

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Penelitian**

Data yang digunakan untuk menganalisis kemampuan transformator Gardu Induk 150 KV Purbalingga dalam 20 tahun yang akan datang adalah data pemakaian energi listrik tahun 2012 sampai dengan tahun 2016 pada transformator I yang memiliki kapasitas 60 MVA dan data pemakain energi listrik tahun 2013 sampai dengan tahun 2016 pada transformator II dengan kapasitas 60 MVA. Kemudian data lain yang dibutuhkan adalah data kependudukan dan PDRB Kabupaten Purbalingga.

#### **4.2 Analisa Data Penelitian**

Dalam melakukan analisa dari penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah dengan menganalisis beban puncak tertinggi di Gardu Induk 150 KV Purbalingga, menganalisa dan mengansumsikan pertumbuhan penduduk dan PDRB, menghitung pemakaian beban dalam MVA pada transformator, membuat persamaan pendekatan metode regresi linier berganda, kemudian meramalkan pembebanan untuk mengetahui batas kemampuan transformator.

Persamaan regresi linier ganda yaitu :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Dengan :

$Y$  = Variabel tak bebas

$a$  = Konstanta

$b_1, b_1$  = koefisien regresi

$X_1, X_2$  = Variabel bebas

Dari penelitian yang dilakukan di Gardu Induk 150 KV Purbalingga. Maka didapatkan data yang dibutuhkan untuk peramalan beban yaitu data beban puncak Gardu Induk 150 KV Purbalingga.

#### 4.2.1 Data Transformator I Gardu Induk 150 KV Purbalingga

Spesifikasi Transformator I Gardu Induk 150 KV Purbalingga adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Spesifikasi Trafo I

Tabel 4.1 Spesifikasi Trafo I

<i>ELIN/ SFZ – 60000/150</i>
60 MVA, 150/20KV
Type of cooling ONAN/OFAF
Specivication No : IEC 60076

Tabel 4.2 Data Beban Trafo I

Bulan	2012	2013	2014	2015	2016
Januari	15.5 MVA	21.5 MVA	17.5 MVA	18.0 MVA	20.1 MVA
Februari	14.5 MVA	15.0 MVA	17.5 MVA	20.5 MVA	20.8 MVA
Maret	17.5 MVA	19.0 MVA	17.5 MVA	17.2 MVA	28.0 MVA
April	15.5 MVA	19.5 MVA	17.0 MVA	15.0 MVA	20.7 MVA
Mei	22.0 MVA	15.0 MVA	17.5 MVA	15.2 MVA	18.3 MVA
Juni	15.0 MVA	13.0 MVA	16.0 MVA	17.2 MVA	18.3 MVA
Juli	14.0 MVA	14.0 MVA	16.2 MVA	15.0 MVA	19.3 MVA
Agustus	14.0 MVA	17.2 MVA	18.0 MVA	21.4 MVA	18.2 MVA
September	16.5 MVA	17.2 MVA	17.5 MVA	23.2 MVA	23.3 MVA
Oktober	14.5 MVA	18.0 MVA	19.5 MVA	19.3 MVA	16.8 MVA
November	18.0 MVA	17.0 MVA	19.5 MVA	22.0 MVA	19.7 MVA
Desember	20.5 MVA	16.5 MVA	20.6 MVA	23.2 MVA	16.7 MVA
Total	197.0 MVA	202.9 MVA	214.3 MVA	227.2 MVA	240.2 MVA
<b>Rata-rata</b>	<b>16.41 MVA</b>	<b>16.90 MVA</b>	<b>17.85 MVA</b>	<b>18.93 MVA</b>	<b>20.01 MVA</b>



Gambar 4.2 Grafik pertumbuhan beban trafo I 2012 - 2016

#### 4.2.2 Data Transformator II Gardu Induk 150 KV Purbalingga

Spesifikasi Transformator I Gardu Induk 150 KV Purbalingga adalah sebagai berikut :



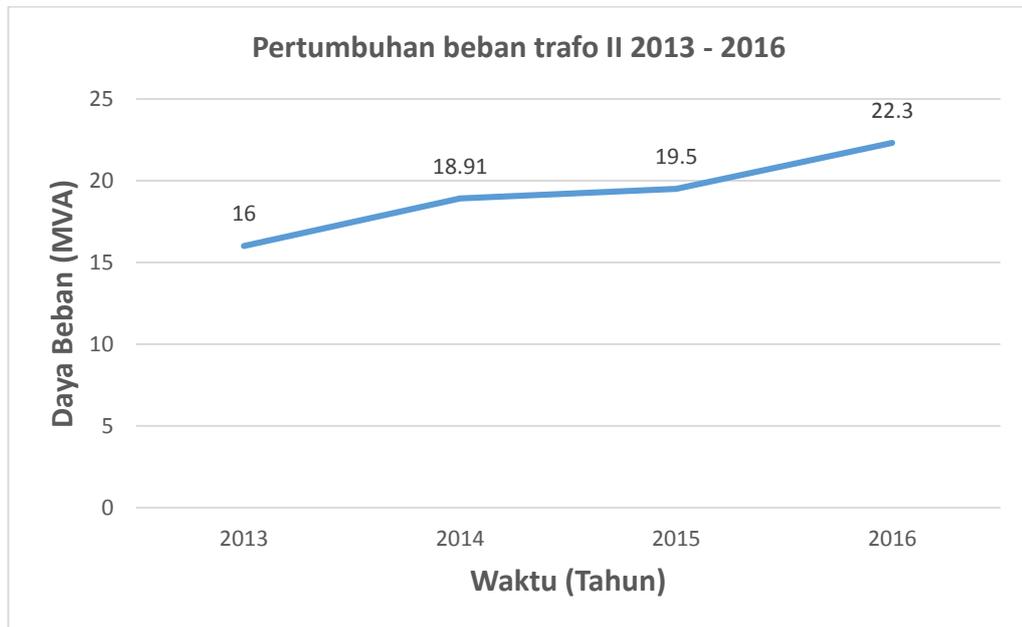
Gambar 4.3 Spesifikasi Trafo II

Tabel 4.3 Spesifikasi Trafo II

PAUWELS TRAF0/3011130028
60 MVA, 150/20KV
Type of cooling ONAN/OFAF
Specivication No : IEC 60076

Tabel 4.4 Data Beban Trafo II

Bulan	Beban Transformator			
	2013	2014	2015	2016
Januari		17 MVA	16 MVA	21.3 MVA
Februari		20 MVA	16.5 MVA	21.3 MVA
Maret		18 MVA	16.5 MVA	24 MVA
April		18.5 MVA	20 MVA	22 MVA
Mei		20 MVA	17 MVA	23 MVA
Juni		18.5 MVA	19.5 MVA	21.5 MVA
Juli		19 MVA	21.5 MVA	22.5 MVA
Agustus		22 MVA	19 MVA	22 MVA
September		17 MVA	24 MVA	20 MVA
Oktober	16.00 MVA	18.5 MVA	20 MVA	23 MVA
November	17.50 MVA	19.5 MVA	23 MVA	25 MVA
Desember	14.50 MVA	19 MVA	21 MVA	22 MVA
Total	48 MVA	227 MVA	234 MVA	267.6 MVA
<b>Rata-rata</b>	<b>16.00 MVA</b>	<b>18.91 MVA</b>	<b>19.5 MVA</b>	<b>22.3 MVA</b>



Gambar 4.4 Grafik pertumbuhan beban trafo II 2014 – 2016

### Presentase Beban Trafo

Untuk mengetahui presentase pembebanan trafo maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{S_t}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100 \%$$

Keterangan :

$S_t$  : pemakaian beban pada bulan t

Kapasitas transformator : data kapasitas transformator (MVA)

### **Batas Optimal Beban Trafo**

Dalam pembebanan sebuah trafo, perlu diperhatikan batas optimal pembebanan trafo yaitu sebesar 60-80%. Berdasarkan SPT PLN no 50 tahun 1997, klasifikasi pembebanan trafo adalah sebagai berikut :

0 – 60 % = Beban Ringan

60 – 80 % = Beban Optimal

>80 % = Beban Berat

### **Data Penduduk dan PDRB Kabupaten Purbalingga**

Untuk melakukan peramalan beban trafo di Gardu Induk 150 KV Purbalingga 20 tahun yang akan datang, dibutuhkan data jumlah penduduk dan pertumbuhan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) yang bersumber dari data Badan Pusat Statistik kabupaten purbalingga yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.5 Jumlah Penduduk dan PDRB Purbalingga

Tahun	Jumlah penduduk (dalam ribuan)	PDRB (ribuan)
2012	881	12.138
2013	884	12.778
2014	894	13.526
2015	903	14.255
2016	912	14.967

Keterangan : Berdasarkan data dan info yang saya dapat dari BPS Purbalingga, bahwa PDRB Kabupaten Purbalingga setiap tahunnya meningkat 5% (berdasarkan

data statistik Produk Domestik Regional Bruto BPS kabupaten purbalingga 2012-2016) dan pertumbuhan penduduk kabupaten purbalingga setiap tahun meningkat 1,1% (berdasarkan data statistik kependudukan BPS kabupaten purbalingga 2014-2016)

### **Perhitungan pertumbuhan PDRB tahun n?**

Untuk mencari perkiraan PDRB pada tahun selanjutnya atau tahun n, dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

**PDRB tahun n = (PDRB tahun sebelum n X 5%) + PDRB tahun sebelum n**

1. PDRB tahun 2017

$$\text{PDRB tahun 2017} = (14.967 \times 5\%) + 14.967 = 15.715$$

2. PDRB tahun 2018

$$\text{PDRB tahun 2018} = (15.715 \times 5\%) + 15.715 = 16.500$$

### **Perhitungan perumbuhan penduduk tahun n?**

Untuk mencari perkiraan penduduk pada tahun selanjutnya atau tahun n, dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

**Penduduk tahun n = (penduduk tahun sebelum n X 1,1%) + penduduk tahun sebelum n**

1. Penduduk tahun 2017

$$\text{Penduduk tahun 2017} = (912 \times 1,1\%) + 912 = 922$$

2. Penduduk tahun 2018 = (922 X 1,1%) + 922 = 932

Setelah melakukan perhitungan jumlah penduduk dan PDRB untuk 20 tahun yang akan datang, maka diperoleh data keseluruhan sebagai berikut :

Tabel 4.6 Perhitungan perkiraan jumlah penduduk dan PDRB 20 tahun yang akan datang

Tahun	Jumlah Penduduk (dalam ribuan)	Jumlah PDRB (dalam ribuan)
2012	881	12.138
2013	884	12.778
2014	894	13.526
2015	903	14.255
2016	912	14.967
2017	922	15.715
2018	932	16.500
2019	942	17.325
2020	952	18.191
2021	962	19.100
2022	972	20.055
2023	982	21.057
2024	992	22.109
2025	1003	23.214
2026	1014	24.373
2027	1025	25.591
2028	1036	26.871
2029	1047	28.214
2030	1059	29.624
2031	1071	31.105
2032	1083	32660
2033	1095	34293
2034	1107	36007
2035	1119	37807
2036	1131	39897

Pada Gardu Induk 150 KV Purbalingga memiliki 2 buah trafo (penambahan trafo II pada tahun 2014) maka pada tahun 2012 ada pembagian jumlah penduduk

yang terhubung ke trafo I dan trafo II. Trafo I dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB kabupaten purbalingga, dan trafo II dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB kabupaten Purbalingga.

### 4.3 Peramalan Beban Trafo

#### 4.3.1 Peramalan Beban pada Trafo I di Gardu Induk 150 KV Purbalingga

Tabel 4.7 Beban dan faktor yang mempengaruhi trafo I

Tahun	Beban (MVA) Y	Jumlah penduduk (dalam ribuan) X <sub>1</sub>	PDRB (dalam ribuan) X <sub>2</sub>
2012	16.41	881	12.138
2013	16.90	884	12.778
2014	17.85	894	13.526
2015	18.93	903	14.255
2016	20.01	912	14.968

Dari data diatas terlihat bahwa jumlah penduduk dan PDRB kabupaten purbalingga sangat mempengaruhi pertumbuhan beban di Gardu Induk 150 KV Purbalingga. Sehingga, beban transformator di Gardu Induk 150 KV Purbalingga setiap tahunnya mengalami pertumbuhan yang diakibatkan oleh naiknya tingkat pertumbuhan penduduk dan meningkatnya PDRB kabupaten Purbalingga.

Tabel 4.8 perhitungan untuk persamaan regresi pada trafo I

Tahun	Y (MVA)	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *Y	X <sub>2</sub> *Y
2012	16.41	881	12.138	776161	147331044	269.2881	10693578	14457.21	199184.58
2013	16.90	884	12.778	781456	163277284	285.61	11295752	14939.6	215948.2
2014	17.85	894	13.526	799236	182952676	318.6225	12092244	15957.9	241439.1
2015	18.93	903	14.255	815409	203205025	358.3449	12872265	17093.79	269847.15
2016	20.01	912	14.967	831744	224011089	400.4001	13649904	18249.12	299489.67
<b>Σ</b>	<b>90.10</b>	<b>4474</b>	<b>67664</b>	<b>4004006</b>	<b>920777118</b>	<b>1632.2656</b>	<b>60603743</b>	<b>80697.62</b>	<b>1225908.7</b>

Perhitungan persamaan regresi untuk mendapatkan nilai a, b<sub>1</sub>, dan b<sub>2</sub> :

$$\Sigma X_1^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{n} = 4004006 - \frac{(4474)^2}{5} = 670,8$$

$$\Sigma X_2^2 = \Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{n} = 920777118 - \frac{(6764)^2}{5} = 5.093.738,8$$

$$\Sigma Y^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = 1632.2656 - \frac{(90.10)^2}{5} = 8,6636$$

$$\Sigma X_1Y = \Sigma X_1Y - \frac{\Sigma X_1 \cdot \Sigma Y}{n} = 80697,62 - \frac{(4474 \cdot 90.10)}{5} = 76.14$$

$$\Sigma X_2Y = \Sigma X_2Y - \frac{\Sigma X_2 \cdot \Sigma Y}{n} = 1.225.908.7 - \frac{67.664 \cdot 90.10}{5} = 6.603,42$$

$$\Sigma X_1X_2 = \Sigma X_1X_2 - \frac{\Sigma X_1 \cdot \Sigma X_2}{n} = 60.603.743 - \frac{4474 \cdot 67664}{5} = 57.995,8$$

Diperolehlah persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{[(\Sigma X_2^2 \times \Sigma X_1Y) - (\Sigma X_2Y \times \Sigma X_1X_2)]}{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1X_2)^2]} \\ &= \frac{[(5.093.738,8 \times 76.14) - (6.603,42 \times 57.995,9)]}{[(670,8 \times 5.093.738,8) - (57.995,8)^2]} \\ &= \frac{[(387.837.272,232) - (382.971.285,978)]}{[(3.416.879.987,04) - (3.363.512.817,64)]} \\ &= \frac{4.865.986,254}{53.367.169,4} \\ &= 0.09117 \end{aligned}$$

$$b_2 = \frac{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2Y) - (\Sigma X_1Y \times \Sigma X_1X_2)]}{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1X_2)^2]}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{[(670,8 \times 6.603,42) - (76.14 \times 57.995,8)]}{[(670,8 \times 5.093.738,8) - (57.995,8)^2]} \\
&= \frac{[(4.429.574,136) - (4.415.800,212)]}{[(3.416.879.987,04) - (3.363.512.817,64)]} \\
&= \frac{13.773,924}{53.367.169,4} \\
&= 0.000258
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a &= \frac{(\Sigma Y) - (b_1 \times \Sigma X_1) - (b_2 \times \Sigma X_2)}{n} \\
&= \frac{(90.10) - (0.09117 \times 4474) - (0,000258 \times 67.664)}{5} \\
&= \frac{(90.10) - (407,89458) - (17.457312)}{5} \\
&= - 67.05037
\end{aligned}$$

Setelah hasil didapat dari perhitungan persamaan regresi dan mendapatkan nilai a, b1, dan b2 langkah selanjutnya adalah menghitung beban trafo gardu induk 150 KV purbalingga untuk 20 tahun yang akan datang.

Berdasarkan model regresi linier berganda persamaan untuk peramalan beban trafo ditahun x yaitu :

$$Y = a + (b_1 * X_1) + (b_2 * X_2)$$

Dengan hasil :

$$a = - 67.05037$$

$$b_1 = 0.09117$$

$$b_2 = 0.000258$$

Sehingga rumus untuk mencari beban tahun yang akan datang x menjadi :

Beban tahun x = - 67,05037 + (0,09117 \* jumlah penduduk tahun x) + (0,000258 \* PDRB tahun x)

1. Beban tahun 2017

$$\begin{aligned} \text{Beban tahun 2017} &= - 67,05037 + (0,09117 * 922) + (0,000258 * 15.715) \\ &= 21.06284 \end{aligned}$$

2. Beban tahun 2018

$$\begin{aligned} \text{Beban tahun 2018} &= - 67,05037 + (0,09117 * 932) + (0,000258 * 16.500) \\ &= 22.17707 \end{aligned}$$

3. Beban tahun 2019 = - 67,05037 + (0,09117 \* 942) + (0,000258 \* 17.325)

$$= 23.30165$$

Presentase pembebanan trafo

Untuk menghitung presentase pembebanan trafo digunakanlah rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{Sx}{Ktransformator} \times 100\%$$

$$\text{Pembebanan tahun 2017} = \frac{21.06}{60 \text{ MVA}} \times 100\%$$

$$= 35 \%$$

Hasil keseluruhan dari perhitungan peramalan beban dan perhitungan presentase beban trafo I gardu induk 150 kv purbalingga dapat dilihat di tabel 4.9.

Evaluasi toleransi transformator berdasarkan SPLN no 50 tahun 1997 untuk standar optimal pembebanan trafo sebesar 60% - 80%, maka batas optimal pembebanan transformator I gardu induk 150 kv purbalingga 48 MVA.

Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan beban trafo 20 tahun yang akan datang pada tabel 4.9 dan grafik pertumbuhan trafo I pada gambar 4.5, maka pertumbuhan beban pada trafo I gardu induk 150 KV purbalingga bisa dikatakan stabil dan tidak mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun 2012 hingga tahun 2036. Dari hasil peramalan didapatkan hasil bahwa dari tahun 2012 hingga tahun 2029 beban trafo masih dalam beban yang ringan sesuai perhitungan presentase beban trafo. Kemudian pada tahun 2030 hingga tahun 2036 beban trafo masih dalam kategori yang optimal. Sehingga untuk jangka 20 tahun yang akan datang trafo I Gardu Induk Purbalingga 60 MVA masih mampu untuk melayani beban. Untuk tahun 2030 perlu mendapatkan pengawasan yang intens karena pada tahun tersebut beban trafo sudah memasuki standar optimal beban trafo.

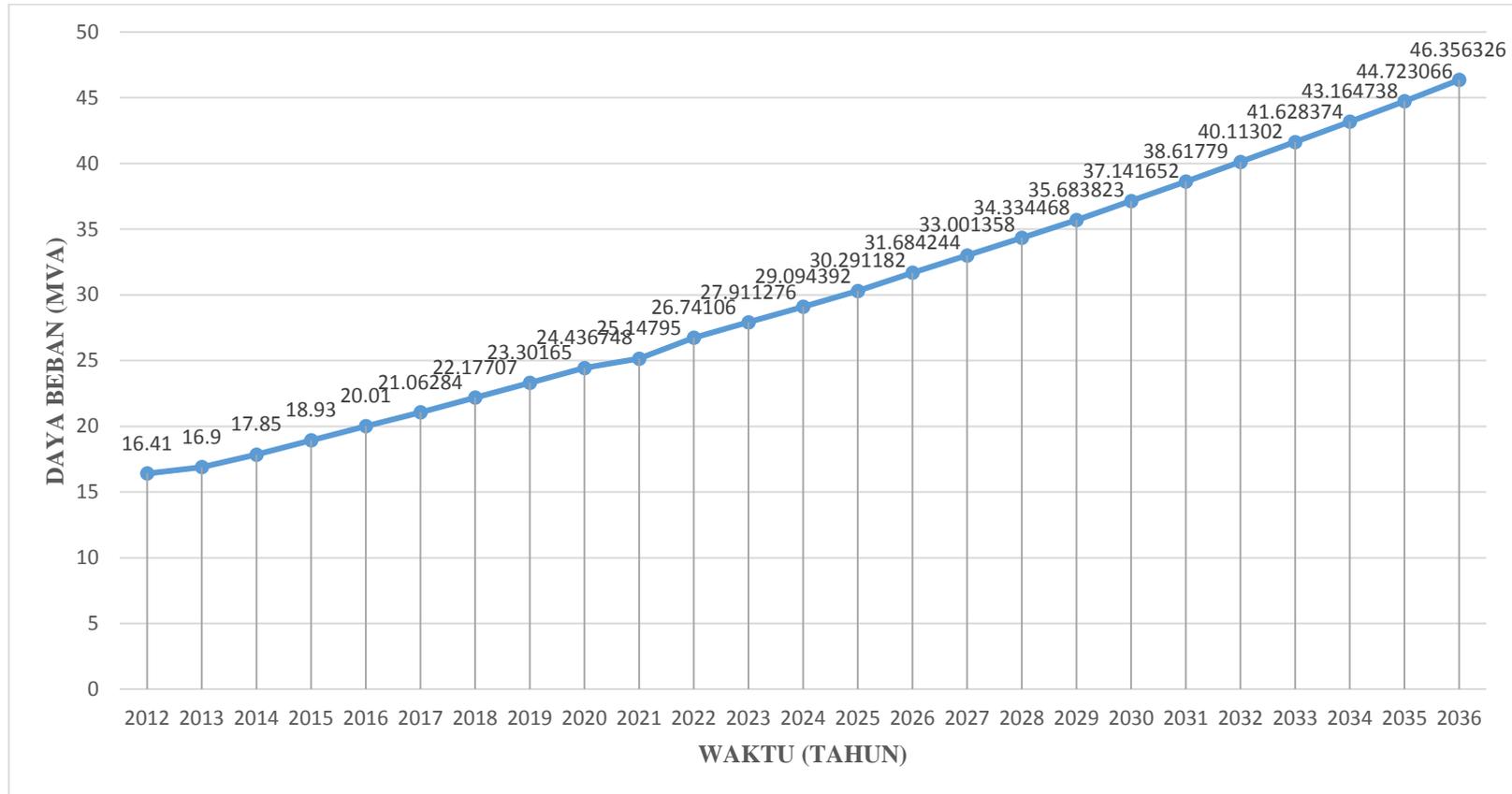
Ketika beban mencapai batas maksimal beban optimal trafo maka perencanaan penambahan transformator harus segera dilakukan karena sifat beban yang tumbuh akan semakin tinggi dengan adanya pertumbuhan penduduk dan juga PDRB kabupaten purbalingga. Sehingga perlu adanya langkah pengawasan yang intens terhadap pertumbuhan beban trafo agar trafo tetap bekerja secara maksimal.

Karakteristik beban yang tumbuh dapat berubah apabila faktor yang mempengaruhi beban yaitu jumlah penduduk ataupun PDRB menurun drastis sehingga penurunan beban terjadi dengan jumlah yang signifikan.

Tabel 4.9 Hasil peramalan dengan metode regresi pada trafo I Gardu Induk 150 KV Purbalingga 60 MVA

Tahun	Beban (Y) (MVA)	Penduduk ( $X_1$ ) (dalam ribuan)	PDRB ( $X_2$ ) (dalam ribuan)	Pembebanan	Evaluasi toleransi
2012	16.41	881	12.138	27%	Beban ringan
2013	16.90	884	12.778	28%	Beban ringan
2014	17.85	894	13.526	30%	Beban ringan
2015	18.93	903	14.255	32%	Beban ringan
2016	20.01	912	14.968	33%	Beban ringan
2017	21.06284	922	15.715	35%	Beban ringan
2018	22.17707	932	16.500	37%	Beban ringan
2019	23.30165	942	17.325	39%	Beban ringan
2020	24.436748	952	18.191	41%	Beban ringan
2021	25.14795	962	19.100	42%	Beban ringan
2022	26.74106	972	20.055	45%	Beban ringan
2023	27.911276	982	21.057	47%	Beban ringan
2024	29.094392	992	22.109	48%	Beban ringan
2025	30.291182	1002	23.214	50%	Beban ringan
2026	31.684244	1014	24.373	51%	Beban ringan
2027	33.001358	1025	25.591	55%	Beban ringan
2028	34.334468	1036	26.871	57%	Beban ringan
2029	35.683823	1047	28.214	59%	Beban ringan
2030	37.141652	1059	29.624	62%	Beban optimal
2031	38.61779	1071	31.105	64%	Beban optimal
2032	40.11302	1083	32660	67%	Beban optimal
2033	41.628374	1095	34293	69%	Beban optimal
2034	43.164738	1107	36007	72%	Beban optimal
2035	44.723066	1119	37807	74%	Beban optimal
2036	46.356326	1131	39897	77%	Beban optimal

**Grafik Pertumbuhan Beban Trafo I Gardu Induk 150 KV Purbalingga**



Gambar 4.5 Grafik pertumbuhan beban pada trafo I

### 4.3.2 Peramalan Beban pada Trafo II di Gardu Induk 150 KV Purbalingga

Tabel 4.10 Beban dan faktor diketahui yang mempengaruhi trafo II

Tahun	Beban (MVA) Y	Jumlah penduduk (dalam ribuan) $X_1$	PDRB (dalam ribuan) $X_2$
2013	16.00	881	12.778
2014	18.91	894	13.526
2015	19.50	903	14.255
2016	22.30	912	14.967

Dari data diatas terlihat bahwa jumlah penduduk dan PDRB kabupaten purbalingga sangat mempengaruhi pertumbuhan beban di Gardu Induk 150 KV Purbalingga. Sehingga, beban transformator di Gardu Induk 150 KV Purbalingga setiap tahunnya mengalami pertumbuhan yang diakibatkan oleh naiknya tingkat pertumbuhan penduduk dan meningkatnya PDRB kabupaten Purbalingga.

Tabel 4.11 Data perhitungan untuk persamaan regresi pada trafo II

Tahun	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> *Y	X <sub>2</sub> *Y
2013	16,00	881	12778	776,161	163277284	256	11257418	14096	204448
2014	18,91	894	13526	799,236	182952676	357,5881	12092244	16905,5	255776,66
2015	19,50	903	14255	815,409	203205025	380,25	12872265	17608,5	277972,5
2016	22,30	912	14967	831,744	224011089	497,29	13649904	20337,6	333764,1
<b>Σ</b>	<b>76,71</b>	<b>3590</b>	<b>55526</b>	<b>3222550</b>	<b>773446074</b>	<b>1.491,1281</b>	<b>49871831</b>	<b>68947,6</b>	<b>1071961,3</b>

Perhitungan persamaan regresi untuk mendapatkan nilai a, b<sub>1</sub>, dan b<sub>2</sub> :

$$\Sigma X_1^2 = \Sigma X_1^2 - \frac{(\Sigma X_1)^2}{n} = 3222550 - \frac{(3590)^2}{4} = 525$$

$$\Sigma X_2^2 = \Sigma X_2^2 - \frac{(\Sigma X_2)^2}{n} = 773446074 - \frac{(55526)^2}{4} = 2661905$$

$$\Sigma Y^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = 1491,1281 - \frac{(76.71)^2}{4} = 20,02$$

$$\Sigma X_1Y = \Sigma X_1Y - \frac{\Sigma X_1 * \Sigma Y}{n} = 68947,6 - \frac{(3590 * 76.71)}{4} = 100,375$$

$$\Sigma X_2Y = \Sigma X_2Y - \frac{\Sigma X_2 * \Sigma Y}{n} = 1071961,3 - \frac{55526 * 76.71}{4} = 7111,435$$

$$\Sigma X_1X_2 = \Sigma X_1X_2 - \frac{\Sigma X_1 * \Sigma X_2}{n} = 49871831 - \frac{3590 * 55526}{4} = 37246$$

Dari hasil persamaan diatas, diperolehlah persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{[(\Sigma X_2^2 \times \Sigma X_1Y) - (\Sigma X_2Y \times \Sigma X_1X_2)]}{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1X_2)^2]} \\ &= \frac{[(2661905 \times 100,375) - (7111,435 \times 37246)]}{[(525 \times 2661905) - (37246)^2]} \\ &= \frac{[(267188714,4) - (264872508)]}{[(1397500125) - (1387264516)]} \\ &= \frac{2316206,4}{10235609} \\ &= 0,22628 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2Y) - (\Sigma X_1Y \times \Sigma X_1X_2)]}{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1X_2)^2]} \\ &= \frac{[(525 \times 7111,435) - (100,375 \times 37246)]}{[(525 \times 2661905) - (37246)^2]} \\ &= \frac{[(3733503,375) - (3738567,25)]}{[(168.202.818) - (168.194.961)]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5063,875}{10235609} \\
&= 0,00094731 \\
a &= \frac{(\Sigma Y) - (b_1 \times \Sigma X_1) - (b_2 \times \Sigma X_2)}{n} \\
a &= \frac{(76,71) - (0,22628 \times 3590) - (-0,00094731 \times 55526)}{4} \\
&= \frac{(76,71) - (812,3452) + (52,6003)}{4} \\
&= -197,0575
\end{aligned}$$

Setelah hasil didapat dari perhitungan persamaan regresi dan mendapatkan nilai a, b1, dan b2 langkah selanjutnya adalah menghitung beban trafo gardu induk 150 KV purbalingga untuk 20 tahun yang akan datang. Berdasarkan model regresi linier berganda yaitu :

$$Y = a + (b_1 * X_1) + (b_2 * X_2)$$

Dengan hasil :

$$a = - 197$$

$$b_1 = 0,22628$$

$$b_2 = 0,00094731$$

sehingga rumus untuk mencari beban tahun x menjadi :

$$\text{Beban tahun } x = - 197 + ( 0,22628 * \text{jumlah penduduk tahun } x) + ( 0,00094 * \text{PDRB tahun } x)$$

1. Beban tahun 2017

$$\begin{aligned}
\text{Beban tahun 2017} &= - 197 + (0,22628 * 922) + (0,00094 * 15715) \\
&= 26.40226 \text{ MVA}
\end{aligned}$$

2. Beban tahun 2018

$$\begin{aligned} \text{Beban tahun 2018} &= - 197 + (0,22628*932) + (0.00094*16.500) \\ &= 29.40296 \text{ MVA} \end{aligned}$$

3. Beban tahun 2019 = - 197 + (0,22628\*942) + (0.00094\*17.325)  
= 32.44126

Untuk menghitung presentase pembebanan trafo, dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{Sx}{Ktransformator} \times 100\%$$

$$\text{Pembebanan tahun 2017} = \frac{26,40}{60 \text{ MVA}} \times 100\%$$

$$= 44 \%$$

Analisis :

Hasil keseluruhan dari hasil peramalan beban dan perhitungan presentase pembebanan trafo II Gardu Induk 150 KV Purbalingga dapat dilihat pada tabel 4.12.

Untuk lebih jelas mengenai laju beban pertahun berikutnya pada trafo II dibuatlah grafik pertumbuhan beban gambar 4.6 dan berdasarkan hasil perhitungan beban trafo II pada tabel 4.12.

Evaluasi toleransi transformator berdasarkan SPLN no 50 tahun 1997 untuk standar optimal pembebanan trafo sebesar 60% - 80%, maka batas optimal pembebanan transformator I gardu induk 150 kv purbalingga 60 MVA adalah sebesar 48 MVA.

Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan 20 tahun yang akan datang pada tabel 4.12 dan grafik pertumbuhan beban trafo II pada gambar 4.6, maka pertumbuhan beban trafo II dapat dijelaskan sebagai berikut :

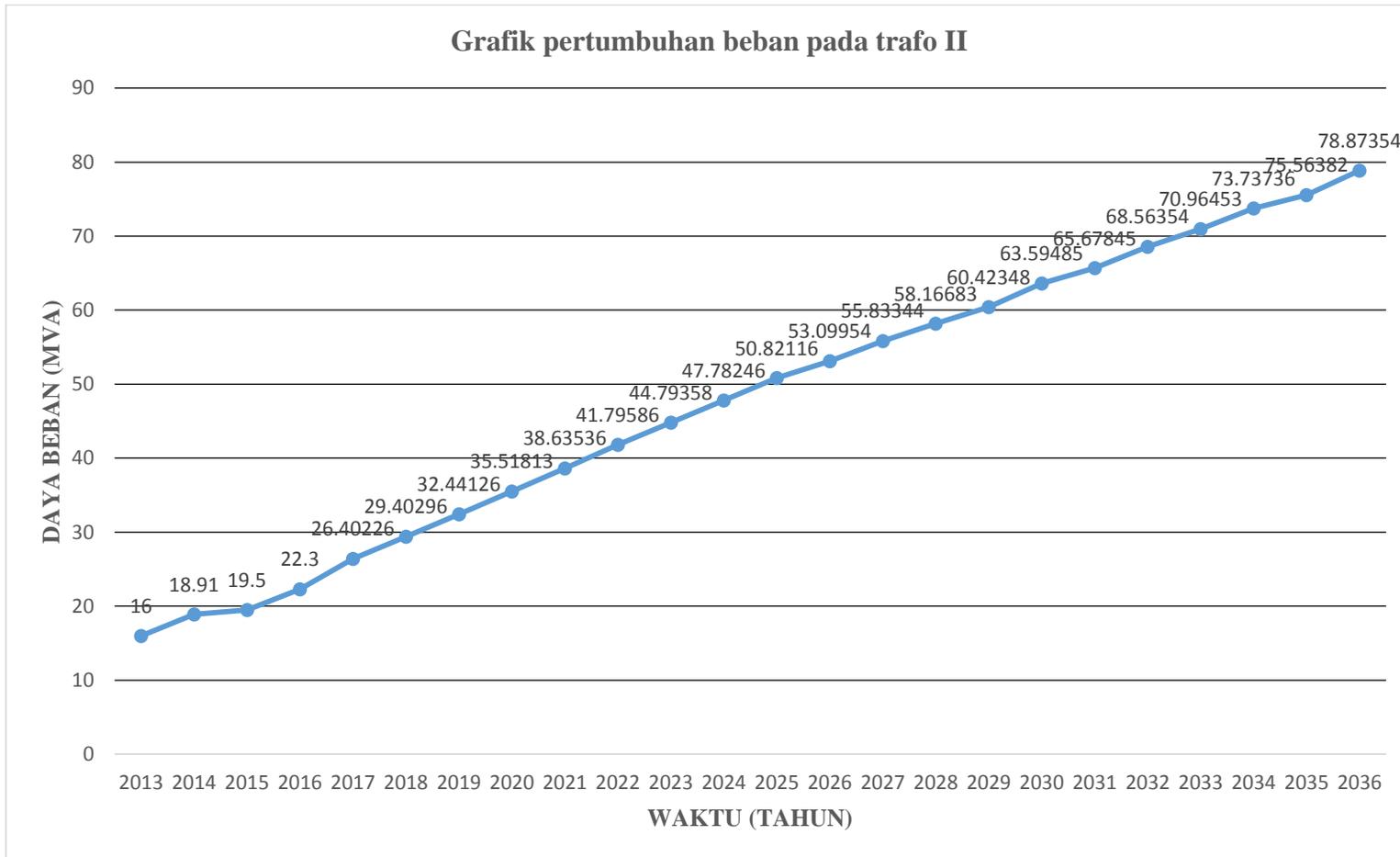
Pada tahun 2013 sampai tahun 2020 beban trafo masih dalam kategori beban ringan dengan batas ringan di tahun 2020 sebesar 35.51 MVA (59%), kemudian pada tahun 2021 hingga tahun 2024 beban trafo masih dalam batas beban optimal trafo, dengan puncak batas optimal di tahun 2024 sebesar 47.78 MVA (79%). Setelah memasuki tahun 2025 hingga tahun 2028 trafo sudah mengalami beban berat, dengan beban sebesar 58.16 MVA (96%). Pada tahun 2029 hingga 2036 beban trafo telah melebihi kapasitas trafo. Sehingga pada tahun 2030 sudah harus mengganti trafo dengan kapasitas yang lebih besar atau mengalihkan beberapa beban ke trafo I. solusi yang lain adalah dengan menambah trafo baru di Gardu Induk 150 KV Purbalingga.

Ketika beban mencapai batas maksimal dan melebihi kapasitas trafo maka perencanaan penambahan transformator harus segera dilakukan karena sifat beban yang tumbuh akan semakin tinggi dengan adanya pertumbuhan penduduk dan juga PDRB kabupaten purbalingga. Sehingga perlu adanya langkah pengawasan yang intens terhadap pertumbuhan beban trafo agar trafo tetap bekerja secara maksimal.

Karakteristik beban yang tumbuh dapat berubah apabila faktor yang mempengaruhi beban yaitu jumlah penduduk ataupun PDRB menurun drastis sehingga penurunan beban terjadi dengan jumlah yang signifikan.

Tabel 4.12 Hasil peramalan dengan metode regresi pada trafo II Gardu Induk 150 KV Purbalingga 60 MVA 20 tahun yang akan datang

Tahun	Beban (Y) (MVA)	Penduduk (X <sub>1</sub> ) (dalam ribuan)	PDRB (X <sub>2</sub> ) (dalam ribuan)	Pembebanan	Evaluasi toleransi
2013	16.00	884	12.778	27%	Beban ringan
2014	18.91	894	13.526	31%	Beban ringan
2015	19.50	903	14.255	32%	Beban ringan
2016	22.30	912	14.968	37%	Beban ringan
2017	26.40226	922	15.715	44%	Beban ringan
2018	29.40296	932	16.500	49%	Beban ringan
2019	32.44126	942	17.325	54%	Beban ringan
2020	35.51813	952	18.191	59%	Beban ringan
2021	38.63536	962	19.100	64%	Beban optimal
2022	41.79586	972	20.055	69%	Beban optimal
2023	44.79358	982	21.057	74%	Beban optimal
2024	47.78246	992	22.109	79%	Beban optimal
2025	50.82116	1003	23.214	84%	Beban berat
2026	53.09954	1014	24.373	85%	Beban berat
2027	55.83344	1025	25.591	91%	Beban berat
2028	58.16683	1036	26.871	96%	Beban berat
2029	60.42348	1047	28.214	100%	Overload
2030	63.59485	1059	29.624	105%	Overload
2031	65.67845	1071	31.105	108%	Overload
2032	68.56354	1083	32.660	113%	Overload
2033	70.96453	1095	34.293	116%	Overload
2034	73.73736	1107	36.007	121%	Overload
2035	75.56382	1119	37.807	125%	Overload
2036	78.87354	1131	39.897	130%	Overload



Gambar 4.6 Grafik pertumbuhan beban pada trafo II