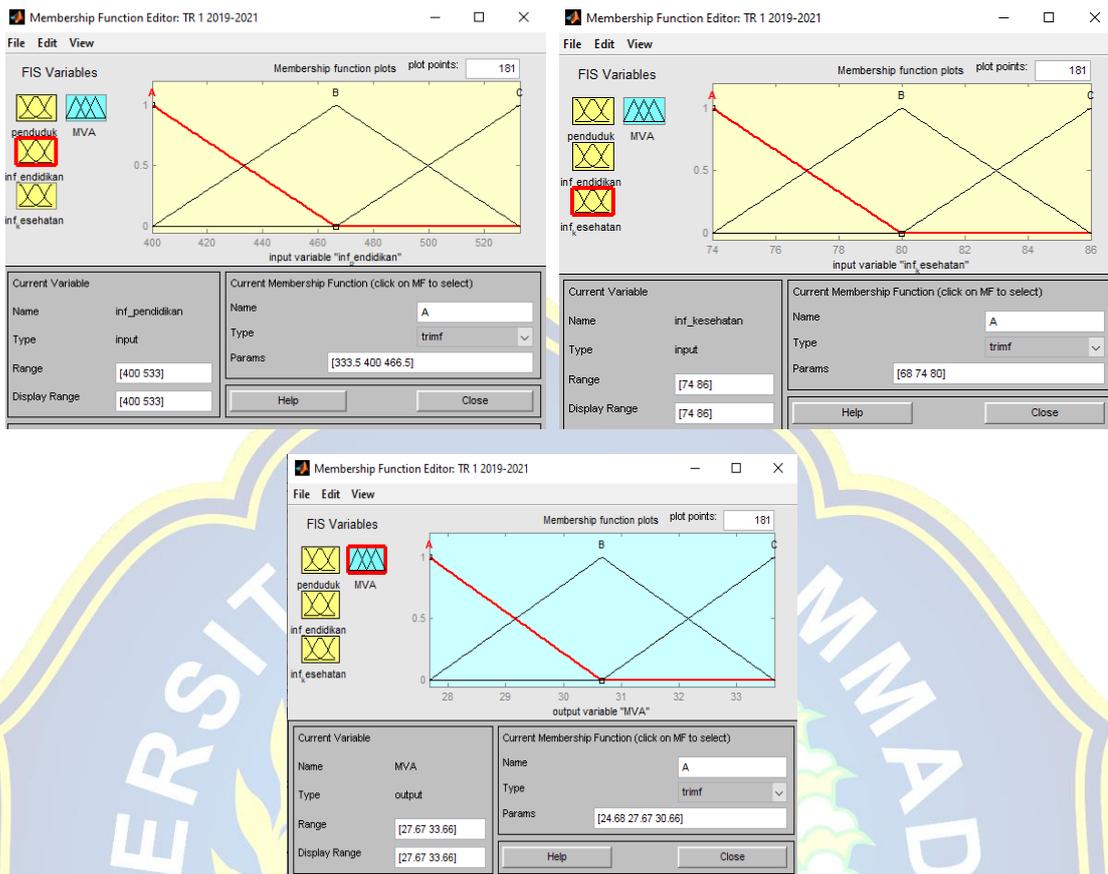
Penduduk		Infrastruktur Pendidikan	
Batas bawah	546765	Batas bawah	400
Batas atas	551362	Batas atas	533
Median	549063,5	Median	466,5
Jarak	2298,5	Jarak	66,5
Himpunan A	544466,5	Himpunan A	333,5
	546765		400
	549063,5		466,5
Himpunan B	546765	Himpunan B	400
	549063,5		466,5
	551362		533
Himpunan C	549063,5	Himpunan C	466,5
	551362		533
	553660,5		599,5

Infrastruktur Kesehatan		Pembebanan Trafo	
Batas bawah	74	Batas bawah	27,67
Batas atas	86	Batas atas	33,66
Median	80	Median	30,66
Jarak	6	Jarak	2,99
Himpunan A	68	Himpunan A	24,67
	74		27,67
	80		30,66
Himpunan B	74	Himpunan B	27,67
	80		30,66
	86		33,66
Himpunan C	80	Himpunan C	30,66
	86		33,66
	92		36,65

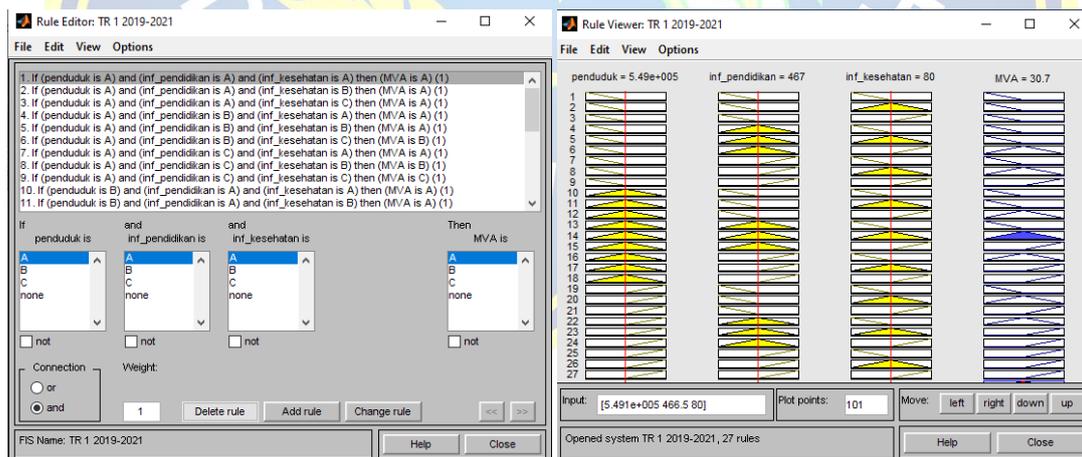
Nilai dari setiap himpunan diinputkan pada logika fuzzy melalui software matlab, dengan langkah menentukan variabel input berupa penduduk, infrastruktur pendidikan dan infrastruktur kesehatan, output berupa pembebanan trafo.





**Gambar 10.** Proses Fuzzifikasi Trafo I

Dari fuzzifikasi dilakukan proses aturan-aturan fuzzy, karena terdapat 3 himpunan masing-masing variabel, sehingga terdapat 27 aturan menggunakan operator AND, kemudian dilakukan defuzzifikasi sebagai berikut:

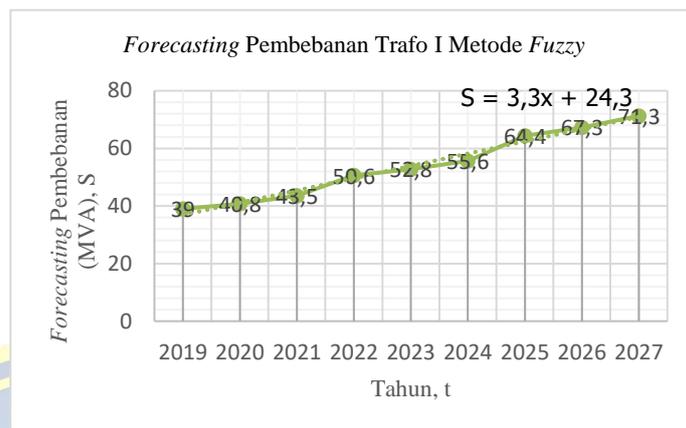


**Gambar 11.** Rule Editor dan Rule Viewer

Langkah diatas ini dilakukan perulangan hingga 3 kali, untuk *forecasting* tahun 2019-2021, 2022-2024, 2025-2027 setiap trafonya, sehingga hasil *forecasting* metode *fuzzy* pada trafo I tahun 2019-2027 sebagai berikut:

**Tabel 8.** Hasil *Forecasting* Pembebanan Trafo I Metode Fuzzy

Tahun	Pembebanan Trafo <i>Forecasting</i> (MVA)
2019	28,6
2020	30,5
2021	32,7
2022	39
2023	40,5
2024	42,9
2025	48,1
2026	50,9
2027	54,2



**Gambar 12.** Grafik *Forecasting* Pembebanan Trafo I Metode Fuzzy

Dengan cara seperti diatas digunakan untuk *forecasting* trafo I, II, III, IV dengan metode *time series* sehingga didapat hasil sebagai berikut:

**Tabel 9.** Hasil *Forecasting* Pembebanan Trafo I, II, III, IV Metode Fuzzy

Tahun	Hasil <i>Forecasting Fuzzy</i> Pembebanan (MVA)			
	Trafo I	Trafo II	Trafo III	Trafo IV
2019	28,6	16,9	31,7	39
2020	30,5	17,5	34,6	40,8
2021	32,7	18,4	37,5	43,5
2022	39	22,4	45,7	50,6
2023	40,5	23,8	47,5	52,8
2024	42,9	25,2	49,5	55,6
2025	48,1	28,1	56,3	64,4
2026	50,9	29,4	58,9	67,3
2027	54,2	31	62,4	71,3

### 4.3 Tingkat Akurasi Metode

Setelah didapat nilai *forecasting* tahun 2019-2027 menggunakan metode *time series* dan *fuzzy*, maka akan dihitung tingkat akurasi dengan acuan data aktual pembebanan tahun penelitian berlangsung, yaitu 2019. Tingkat akurasi sebagai berikut:

**Tabel 10.** Tingkat Akurasi Metode *forecasting*

Pembebanan Trafo Aktual (MVA)	<i>Forecasting Time Series</i>		<i>Forecasting Fuzzy</i>	
	Pembebanan Trafo (MVA)	Error (%)	Pembebanan Trafo (MVA)	Error (%)
29,19	30,515	4,5	28,6	2,03
17,24	17,92	3,9	16,9	1,97
33,6	34,9	3,87	32,7	2,68
38,3	37,21	2,85	39	1,83

Pada 2 metode yang digunakan untuk *forecasting* pembebanan trafo IV menggunakan data histori yang sama yaitu pembebanan trafo IV selama 6 tahun selama 2013-2018. Namun, hasil *forecasting* menunjukkan metode *fuzzy* lebih akurat dibanding metode *time series*.

### 4.3 Analisa Waktu Optimal *Uprating* Transformator

Berdasarkan *Capacity balance transformator* dalam satu gardu induk hanya diijinkan 4 buah transformator. Kapasitas transformator tertinggi setiap gardu induk adalah 60MVA. Pembebanan masing-masing transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator. Bila transformator

mendekati 80% harus dipersiapkan *uprating* jika kapasitas transformator dibawah 60MVA, atau ditambahkan transformator baru jika kapasitas transformator sudah 60MVA dan di gardu induk tersebut jumlah transformator kurang dari 4, atau pembangunan gardu induk baru.

Gardu Induk Jember terdapat transformator sejumlah 4, dengan kapasitas masing-masingnya adalah 60MVA, yaitu transformator I (Shandong, 150/20KV 60MVA), transformator II (Meidensha, 150/20KV 60MVA), transformator III(Xian, 150/20KV 60MVA), transformator IV (Unindo, 150/20KV 60MVA). Pembebanan transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator, maka 80% dari 60MVA adalah 48MVA. Hasil dari *forecasting* di 4 transformator sebagai berikut:

**Tabel 11.** Hasil *Forecasting* Trafo I,II,III,IV Tahun 2019-2027 Metode Fuzzy

Tahun	Pembebanan Trafo <i>Forecasting</i> (MVA)			
	Trafo I	Trafo II	Trafo III	Trafo IV
2019	28,6	16,9	31,7	39
2020	30,5	17,5	34,6	40,8
2021	32,7	18,4	37,5	43,5
2022	39	22,4	45,7	50,6
2023	40,5	23,8	47,5	52,8
2024	42,9	25,2	49,5	55,6
2025	48,1	28,1	56,3	64,4
2026	50,9	29,4	58,9	67,3
2027	54,2	31	62,4	71,3

Transformator I mendekati batas maksimum pada tahun 2024 pembebanan berkisar 42,9MVA. Transformator II pada *forecasting* selama 2019-2027 belum didapat pembebanan mendekati batas maksimum. Transformator III mendekati batas maksimum pada tahun 2023 pembebanan berkisar 47,5MVA. Transformator IV mendekati batas maksimum pada tahun 2021 pembebanan berkisar 43,5MVA.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Data histori pembebanan Gardu Induk Jember selama 6 tahun di 2013-2018 bersifat linier, susai dengan kebutuhan pembebanan semakin bertambah tahun semakin meningkat. Sehingga hasil *forecasting* pada tahun 2019-2027 juga bersifat linier.
2. Berdasarkan hasil *forecasting* pembebanan pada tahun 2019 yang dibandingkan dengan data aktual pembebanan tahun 2019, didapat kesimpulan bahwa nilai error pada *forecasting* menggunakan metode fuzzy lebih kecil daripada time series. Dengan nilai error metode time series di trafo I sebesar 4,5%; trafo II 3,9%; trafo III 3,87%; trafo IV 2,85%. Sedangkan nilai error metode fuzzy di trafo I sebesar 2,03%; trafo II 1,97%; trafo III 2,68%; trafo IV 1,83%. Sehingga tingkat akurasi antara metode time series dan fuzzy untuk *forecasting* pembebanan Gardu Induk Jember, lebih akurat metode fuzzy.
3. Waktu optimal *uprating* transformator di Gardu Induk Jember disesuaikan dengan hasil *forecasting* selama 2019-2027, yang menunjukkan bahwa transformator I mendekati nilai maksimum kapasitasnya pada tahun 2024 dengan pembebanan berkisar 42,9MVA. Transformator II sudah di *uprating* dari 20MVA menjadi 60MVA di tahun 2016, berdasarkan *forecasting* 2019-2027 belum didapati nilai pembebanan mendekati batas maksimum kapasitasnya. Transformator III mendekati nilai maksimum kapasitasnya pada tahun 2023 dengan pembebanan berkisar 47,5MVA. Transformator IV mendekati nilai maksimum kapasitasnya pada tahun 2021 dengan pembebanan berkisar 43,5MVA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Danladi. 2016. *Long-term Load Forecast Modelling Using a Fuzzy Logic Approach*. (Departement of Pure and Applied Physics, Adamawa State University, Muby, Nigeria)
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. Perkembangan Jumlah Penduduk Kabupaten Jember. <https://jatim.bps.go.id>. (diakses pada tanggal 28 September 2019)

- Bahtiar, Syarif Muhammad. 2014. *Peramalan Beban dengan Menggunakan Metode Time Series Untuk Kebutuhan Tenaga Listrik di Gardu Induk Sungai Raya*. (Program Studi S1, Universitas Tanjungpura)
- Effendi, Hansi. 2009. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Matlab*. (Program Studi S1, Universitas Negeri Padang).
- Dwi, Ade Jayanto. 2012. *Peramalan Beban Puncak Transformator Daya Gardu Induk Menggunakan Metode Time Series Stokastik*. (Program Studi S1, Universitas Syiah Kuala).
- Masarrang, Maryantho. 2014. *Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Fuzzy*. (Program Studi S1, Universitas Brawijaya)
- Nugroho, A. 2009. *Sistem Informasi Prakiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. (Program Studi S1, Universitas Diponegoro)
- Sudirham, Sudaryatno. 2012. *Analisis Sistem Tenaga*. Darpublic Kanayakan
- Supranto, J. 1981. *Metode Peramalan Kuantitatif Untuk Perencanaan*. PT. Gramedia Pustaka.
- Suryo, Wisnu Adi. 2014. *Studi Perkiraan Beban pada Gardu Induk Manisrejo*. (Program Studi S1, Universitas Brawijaya)