

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

Galih Cahyaning Pratiwi¹, Muhammad A'an Auliq¹, Aji Brahma Nugroho¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Jl. Karimata No.49 Jember 68121 Indonesia
E-mail: galihcahyaningp@gmail.com

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 penelitian 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

Energi listrik sebagai kebutuhan primer sebagai sarana meningkatkan taraf hidup kesejahteraan masyarakat. Diantaranya digunakan sebagai sarana dalam bidang pendidikan, ekonomi, kesehatan, perindustrian, pendapatan suatu daerah, dan lain sebagainya. Hal ini menyebabkan dari waktu ke waktu konsumsi listrik peningkatan yang besarnya tidak pasti [1].

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 gardu induk lebih besar kapasitasnya maka gardu induk akan terjadi *overload* yang menyebabkan suplai tenaga listrik berhenti dan kerusakan pada peralatan transformator di gardu induk sangat mungkin terjadi [2].

Supaya permasalahan tersebut bisa dihindari, diperlukan *forecasting* pembebanan listrik di gardu induk. *Forecasting* sebagai usaha atau kegiatan yang memprediksi kondisi di masa yang akan datang. *Forecasting* pembebanan jangka panjang listrik digunakan perencanaan menentukan langkah-langkah untuk mengantisipasi pertumbuhan beban di gardu induk. Metode *forecasting* yang lazim digunakan adalah metode *time series*, yaitu berupa suatu persamaan terhadap waktu. Selain itu, juga berkembang metode dalam menganalisis sistem yang tidak pasti dalam *forecasting*, yaitu *fuzzy logic* (kabur) [3].

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 [4]. 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 kurun waktu 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 [5].

Oleh karena itu penelitian ini mengangkat tentang *forecasting* pembebanan listrik Gardu Induk Jember menggunakan 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

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini antara lain adalah untuk memprediksi kebutuhan energi listrik di Gardu Induk Jember pada 9 tahun yang akan datang dengan korelasi setiap pengaruh dari variabel. Serta untuk mengetahui kapasitas daya yang harus disediakan PT. PLN Jember untuk memenuhi kebutuhan energi listrik berdasarkan hasil perkiraan. Adapun penelitian penelitian ini memiliki beberapa manfaat antara lain membantu pihak PT. PLN (Persero) khususnya Gardu Induk Jember untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik 9 tahun ke depan dan membantu PT. PLN (Persero) khususnya Gardu Induk Jember dalam merencanakan gardu induk.

2. KAJIAN PUSTAKA DAN PENGEMBANGAN HIPOTESIS

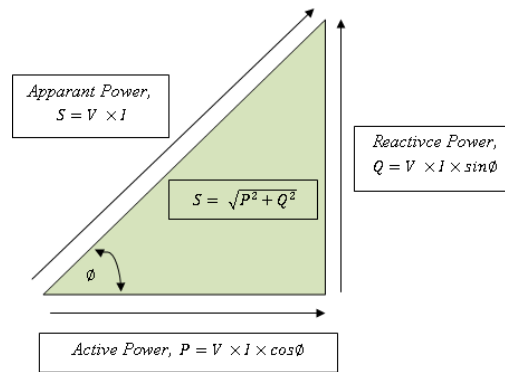
Penelitian sebelumnya [4] menyatakan bahwa metode *time series* dengan data pembebanan Gardu Induk Sungai Raya selama 5 tahun dapat digunakan sebagai metode peramalan pembebanan Gardu Induk Sungai Raya. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2016-2035 pembebanan Gardu Induk Sungai Raya mengalami peningkatan yang signifikan dengan rata-rata 47,12 Ampere.

Penelitian sebelumnya [5] menyatakan bahwa dengan data suhu kelembaban, dan pembebanan Gardu Induk kurun waktu 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%.

Penelitian ini mengangkat tentang *forecasting* pembebanan listrik Gardu Induk Jember menggunakan 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.

2.1. Pembebanan Listrik

Pembebanan terbagi dalam beberapa sektor yaitu sektor perumahan, sektor industri, sektor komersial, dan sektor usaha dilayani oleh sistem distribusi elektrik ini. Karakteristik masing-masing sector berubah-ubah, sebab hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing-masing konsumen di sektor tersebut. Daya listrik dinyatakan oleh persamaan berikut [4]:



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

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

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

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

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

2.2. Metode Forecasting Pembebanan Gardu Induk

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

1. Metode Time Series

Time series atau runtun waktu merupakan himpunan observasi data barurutan waktu. Metode *time series* merupakan metode *forecasting* yang menggunakan analisa pola korelasi antara variabel yang diperkirakan dengan variabel waktu. *Forecasting* suatu data *time series* perlu diperhatikan pola atau tipe data. Berupa arah data yang cenderung jangka panjang, dapat berupa penurunan maupun kenaikan. [4] Dirumuskan sebagai berikut:

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

a dan b adalah koefisien regresi, koefisien tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

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

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

2. Metode Fuzzy

Pada tahun 1965 Lotfi Zadeh (*UC Berkeley*) memperkenalkan *fuzzy logic*, cara matematis untuk menyatakan keadaan tidak tentu (samar). Ide ini didasarkan pada kenyataan bahwa di dunia ini suatu kondisi sering diinterpretasikan dengan ketidakpastian atau tidak memiliki ketepatan secara kuantitatif. Dengan *fuzzy logic*, informasi-informasi yang kurang spesifik (samar) dapat dinyatakan. Metode inferensi *fuzzy* antara lain metode mamdani, tsukamoto, tagaki sugeno, dan Larsen [5].

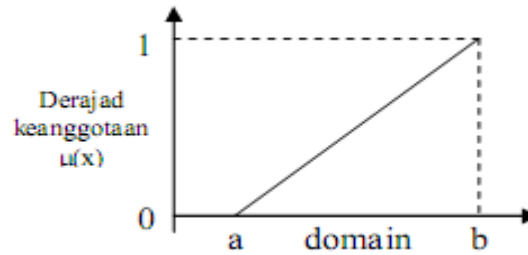
Variabel himpunan *fuzzy* diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu variabel numerik dan variabel linguistik. Setiap variable memiliki fungsi keanggotaan. Suatu kurva berupa pemetaan titik

input data ke nilai anggotanya yang memiliki interval tertutup antara 0 sampai 1 yang disebut dengan derajat keanggotaan atau fungsi anggota.[1] Nilai fungsi μ_A berupa keanggotaan unsur $x \in X$ dalam himpunan kabur A . Nilai fungsi 1 berupa keanggotaan penuh, dan nilai fungsi 0 menyatakan sama sekali bukan anggota himpunan kabur tersebut. Representasi linier, digambarkan sebagai garis lurus berikut [3]:

a. Representasi Kurva Linier Naik

Himpunan kurva naik dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan 0 bergerak ke arah kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi. Grafik dan persamaan kurva naik dapat dilihat berikut ini.

Grafiknya adalah:



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

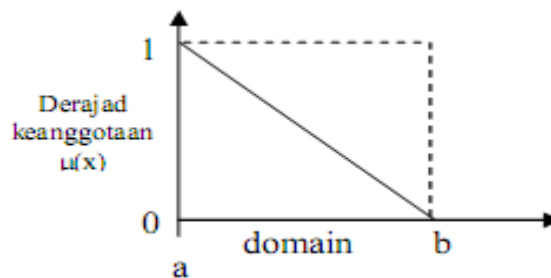
Persamaannya adalah:

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

b. Representasi Kurva Linier Turun

Garis lurus yang dimulai dari nilai domain derajat keanggotaan tertinggi di sisi kiri, kemudian bergerak turun ke arah nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Grafik dan persamaan kurva turun dapat dilihat berikut ini.

Grafiknya adalah:



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

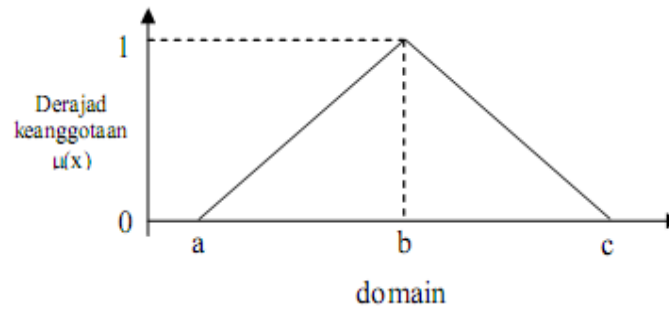
Persamaannya adalah:

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

c. Representasi Kurva Segitiga

Gabungan antara representasi linier turun dan representasi linier naik. Grafik dan persamaan kurva segitiga dapat dilihat berikut ini.

Grafiknya adalah:



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

Persamaannya adalah:

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

Penelitian ini menggunakan operato AND. Operator mempunyai korelasi dengan operasi interaksi himpunan. Dari proses operasi operator AND diperoleh dengan pengambilan nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada masing-masing himpunan yang bersangkutan. Operator AND didefinisikan sebagai berikut:

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

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

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

Jika X adalah A maka Y adalah B

Penegasan atau defuzzifikasi adalah metode untuk memetakan nilai himpunan *fuzzy logic* ke nilai *crisp*. Proses defuzzifikasi memanfaatkan input berupa himpunan *fuzzy* yang didapat dari komposisi aturan-aturan *fuzzy logic*, sedangkan *output* yang didapatkan adalah suatu bilangan dalam *domain* himpunan *fuzzy* pada range tertentu [3].

2.3. Capacity Balance Transformator

Capacity Balance Transformator merupakan langkah mengetahui batas kapasitas transformator suatu gardu induk dalam mendukung pembebanan, yang dikorelasikan peningkatan kebutuhan tenaga listrik berdasarkan *forecasting*. Melalui *capacity balance*, dapat ditentukan waktu optimal persiapan eksistensi pengadaan gardu induk baru dan transformator baru. Syarat gardu induk sebagai berikut [7]:

1. Dalam 1 Gardu Induk (GI) hanya diijinkan 4 buah transformator.
2. Kapasitas transformator tidak melebihi nilai 80% dari kapasitas transformator.
3. Bila pembebanan transformator mendekati nilai 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.
Pembangunan Gardu Induk (GI) baru dengan transformator baru.

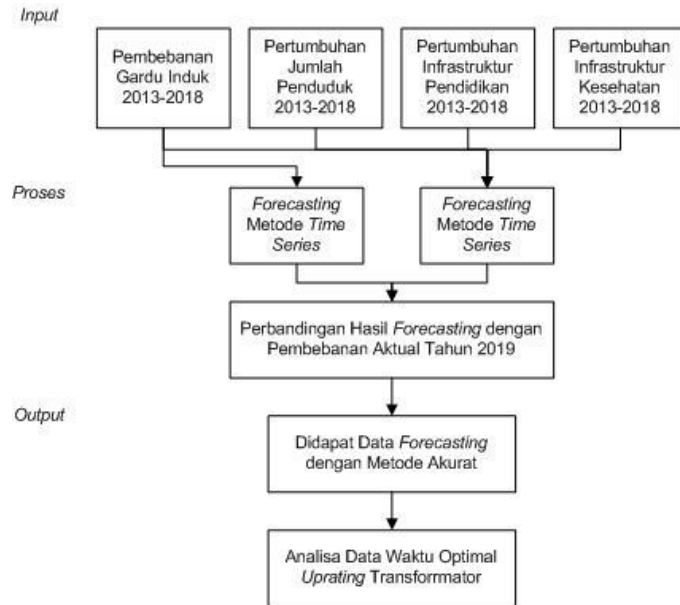
3. METODE PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan menelaah literatur yang membantu dalam penelitian ini, antara lain dalam mempelajari dasar-dasar teknik *forecasting* atau peramalan, analisa *time series*, analisa *fuzzy*, dan mempelajari tentang *capacity balance transformator* gardu induk.

3.2. Diagram Blok Sistem

Adapun diagram blok sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



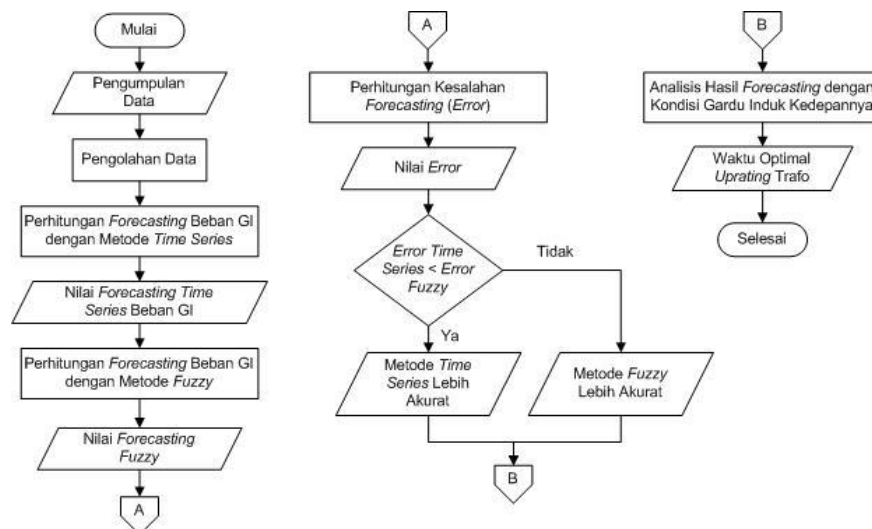
Gambar 5. Diagram Blok Sistem

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di PT. PLN Jember. Datanya berupa data statistika pembebanan trafo pada Gardu Induk Jember selama 7 tahun, mulai tahun 2013-2019. 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*) seperti pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Flowchart Analisa Data

1. Pengumpulan Data

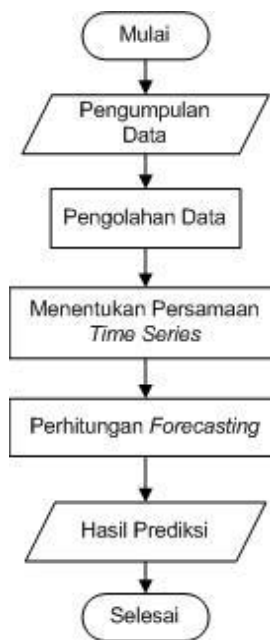
Data penelitian didapat dari pembebanan Gardu Induk Jember pada 4 transformator selama 7 tahun 2013-2019. Data pembebanan gardu induk 2013-2018 untuk data histori *forecasting*, sedangkan data pembebanan gardu induk 2019 untuk data perbandingan akurasi metode. Data perkembangan jumlah penduduk serta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

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. Forecasting menggunakan Metode Time Series

Adapun *flowchart* mengenai metode *time series* dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Flowchart Metode Time Series

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* merupakan persamaan suatu gerakan yang mengindikasikan arah kecenderungan turun dan naik yang dapat dicari melalui rumus berikut:

$$T_t = a + b \tag{12}$$

a dan b merupakan koefisien regresi, koefisien tersebut dihitung menggunakan rumus berikut:

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

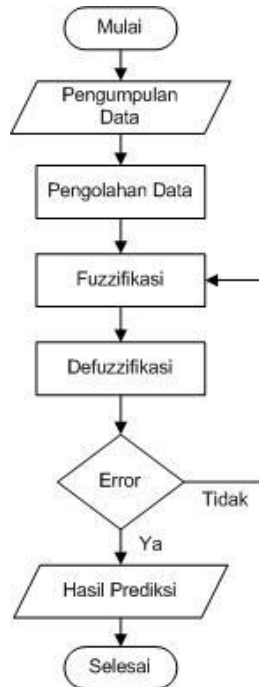
$$b = \frac{n(\sum tZ) - (\sum t)(\sum Z)}{n\sum t^2 - (\sum t)^2} \tag{14}$$

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

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*.

4. Forecasting menggunakan Metode Fuzzy

Adapun *flowchart* mengenai metode *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. *Flowchart* Metode Fuzzy

Metode dalam penelitian adalah inferensi dengan metode mamdani yang disebut min-max. Kelebihannya metode mamdani bersifat intuitif, telah diterima secara luas. Metode ini setiap aturannya berbentuk sebab-akibat (implikasi) anteseden yang berupa konjungsi, mempunyai konsekuen gabungannya maksimum dan nilai keanggotaannya minimum. Proses perubahan variabel numerik jadi variabel linguistic, berupa penentuan fungsi keanggotaan himpunan-himpunan *fuzzy* yang dinalarkan menggunakan *membership fuction*, pada penelitian ini menggunakan operator AND. Defuzzifikasi adalah langkah akhir dalam *fuzzy logic* yang diekspresikan dalam bentuk nilai himpunan *fuzzy* ke bilangan *crisp* yang menjadi hasil *forecasting*. Setelah melalui tahap defuzzifikasi didapat hasil prediksi, hasil tersebut akan dihitung nilai kesalahannya menggunakan persamaan berikut:

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

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

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.

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

Pada bab ini dibahas mengenai *forecasting* menggunakan metode *time series*. Adapun data aktual data perhitungan persamaan, dan hasil *forecasting* menggunakan metode *time series* pada trafo I dapat dilihat pada tabel 1 sampai tabel 4 berikut ini.

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- <i>t</i>	Pembebanan Trafo Aktual <i>Z</i>	<i>t</i> ²	<i>tZ</i>
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
Σ	15	129,5	55	368,41

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 berikut:

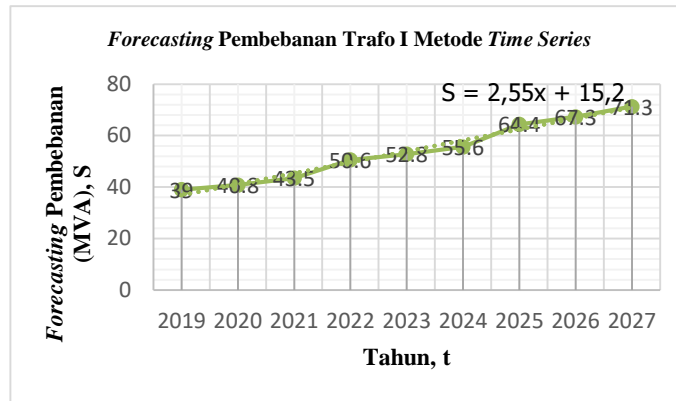
$$\begin{aligned}
 a &= 15,203 \quad \text{dan} \quad b = 2,552 \\
 Tt &= a + bt \\
 Tt &= 15,203 + 2,552t
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Keterangan: *Tt* = Komponen *Trend*
a, b = Koefisien Regresi
t = Waktu

Nilai (*t*) berupa urutan tahun, yang kemudian di substitusikan ke persamaan diatas. Grafiknya dapat dilihat pada gambar 9 berikut.

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

Tahun	Tahun Ke- (<i>t</i>)	<i>Tt</i> (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 Time Series

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

Pada bab ini dibahas mengenai forecasting menggunakan metode fuzzy. Adapun data aktual data perhitungan persamaan, dan hasil forecasting menggunakan metode fuzzy pada trafo 1 dapat dilihat pada tabel 5 sampai tabel 9 berikut ini.

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, sehingga didapat data untuk forecasting selama tahun 2019-2021 pada tabel 6. Selanjutnya dilakukan perbandingan lagi antara tahun 2016 dengan 2019, tahun 2017 dengan 2020, tahun 2018 dengan 2021 melalui persamaan, sehingga didapat data untuk forecasting selama tahun 2022-2024. Perbandingan dilakukan lagi antara tahun 2019 dengan 2022, tahun 2020 dengan 2023, tahun 2021 dengan 2024 melalui persamaan, sehingga didapat data untuk forecasting selama tahun 2025-2027.

$$Y = X_1 + \left(\frac{X_2}{2}\right) \tag{17}$$

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

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

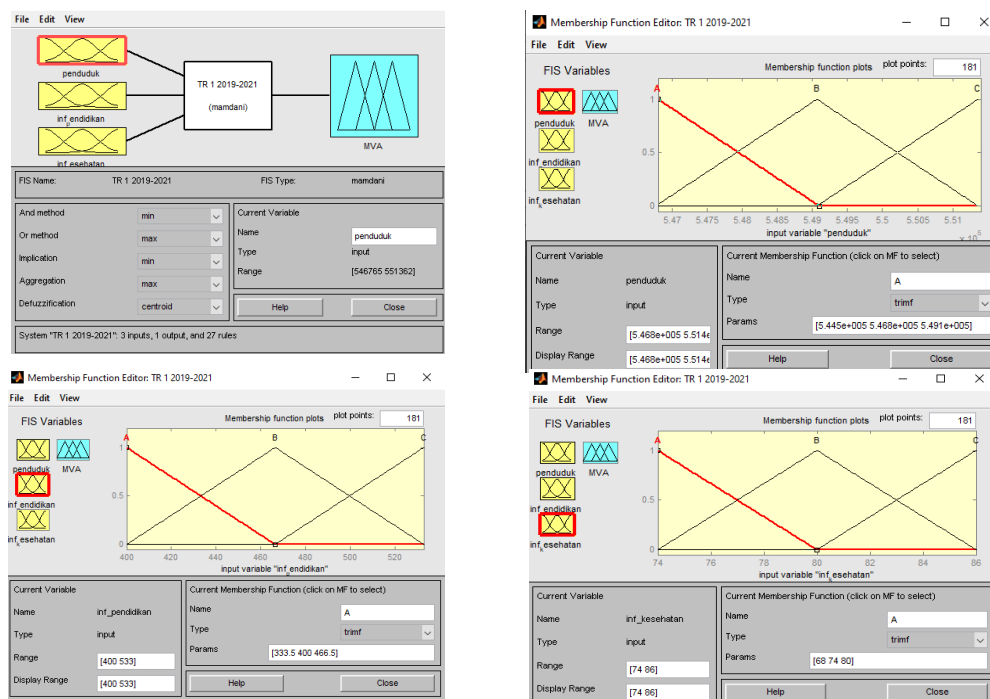
Tahun	Penduduk	Infrastruktur Pendidikan	Infrastruktur Kesehatan	Pembebanan Trafo I (MVA)
2013	362633	203	45	15,58
2014	363618	241	49	16,67
2015	365577	316	52	20,10
2016	368264	394	57	24,17
2017	369965	429	58	25,87
2018	371569	433	67	27,11
Data untuk Forecasting				
2019	546765	400	74	27,67
2020	548601	456	78	29,61
2021	551362	533	86	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

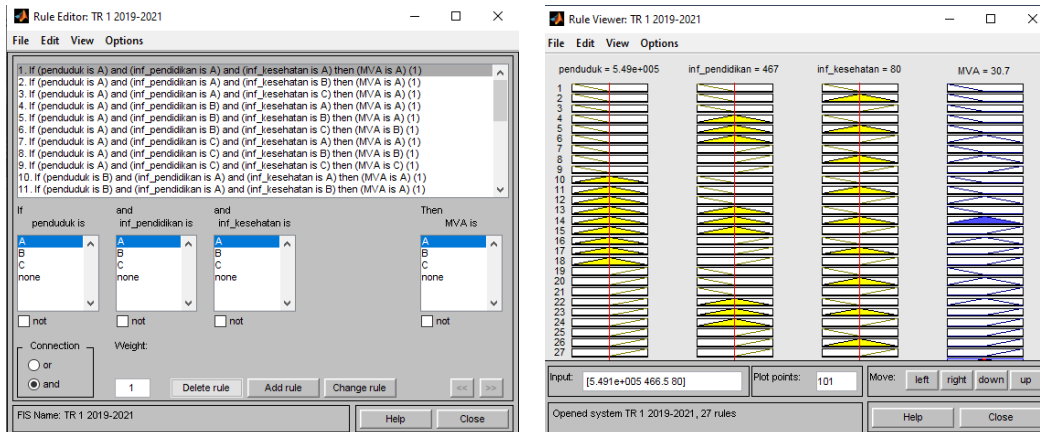
	Penduduk	Infrastruktur Pendidikan	Infrastruktur Kesehatan	Pembebanan Trafo
Batas Bawah	546765	400	74	27,67
Batas Atas	551362	533	86	33,66
Median	549063,5	466,5	80	30,66
Jarak	2298,5	66,5	6	2,99
Himpunan A	544466,5	333,5	68	24,67
	546765	400	74	27,67
	549063,5	466,5	80	30,66
Himpunan B	546765	400	74	27,67
	549063,5	466,5	80	30,66
	551362	533	86	33,66
Himpunan C	549063,5	466,5	80	30,66
	551362	533	86	33,66
	553660,5	599,5	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.



Gambar10. 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:

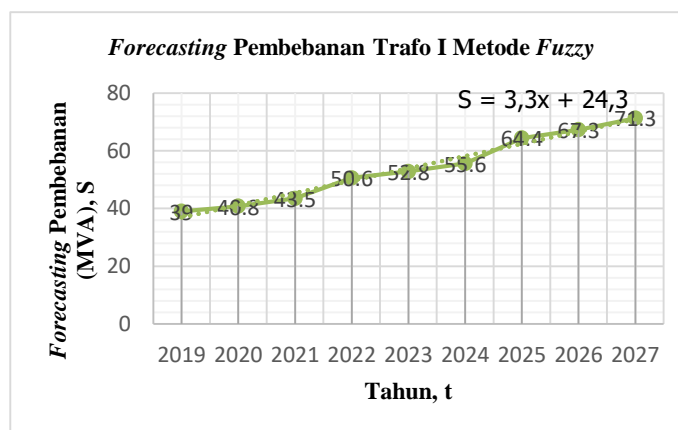


Gambar 11. Rule Editor dan Rule Viewer

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 Aktual (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 yang dapat dilihat pada table 9.

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 akurasinya dengan acuan data aktual pembebanan tahun penelitian berlangsung, yaitu 2019. Tingkat akurasinya dapat dilihat pada table 10 berikut:

Tabel 10. Tingkat Akurasi Metode *Forecasting*

Pembebanan Trafo Aktual (MVA)	Forecasting Time Series		Forecasting Fuzzy	
	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 disbanding metode *time series*.

4.4. Analisa Waktu Optimal *Uprating* Transformator

Berdasarkan *Capacity Balance Transformator* pada 1 gardu induk hanya diizinkan 4 buah transformator. Kapasitas transformator tertinggi setiap gardu induk adalah 60MVA. Pembebanan masing-masing transformator tidak boleh melebihi nilai 80% dari kapasitas transformator. Bila transformator mendekati nilai 80% harus dipersiapkan langkah *uprating*, jika kapasitas dari transformator dibawah 60MVA, atau ditambah transformator baru jika kapasitas transformator 60MVA dan di gardu induk tersebut jumlah transformator kurang dari 4 buah, 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 nilai 80% dari kapasitas transformator, maka 80% dari 60MVA adalah 48MVA. Hasil dari *forecasting* di 4 transformator dapat dilihat pada table 11 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, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Data histori pembebanan Gardu Induk Jember selama 6 tahun di 2013-2018 bersifat linier, sesuai 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.

REFERENSI

- [1] Masarrang, Maryantho. 2014. *Peramalan Beban Jangka Panjang Sistem Kelistrikan Kota Palu Menggunakan Metode Fuzzy*. Universitas Brawijaya, Malang.
- [2] Suryo, Wisnu Adi. 2014. *Studi Perkiraan Beban pada Gardu Induk Manisrejo*. Universitas Brawijaya, Malang.
- [3] Effendi, Hansi. 2009. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Matlab*. Universitas Negeri Padang.
- [4] Bahtiar, Syarif Muhammad. 2014. *Peramalan Beban dengan Menggunakan Metode Time Series Untuk Kebutuhan Tenaga Listrik di Gardu Induk Sungai Raya*. Universitas Tanjungpura.
- [5] Ali, Danladi. 2016. *Long-term Load Forecast Modelling Using a Fuzzy Logic Approach*. Departement of Pure and Applied Physics, Adamawa State University, Muby, Nigeria.
- [6] Sudirham, Sudaryatno. 2012. *Analisis Sistem Tenaga*. Darpublic Kanayakan Nugroho, A. 2009. *Sistem Informasi Prakiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Universitas Diponegoro.
- [7] Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. *Perkembangan Jumlah Penduduk Kabupaten Jember*. [Online] Tersedia di: <https://jatim.bps.go.id> (Diakses pada tanggal 28 September 2019).
- [8] Dwi, Ade Jayanto. 2012. *Peramalan Beban Puncak Transformator Daya Gardu Induk Menggunakan Metode Time Series Stokastik*. Universitas Syiah Kuala.
- [9] Supranto, J. 1981. *Metode Peramalan Kuantitatif Untuk Perencanaan*. PT. Gramedia Pustaka.

BIOGRAFI PENULIS

	<p>Galih Cahyaning Pratiwi merupakan mahasiswi Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jember. Bidang penelitiannya berkaitan dengan arus kuat.</p>
	<p>Muhammad Aan Auliq merupakan dosen di lingkungan Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jember. Bidang penelitiannya berkaitan dengan arus kuat.</p>
	<p>Aji Brahma Nugroho merupakan dosen di lingkungan Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jember. Bidang penelitiannya berkaitan dengan pengembangan sistem elektronika.</p>