

# Analisa Peramalan Beban pada Gardu Induk 150 KV Mranggen dengan Metode Regresi Linear dan Eksponensial

Firman Yuris Setyadi <sup>1</sup>, Dedi Nugroho <sup>2</sup>, Agus Adhi Nugroho <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung

Jln. Kaligawe Raya Km. 4 Kota Semarang, Jawa Tengah 50112, INDONESIA

Email: <sup>1</sup> firmanyuris551@gmail.com, <sup>2</sup> dedi.nugroho@unissula.ac.id, <sup>3</sup> agusadhi@unissula.ac.id

**Abstract-** The increasingly rapid growth of the population every year is accompanied by a significant increase in electricity demand. The growing population results in an increasing demand for electrical energy, thus increasing the supply of electricity distributed to customers. This study aims to forecast the capacity of transformers to meet the power demand at the Mranggen main substation in the next 10 years. This research uses linear regression and exponential methods to estimate the load on the 150 kV Mranggen main substation. The results of this study indicate that for Transformer I, using the linear regression method, the load in 2032 is projected to reach 54.07 MVA or 90.35%. Meanwhile, for Transformer II, the load in 2032 is projected to reach 66.53 MVA or 110.88%. As for the forecasting results, for Transformer I using the exponential method, the load is projected to reach 52.83 MVA with a load percentage of 88.05% in the next 10 years. Meanwhile, for Transformer II, the forecasted load using the linear regression method for the next 10 years is 66.53 MVA with a load percentage of 110.88%. The calculation of the standard error values shows that for Transformer I, the standard error values for estimation using linear regression and exponential methods are 0.73 and 3.31, respectively. Meanwhile, for Transformer II, the standard error values for estimation using linear regression and exponential methods are 0.63 and 4.45, respectively.

**Keywords:** Transformer, Forecasting, Substation, Methods, Load

**Intisari-** Semakin lajunya pertumbuhan penduduk setiap tahunnya yang semakin pesat. Kebutuhan listrik pun ikut mengalami peningkatan yang sangat signifikan. semakin banyaknya penduduk mengakibatkan banyaknya kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan, maka semakin besar juga pasokan listrik yang disalurkan ke pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan kapasitas transformator untuk memenuhi daya pada gardu induk Mranggen dalam 10 tahun mendatang. Pada penelitian ini menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial untuk memperkirakan pembebanan pada gardu induk 150 kv mranggen. Hasil dari penelitian ini adalah transformator I dengan menggunakan metode regresi linear pembebanan pada tahun 2032 sudah mencapai 54,07 MVA atau sudah sebesar 90,35%. Sementara pada transformator II pembebanan pada tahun 2032 sudah mencapai 66,53 MVA atau sudah sebesar 110,88%. Sedangkan hasil peramalan pada transformator I dengan menggunakan metode eksponensial untuk 10 tahun mendatang kapasitas pembebanannya sudah sebesar 52,83 MVA dengan presentase pembebanan sudah mencapai 88,05%. Sementara pada transformator II hasil peramalan dengan menggunakan metode regresi linear untuk 10 tahun mendatang kapasitas pembebanan nya sudah sebesar 66,53 MVA dengan presentase pembebanan sudah mencapai 110,88% Hasil perhitungan nilai kesalahan baku menunjukkan bahwa, Pada transformator I nilai kesalahan baku estimasi dengan

menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial sebesar 0,73 dan 3,31. Sementara pada transformator II nilai kesalahan baku estimasi dengan menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial sebesar 0,63 dan 4,45.

**Kata Kunci:** Transformator, Peramalan, Gardu Induk, Metode, Pembebanan

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan suatu energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat saat ini. Hal ini dapat dilihat pada permintaan kebutuhan energi listrik pada masyarakat yang setiap tahunnya terus mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Dari masalah tersebut maka perlu direncanakan pengembangan sistem tenaga listrik baik meliputi pembangkit energi listrik, jaringan transmisi maupun jaringan distribusinya. Salah satu yang pada sistem tenaga listrik yang perlu peningkatan yaitu gardu induk.[1]

Semakin lajunya pertumbuhan penduduk setiap tahunnya yang semakin pesat. Kebutuhan listrik pun ikut mengalami peningkatan yang sangat signifikan. semakin banyaknya penduduk mengakibatkan banyaknya kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan, maka semakin besar juga pasokan listrik yang disalurkan ke pelanggan. Transformator berperan penting dalam sistem penyaluran energi listrik ke pelanggan yang berfungsi sebagai alat untuk mentransformasikan energi listrik dari tegangan tinggi 150 KV ke tegangan menengah 20 KV. Oleh karena itu begitu pentingnya dalam hal ini peranan transformator. Karena transformator yang mengalami pembebanan hingga melebihi persentase pembebanan yang sudah ditentukan sesuai Surat Edaran Direksi Nomor 0017.E/DIR/2014 dimana dijelaskan bahwa persentase ideal berkisar 60%-80%.[2]

Hal ini juga berlaku pada transformator daya 150/20 kV pada Gardu Induk 150 KV Mranggen yang mengalami peningkatan catu daya dalam penyediaan tenaga listrik setiap tahunnya. Pada Gardu Induk Mranggen dilayani oleh dua buah transformator daya 150/20 kV dengan masing – masing transformator berkapasitas 60 MVA. Pada saat ini transformator 1 telah mencapai 32 MW yaitu sudah mencapai 62,7% dan transformator 2 telah mencapai 37,4 MW yaitu sudah mencapai 73,3% dari kapasitas transformator yang tersedia sebesar 60 MVA dengan nilai  $\cos \phi$  sebesar 0,85. Maka dari itu untuk mengatasi pertumbuhan beban yang semakin meningkat tersebut diperlukan evaluasi kenaikan kapasitas beban dan kelayakan operasi transformator daya 150/20 kV Gardu induk 150 KV Mranggen dengan meramalkan beban yang akan dipikul pada masa yang akan datang. Maka dari itu, harus ada

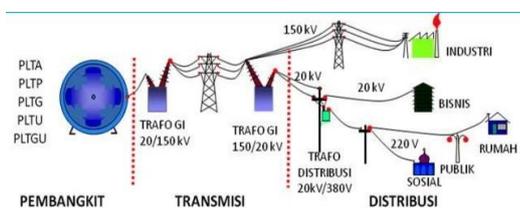
data 5 tahun sebelumnya dari tahun 2018-2022 guna untuk meramalkan kapasitas beban transformator daya selama 10 tahun kedepan.

Pada penelitian ini membahas tentang Analisa Peramalan Beban Pada Gardu Induk 150 KV Mranggen, dengan metode regresi linear dan eksponensial. Agar dapat mengetahui dari dua metode tersebut mana yang mendapatkan nilai kesalahan baku terkecil guna untuk diterapkan dalam metode perhitungan peramalan kapasitas beban transformator. Supaya tahu apakah transformator kondisinya masih layak untuk menopang kapasitas beban 10 tahun kedepan.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik :

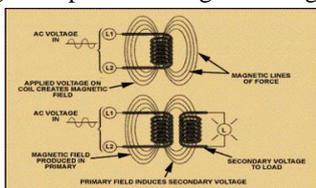


Gambar 1. Single Line Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik terdiri dari sejumlah pusat listrik dan pusat beban yang terhubung melalui jaringan transmisi dan distribusi. Pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, dan PLTP menghasilkan listrik, yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan didistribusikan ke beban melalui saluran distribusi.[3]

### B. Transformator

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya ( arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama. Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.[4]



Gambar 3. Transformator

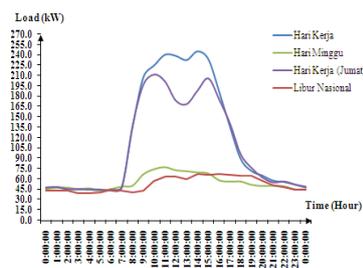
### C. Prinsip Dasar Transformator

Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuknya yang paling sederhana, ia terdiri dari dua kumparan induktif yang dipisahkan secara elektrik namun dihubungkan secara magnetis melalui jalur dengan kerenggangan rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi timbal balik yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan

ke sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik akan terbentuk pada inti yang dilaminasi, yang sebagian besar dihubungkan dengan kumparan lain yang menghasilkan ggl yang saling diinduksi (menurut Hukum Induksi Elektromagnetik Faraday  $e = M di / dt$ ). [5]

### D. Karakteristik Beban

Karakteristik beban adalah perilaku beban yang diukur dalam besarnya beban (ampere, KW, atau MW) sebagai fungsi dari waktu (menit atau jam) dalam suatu jangka waktu tertentu. Karakteristik beban pada suatu hari biasanya dihitung secara manual selama 24 jam, dan kemudian digambarkan dalam bentuk grafik yang dikenal sebagai "kurva beban" dapat dilihat dalam contoh gambar 3.[6]



Gambar 4. Karakteristik Beban

### E. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Proyeksi penduduk merupakan ramalan jumlah penduduk tetapi suatu penghitungan ilmiah yang didasarkan komponen yang berpengaruh terhadap pertumbuhan penduduk dimasa yang akan datang. Dengan demikian proyeksi penduduk sangat bermanfaat dan merupakan kunci aktivitas perencanaan pembangunan, karena sebagai evaluasi pencapaian kegiatan pembangunan baik pada jangka pendek, jangka menengah juga jangka panjang. Pada penelitian ini cara untuk memproyeksikan jumlah penduduk masa yang akan datang menggunakan metode eksponensial sesuai pada buku proyeksi pertumbuhan penduduk.[7]

#### 1. Metode Eksponensial

Metode eksponensial menggambarkan pertumbuhan penduduk yang terjadi secara sedikit-sedikit sepanjang tahun. Persamaan yang digunakan pada metode eksponensial adalah:

$$P_t = P_0 e^{rt} \text{ dengan } r = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{P_t}{P_0}\right) \quad (1)$$

Dimana,

$P_t$  = jumlah penduduk pada tahun t

$P_0$  = jumlah penduduk pada tahun dasar

r = laju pertumbuhan penduduk

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun)

e = bilangan pokok dari sistem logaritma natural (ln) yang besarnya adalah 2,71828

### F. Peramalan Beban

Peramalan beban adalah ilmu yang digunakan untuk memprediksi bagaimana beban masa depan yang akan dihadapi oleh sistem dalam jangka waktu tertentu. Biasanya peramalan permintaan (kebutuhan energi elektrik/watt jam) dan peramalan beban (beban tenaga elektrik/watt jam). Pada penelitian ini menggunakan 2 metode dalam melakukan peramalan beban kapasitas transformator.

#### 1. Metode Regresi Linear

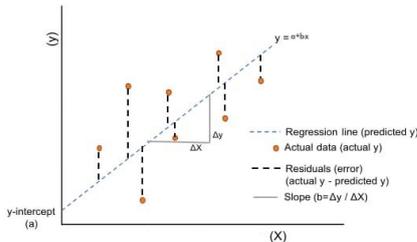
##### a. Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi linear sederhana adalah sebuah metode pendekatan untuk pemodelan hubungan antara satu variabel dependen dan satu variabel independen. Dalam regresi, variabel independen menerangkan variabel dependennya. Model analisis regresi linear sederhana sesuai dengan buku statistika dibawah ini:[8]

$$Y = a + bx \tag{2}$$

yang mana :

- Y = garis regresi/ variable response
- a = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal
- b = konstanta regresi (slope)
- X = variabel bebas/ predictor



Gambar 5. Garis Regresi Linear

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \tag{3}$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \tag{4}$$

Dimana :

- $\sum X$  = Jumlah pertumbuhan penduduk
- $\sum Y$  = Jumlah beban transformator pertahun
- n = Banyaknya variabel X dan Y

b. Analisa Of Varians

Model regresi dikatakan layak jika memiliki signifikansi pada ANOVA yang dapat diketahui melalui nilai p value atau F hitung pada tabel ANOVA. Output dari Analisa of varians ini yaitu regression dan residual serta nilai total dari keduanya. Komponen Analisa of varians meliputi sum of square regression/model, sum of square/error, degree of freedom regression/model, degree of freedom residual/error, mean square regression/model, F value, uji signifikan F value. Dalam menentukan nilai komponen tersebut terdapat rumus dibawah ini:

$$SSR = \sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2 \tag{5}$$

$$SSE = \sum(Y - \hat{Y})^2 \tag{6}$$

$$df SSR = (K - 1) \tag{7}$$

$$df SSE = (n - K) \tag{8}$$

$$MSR = \frac{SSR}{df SSR} \tag{9}$$

$$MSE = \frac{SSE}{df SSE} \tag{10}$$

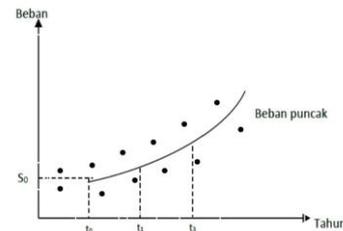
$$F = \frac{MSR}{MSE} \tag{11}$$

Dimana :

- $\hat{Y}$  = Estimasi nilai Y
- $\bar{Y}$  = Nilai rata - rata Y
- Y = Nilai Y
- K = jumlah variabel dependen dan independent
- n = jumlah data

2. Metode Eksponensial

Regresi eksponensial adalah regresi non-linier yang variabel terikatnya berdistribusi eksponensial, lalu dalam scatter plot terbentuk garis seperti eksponensial dan merupakan pengembangan dari regresi linier dengan memanfaatkan fungsi logaritmik.[9]



Gambar 6. Garis Regresi Eksponensial

Kecenderungan trend eksponensial data yang lalu digambar dengan grafik logaritmik untuk memberikan proyeksi perkiraan dalam bentuk garis lurus maka untuk mempermudah mendapatkan nilai pertumbuhan beban tahunan sesuai dengan data beban dalam satuan MVA.

$$S_n = S_0 (1 + \alpha)^t \tag{12}$$

Dengan ,

$S_n$  = Kecepatan pertumbuhan rata - rata tahunan yang diamati selama n tahun

$S_0$  = Pemakaian beban pada perhitungan tahun pertama

t = Waktu tahun ke t

$\alpha$  = Rata - rata pertumbuhan beban dalam prosentase

Dimana ,

$$\alpha = \frac{MVA_n - MVA_{n-1}}{MVA_n} \times 100\% \tag{13}$$

Dengan ,

$\alpha$  = Faktor pembebanan tahunan

$MVA_n$  = Daya pada tahun n

$MVA_{n-1}$  = Daya pada tahun n-1 tahun

G. Presentase Pembebanan Transformator

Penentuan kapasitas transformator daya yang sesuai dengan beban konsumen akan menyebabkan efisiensi yang baik Presentase pembebanan transformator daya pada penelitian ini dapat dicari dengan perbandingan antara data daya pembebanan yang diperoleh dengan kapasitas transformator daya, yang dapat dinyatakan dalam persen (%) atau dengan persamaan dibawah ini:[10]

$$Presentase\ Pembebanan = \frac{Data\ pembebanan\ yang\ diperoleh}{Kapasitas\ transformator} \times 100\% \tag{14}$$

H. Nilai Kesalahan Baku Estimasi

Pengujian standard kesalahan metode regresi eksponensial dan linier dapat dihitung dengan rumus berikut ini: Untuk mencari nilai kesalahan baku estimasi metode regresi linier:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y}_t)^2}{n-2}} \tag{15}$$

Dengan,

$S_{x,y}$  : Standar nilai kesalahan baku

Y : Beban masa lalu

$\hat{Y}_t$  : Perkiraan perhitungan

n : Tahun pengujian

Untuk mencari standard kesalahan metode regresi eksponensial :

$$S_{eks} = \sqrt{\frac{\sum(S_n - S_0)^2}{n}} \tag{16}$$

Dengan,

S.eks : Standar kesalahan eksponensial

Sn : Perkiraan perhitungan

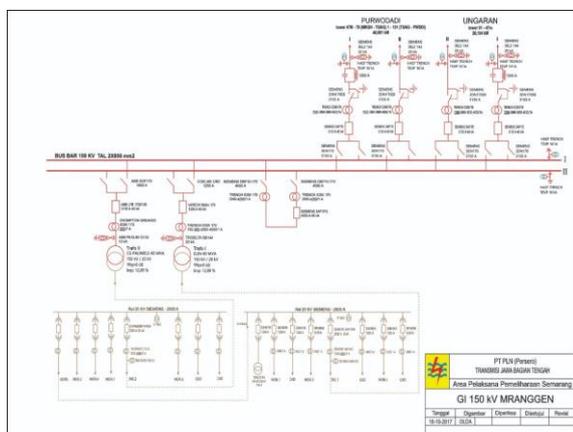
So : Beban masa lalu

n : Jumlah pengujian

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Model Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan penelitian dokumentasi, hal ini karena tidak memungkinkan untuk melakukan pengukuran sendiri. Bahwasannya penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data sebagai bahan penelitian yang ada pada Gardu Induk 150 KV Mranggen. Tepatnya mengambil data pembebanan transformator yang ada pada Gardu Induk tersebut.



Gambar 7. Single Line Diagram Transmisi GI 150 kV Mranggen

#### B. Data yang digunakan

##### 1. Data Kapasitas Transformator Gardu Induk 150 kV Mranggen 2022

Tabel 1. Data Kapasitas Beban Transformator Gardu Induk 150 kV Mranggen

No	Gardu Induk	Jumlah Trafo	Daya Trafo (MVA)	Jumlah Penyulang	Beban (MVA)
1	Mranggen	2	1) 60	1) 5	1) 37,6
			2) 60	2) 5	2) 44,9
Jumlah Total		2	120	10	82,5

##### 2. Data Pembebanan Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen Periode 2018 – 2022

Perhitungan peramalan beban pada Gardu Induk 150 kV Mranggen dapat dipermudah dengan melihat historis data pembebanan sebagai berikut:

###### a. Beban Transformator Daya I di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2018

Tabel 2. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2018

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	27,4	11,7	32,2
Februari	27,7	11,8	32,6
Maret	27,3	11,6	32,1

April	25,6	10,3	30,1
Mei	24,5	9,7	28,8
Juni	26,6	10	31,3
Juli	21,4	8	25,2
Agustus	23,3	9,4	27,4
September	24,8	10,2	29,2
Oktober	25,3	10,5	29,8
November	26,7	11	31,4
Desember	24,8	9,9	29,2
Total	305,4	124,1	359,3
Rata-Rata	25,45	10,34	29,94

###### b. Beban Transformator Daya I di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2019

Tabel 3. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2019

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	23,3	10,5	27,4
Februari	29,5	12,9	34,7
Maret	24,3	9,9	28,6
April	27,1	11,3	31,9
Mei	27,6	11,4	32,5
Juni	30	11,2	35,3
Juli	27,6	10,7	32,5
Agustus	27	10,1	31,8
September	25,5	11,2	30,0
Oktober	29	11,8	34,1
November	29,2	11,9	34,4
Desember	24,3	7,9	28,6
Total	324,4	130,8	381,6
Rata-Rata	27,03	10,90	31,80

###### c. Beban Transformator Daya I di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2020

Tabel 4. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2020

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	27,6	11,6	32,5
Februari	30,6	12,2	36,0
Maret	26,7	11,1	31,4
April	29,2	12,9	34,4
Mei	24,7	10,6	29,1
Juni	27,8	11,8	32,7
Juli	27,1	11	31,9
Agustus	28,9	12,6	34,0
September	26,4	11,2	31,1
Oktober	29,1	11,4	34,2
November	28,6	11,8	33,6
Desember	29,2	12,3	34,4
Total	335,9	140,5	395,2
Rata-Rata	28,0	11,71	32,93

###### d. Beban Transformator Daya I di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2021

Tabel 5. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2021

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	27	11,2	31,8
Februari	27,2	10,7	32,0
Maret	27	11,4	31,8
April	30,9	13,7	36,4
Mei	28,9	12,5	34,0
Juni	29,2	13,7	34,4
Juli	30,3	11,9	35,6

Agustus	31,3	12,8	36,8
September	30,9	13,6	36,4
Oktober	31,2	14	36,7
November	30	13,7	35,3
Desember	29,8	13,2	35,1
Total	353,7	152,4	416,1
Rata-Rata	29,475	12,70	34,68

e. Beban Transformator Daya I di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2022

Tabel 6. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator I Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2022

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	27,7	11,6	32,6
Februari	30,5	12,8	35,9
Maret	28,5	11,8	33,5
April	29	13,6	34,1
Mei	26	10,6	30,6
Juni	26	10,5	30,6
Juli	30	12,6	35,3
Agustus	27,9	11,7	32,8
September	28,7	12,7	33,8
Oktober	32	15,1	37,6
November	30,8	12,9	36,2
Desember	29,2	12,2	34,4
Total	346,3	148,05	407,4
Rata-Rata	28,9	12,34	33,95

3. Data Pembebanan Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen Periode 2018 – 2022

Perhitungan peramalan beban pada Gardu Induk 150 kV Mranggen dapat dipermudah dengan melihat historis data pembebanan sebagai berikut:

a. Beban Transformator Daya II di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2018

Tabel 7. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2018

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	32,4	14,5	38,1
Februari	27,6	11,8	32,5
Maret	30,2	13,2	35,5
April	28	12	32,9
Mei	26,7	11,9	31,4
Juni	27,1	12,1	31,9
Juli	30,5	13,6	35,9
Agustus	29,6	13,2	34,8
September	27,7	12,4	32,6
Oktober	29,2	13,1	34,4
November	30,1	13,5	35,4
Desember	28,8	12,9	33,9
Total	347,9	154,30	409,29
Rata-Rata	28,99	12,86	34,11

b. Beban Transformator Daya II di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2019

Tabel 8. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2019

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	23,1	10,3	27,2
Februari	33,4	14,3	39,3
Maret	32,9	13,1	38,7
April	26,3	11,6	30,9

Mei	26,3	11,6	30,9
Juni	26,6	12,3	31,3
Juli	25,7	11,8	30,2
Agustus	29	12,7	34,1
September	32,8	14,2	38,6
Oktober	29,3	13,9	34,5
November	30,1	13,6	35,4
Desember	28	12,9	32,9
Total	343,5	152,3	404,1
Rata-Rata	28,63	12,69	33,68

c. Beban Transformator Daya II di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2020

Tabel 9. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2020

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	31,2	11,8	36,7
Februari	30,1	11,6	35,4
Maret	29,7	10,7	34,9
April	28,4	10,2	33,4
Mei	34	12,3	40,0
Juni	32,5	12,1	38,2
Juli	27,1	11	31,9
Agustus	30,6	11,4	36,0
September	29,8	10,8	35,1
Oktober	28,6	10,4	33,6
November	27,2	10	32,0
Desember	26,4	9,8	31,1
Total	355,6	132,1	418,4
Rata-Rata	29,63	11,01	34,86

d. Beban Transformator Daya II di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2021

Tabel 10. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2021

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	28,1	12	33,1
Februari	35,6	12,3	41,9
Maret	30,6	13	36,0
April	35	12,9	41,2
Mei	35,8	13,2	42,1
Juni	33,4	14,4	39,3
Juli	35,6	12,3	41,9
Agustus	35,4	12,5	41,6
September	29,5	13,5	34,7
Oktober	29,1	13,8	34,2
November	32	12,4	37,6
Desember	28,4	12,2	33,4
Total	388,5	154,5	457,06
Rata-Rata	32,38	12,88	38,09

e. Beban Transformator Daya II di Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2022

Tabel 11. Pembebanan yang dilayani oleh Transformator II Gardu Induk 150 kV Mranggen tahun 2022

Bulan	Beban Transformator I		
	MW	MVAR	MVA
Januari	30	13	35,3
Februari	27	10,5	31,8
Maret	31,3	13,9	36,8
April	34,8	15,1	40,9
Mei	34	14,6	40,0
Juni	38,2	16,7	44,9
Juli	33,8	15,4	39,8

Agustus	33,8	15,4	39,8
September	37,4	15,8	44,0
Oktober	30,7	13,4	36,1
November	38,2	12,6	44,9
Desember	35,2	11,8	41,4
Total	404,4	168,2	475,8
Rata-Rata	33,70	14,02	39,65

4. Data Pertumbuhan Jumlah Penduduk Periode 2015 – 2020

Berikut ini data dari BPS Kabupaten Demak terkait jumlah penduduk yang ada di 6 kecamatan yang ada di Kabupaten Demak yang di suplai oleh Gardu Induk 150 kV Mranggen yaitu Kecamatan Mranggen, Kecamatan Karangawen, Kecamatan Guntur, Kecamatan Kebonagung, Kecamatan Gajah, dan Kecamatan Dempet. Untuk datanya bisa dilihat pada tabel dibawah ini:

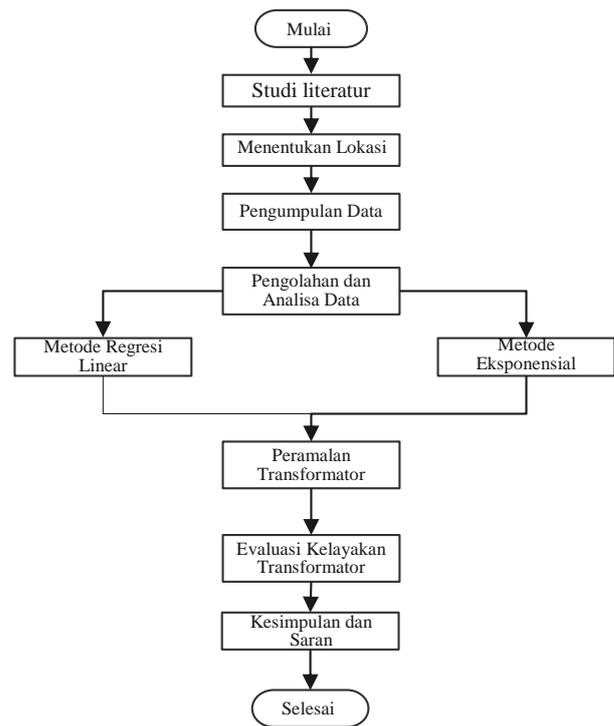
Tabel 12. Data pertumbuhan jumlah penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (Dalam Ribuan)
2015	480,882
2016	487,947
2017	495,068
2018	502,145
2019	509,234
2020	509,481
Total	2.984.757

C. Tahapan Penelitian

1. Menentukan tempat penelitian
2. Menentukan data yang akan dibutuhkan
3. Mengumpulkan data – data penelitian yang dibutuhkan
4. Data – data penelitian yang di kumpulkan yaitu data rata – rata daya aktif, rata – rata daya reaktif
5. Menentukan faktor beban tahun berdasarkan data 5 tahun sebelumnya yaitu dari tahun 2018 sampai 2022
6. Menghitung peramalan kapasitas beban transformator menggunakan metode regresi linear untuk 10 tahun kedepan
7. Membuat tabel perhitungan konstanta metode regresi linear berdasarkan beban tahun 2018 sampai 2022
8. Menentukan rata – rata besarnya faktor pertumbuhan beban tahunan
9. Menghitung peramalan kapasitas beban transformator menggunakan metode eksponensial untuk 10 tahun kedepan
10. Membuat tabel perhitungan konstanta untuk metode regresi linear dan eksponensial berdasarkan data tahun 2018 sampai 2022
11. Menghitung kesalahan baku estimasi dari metode regresi linear dan eksponensial
12. Membuat analisa kelayakan operasi pada transformator daya pada gardu induk 150 kV Mranggen
13. Membuat kesimpulan dan saran

D. Flowchart Penelitian



Gambar 8. Flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menentukan Proyeksi Pertumbuhan penduduk

Berdasarkan tabel 12 data pertumbuhan penduduk dari tahun 2015 sampai dengan 2020 yang digunakan sebagai bahan untuk memproyeksikan pertumbuhan jumlah penduduk untuk tahun 2021 sampai dengan 2032 dengan cara :

Menghitung laju pertumbuhan penduduk dulu sesuai dengan persamaan 1:

$$r = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{P_t}{P_0}\right)$$

$$r = \frac{1}{5} \ln\left(\frac{509,481}{480,882}\right)$$

$$r = \frac{1}{5} (0,05777)$$

$$r = 0,01155 \text{ atau } 1,155\%$$

Setelah ketemu nilai laju pertumbuhannya maka kita menghitung proyeksi pertumbuhan penduduk dengan persamaan 1:

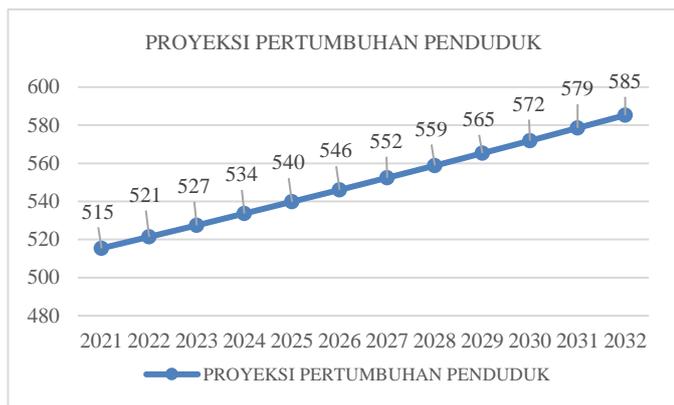
$$P_t = P_0 e^{rt}$$

$$P_{t2021} = P_{02020} e^{rt}$$

$$P_{t2021} = 509,481 \times 2,7182818^{0,0115 \times 1}$$

$$P_{t2021} = 515,402$$

Maka pertumbuhan penduduk pada tahun 2021 sebesar 515,402 ribu orang. Untuk hasil perhitungannya dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini :



Gambar 9. Grafik proyeksi pertumbuhan penduduk

**B. Menentukan Peramalan Beban Transformator I**

Pada penelitian ini menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial dalam meramalkan transformator I untuk beban 10 tahun kedepan. Maka harus melihat pembebanan paling tinggi yang terjadi pada tahun 2018 sampai 2022.

1. Menentukan pembebanan puncak pada transformator I

Berdasarkan tabel 2 sampai 6 yang diperoleh maka dapat dilihat pembebanan puncaknya melalui tabel 13 rekap pembebanan puncak tertinggi dibawah ini :

Tabel 13. Rekap pembebanan transformator I

No	Tahun	Beban Puncak (MVA)
1	2018	32,6
2	2019	35,3
3	2020	36
4	2021	36,8
5	2022	37,6

2. Menentukan peramalan beban transformator I dengan metode regersi linear

Berdasarkan data pembebanan puncak dan jumlah penduduk yang digunakan untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 14 dibawah ini :

Tabel 14. Perhitungan dengan metode regresi linear

No	Tahun Operasi transformator I	Jumlah penduduk (X)	Beban puncak transformator I (Y)	X <sup>2</sup>	XY
1	2018	502,15	32,6	252149,6	16369,93
2	2019	509,23	35,3	259319,3	17975,96
3	2020	509,48	36	259570,9	18341,32
4	2021	515,40	36,8	265639,0	18966,78
5	2022	521,39	37,6	271848,9	19604,31
Total (Σ)		2557,65	178,3	1308527,61	91258,30

Berdasarkan tabel 14 diatas maka dapat menghitung nilai peramalan beban pada tranasformator I pada tahun 2023 sampai dengan tahun 2032 dengan persamaan 2 sampai dengan 4 sebagai berikut :

- a. Menghitung nilai konstanta a

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(178,3)(1308527,61) - (2557,65)(91258,30)}{(5)(1308527,61) - (2557,65)^2}$$

a = -92,1

b. Menghitung nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(5)(91258,30) - (2557,65)(178,3)}{(5)(1308527,61) - (2557,65)^2}$$

b = 0,25

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b maka di dapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

$$Y = -92,1 + 0,25X$$

Maka dengan nilai persamaan tersebut, kita dapat menghitung nilai peramalan beban pada transformator I sebagai berikut :

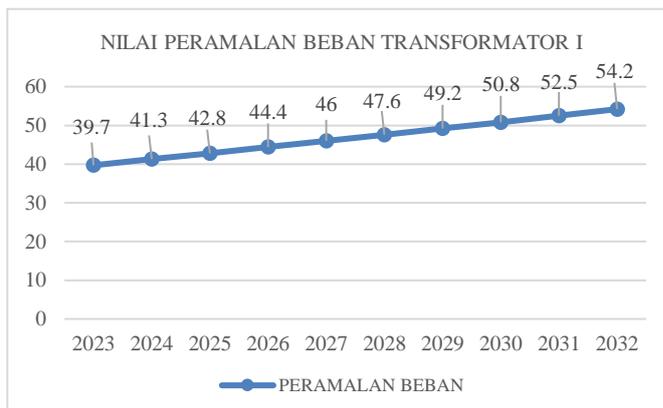
$$Y_{2023} = a + bX$$

$$Y_{2023} = -92,1 + 0,25(527,450)$$

$$Y_{2023} = -92,1 + 131,86$$

$$Y_{2023} = 39,76 \text{ MVA}$$

Maka pembebanan transformator pada tahun 2023 sebesar 39,76 MVA. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini :



Gambar 10. Grafik peramalan beban transformator I dengan metode regresi linear

3. Menentukan presentase pembebanan transformator I dengan metode regresi linear

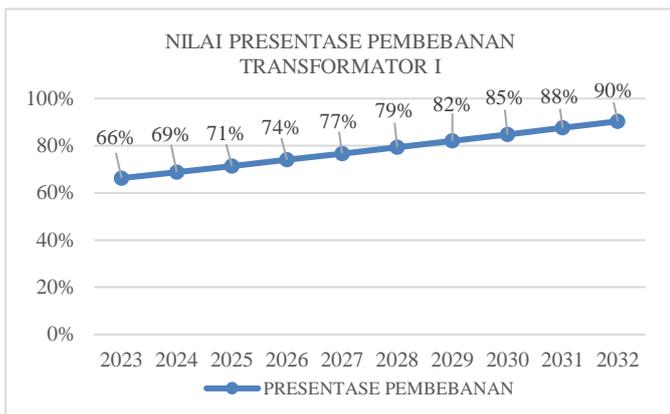
Setelah diperoleh hasil perhitungannya, maka dapat ditentukan presentase pembebanan dari data tersebut dengan rumus sesuai dengan persamaan 14 di bawah ini :

$$Presentase = \frac{\text{Data pembebanan yang diperoleh}}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = \frac{39,76}{60} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = 66,27\%$$

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 10 grafik presentase pembebanan transformator I dengan menggunakan metode regresi linear dibawah ini:



Gambar 11. Grafik presentase pembebanan pada transformator I

4. Menentukan perhitungan analisa of varians

Tabel 15. Perhitungan komponen analisa of varians

NO	X	Y	$\hat{Y} = a+bX$	$\hat{Y} - \bar{Y}$	$(\hat{Y} - \bar{Y})^2$	$Y - \hat{Y}$	$(Y - \hat{Y})^2$
1	502,1	32,6	33,3	-2,3	5,49	-0,7	0,51
2	509,2	35,3	35,0	-0,5	0,33	0,2	0,05
3	509,4	36	35,1	-0,5	0,26	0,8	0,73
4	515,4	36,8	36,6	0,97	0,93	0,1	0,03
5	521,3	37,6	38,1	2,46	6,06	-0,5	0,27
$\Sigma$ Total	2557,6	178,3	178,3	0,00	13,0	0,0	1,59
Rata-rata	511,5	35,6	35,6	0,00	2,62	0,00	0,32

Nilai perhitungan analisa of varians dapat dihitung dengan representasi persamaan 5 sampai 11. Berdasarkan tabel 15 maka kita dapat menghitung analisa of varians dengan cara sebagai berikut :

Menghitung nilai sum of square regression :

$$SSR = \sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2$$

$$SSR = 13,08$$

Menghitung nilai sum of square residual :

$$SSE = \sum(Y - \hat{Y})^2$$

$$SSE = 1,59$$

Menghitung nilai degree of freedom regression/model :

$$df_{SSR} = (K - 1)$$

$$df_{SSR} = (2 - 1)$$

$$df_{SSR} = 1$$

Menghitung nilai degree of freedom residual/error :

$$df_{SSE} = (n - K)$$

$$df_{SSE} = (5 - 2)$$

$$df_{SSE} = 3$$

Menghitung nilai mean square regression/model :

$$MSR = \frac{SSR}{df_{SSR}}$$

$$MSR = \frac{13,08}{1}$$

$$MSR = 13,08$$

Menghitung nilai mean square/error :

$$MSE = \frac{SSE}{df_{SSE}}$$

$$MSE = \frac{1,59}{3}$$

$$MSE = 0,53$$

Menghitung nilai F value :

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

$$F = \frac{13,08}{0,53}$$

$$F = 24,73$$

Setelah diketahui semua nilainya, maka nilai perhitungan tersebut dapat dimasukkan sesuai tabel 16 berikut :

Tabel 16. Pengujian analisa of varians

Model	sum of square	df	mean square	Fhitung	Uji signifikansi F
regression/model	13,08	1	13,08	24,73	0,016
residual/eror	1,59	3	0,53		
Total	14,67	4	13,61		

Berdasarkan tabel 16 didapat Fhitung 24,73 dengan tingkat signifikansi sebesar 0,016. Karena probabilitas (tingkat signifikansi) ini lebih kecil daripada 0,05 maka model regresi ini bisa dipakai untuk memprediksi pembebanan pada transformator.

5. Menentukan peramalan beban transformator I dengan metode eksponensial

Menentukan pertumbuhan beban pertahunnya yaitu dengan cara sesuai dengan persamaan 13 sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{MVA_n - MVA_{n-1}}{MVA_n} \times 100\%$$

$$\alpha_1 = \frac{MVA_{2019} - MVA_{2019-1}}{MVA_{2019}} \times 100\%$$

$$\alpha_1 = \frac{35,3 - 32,6}{35,3} \times 100\%$$

$$\alpha_1 = 7,64\%$$

Maka pertumbuhan beban pada tahun 2018 sampai 2019 sebesar 7,64 %. Untuk hasil perhitungannya sesuai pada tabel 17 dibawah ini :

Tabel 17. Faktor pertumbuhan beban transformator I 2018 sampai 2022

Tahun	Pertumbuhan beban (MVA)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
2018	32,6	7,64%			
2019	35,3				
2020	36		1,94%		
2021	36,8			2,17%	
2022	37,6				2,12
Total					13,87%

Maka nilai rata – rata pembebanan dari tahun 2018 sampai dengan 2022 sesuai tabel 20 diatas adalah :

$$\alpha_{rata-rata} = \frac{Total\ nilai\ \alpha}{Jumlah\ pengujian}$$

$$\alpha_{rata-rata} = \frac{13,87\%}{4}$$

$$\alpha_{rata-rata} = 0,0346$$

Maka setelah mengetahui nilai dari rata – rata pertumbuhan beban maka didapatkan persamaan eksponensial sebagai berikut :

$$S_n = S_0 (1 + \alpha)^t$$

$$S_n = S_0 (1 + 0,0346)^t$$

Maka dengan nilai persamaan tersebut, kita dapat menghitung nilai peramalan beban pada transformator I yang menggunakan persamaan 12 sebagai berikut :

$$S_n = S_0 (1 + 0,0346)^t$$

$$S_{2023} = 37,6 (1 + 0,0346)^1$$

$$S_{2023} = 37,6 (1,0346)$$

$$S_{2023} = 38,90 \text{ MVA}$$

Maka pembebanan transformator pada tahun 2023 dengan menggunakan metode eksponensial sebesar 38,90 MVA. Untuk hasilnya dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini :



Gambar 12. Grafik peramalan beban transformator I dengan metode eksponensial

6. Menentukan presentase pembebanan transformator I dengan metode eksponensial

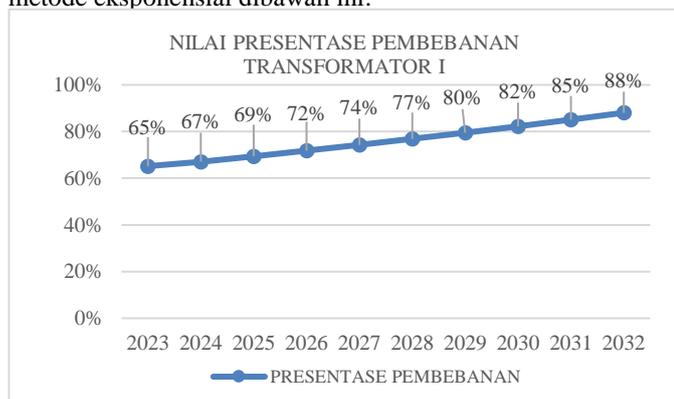
Setelah perhitungan, maka dapat ditentukan presentase pembebanan dari data tersebut dengan rumus sesuai dengan persamaan 14 di bawah ini :

$$Presentase = \frac{\text{Data pembebanan yang diperoleh}}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = \frac{38,90}{60} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = 64,83 \%$$

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 12 grafik presentase pembebanan transformator I dengan menggunakan metode eksponensial dibawah ini:



Gambar 13. Grafik presentase pembebanan pada transformator I

C. Menentukan Peramalan Beban Transformator II

Pada penelitian ini menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial dalam meramalkan transformator II untuk beban 10 tahun kedepan. Dalam hal ini apakah nantinya dalam 10 tahun kedepan transformator masih mampu dalam melayani pembebanan.

1. Menentukan pembebanan puncak pada transformator II

Berdasarkan tabel 7 sampai 11 yang diperoleh maka dapat dilihat pembebanan puncaknya melalui tabel 18 rekap pembebanan puncak tertinggi dibawah ini :

Tabel 18. Rekap pembebanan puncak transformator II dari tahun 2018 sampai 2022

No	Tahun	Beban Puncak (MVA)
1	2018	38,1
2	2019	39,3
3	2020	40
4	2021	42,1
5	2022	44,9

2. Menentukan peramalan beban transformator II dengan metode regresi linear

Berdasarkan tabel rekap pembebanan tertinggi dari tahun 2018 sampai dengan 2022 yang digunakan untuk mempermudah perhitungan data menggunakan metode regresi linear maka akan dibuatkan tabel perhitungan konstanta regresi linear seperti tabel 19 dibawah ini :

Tabel 19. Perhitungan dengan metode regresi linear

No	Tahun Operasi transformator II	Jumlah penduduk (X)	Beban puncak transformator II (Y)	X <sup>2</sup>	XY
1	2018	502,15	38,1	252149,6	19131,7
2	2019	509,23	39,3	259319,3	20012,9
3	2020	509,48	40	259570,9	20379,2
4	2021	515,40	42,1	265639,0	21698,4
5	2022	521,39	44,9	271848,9	23410,5
Total (Σ)		2557,65	204,4	1308527,61	104632,7

Berdasarkan tabel 19 diatas maka dapat menghitung nilai peramalan beban pada transformator II pada tahun 2023 sampai dengan tahun 2032 dengan persamaan 2 sampai dengan 4 sebagai berikut :

a. Menghitung nilai konstanta a

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{(204,4)(1308527,61) - (2557,65)(104632,7)}{(5)(1308527,61) - (2557,65)^2}$$

$$a = -144,16$$

b. Menghitung nilai konstanta b

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(5)(104632,7) - (2557,65)(204,4)}{(5)(1308527,61) - (2557,65)^2}$$

$$b = 0,36$$

Maka setelah mengetahui nilai dari konstanta nilai a dan b maka didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut :

$$Y = a + bX$$

$$Y = -144,16 + 0,36X$$

Maka dengan nilai persamaan tersebut, kita dapat menghitung nilai peramalan beban pada transformator II sesuai persamaan 2 sebagai berikut:

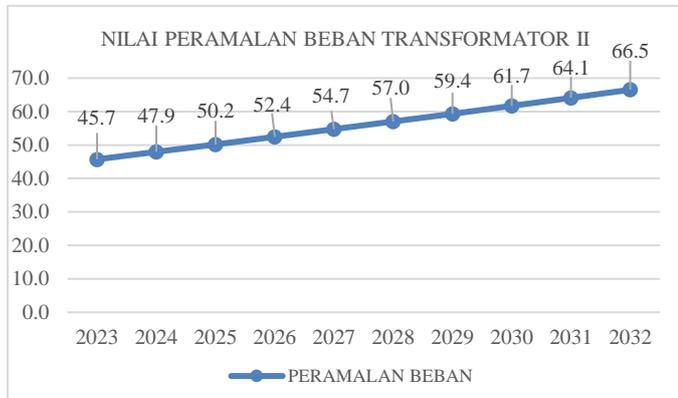
$$Y_{2023} = a + bX$$

$$Y_{2023} = -144,16 + 0,36(527,450)$$

$$Y_{2023} = -144,16 + 189,882$$

$$Y_{2023} = 45,72 \text{ MVA}$$

Maka pembebanan transformator pada tahun 2023 dengan menggunakan metode regresi linear sebesar 45,72 MVA. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 13 dibawah ini :



Gambar 14. Grafik peramalan beban transformator II dengan metode regresi linear

3. Menentukan presentase pembebanan transformator II dengan metode regresi linear

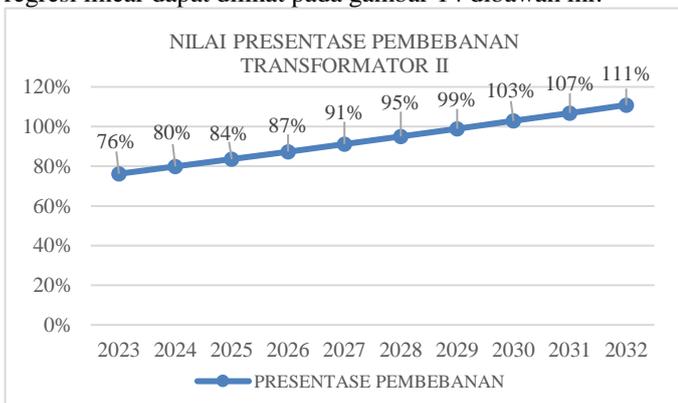
Setelah diperoleh hasil perhitungannya, maka dapat ditentukan presentase pembebanan dengan rumus persamaan 14 di bawah ini :

$$Presentase = \frac{\text{Data pembebanan yang diperoleh}}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = \frac{45,72}{60} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = 76,20 \%$$

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik presentase pembebanan transformator I dengan menggunakan metode regresi linear dapat dilihat pada gambar 14 dibawah ini:



Gambar 15. Grafik presentase pembebanan pada transformator II

4. Menentukan perhitungan analisa of varians

Untuk memudahkan perhitungan maka akan kita buat tabel perhitungan analisa of varians seperti pada tabel 20 berikut:

Tabel 20. Perhitungan komponen analisa of varians

NO	X	Y	$\hat{Y} = a+bX$	$\hat{Y}-Y$	$(\hat{Y}-Y)^2$	$Y-\hat{Y}$	$(Y-\hat{Y})^2$
1	502,1	38,1	37,4	-3,4	11,5	0,6	0,38
2	509,2	39,3	40,0	-0,8	0,6	-0,7	0,56
3	509,4	40	40,1	-0,7	0,5	-0,1	0,02

4	515,4	42,1	42,2	1,4	1,9	-0,1	0,03
5	521,3	44,9	44,45	3,57	12,7	0,4	0,21
$\Sigma$ Total	2557,6	204,4	204,40	0,0	27,4	0,0	1,20
Rata"	511,5	40,88	40,88	0,0	5,49	0,0	0,24

Nilai perhitungan Analisa of varians dapat dihitung dengan representasi persamaan 5 sampai 11. Berdasarkan tabel 20 maka kita dapat menghitung analisa of varians dengan cara sebagai berikut ;

Menghitung nilai sum of square regression :

$$SSR = \sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2$$

$$SSR = 27,45$$

Menghitung nilai sum of square residual :

$$SSE = \sum(Y - \hat{Y})^2$$

$$SSE = 1,20$$

Menghitung nilai degree of freedom regression/model :

$$df \text{ SSR} = (K - 1)$$

$$df \text{ SSR} = (2 - 1)$$

$$df \text{ SSR} = 1$$

Menghitung nilai degree of freedom residual/error :

$$df \text{ SSE} = (n - K)$$

$$df \text{ SSE} = (5 - 2)$$

$$df \text{ SSE} = 3$$

Menghitung nilai mean square regression/model :

$$MSR = \frac{SSR}{df \text{ SSR}}$$

$$MSR = \frac{27,45}{1}$$

$$MSR = 27,45$$

$$MSR = 27,45$$

Menghitung nilai mean square/error :

$$MSE = \frac{SSE}{df \text{ SSE}}$$

$$MSE = \frac{1,20}{3}$$

$$MSE = 0,40$$

$$MSE = 0,40$$

Menghitung nilai F value :

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

$$F = \frac{27,45}{0,40}$$

$$F = 68,82$$

$$F = 68,82$$

$$F = 68,82$$

Setelah diketahui semua nilainya, maka nilai perhitungan tersebut dapat dimasukkan sesuai tabel 21 berikut:

Tabel 21. Pengujian analisa of varians

Model	sum of square	df	mean square	Fhitung	Uji signifikansi F
regression/model	27,45	1,00	27,45	68,82	0,0037
residual/eror	1,20	3,00	0,40		
Total	28,65	4,00	27,85		

Berdasarkan tabel 21 didapat Fhitung 68,82 dengan tingkat signifikansi sebesar 0,0037. Karena probabilitas (tingkat signifikansi) ini lebih kecil daripada 0,05 maka model regresi ini bisa dipakai untuk memprediksi pembebanan pada transformator II.

5. Menentukan peramalan beban transformator II dengan metode eksponensial

Menentukan pertumbuhan beban pertahunnya yaitu sesuai dengan persamaan 13 sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{MVA_n - MVA_{n-1}}{MVA_n} \times 100\%$$

$$\alpha_1 = \frac{MVA_{2019} - MVA_{2018}}{MVA_{2018}} \times 100\%$$

$$\alpha_1 = 3,05\%$$

Maka pertumbuhan beban pada tahun 2018 sampai 2019 sebesar 3,05%. Untuk hasil perhitungan sesuai pada tabel 22 dibawah ini :

Tabel 22. Faktor pertumbuhan beban transformator II 2018 sampai 2022

Tahun	Pertumbuhan beban (MVA)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$
2018	38,1	3,05%	1,75%	4,98%	6,23
2019	39,3				
2020	40				
2021	42,1				
2022	44,9				
Total		16,02%			

Maka nilai rata – rata faktor pembebanan dari tahun 2018 sampai dengan 2022 sesuai tabel 22 diatas adalah:

$$\alpha_{rata-rata} = \frac{Total\ nilai\ \alpha}{Jumlah\ pengujian}$$

$$\alpha_{rata-rata} = \frac{16,02\%}{4}$$

$$\alpha_{rata-rata} = 0,0401$$

Maka setelah mengetahui nilai dari rata – rata pertumbuhan beban maka didapatkan persamaan eksponensial sebagai berikut :

$$S_n = S_0 (1 + \alpha)^t$$

$$S_n = S_0 (1 + 0,0401)^t$$

Maka dengan nilai persamaan tersebut, kita dapat menghitung nilai peramalan beban pada transformator II sesuai dengan persamaan 12 sebagai berikut :

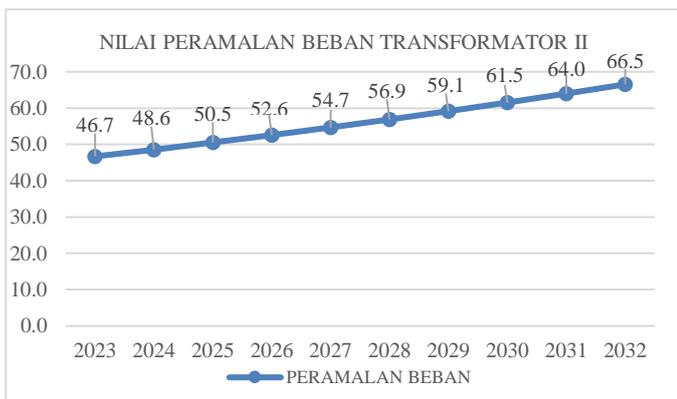
$$S_n = S_0 (1 + 0,0401)^t$$

$$S_{2023} = 44,9 (1 + 0,0401)^1$$

$$S_{2023} = 44,9 (1,0401)$$

$$S_{2023} = 46,70\ MVA$$

Maka pembebanan transformator pada tahun 2023 dengan menggunakan metode eksponensial sebesar 46,70 MVA. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 15 dibawah ini:



Gambar 16. Grafik peramalan beban transformator II dengan metode eksponensial

6. Menentukan presentase pembebanan transformator II dengan metode eksponensial

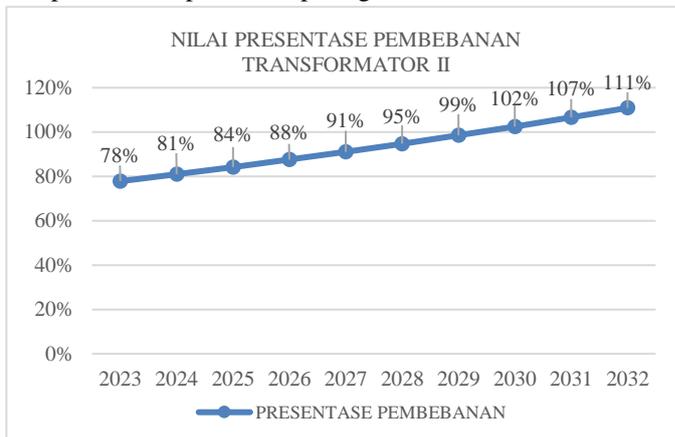
Setelah diperoleh hasil perhitungannya, maka dapat ditentukan presentase pembebanan dengan rumus sesuai persamaan 14 di bawah ini:

$$Presentase = \frac{Data\ pembebanan\ yang\ diperoleh}{Kapasitas\ transformator} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = \frac{46,70}{60} \times 100\%$$

$$Presentase_{2023} = 77,83\%$$

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik presentase pembebanan transformator II dengan menggunakan metode eksponensial dapat dilihat pada gambar 16 dibawah ini:



Gambar 17. Grafik presentase pembebanan pada transformator II

D. Menentukan Nilai Kesalahan Baku Estimasi

Nilai ini digunakan untuk mengukur ketepatan suatu pendugaan dalam menduga suatu nilai. Jika nilai ini sama dengan 0 maka pendugaan tersebut memiliki tingkat ketepatan 100%. Dalam penelitian ini kita akan menentukan nilai kesalahan kesalahan baku estimasi dari metode yang digunakan untuk meramalkan kedua transformator tersebut.

1. Kesalahan baku estimasi pada transformator I
  - a. Kesalahan baku estimasi pada metode regresi linear

Tabel 23. Perhitungan kesalahan baku estimasi pada regresi linear

No	X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	502,15	32,6	252149,6	1062,7	16369,93
2	509,23	35,3	259319,3	1246,0	17975,96
3	509,48	36	259570,9	1296	18341,32
4	515,40	36,8	265639,0	1354,2	18966,78
5	521,39	37,6	271848,9	1413,7	19604,31
Total (Σ)	2557,65	178,3	1308527,61	6372,8	91258,30

Berdasarkan tabel 23 diatas maka kita dapat menentukan seberapa nilai kesalahan baku estimasi pada metode regresi linear yang digunakan untuk meramalkan pembebanan pada transformator I sesuai dengan persamaan 15 sebagai berikut:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y}_t)^2}{n - 2}}$$

Sebelum menghitung menggunakan persamaan diatas terlebih dahulu harus menentukan nilai dari  $\sum(Y - \hat{Y}_t)^2$  dengan cara sebagai berikut :

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = \sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY$$

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = 6372,85 - (-92,1 \times 178,3) - (0,25 \times 91258,30)$$

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = 1,587$$

Setelah menentukan nilai  $\sum(Y - \hat{Y}_t)^2$  kita dapat mencari nilai kesalahan baku dengan cara sebagai berikut:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y}_t)^2}{n - 2}}$$

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{1,587}{5 - 2}}$$

$$S_{x,y} = 0,73$$

- b. Kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial

Tabel 24. Perhitungan kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial

No	Tahun	$S_o$ (MVA)	$S_n$ (MVA)	$(S_o - S_n)^2$
1	2018	32,6	32,6	0
2	2019	35,3	36,53	1,51
3	2020	36	38,56	6,55
4	2021	36,8	40,8	16
5	2022	37,6	43,14	30,69
Total ( $\sum$ )		178,3	191,63	54,76

Berdasarkan tabel 24 diatas maka kita dapat menentukan seberapa nilai kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial yang digunakan untuk meramalkan pembebanan pada transformator I sesuai dengan persamaan 16 sebagai berikut :

$$S_{eks} = \sqrt{\frac{\sum(S_n - S_o)^2}{n}}$$

$$S_{eks} = \sqrt{\frac{54,76}{5}}$$

$$S_{eks} = 3,31$$

2. Kesalahan baku estimasi pada transformator II  
 a. Kesalahan baku estimasi pada metode regresi linear

Tabel 25. Perhitungan kesalahan baku estimasi pada regresi linear

No	X	Y	$X^2$	$Y^2$	XY
1	502,15	38,1	252149,6	1451,61	19131,7
2	509,23	39,3	259319,3	1544,49	20012,9
3	509,48	40	259570,9	1600	20379,2
4	515,40	42,1	265639,0	1772,41	21698,4
5	521,39	44,9	271848,9	2016,01	23410,5
Total ( $\sum$ )		2557,65	1308527,6	8384,52	104632,7

Berdasarkan tabel 25 diatas maka kita dapat menentukan seberapa nilai kesalahan baku estimasi pada metode regresi linear yang digunakan untuk meramalkan pembebanan pada transformator II sesuai dengan persamaan 15 sebagai berikut :

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y}_t)^2}{n - 2}}$$

Sebelum menghitung menggunakan persamaan diatas terlebih dahulu harus menentukan nilai dari  $\sum(Y - \hat{Y}_t)^2$  dengan cara sebagai berikut :

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = \sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY$$

Maka nilai  $\sum(Y - \hat{Y}_t)^2$  yaitu :

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = \sum Y^2 - a \sum Y - b \sum XY$$

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = 8384,52 - (-144,16 \times 204,4) - (0,36 \times 104632,7)$$

$$\sum(Y - \hat{Y}_t)^2 = 1,197$$

Setelah menentukan nilai  $\sum(Y - \hat{Y}_t)^2$  kita dapat mencari nilai kesalahan baku dengan cara sebagai berikut:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y}_t)^2}{n - 2}}$$

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{1,197}{5 - 2}}$$

$$S_{x,y} = 0,63$$

- b. Kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial

Tabel 26. Perhitungan kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial

No	Tahun	$S_o$ (MVA)	$S_n$ (MVA)	$(S_o - S_n)^2$
1	2018	38,1	38,1	0
2	2019	39,3	40,87	2,46
3	2020	40	43,27	10,69
4	2021	42,1	47,37	27,77
5	2022	44,9	52,54	58,37
Total ( $\sum$ )		204,4	222,15	99,30

Berdasarkan tabel 26 diatas maka kita dapat menentukan seberapa nilai kesalahan baku estimasi pada metode eksponensial yang digunakan untuk meramalkan pembebanan pada transformator II sesuai dengan persamaan 16 sebagai berikut :

$$S_{eks} = \sqrt{\frac{\sum(S_n - S_o)^2}{n}}$$

$$S_{eks} = \sqrt{\frac{99,30}{5}}$$

$$S_{eks} = 4,45$$

E. Evaluasi Kelayakan Transformator I dan Transformator II

Tabel 27. Kondisi kelayakan Transformator I

Tahun	Kapasitas Transformator I (MVA)	Data pembebanan yang diperoleh (MVA)	Presentase (%)
2023	60	39,77	66,27%
2024	60	41,30	68,83%
2025	60	42,72	71,41%
2026	60	44,28	74,02%
2027	60	45,87	76,67%
2028	60	47,47	79,34%
2029	60	49,09	82,05%
2030	60	50,73	84,78%
2031	60	52,39	87,55%
2032	60	54,21	90,35%

Tabel 28. Kondisi kelayakan Transformator II

Tahun	Kapasitas Transformator II (MVA)	Data pembebanan yang diperoleh (MVA)	Presentase (%)
2023	60	45,72	76,20%
2024	60	47,93	79,88%
2025	60	50,16	83,60%
2026	60	52,42	87,37%
2027	60	54,70	91,17%
2028	60	57,01	95,02%

2029	60	59,35	98,92%
2030	60	61,72	102,86%
2031	60	64,11	106,85%
2032	60	66,53	110,88%

Berdasarkan tabel nomor 27 dan 28 diatas mengenai kondisi kelayakan transformator, bahwasannya prentsetanse pembebanan dari transformator I pada 10 tahun mendatang sudah mencapai 90,35% sedangkan pada transformator presentase pembebanannya pada 10 tahun mendatang sudah mencapai 110,88%. Dalam hal ini transformator I dan II pada 10 tahun mendatang sudah mengalami pembebanan yang sudah melebihi kapasitas yang tersedia dari transformator I dan II sebesar 60 MVA karena pada 10 mendatang transformator I dan II sudah mencapai beban 54,07 MVA dan 66,53 MVA.

Berdasarkan surat edaran direksi PT PLN (PERSERO) nomor : 0017.E/DIR/2014, SPLN 50/1982 dan D3.002-1:2007 yang mengatur bahwa batas pembebanan pada transformator yaitu sebesar antara 60 % sampai 80% dari kapasitas transformator tersebut serta berdasarkan regulasi dari PLN (SPLN No.1 Tahun 1995) syarat keandalan sistem antara lain presentase pembebanan transformator tidak boleh melebihi 80% dari bebannya dan persentase jatuh tegangan di sisi pelanggan tidak boleh lebih dari +5% dan -10% dari tegangan normalnya. Maka berdasarkan hal tersebut transformator I layak beroperasi sesuai dengan aturan sampai dengan tahun ke 7 yaitu tahun 2029. Sementara untuk transformator II layak beroperasi sesuai dengan pada tahun ke 3 yaitu tahun 2025. Untuk tahun berikutnya beban transformator II akan dimanuver ke transformator I tapi melihat juga besar pembebanannya dan juga kapasitas dari transformator I.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil proyeksi pertumbuhan penduduk dengan metode eksponensial mengalami peningkatan laju pertumbuhan penduduk tiap tahunnya sebesar 1,15% sehingga mengakibatkan kenaikan jumlah penduduk ditiat tahunnya.
2. Pembebanan transformator I pada tahun 2022 sudah mencapai 37,6 MVA atau sudah sebesar 62,6%. Hasil peramalan dengan menggunakan metode regresi linear maka transformator I dapat memikul pembebanan sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh PT PLN sampai dengan tahun 2029. Dan hasil peramalan transformator I pada tahun ke 10 sudah mencapai 54,21 MVA atau sudah sebesar 90,35%.
3. Pembebanan transformator II pada tahun 2022 sudah mencapai 44,9 MVA atau sudah sebesar 74,83%. Hasil peramalan dengan menggunakan metode regresi linear maka transformator II dapat memikul pembebanan sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh PT PLN sampai dengan tahun 2025. Dan hasil peramalan transformator II pada tahun ke 10 sudah mencapai 66,53 MVA atau sudah sebesar 110,88%.
4. Hasil peramalan pada transformator I dengan menggunakan metode eksponensial untuk 10 tahun mendatang kapasitas pembebanannya sudah sebesar 52,83 MVA dengan presentase pembebanan sudah mencapai 88,05%. Sementara pada transformator II hasil peramalan dengan menggunakan metode regresi

linear untuk 10 tahun mendatang kapasitas pembebanannya sudah sebesar 66,53 MVA dengan presentase pembebanan sudah mencapai 110,88%

5. Pada transformator I nilai kesalahan baku estimasi dengan menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial sebesar 0,73 dan 3,31. Sementara pada transformator II nilai kesalahan baku estimasi dengan menggunakan metode regresi linear dan metode eksponensial sebesar 0,63 dan 4,45.

## REFERENSI

- [1] D. Saefulloh, "Perencanaan pengembangan gardu induk untuk 10 tahun ke depan," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, pp. 1–8, 2013, [Online]. Available: [eprints.undip.ac.id/25821/1/ML2F000593.pdf](https://eprints.undip.ac.id/25821/1/ML2F000593.pdf)
- [2] W. Setiawan Anjas and M. Ilham, "Analisis Pembebanan Trafo Sebelum Penambahan Gardu Sisipan Terhadap Besarnya Kapasitas Daya untuk Memperbaiki Pembebanan pada Gardu Distribusi," *Vertex Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 90–101, 2022.
- [3] Machfudiah, "Analisis Aliran Daya Sistem Distribusi Radikal Dengan Metode Topology Network Berbasis Graphical User Interface (GUI) Matlab," *Pap. Knowl. Towar. a Media Hist. Doc.*, pp. 07–38, 2016, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id>
- [4] G. U. Ilahi, E. T. Hardi, J. Napitupulu, and J. Sinaga, "Analisis Prakiraan Masa Pakai Transformator Berdasarkan Beban Menggunakan Metode Regresi Linier," *J. Teknol. Energi Uda J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, p. 51, 2023, doi: 10.46930/jteu.v12i1.2847.
- [5] Y. P. Tondok *et al.*, "Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA," vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2019.
- [6] M. D. Tobi and V. N. VAN HARLING, "Analisis Pecobaan Karakteristik Beban Nol Generator Induksi 1 Fasa," *Electro Luceat*, vol. 5, no. 1, pp. 12–22, 2019, doi: 10.32531/jelekn.v5i1.136.
- [7] D. Handiyatmo, I. Sahara, and H. Rangkuti, *Pedoman Penghitungan Proyeksi Penduduk dan Angkatan Kerja*. 2010.
- [8] R. Mubarak, *PENGANTAR EKONOMETRIKA Edisi Pertama*. 2021.
- [9] H. Dody and B. Tumanggor, "Analisis Kelayakan Kapasitas Transformator Berdasarkan Prediksi Beban Tahunan ( Studi Kasus Pada PT . PLN ( Persero ) Rayon Majenang )," *Online*, vol. 9, no. 1, pp. 28–35, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal.stt-wiworotomo.ac.id/index.php/iteks/article/view/257>
- [10] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, "Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyulang Perumnas," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i1.722.