

STUDI PERKIRAAN BEBAN PADA GARDU INDUK MANISREJO TAHUN 2014-2025

Wisnu Adi Suryo¹, Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D², Teguh Utomo, Ir., MT³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: wisnuadisuryo@gmail.com

Abstrak - Dalam beberapa tahun terakhir telah terjadi perkembangan yang cukup pesat dalam hal pertumbuhan ekonomi di Kota Madiun yang mengakibatkan permintaan terhadap energi listrik mengalami peningkatan. Energi listrik di Kota Madiun sendiri disuplai oleh Gardu Induk (GI) Manisrejo. Dengan semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik Kota Madiun maka semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh GI Manisrejo. Untuk mencegah terjadinya *overload* pada GI Manisrejo, maka diperlukan suatu perkiraan beban listrik jangka panjang.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk perkiraan beban GI adalah metode regresi linier berganda, dimana diperoleh perkiraan beban GI Manisrejo untuk tahun 2025 sebesar 60,35 MVA. Sedangkan perkiraan beban untuk trafo V dan VI GI Manisrejo masing-masing sebesar 37,42 MVA dan 22,93 MVA. Dari hasil penghitungan diperoleh bahwa trafo VI perlu dinaikkan kapasitasnya menjadi 30 MVA, yaitu pada tahun 2017 dimana peningkatan beban trafo VI diperkirakan 15,11 MVA

Kata kunci: beban GI, perkiraan, regresi linier berganda

I. PENDAHULUAN

Energi listrik pada saat ini sudah merupakan salah satu kebutuhan primer manusia. Penggunaan energi listrik tidak hanya untuk kebutuhan penerangan dan rumah tangga, tetapi juga untuk mendukung kegiatan pendidikan dan perekonomian. Hal inilah yang menyebabkan dari tahun ke tahun, kebutuhan energi listrik di Indonesia cenderung mengalami peningkatan, akan tetapi peningkatan terhadap energi listrik ini tidak seiring dengan peningkatan penyediaan energi listrik. Demikian juga yang terjadi di Kota Madiun, pada beberapa tahun terakhir telah terjadi perkembangan yang cukup pesat dalam hal pertumbuhan ekonomi di Kota Madiun yang menyebabkan permintaan terhadap energi listrik di Kota Madiun cenderung mengalami peningkatan.

Gardu Induk (GI) Manisrejo merupakan satu-satunya GI yang menyuplai energi listrik Kota Madiun.

Dengan semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik Kota Madiun maka semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh GI Manisrejo. Apabila beban listrik yang ditanggung oleh GI lebih besar dari kapasitasnya maka GI akan mengalami *overload* yang berakibat kepada terhentinya suplai tenaga listrik dan memungkinkan terjadinya kerusakan pada peralatan transformator di GI Manisrejo.

Agar permasalahan di atas dapat dihindari, maka perlu adanya suatu perencanaan beban listrik pada GI. Perencanaan beban listrik jangka panjang dapat digunakan sebagai perencanaan untuk menentukan langkah-langkah guna mengantisipasi pertumbuhan beban yang terjadi pada GI Manisrejo

Tujuan penelitian ini adalah untuk memperkirakan kondisi pembebanan pada GI Manisrejo untuk 12 tahun mendatang dan untuk mengetahui apakah kondisi GI Manisrejo pada saat ini masih layak dipertahankan untuk 12 tahun mendatang.

Dalam penelitian ini hanya akan membahas bagaimana perkiraan kondisi pembebanan GI Manisrejo pada 12 tahun mendatang dengan metode regresi linier berganda berdasarkan variabel-variabel yang mempengaruhinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik

Perkiraan pada dasarnya merupakan dugaan atau perkiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa di waktu yang akan datang. Perkiraan bisa bersifat kualitatif maupun kuantitatif [1].

Dalam membuat perkiraan kebutuhan tenaga listrik, faktor-faktor di luar bidang kelistrikan yang berpengaruh tidak dapat diabaikan. Bila faktor-faktor tersebut dapat diperhitungkan seluruhnya maka diharapkan hasil perkiraan akan mendekati kebenaran [2].

Perkiraan kebutuhan energi listrik sendiri menurut jangka waktunya dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu [3]:

- Perkiraan jangka pendek, untuk jangka waktu beberapa jam sampai dengan satu minggu (168 jam).
- Perkiraan jangka menengah, untuk jangka waktu 1 bulan – 1 tahun.

- c. Perkiraan jangka panjang, untuk jangka waktu di atas 1 tahun.

Umumnya, menurut kegiatan pemakaiannya, beban yang terhubung dengan jaringan distribusi listrik dapat dikelompokkan menjadi [2]:

1. Beban rumah tangga
2. Beban komersial atau bisnis
3. Beban industri
4. Beban Publik

2.2 Pola Data

1. *Trend*, yaitu komponen jangka panjang yang mendasari pertumbuhan atau penurunan suatu data runtut waktu. Pola *trend* merupakan pergerakan data sedikit demi sedikit meningkat atau menurun [1].
2. Siklus, yaitu suatu pola dalam data yang terjadi setiap beberapa tahun. fluktuasi atau siklus dari data runtut waktu akibat perubahan kondisi ekonomi [1].
3. Musiman, yaitu pola data yang berulang pada kurun waktu tertentu [1].
4. Horizontal, yaitu pola data yang terjadi saat data observasi berfluktuasi di sekitaran suatu nilai konstan atau *mean* yang membentuk garis horizontal [1].

2.3 Metode Perkiraan Beban

Dalam memperkirakan beban GI, ada beberapa metode yang dapat digunakan. Salah satunya adalah metode regresi.

2.3.1 Metode Regresi

Metode regresi merupakan metode perkiraan yang mengasumsikan faktor yang diperkirakan menunjukkan hubungan sebab – akibat dengan satu atau lebih variabel bebas, sehingga metode ini bertujuan untuk mengetahui bentuk hubungan tersebut dan memperkirakan nilai mendatang dari variabel tidak bebas. Ada beberapa metode regresi yang dapat digunakan untuk memperkirakan beban GI, diantaranya adalah metode regresi linier, regresi eksponensial, dan regresi linier berganda [4].

a. Regresi Linier

Persamaan umum dari regresi linier ini adalah [1]:

$$y = a + bx \quad (2.1)$$

dimana :

$$b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x)^2 - (\sum x)^2} \quad (2.2)$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} \quad (2.3)$$

keterangan :

- y = variabel tidak bebas
- x = variabel bebas
- a = koefisien intersepsi
- b = koefisien kemiringan

b. Regresi Eksponensial

Ada beberapa jenis *trend* yang tidak linier tetapi dapat dibuat linier dengan jalan melakukan transformasi. Misalkan trend eksponensial $y = e^{a+bx}$ dapat diubah menjadi [1]:

$$\ln y = \ln e (a + bx) \quad (2.4)$$

Karena $\log e = 1$, maka:

$$\ln y = a + bx \quad (2.5)$$

Jika $\ln y = y'$, maka persamaannya akan menjadi persamaan linier, yaitu: $y' = a + bx$. Nilai koefisien a dan b dicari melalui persamaan (2.2) dan (2.3).

c. Regresi Berganda

Regresi berganda bertujuan untuk mendapatkan fungsi yang menghubungkan variabel tidak bebas dengan beberapa variabel bebas. Untuk mendapatkan persamaan pola hubungan dari data yang memiliki variabel–variable tidak bebas dan bebas yang lebih dari satu, digunakan model regresi berganda yang bentuk umumnya [5]:

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + e \quad (2.6)$$

Keterangan

Y_t = variabel tidak bebas

$x_1 \dots x_k$ = variabel bebas

e = kesalahan

b_0 = konstanta

$b_1 \dots b_k$ = koefisien regresi

2.4 Permasalahan Pada Regresi

2.4.1 Autokorelasi

Autokorelasi adalah korelasi antara variabel serangkaian observasi yang diurutkan menurut waktu (seperti dalam deret waktu).

Cara untuk mendeteksi ada atau tidaknya autokorelasi dilakukan dengan membandingkan nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari program SPSS dengan nilai yang diperoleh dari tabel *Durbin–Watson*.

Apabila nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari program (d) terletak diantara batas atas nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari tabel (dU) dan 4-dL (batas bawah nilai *statistic Durbin–Watson* yang diperoleh dari tabel), maka disimpulkan tidak terjadi autokorelasi [6].

2.4.2 Heteroskedastisitas

Pengujian heteroskedastisitas merupakan pengujian untuk menentukan apakah dalam model regresi terjadi ketidaksamaan *variance* dari residual satu pengamatan ke pengamatan lain. Jika *variance* dari residual satu pengamatan ke pengamatan lain tetap maka terjadi homoskedastisitas dan jika terjadi sebaliknya maka disebut heteroskedastisitas

Salah satu cara untuk mendeteksi adanya gejala heteroskedastisitas adalah melalui uji glejser, dimana nilai absolut dari residual diregresikan terhadap variabel–variabel bebas [6].

2.4.3 Multikolinieritas

Pada analisis regresi berganda, multikolinieritas adalah suatu istilah yang diberikan kepada satu atau beberapa kondisi berikut [1]:

- Dua variabel bebas berkorelasi sempurna (nilai $r = 1$ atau $r = -1$).
- Dua variabel bebas hampir berkorelasi sempurna (nilai r mendekati 1 atau -1).
- Kombinasi linear dari beberapa variabel bebas berkorelasi sempurna atau mendekati sempurna dengan variabel bebas lainnya.
- Kombinasi linier dari satu sub-himpunan variabel bebas berkorelasi sempurna atau mendekati sempurna dengan suatu kombinasi linear dari sub-himpunan variabel bebas yang lain.

Multikolinieritas dapat dilihat dari nilai *tolerance* dan lawannya yaitu *Variance Inflation Factor* (VIF). VIF sendiri merupakan nilai yang digunakan untuk mengukur tingkat keeratan hubungan antar variabel bebas.

2.5 Kriteria Performa Peramalan

Ketepatan atau ketelitian merupakan kriteria dari performa suatu metode peramalan. Ketepatan atau ketelitian tersebut dapat dinyatakan sebagai kesalahan dalam peramalan. Kesalahan yang kecil memberikan arti ketelitian peramalan yang tinggi.

Besar kesalahan suatu peramalan dapat dihitung dengan beberapa cara, antara lain adalah [1]:

1. *Mean Squared Error* (MSE), merupakan rata-rata jumlah kuadrat kesalahan peramalan.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y - Y_t)^2 \quad (2.7)$$

dimana :

Y = Data aktual
 Y_t = Nilai peramalan
 n = Jumlah pengamatan

2. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), adalah menghitung rata-rata persentase kesalahan pertama dari beberapa periode.

$$MAPE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y - Y_t|}{Y} \right] \quad (2.8)$$

Y = Data aktual
 Y_t = Nilai peramalan
 n = Jumlah pengamatan

3. *Mean Absolut Deviation* (MAD), adalah mengukur ketepatan ramalan dengan merata-rata kesalahan dugaan (nilai absolut masing-masing kesalahan).

$$MAD = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y - Y_t| \right] \quad (2.9)$$

Y = Data aktual
 Y_t = Nilai peramalan
 n = Jumlah pengamatan

2.6 Capacity Balance Transformator

Capacity balance transformator adalah cara mengetahui batas kapasitas transformator gardu induk dalam mendukung beban, yang dikaitkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik berdasarkan prakiraan. Dengan *capacity balance*, dapat ditentukan tahun persiapan ekstensifikasi transformator baru dan pengadaan GI baru. Syarat-syarat gardu induk adalah [7]:

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

III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini secara umum metodologi pengerjaannya adalah sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku-buku dan literatur yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini, antara lain mempelajari tentang dasar – dasar teknik perkiraan, analisis regresi linier berganda, dan mempelajari tentang GI.

3.2 Pengumpulan Data

Tujuan dari pengumpulan data adalah untuk memperkirakan kondisi pembebanan GI Manisrejo. Data-data yang diperlukan untuk menunjang penyusunan skripsi ini diperoleh dari BPS Kota Madiun, GI Manisrejo dan PT. PLN APJ Madiun. Adapun data – data yang diambil dari GI manisrejo data pembebanan pada trafo V dan VI pada GI. Sedangkan data yang diperoleh dari BPS Kota Madiun adalah data jumlah penduduk, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Untuk data yang diperoleh dari PT. PLN APJ Madiun Kota merupakan data tentang jumlah pelanggan, serta data tentang jumlah pemakaian energi listrik. Adapun data yang digunakan adalah data mulai tahun 2005 – 2013.

3.3 Penentuan Metode Perkiraan

Setelah data – data terkumpul akan dilakukan analisis terhadap kondisi beban pada GI manisrejo dengan proses sebagai berikut:.

- Menentukan persamaan untuk perkiraan jumlah penduduk kota Madiun, PDRB Kota Madiun, jumlah pelanggan listrik, jumlah pemakaian tenaga listrik Kota Madiun. Penentuan penggunaan regresi linier atau eksponensial nantinya berdasarkan nilai dari *Mean Squared Error* (MSE), *Mean Absolut Deviation* (MAD), dan *Mean Absolute Persentage Error* (MAPE).
- Pengujian terhadap variabel jumlah penduduk, PDRB, jumlah pelanggan listrik Kota Madiun, dan jumlah pemakaian tenaga listrik.
- Menentukan persamaan beban GI dengan menggunakan metode regresi berganda berdasarkan variabel jumlah penduduk, PDRB, jumlah pemakaian tenaga listrik, dan jumlah pelanggan listrik Kota Madiun.

3.4 Penghitungan dan Analisis

Setelah metode perkiraan yang tepat telah didapatkan, maka akan dilakukan penghitungan terhadap perkiraan pembebanan GI Manisrejo. Setelah hasil penghitungan perkiraan pembebanan GI Manisrejo untuk 12 tahun mendatang telah didapatkan, maka akan dilihat apakah kondisi GI Manisrejo ke depannya masih layak dipertahankan atau tidak.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Penentuan Metode Perkiraan

Setelah data dari GI Manisrejo, BPS dan PLN APJ Madiun didapatkan maka data yang ada dicocokkan dengan pola *trend* linier ataupun non-linier. Dengan persamaan (2.1) hingga persamaan (2.9) didapatkan hasil sebagai berikut:

$$X_1(t) = 195.973,6111 + 1.282,6333t \quad (4.1)$$

$$X_1(t) = e^{12,1861 + 0,0063t} \quad (4.2)$$

Persamaan (4.1) merupakan model persamaan perkiraan jumlah penduduk melalui metode regresi linier sedangkan persamaan (4.2) merupakan model persamaan perkiraan melalui metode regresi eksponensial.

Tabel 4.1. Nilai MSE, MAD, dan MAPE Jumlah Penduduk

	MSE	MAD	MAPE
Linier	226,472.2965	428.6395	0.0021
Eksponensial	234,282.7910	438.1049	0.0022

Sumber: Hasil Penghitungan

Dari tabel 4.1, karena nilai MSE, MAD, dan MAPE metode regresi linier paling rendah, maka persamaan (4.1) yang digunakan sebagai model persamaan perkiraan jumlah penduduk.

Melalui metode yang sama, maka model persamaan perkiraan untuk produk domestik regional

bruto (PDRB), jumlah pelanggan listrik, dan jumlah pemakaian energi listrik masing-masing adalah:

$$X_2(t) = e^{7,7551 + 0,1230t} \quad (4.3)$$

$$X_3(t) = e^{10,6717 + 0,0178t} \quad (4.4)$$

$$X_4(t) = e^{11,7148 + 0,0539t} \quad (4.5)$$

Dimana :

$X_2(t)$: PDRB tahun ke-t (miliar rupiah)

$X_3(t)$: Jumlah pelanggan tahun ke-t (unit)

$X_4(t)$: Jumlah pemakaian energi listrik tahun ke-t (MWh)

4.3 Penghitungan

Penghitungan perkiraan beban gardu induk bukan merupakan variabel *time series* yang hanya ditentukan oleh trendnya sendiri, tetapi juga ditentukan oleh variabel-variabel lain yang mempengaruhinya. Untuk mendapatkan perkiraan beban gardu induk seakurat mungkin, maka digunakan metode regresi linier berganda dimana perkiraan beban gardu induk menjadi variabel tidak bebas, sedangkan variabel bebas merupakan variabel-variabel yang mempengaruhinya.

4.3.1 Pengujian Variabel Persamaan Perkiraan Beban Gardu Induk

Sebelum melakukan analisis regresi linier berganda, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi perkiraan beban gardu induk. Pengujian yang dilakukan menggunakan program *Statistical Program for Social Science* (SPSS).

a. Uji Autokorelasi

Dari program SPSS diperoleh nilai $d = 2,537$. Sedangkan dari tabel Durbin - Watson, dengan nilai $k = 4$, $n = 9$ diperoleh nilai $dL = 0,2957$, $dU = 2,5881$. Oleh karena nilai d terletak diantara nilai dL dan dU , maka hasil uji autokorelasi tidak dapat ditentukan.

b. Uji Heteroskedastisitas

Dari program SPSS diperoleh bahwa terdapat 1 variabel yang nilai signifikansinya dibawah 0,05. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada variabel jumlah pelanggan terjadi heteroskedastisitas.

c. Uji Multikolinieritas

Dari program SPSS, diperoleh bahwa seluruh variabel bebas nilai VIFnya > 10 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi multikolinieritas pada seluruh variabel-variabel bebas.

4.3.2 Analisis Faktor

Setelah melalui pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa pada variabel-variabel bebas terjadi heteroskedastisitas dan multikolinieritas. Sedangkan untuk uji autokorelasi hasilnya tidak dapat diketahui.

Salah satu prosedur yang dapat ditempuh untuk menghindari masalah-masalah tersebut adalah melalui prosedur *Principal Component Analysis* (PCA). Untuk

menempuh prosedur ini ada beberapa syarat yang harus dipenuhi:

1. Nilai *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), yang merupakan nilai untuk mengukur kecukupan sampling dan membandingkan besarnya koefisien korelasi terobservasi dengan besarnya koefisien korelasi antar pasangan variabel, harus bernilai diantara 0,5 dan 1.
2. Nilai *Measure of Sampling Adequacy* (MSA), yang merupakan suatu nilai untuk perbandingan antara koefisien parsial untuk setiap variabel, harus $> 0,5$

Dari program SPSS diperoleh nilai KMO = 0,706, sedangkan nilai MSA untuk variabel jumlah penduduk, PDRB, jumlah pelanggan listrik, dan jumlah pemakaian energi listrik masing-masing 0,681, 0,666, 0,832, dan 0,669. Sehingga analisis PCA dapat dilanjutkan.

Setelah melalui analisis PCA, maka akan didapatkan persamaan:

$$F_1(t) = 0,251X_1(t) + 0,257X_2(t) + 0,253X_3(t) + 0,255X_4(t) \quad (4.6)$$

Dimana :

- $F_1(t)$: Variabel faktor tahun ke-t
 $X_1(t)$: Jumlah penduduk tahun ke-t (jiwa)
 $X_2(t)$: PDRB tahun ke-t (miliar rupiah)
 $X_3(t)$: Jumlah pelanggan tahun ke-t (unit)
 $X_4(t)$: Jumlah pemakaian energi listrik tahun ke-t (MWh)

Berdasarkan hasil pengujian, pada variabel F_1 sudah tidak terjadi autokorelasi, heteroskedastisitas, dan multikolinieritas

4.3.3 Model Persamaan Perkiraan Beban Gardu Induk

Setelah didapatkan variabel baru F_1 yang terdiri dari X_1 , X_2 , X_3 , dan X_4 , maka variabel tidak bebas beban gardu induk akan diregresikan terhadap variabel F_1 , sehingga diperoleh:

$$Y(t) = -22811,270 + 0,471F_1(t) \quad (4.7)$$

Keterangan :

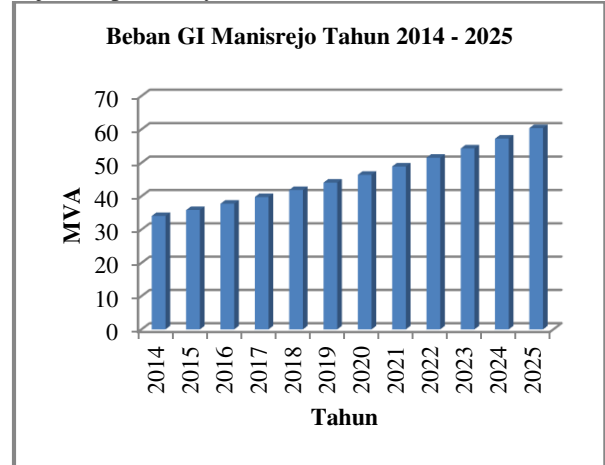
- $Y(t)$: Beban gardu induk tahun ke-t (kVA)
 $F_1(t)$: Variabel faktor tahun ke-t
 $X_1(t)$: Jumlah penduduk tahun ke-t (jiwa)
 $X_2(t)$: PDRB tahun ke-t (miliar rupiah)
 $X_3(t)$: Jumlah pelanggan tahun ke-t (unit)
 $X_4(t)$: Jumlah pemakaian energi listrik tahun ke-t (MWh)

4.3 Analisis Kondisi Beban Gardu Induk

4.3.1 Analisis Beban Gardu Induk

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa beban pada GI Manisrejo terus meningkat hingga tahun 2025. Dari gambar di atas terlihat pula bahwa hingga tahun 2025 beban pada GI Manisrejo masih berada di bawah kapasitas GI yakni sebesar 70 MVA.

Walaupun hingga tahun 2025 beban pada GI masih berada di bawah kapasitas GI, tetapi perlu diperhatikan bahwa sesuai dengan aturan *capacity balance transformator* bahwa pembebanan tidak boleh lebih dari 80% dari kapasitas GI, maka perlu dilakukan penghitungan seberapa besar % pembebanan yang terjadi tiap tahunnya



Gambar 4.1 Grafik Perkembangan Beban GI Manisrejo

Sumber: Hasil Penghitungan

Dari hasil penghitungan terlihat bahwa % pembebanan pada tahun 2024 telah melampaui 80%, sehingga sebelum tahun 2024 sudah seharusnya dilakukan uprating pada salah satu trafo pada GI Manisrejo. Mengingat kapasitas trafo VI yang masih 20 MVA, maka *uprating* seharusnya dilakukan pada trafo VI menjadi 30 MVA sesuai dengan aturan *capacity balance transformator*

Tabel 4.2. Penghitungan % Pembebanan Beban GI Mansirejo Tahun 2014 – 2025

Tahun	Beban GI (MVA)	% beban
2014	34,08	48,69
2015	35,87	51,25
2016	37,76	53,94
2017	39,75	56,79
2018	41,85	59,79
2019	44,07	62,95
2020	46,41	66,30
2021	48,89	69,84
2022	51,51	73,59
2023	54,29	77,55
2024	57,23	81,76
2025	60,35	86,22

Sumber: Hasil Penghitungan

.Setelah dilakukan *uprating* pada trafo VI, % pembebanan GI pada tahun 2024 dan 2025 sudah sesuai dengan aturan *capacity balance transformer*. Nilai % pembebanan yang sebelumnya 81,76% pada tahun 2024 dan 86,22% pada tahun 2025, setelah dilakukan *uprating* pada trafo VI turun menjadi 63,59% pada tahun 2024 dan 67,06% pada tahun 2025.

4.4.2 Analisis Beban Trafo V dan VI Gardu Induk

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa antara tahun 2005 - 2013 rata- rata 62% dari beban GI merupakan beban pada trafo V sedangkan sisanya sebesar 38% merupakan beban pada trafo VI.

Tabel 4.3. Beban Pada Trafo V dan VI Tahun 2005 – 2013

Tahun	Beban Trafo V (MVA)	%	Beban Trafo VI (MVA)	%
2005	13,83	61,30	8,73	38,70
2006	14,30	61,48	8,96	38,52
2007	14,93	61,72	9,26	38,28
2008	14,30	61,29	9,03	38,71
2009	15,68	61,30	9,90	38,70
2010	16,76	61,62	10,44	38,38
2011	18,75	62,05	11,47	37,95
2012	19,93	62,03	12,20	37,97
2013	20,22	62,04	12,37	37,96

Sumber: PT.PLN APJ Madiun

Tabel 4.4. Perkiraan Beban Trafo V dan VI Tahun 2014 - 2025

Tahun	Beban Trafo V (MVA)	%	Beban Trafo VI (MVA)	%
2014	21,13	42,38	12,95	64,76
2015	22,24	44,59	13,63	68,16
2016	23,41	46,92	14,35	71,75
2017	24,65	49,38	15,11	75,53
2018	25,95	51,97	15,90	79,52
2019	27,32	54,71	16,75	83,73
2020	28,78	57,60	17,64	88,18
2021	30,31	60,66	18,58	92,89
2022	31,94	63,90	19,57	97,87
2023	33,66	67,33	20,63	103,15
2024	35,48	70,96	21,75	108,74
2025	37,42	74,81	22,93	114,67

Sumber: Hasil Penghitungan

Dengan menganggap antara tahun 2014 – 2025 terjadi kondisi yang sama, 62% beban GI

merupakan beban trafo V dan 38% merupakan beban trafo VI, maka kita dapat menentukan perkiraan beban pada trafo V dan VI antara tahun 2014 – 2025.

Dari tabel 4.4 terlihat bahwa kondisi beban pada trafo V hingga tahun 2025 masih di bawah 80% dari kapasitas trafo, sedangkan pada kondisi beban pada trafo VI antara tahun 2019 – 2025 kondisi beban sudah lebih dari 80% dari kapasitas trafo. Sehingga pada trafo VI sebelum tahun 2019 sudah harus dilakukan *uprating* trafo. Melihat kondisi beban yang terjadi pada tahun 2018, dimana kondisi beban sudah mencapai 79,52% dari kapasitas trafo, maka sebaiknya *uprating* trafo dilakukan pada tahun 2017.

V. PENUTUP

Dari hasil penghitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Dengan menggunakan metode regresi linier berganda, pada tahun 2025 diperkirakan beban pada GI Manisrejo sebesar 60,35 MVA, beban pada trafo V sebesar 37,42 MVA, dan pada trafo VI sebesar 22,93 MVA.
2. Pada tahun 2025 diperkirakan beban pada GI Manisrejo mencapai 86,22% dari kapasitas GI, pada trafo V sebesar 74,81% dari kapasitas trafo V, dan pada trafo VI sebesar 114,67% dari kapasitas trafo VI.
3. Dikarenakan pada tahun 2018 beban pada trafo VI sudah mencapai 79,5% dari kapasitas trafo, maka diperlukan *uprating* kapasitas pada trafo VI GI Manisrejo pada tahun 2017 menjadi 30 MVA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Makridakis, S. 1999. *Metode Aplikasi dan Peramalan*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [2] Suswanto, D. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
- [3] Marsudi, D. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Balai Penerbit dan Humas ISTN
- [4] Makridakis, S. 1987. *Forecasting Methods & Application*. New York
- [5] Dajan, A. 1975. *Pengantar Metode Statistik Jilid I dan II*. Lembaga Penelitian Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial
- [6] Ghazali, I. 2005. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*. Semarang: Badan Penerbit UNDIP
- [7] Nugroho, A. 2009. *Sistem Informasi Prakiraan Kebutuhan Tenaga Listrik Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Semarang: Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP