

BAB IV

DATA DAN ANALISA DATA PENELITIAN

4.1 Data Penelitian

Berikut merupakan beberapa data penelitian yang digunakan dalam melakukan analisis penulisan tugas akhir, diantaranya sebagai berikut:

- a. Data beban puncak dari tahun 2013 hingga 2016 pada transformator 2 gardu induk 150 kV Ungaran dengan kapasitas daya sebesar 15 MVA.
- b. Data beban puncak setelah dilakukan *uprating* tahun 2017 pada transformator 2 gardu induk 150 kV Ungaran dengan kapasitas daya sebesar 60 MVA.
- c. Data beban puncak tahun 2013 hingga 2017 pada transformator 3 gardu induk 150 kV Ungaran dengan kapasitas daya sebesar 60 MVA.
- d. Data jumlah penduduk dan data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) kabupaten Semarang yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) kabupaten Semarang mulai tahun 2013 hingga 2016.

4.2 Analisa Data Penelitian

Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan dalam menganalisis dari sebuah penelitian yang sudah dilakukan, diantaranya:

- a. Menganalisis data beban puncak pada transformator.
- b. Menghitung beban terpakai pada transformator.
- c. Mengasumsikan serta menganalisa pertumbuhan penduduk dan PDRB.
- d. Membuat persamaan pendekatan metode regresi linier berganda.
- e. Memproyeksikan pembebanan untuk mengetahui batas kemampuan transformator dengan persamaan regresi linier berganda sebagai berikut:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

Keterangan:

a = konstanta.

y = variabel terikat/ tidak bebas.

$b_1, b_2 \dots b_k$ = koefisien regresi linier berganda.

$x_1, x_2 \dots x_k$ = variabel bebas.

Setelah melakukan penelitian pada gardu induk 150 kV Ungaran maka didapat data yang akan digunakan untuk memproyeksikan beban yaitu berupa beban puncak pada transformator 2 dan transformator 3 gardu induk 150 kV Ungaran. Berikut merupakan uraian data yang didapat pada gardu induk 150 kV Ungaran:

Tabel 4.1 Data Beban Puncak Transformator 2 (15 MVA)

Bulan	Beban Puncak Transformator 2 (15 MVA)			
	2013 (MW)	2014 (MW)	2015 (MW)	2016 (MW)
Januari	7,5	10	11	5,9
Februari	-	11	11,5	6
Maret	8	11	12	6
April	-	10	11,3	6
Mei	-	11	6	7
Juni	-	10,8	6	8
Juli	-	8,5	6	6

Tabel 4.1 Data Beban Puncak Transformator 2 (15 MVA)
(lanjutan)

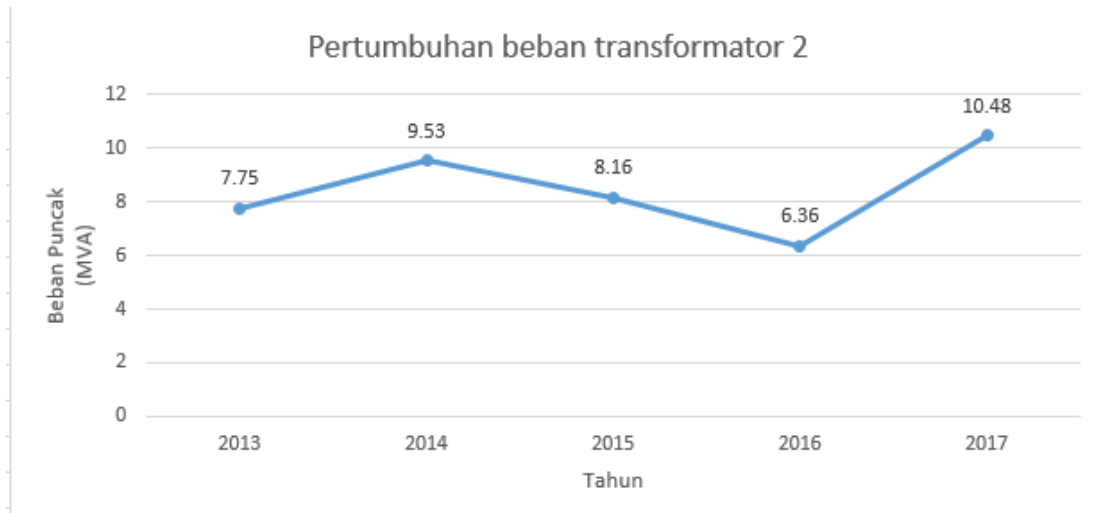
Bulan	Beban Puncak Transformator 2 (15 MVA)			
	2013 (MW)	2014 (MW)	2015 (MW)	2016 (MW)
Agustus	-	10	6	<i>Uprating</i>
September	-	6,1	-	<i>Uprating</i>
Oktober	-	6	-	<i>Uprating</i>
November	-	9	5,8	6
Desember	-	11	6	-
Beban Rata-rata	7,75	9,53	8,16	6,36

Tabel 4.2 Spesifikasi Transformator 2 (60 MVA)

Merk	UNINDO
Rating	42/ 60 MVA
Tahun pembuatan	2015
Jenis pendingin/ minyak	ONAN/ ONAF
No. seri	P060LED764
Frekuensi	50 Hz

Tabel 4.3 Data Beban Puncak Transformator 2 (60 MVA).

Bulan	Beban Puncak Transformator 2 (60 MVA)
	2017 (MW)
Januari	14
Februari	10,3
Maret	10
April	6,7
Mei	7,5
Juni	-
Juli	-
Agustus	3,5
September	5
Oktober	10,8
November	12
Desember	25
Beban Rata-rata	10,48



Gambar 4.1 Grafik pertumbuhan beban transformator 2

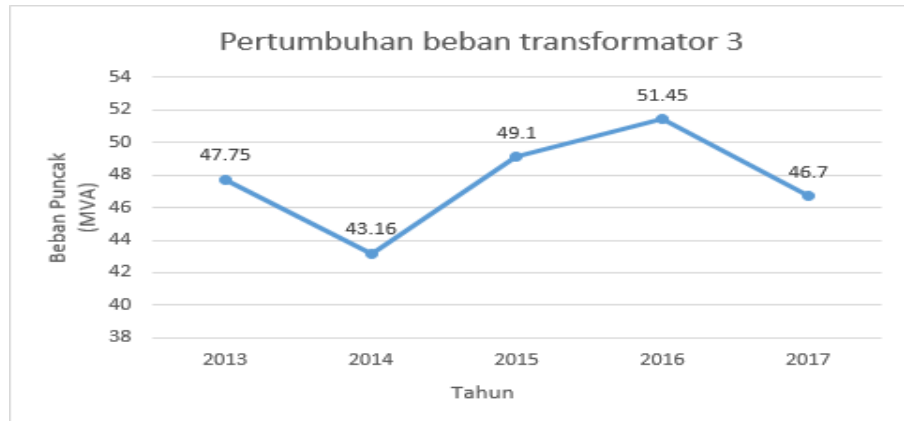
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai pertumbuhan beban transformator dari tahun 2013 hingga 2016 dengan kapasitas daya transformator sebesar 15 MVA. Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa beban transformator 2 setelah dilakukan *uprating* dengan kapasitas daya yang lebih besar, yaitu 60 MVA. Pertumbuhan beban dari tahun 2013 hingga 2017 telah ditunjukkan pada grafik 4.1 yang dapat dilihat bahwa beban mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut disebabkan karena tidak lengkapnya data yang didapat pada lokasi penelitian.

Tabel 4.4 Spesifikasi Transformator 3 (60 MVA)

Merk	XIAN
Rating	36/ 60 MVA
Tahun pembuatan	1995
Jenis pendingin/ minyak	ONAN/ ONAF
No. seri	A8 5006-A
Frekuensi	50 Hz

Tabel 4.5 Data Beban Puncak Transformator 3 (60 MVA)

Bulan	Beban Puncak Transformator 3 (60 MVA)				
	2013 (MW)	2014 (MW)	2015 (MW)	2016 (MW)	2017 MW
Januari	49	44	42	49	50
Februari	-	45	54	53	45
Maret	46,5	39	49	46	54
April	-	38	48	48	41
Mei	-	45	47	51	45
Juni	-	39	50	52	-
Juli	-	38	50	54	-
Agustus	-	44	47	56	48
September	-	43	-	52	54
Oktober	-	47	-	50	52
November	-	48	56	55	41
Desember	-	48	48	-	37
Beban Rata-rata	47,75	43,16	49,1	51,45	46,7



Gambar 4.2 Grafik pertumbuhan beban transformator 3

Pada tabel 4.2 menunjukkan pertumbuhan beban pada transformator 3 dengan kapasitas daya sebesar 60 MVA. Pertumbuhan beban dari tahun 2013 hingga 2017 telah ditunjukkan pada grafik 4.2 yang dapat dilihat bahwa beban mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut disebabkan karena tidak lengkapnya data yang didapat pada lokasi penelitian.

Tabel 4.6 Jumlah penduduk Kabupaten Semarang yang disupply GI 150 kV Ungaran

Tahun	Penduduk yang disuplai (orang)
2013	974115
2014	987597
2015	1000887
2016	1014198

Tabel 4.6 merupakan data pertumbuhan penduduk Kabupaten Semarang yang mendapat suplai energi listrik dari GI 150 kV Ungaran yang bersumber dari BPS Kabupaten Semarang. Data penduduk menjadi faktor dalam melakukan analisis prakiraan beban di GI 150 kV Ungaran.

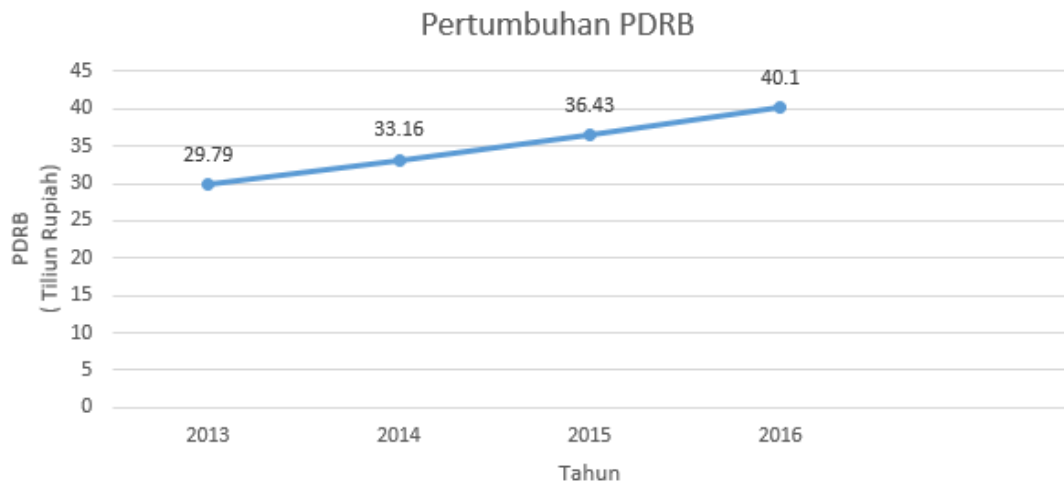


Gambar 4.3 Grafik penduduk yang disupply GI 150 kV Ungaran

Tabel 4.7 PDRB Kabupaten Semarang

Tahun	PDRB (Triliun rupiah)
2013	29,79
2014	33,16
2015	36,43
2016	40,1

Tabel 4.7 merupakan data pertumbuhan PDRB Kabupaten Semarang dari tahun 2013 hingga 2016 yang bersumber dari BPS Kabupaten Semarang dan akan menjadi pengaruh dalam memprakirakan beban di GI 150 kV Ungaran.



Gambar 4.4 Grafik PDRB Kabupaten Semarang

Dari data penduduk pada tabel 4.6 dan data PDRB pada tabel 4.7 maka dapat diasumsikan peningkatan jumlah penduduk dan PDRB Kabupaten Semarang pada setiap tahunnya. Perhitungan persentase pertumbuhan jumlah penduduk adalah sebagai berikut:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{\text{Penduduk}_t - \text{Penduduk}_{t-1}}{\text{Penduduk}_{t-1}} \times 100$$

- Persentase pertumbuhan jumlah penduduk 2013-2014:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{987597 - 974115}{974115} \times 100 = 1,38\%$$

- Persentase pertumbuhan jumlah penduduk 2014-2015:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{1000887 - 987597}{987597} \times 100 = 1,35\%$$

- Persentase pertumbuhan jumlah penduduk 2015-2016:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{1014198 - 100887}{100887} \times 100 = 1,33\%$$

Rata-rata jumlah pertumbuhan pertahun: $\frac{1,38\% + 1,35\% + 1,33\%}{3} = 1,35\%$

Dari hasil perhitungan di atas dapat diasumsikan bahwa jumlah pertumbuhan penduduk Kabupaten Semarang mengalami peningkatan sebesar 1,35% disetiap tahunnya, sehingga dapat dihitung kenaikan penduduk ditahun-tahun berikutnya dengan persamaan berikut:

$$Penduduk_t = (Penduduk_{t-1} \times R_{(t-1,t)}) + Penduduk_t$$

- Perhitungan penduduk tahun 2017:
(1014198 orang X 1,35%) + 1014198 orang = 1027890 orang
- Perhitungan penduduk tahun 2018:
(1027890 orang X 1,35%) + 1027890 orang = 1041766 orang
- Perhitungan penduduk tahun 2019:
(1041766 orang X 1,35%) + 1041766 orang = 1055830 orang
- Perhitungan penduduk tahun 2020:
(1055830 orang X 1,35%) + 1055830 orang = 1070084 orang

Sedangkan untuk mengetahui persentase kenaikan jumlah PDRB digunakan persamaan berikut:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{PDRB_t - PDRB_{t-1}}{PDRB_{t-1}} \times 100$$

- Persentase pertumbuhan jumlah PDRB 2013-2014:
 $R_{(t-1,t)} = \frac{33160,76 - 29789,07}{29789,07} \times 100 = 11,32\%$
- Persentase pertumbuhan jumlah penduduk 2013-2014:
 $R_{(t-1,t)} = \frac{36419,16 - 33160,76}{33160,76} \times 100 = 9,86\%$
- Persentase pertumbuhan jumlah penduduk 2013-2014:
 $R_{(t-1,t)} = \frac{40100,27 - 36419,16}{36419,16} \times 100 = 10,08\%$

Rata-rata jumlah pertumbuhan pertahun: $\frac{11,32\%+9,86\%+10,08\%}{3} = 10,42\%$

Dari hasil perhitungan di atas dapat diasumsikan bahwa jumlah pertumbuhan PDRB Kabupaten Semarang mengalami peningkatan sebesar 10,42% disetiap tahunnya, sehingga dapat dihitung kenaikan penduduk ditahun-tahun berikutnya dengan persamaan berikut:

$$PDRB_t = (PDRB_{t-1} \times R_{(t-1,t)}) + PDRB_t$$

➤ Perhitungan PDRB tahun 2017:

$$(Rp\ 40,1\ \text{Triliun} \times 10,42\%) + Rp\ 40,1\ \text{Triliun} = Rp\ 44,28\ \text{Triliun}$$

➤ Perhitungan PDRB tahun 2018:

$$(Rp\ 44,28\ \text{Triliun} \times 10,42\%) + Rp\ 44,28\ \text{Triliun} = Rp\ 48,89\ \text{Triliun}$$

➤ Perhitungan PDRB tahun 2019:

$$(Rp\ 48,9\ \text{Triliun} \times 10,42\%) + Rp\ 48,9\ \text{Triliun} = Rp\ 53,99\ \text{Triliun}$$

➤ Perhitungan PDRB tahun 2020:

$$(Rp\ 53,99\ \text{Triliun} \times 10,42\%) + Rp\ 53,99\ \text{Triliun} = Rp\ 59,61\ \text{Triliun}$$

Jadi, data keseluruhan penduduk dan PDRB untuk 15 tahun kedepan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Perhitungan pertumbuhan penduduk dan PDRB untuk 15 tahun mendatang

Tahun	Penduduk (orang)	PDRB (Triliun rupiah)
2013	974115	29,79
2014	987597	33,16
2015	1000887	36,43
2016	1014198	40,1

Tabel 4.8 Perhitungan pertumbuhan penduduk dan PDRB untuk 15 tahun mendatang

(lanjutan)

Tahun	Penduduk (orang)	PDRB (Triliun rupiah)
2017	1027890	44,28
2018	1041766	48,89
2019	1055830	53,99
2020	1070084	59,61
2021	1084530	65,82
2022	1099171	72,68
2023	1114010	80,26
2024	1129049	88,62
2025	1144291	97,85
2026	1159739	108,05
2027	1175396	119,31
2028	1191263	131,74
2029	1207345	145,47
2030	1223645	160,63
2031	1240164	177,36
2032	1256906	195,84

Dari data beban rata-rata pada tabel 4.1, tabel 4.3, tabel 4.5 dan tabel 4.8 asumsi penduduk serta PDRB, maka dapat diasumsikan kembali jumlah penduduk dan PDRB yang akan disuplai pada masing-masing transformator.

Asumsi jumlah penduduk yang disuplai energi listrik pada masing-masing transformator 2 dan 3:

Persamaan persentase beban rata-rata pada masing-masing transformator

$$\text{Beban tahun X} = \frac{\text{Beban transformator 2}}{\text{beban transformator 2} + \text{beban transformator 3}} \times 100\%$$

➤ Transformator 2

$$\text{Beban tahun 2013} = \frac{7,73}{7,73 + 47,75} \times 100\% = 13,93 \%$$

$$\text{Beban tahun 2014} = \frac{9,53}{9,53 + 43,16} \times 100\% = 18,09 \%$$

$$\text{Beban tahun 2015} = \frac{8,16}{8,16 + 49,1} \times 100\% = 14,25 \%$$

$$\text{Beban tahun 2016} = \frac{6,36}{6,36 + 51,45} \times 100\% = 11 \%$$

$$\text{Beban tahun 2017} = \frac{10,48}{10,48 + 46,7} \times 100\% = 18,33 \%$$

% Beban rata-rata =

$$\frac{13,93\% + 18,09\% + 14,25\% + 11\% + 18,33\%}{5}$$

$$= 15,12 \%$$

➤ Transformator 3

$$\text{Beban tahun 2013} = \frac{47,75}{7,73 + 47,75} \times 100\% = 86,07 \%$$

$$\text{Beban tahun 2014} = \frac{43,16}{7,73 + 43,16} \times 100\% = 81,91 \%$$

$$\text{Beban tahun 2015} = \frac{49,51}{7,73 + 46,7} \times 100\% = 85,75 \%$$

$$\text{Beban tahun 2016} = \frac{51,45}{7,73 + 46,7} \times 100\% = 89\%$$

$$\text{Beban tahun 2017} = \frac{46,7}{7,73 + 46,7} \times 100\% = 81,67\%$$

% Beban rata-rata

$$= \frac{86,07\% + 81,91\% + 85,75\% + 89\% + 81,67\%}{5}$$

$$= 84,88\%$$

Persamaan jumlah penduduk yang disuplai pada kedua transformator:

Penduduk tahun x

% beban transformator X total penduduk tahun x

➤ Transformator 2

$$\text{Penduduk tahun 2013} = 13,93\% \times 974115 \text{ orang} = 135723 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2014} = 18,09\% \times 987597 \text{ orang} = 178626 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2015} = 14,25\% \times 1000887 \text{ orang} = 142634 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2016} = 11\% \times 1014198 \text{ orang} = 111578 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2017} = 18,33\% \times 1027890 \text{ orang} = 188393 \text{ orang}$$

Untuk menghitung jumlah penduduk di tahun 2018 hingga 2037 menggunakan nilai persentase beban rata-rata dari tahun 2013 hingga 2017:

$$\text{Penduduk tahun 2018} = 15,12\% \times 1041766 \text{ orang} = 157516 \text{ orang}$$

➤ Transformator 3

$$\text{Penduduk tahun 2013} = 86,07\% \times 974115 \text{ orang} = 838392 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2014} = 81,91\% \times 987597 \text{ orang} = 808971 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2015} = 85,75\% \times 1000887 \text{ orang} = 858253 \text{ orang}$$

$$\text{Penduduk tahun 2016} = 89\% \times 1014198 \text{ orang} = 902620 \text{ orang}$$

Penduduk tahun 2017 = 81,67 % X 1027890 orang = 839497 orang

Untuk mengkitung jumlah penduduk di tahun 2018 hingga 2037 menggunakan nilai persentase beban rata-rata tahun 2013 sampai 2017:

Penduduk tahun 2018 = 84,88% X 1041766 orang = 884250 orang

Tabel 4.9 Asumsi penduduk yang mendapat suplai energi listrik dari masing-masing transformator

Tahun	Penduduk (orang)	Jumlah penduduk Di transformator 2 (orang)	Jumlah penduduk Di transformator 3 (orang)
2013	974115	135723	838392
2014	987597	178626	808971
2015	1000887	142634	858253
2016	1014198	111578	902620
2017	1027890	188393	839497
2018	1041766	157516	884250
2019	1055830	159642	896188
2020	1070084	161797	908287
2021	1084530	163982	920548
2022	1099171	166195	932976
2023	1114010	168439	945571
2024	1129049	170713	958336
2025	1144291	173018	971274
2026	1159739	175353	984386

Tabel 4.9 Asumsi penduduk yang mendapat suplai energi listrik dari masing-masing transformator
(lanjutan)

Tahun	Penduduk (orang)	Jumlah penduduk Di transformator 2 (orang)	Jumlah penduduk Di transformator 3 (orang)
2027	1175396	177721	997675
2028	1191263	1801120	1011143
2029	1207345	182551	1024794
2030	1223645	185016	1038629
2031	1240164	187514	1052650
2032	1256906	190045	1066861

Asumsi jumlah PDRB yang disuplai energi listrik pada masing-masing transformator 2 dan 3:

Persamaan jumlah PDRB yang disuplai pada kedua transformator:

PDRB tahun x =

$\% \text{ beban transformator } X \text{ total PDRB tahun } x$

➤ Transformator 2

PDRB tahun 2013 = 13,93294881 % X Rp 29,79 Triliun = Rp 4,50 Triliun

PDRB tahun 2014 = 18,08692351 % X Rp 33,16 Triliun = Rp 5,01 Triliun

PDRB tahun 2015 = 14,25078589 % X Rp 36,43 Triliun = Rp 5,51 Triliun

PDRB tahun 2016 = 11,00155682 % X Rp 40,1 Triliun = Rp 6,06 Triliun

PDRB tahun 2017 = 18,32808674 % X Rp 44,28 Triliun = Rp 6,70 Triliun

Untuk menghitung jumlah PDRB di tahun 2018 hingga 2037 menggunakan nilai persentase beban rata-rata pada tahun 2013 hingga 2017:

PDRB tahun 2018 = 15,12006036 % X Rp 48,89 Triliun = Rp 7,39 Triliun

➤ Transformator 3

PDRB tahun 2013 = 86,06705 % X Rp 29,79 Triliun = Rp 25,29 Triliun

PDRB tahun 2014 = 81,91308 % X Rp 33,16 Triliun = Rp 28,15 Triliun

PDRB tahun 2015 = 85,74921 % X Rp 36,43 Triliun = Rp 30,92 Triliun

PDRB tahun 2016 = 88,99844 % X Rp 40,1 Triliun = Rp 34,04 Triliun

PDRB tahun 2017 = 81,67191 % X Rp 44,28 Triliun = Rp 37,58 Triliun

Untuk menghitung PDRB ditahun 2018 hingga 2037 menggunakan nilai persentase beban rata-rata dari tahun 2013 sampai 2017:

PDRB tahun 2018 = 84,87994 % X Rp 48,89 Triliun = Rp 41,50 Triliun

Tabel 4.10 Asumsi PDRB yang mendapat suplai energi listrik dari masing-masing transformator

Tahun	PDRB (Triliun Rupiah)	Jumlah PDRB Di transformator 2 (dalam Triliun Rupiah)	Jumlah PDRB Di transformator 3 (Triliun Rupiah)
2013	29,79	4,50	25,29
2014	33,16	5,01	28,15
2015	36,43	5,51	30,92
2016	40,1	6,06	34,04
2017	44,28	6,70	37,58
2018	48,89	7,39	41,50
2019	53,99	8,16	45,83
2020	59,61	9,01	50,60

Tabel 4.10 Asumsi PDRB yang mendapat suplai energi listrik dari masing-masing transformator
(lanjutan)

Tahun	PDRB (Triliun Rupiah)	Jumlah PDRB Di transformator 2 (Triliun Rupiah)	Jumlah PDRB Di transformator 3 (Triliun Rupiah)
2021	65,82	9,95	55,87
2022	72,68	11	61,68
2023	80,26	12,14	68,12
2024	88,62	13,40	75,22
2025	97,85	14,79	83,06
2026	108,05	16,34	91,71
2027	119,31	18,04	101,27
2028	131,74	19,92	111,82
2029	145,47	22	123,47
2030	160,63	24,29	136,34
2031	177,36	26,82	150,54
2032	195,84	29,61	166,23

4.3 *Forecasting* Beban Transformator dan Faktor yang Mempengaruhinya

4.3.1 *Forecasting* Beban Transformator 2 GI 150 kV Ungaran

Tabel 4.11 Data faktor yang mempengaruhi transformator 2

Tahun	Rata-rata Beban (MVA) Y	Jumlah Penduduk (orang) X_1	PDRB (Triliun Rupiah) X_2
2013	7,73	135723	4,50
2014	9,53	178626	5,01
2015	8,16	142634	5,51
2016	6,36	111578	6,06
2017	10,48	188393	6,70

Dari tabel 4.9 dapat dilihat bahwa penduduk dan PDRB di Kabupaten Semarang menjadi faktor terhadap peningkatan beban transformator 2. Nilai rata-rata beban transformator 2 di GI 150 kV Ungaran pada tahun 2013 hingga 2017 tidak hanya mengalami kenaikan saja, akan tetapi juga mengalami penurunan. Hal tersebut diakibatkan karena data beban puncak yang di dapat dari GI 150 kV tidak lengkap.

Tabel 4.12 Perhitungan persamaan regresi transformator 2

Tahun	Y	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	Y ²	X ₁ * X ₂	X ₁ *Y	X ₂ *Y
2013	7,73	135,723	4,5	18420,73	20,25	59,75	610,75	1049,14	34,79
2014	9,53	178,626	5	31907,25	25,00	90,82	893,13	1702,31	47,65
2015	8,16	142,634	5,5	20344,46	30,25	66,59	784,49	1163,89	44,88
2016	6,36	111,578	6,1	12449,65	37,21	40,45	680,63	709,64	38,8
2017	10,48	188,393	6,7	35491,92	44,89	109,83	1262,23	1974,36	70,22
Total (Σ)	42,26	756,954	28	118614,01	157,60	367,44	4231,23	6599,33	236,33

Keterangan:

Y = Beban puncak

X₁ = Jumlah penduduk

X₂ = PDRB

$$\begin{aligned}\sum x_1^2 &= \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} \\ &= 118614,01 - \frac{(756,95)^2}{5} \\ &= 4018,1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_2^2 &= \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} \\ &= 157,6 - \frac{(28)^2}{5} \\ &= 3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum y^2 &= \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 367,44 - \frac{(42,26)^2}{5} \\ &= 10,3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_1y &= \sum X_1Y - \frac{\sum X_1(Y)}{n} \\ &= 6599,33 - \frac{756,95 (42,26)}{5} \\ &= 201,6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_2y &= \sum X_2Y - \frac{\sum X_2(Y)}{n} \\ &= 236,33 - \frac{28(42,26)}{5} \\ &= 1,4\end{aligned}$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 - \frac{\sum X_1(X_2)}{n}$$

$$= 4231,23 - \frac{756,95(28)}{5}$$

$$= 22,6$$

Maka:

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_2 y)(\sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2]}$$

$$= \frac{[(3)(201,6) - (1,4)(22,6)]}{[(4018,1)(3) - (22,6)]^2}$$

$$= 0,0497$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 y)(\sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2]}$$

$$= \frac{[(4018,1)(1,4) - (201,6)(22,6)]}{[(4018,1)(3) - (22,6)]^2}$$

$$= 0,076$$

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \sum X_1) - (b_2 \sum X_2)}{n}$$

$$= \frac{42,26 - (0,0497)(756,95) - (0,076)(28)}{5}$$

$$= 0,5$$

Setelah mendapatkan nilai b_1 , b_2 , dan a , maka dilakukan perhitungan prakiraan beban pada transformator 2 pada GI 150 Ungaran untuk 15 tahun yang akan datang dengan berdasarkan rumus regresi linier berganda:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

$$a = 0,5$$

$$b_1 = 0,0497$$

$$b_2 = 0,076$$

Perhitungan prakiraan beban:

$$\text{Beban tahun } x = a + (b_1 * \text{jumlah penduduk th } x) + (b_2 * \text{PDRB th } x)$$

➤ Beban 2018

$$\begin{aligned} &= 0,5 + (0,0497 \times 157,516) + (0,076 \times 7,39) \\ &= 8,9 \text{ MVA} \end{aligned}$$

➤ Beban 2019

$$\begin{aligned} &= 0,5 + (0,0497 \times 159,642) + (0,076 \times 8,16) \\ &= 9,1 \text{ MVA} \end{aligned}$$

➤ Beban 2020

$$\begin{aligned} &= 0,5 + (0,0497 \times 161,797) + (0,076 \times 90,1) \\ &= 9,2 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Perhitungan Persentase pembebanan transformator 2:

$$\% \text{ Pembebanan tahun } x = \frac{\text{Beban tahun } X}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2018} &= \frac{8,9 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2019} &= \frac{9,1 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2020} &= \frac{9,2 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 15\% \end{aligned}$$

Batas pembebanan transformator yang telah ditetapkan dalam SPLN No.50 Tahun 1997 dengan klasifikasi pembebanan transformator sebagai berikut:

0% - 60% = Beban ringan

60% - 80% = Beban optimal

80% - 100% = Beban berat

>100% = *Overload*

Tabel 4.13 bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan perbandingan hasil prakiraan beban transformator 2 untuk 15 tahun kedepan dengan standar yang digunakan adalah SPLN No.50 Tahun 1997.

Tabel 4.13 Hasil prakiraan beban transformator 2 untuk 15 tahun kedepan

Tahun	Penduduk	PDRB	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Kondisi
2013	135,723	4,5	7,59	50.60%	Beban ringan
2014	178,626	5,01	9,76	65%	Beban optimal
2015	142,634	5,51	8,01	53%	beban ringan
2016	111,578	6,06	6,51	43%	Beban ringan
2017	188,393	6,7	10,37	17%	Beban ringan
2018	157,516	7,39	8,9	15%	Beban ringan
2019	159,642	8,16	9,1	15%	Beban ringan
2020	161,797	9,01	9,2	15%	Beban ringan
2021	163,982	9,95	9,4	16%	Beban ringan
2022	166,195	11	9,6	16%	Beban ringan
2023	168,439	12,14	9,8	16%	Beban ringan
2024	170,713	13,4	10,0	17%	Beban ringan

Tabel 4.13 Hasil prakiraan beban transformator 2 untuk 15 tahun kedepan

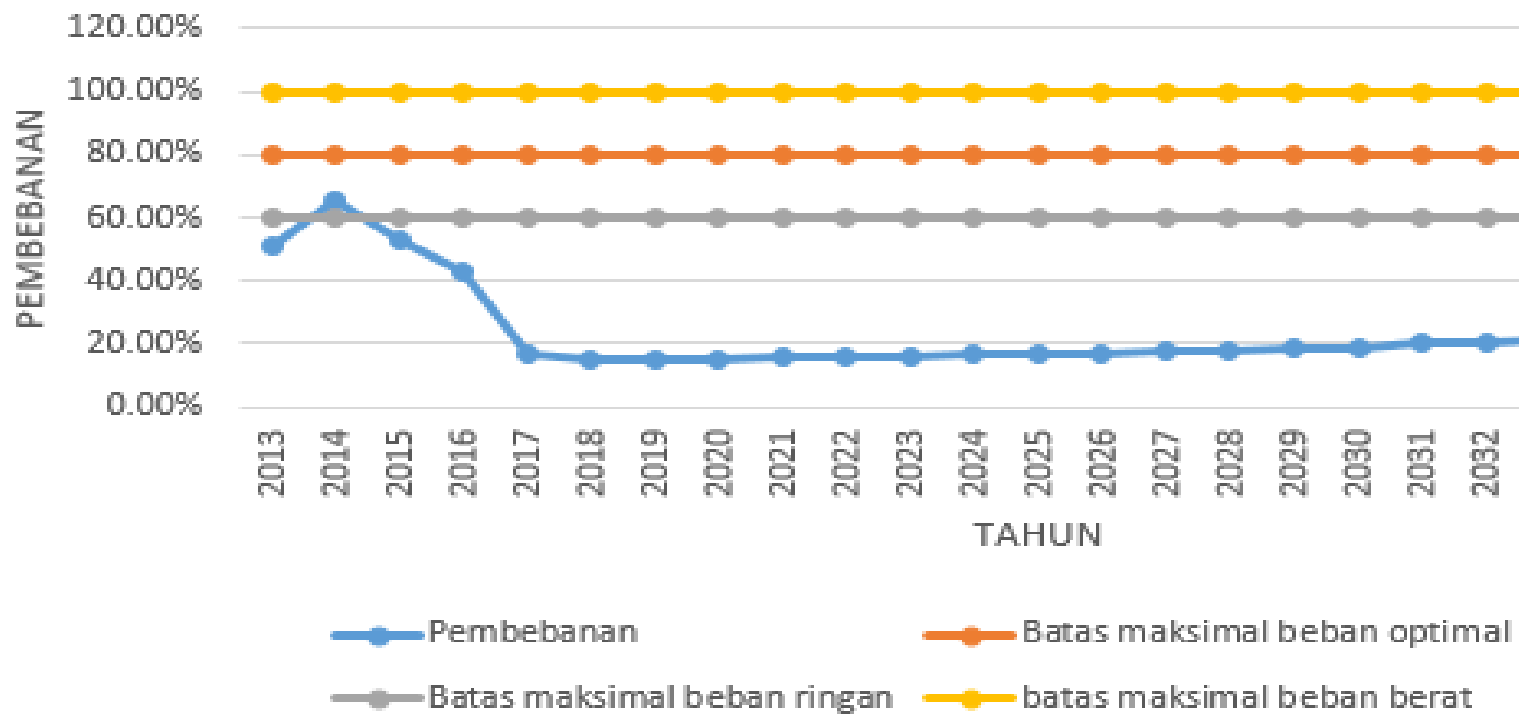
(lanjutan)

Tahun	Penduduk	PDRB	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Kondisi
2025	173,018	14,79	10,2	17%	Beban ringan
2026	175,353	16,34	10,5	17%	Beban ringan
2027	177,721	18,04	10,7	18%	Beban ringan
2028	180,12	19,92	11,0	18%	Beban ringan
2029	182,551	22	11,2	19%	Beban ringan
2030	185,016	24,29	11,5	19%	Beban ringan
2031	187,514	26,82	11,9	20%	Beban ringan
2032	190,045	29,61	12,2	20%	Beban ringan

Keterangan:

 = Transformator 15 MVA

 = Transformator 60 MVA



Gambar 4.5 Grafik pertumbuhan beban transformator 2 GI 150 kV Ungaran

Analisis hasil perhitungan:

Berdasarkan hasil perhitungan pada transformator 2 dapat dilihat pada tabel 4.13 bahwa di tahun 2013 hingga 2016, kapasitas transformator yang digunakan yaitu sebesar 15 MVA dan kemudian mulai awal tahun 2017 dilakukan penggantian transformator dengan kapasitas yang lebih besar yaitu 60 MVA. Menurut teknisi yang bekerja pada GI 150 kV Ungaran penggantian transformator 2 tersebut dilakukan bukan karena adanya penambahan beban, akan tetapi sengaja dilakukan pergantian transformator yang sudah lama ke transformator yang baru dan kapasitasnya diselaraskan dengan transformator 3.

Menurut hasil prakiraan, pada tahun 2018 hingga tahun 2032, kondisi transformator 2 masih dalam keadaan beban ringan yaitu nilai beban sebesar 8,9 MVA di tahun 2018 dengan persentase pembebanan sebesar 15%. Pada tahun 2032 nilai beban sebesar 12,2 MVA dengan persentase pembebanan sebesar 20%. Beban ringan pada transformator 2 ini sebanding dengan besarnya beban yang dibebankan pada transformator 2 tersebut. Dengan demikian, maka transformator 2 masih bisa melayani beban yang ada hingga tahun 2032 yang akan datang.

4.3.2 Forecasting Beban Transformator 3 GI 150 kV Ungaran

Tabel 4.14 Data faktor yang mempengaruhi transformator 3

Tahun	Rata-rata Beban (MVA) Y	Jumlah Penduduk (orang) X_1	PDRB (Triliun rupiah) X_2
2013	47,75	838392	25,29
2014	43,16	808971	28,15
2015	49,1	858253	30,92
2016	51,45	902620	34,04
2017	46,7	839497	37,58

Dari tabel 4.14 dapat dilihat bahwa penduduk dan PDRB di Kabupaten Semarang menjadi faktor terhadap peningkatan beban transformator 3. Nilai rata-rata beban transformator 3 di GI 150 kV Ungaran pada tahun 2013 hingga 2017 tidak hanya mengalami kenaikan saja, akan tetapi juga mengalami penurunan. Hal tersebut diakibatkan karena data beban puncak yang di dapat dari GI 150 kV tidak lengkap.

Tabel 4.15 Perhitungan persamaan regresi transformator 3

Tahun	Y	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	y ²	X ₁ *X ₂	X ₁ *Y	X ₂ *Y
2013	47,75	838,392	25,29	702901,15	639,58	2280,06	21202,93	40033,22	1207,6
2014	43,16	808,971	28,15	654434,08	792,42	1862,79	22772,53	34915,19	1214,95
2015	49,1	858,253	30,92	736598,21	956,05	2410,81	26537,18	42140,22	1518,17
2016	51,45	902,62	34,04	814722,86	1158,72	2647,1	30725,18	46439,8	1751,36
2017	46,7	839,497	37,58	704755,21	1412,26	2180,89	31548,30	39204,51	1754,99
Total (Σ)	238,16	4247,733	156	3613411,51	4959,03	11381,65	132786,13	202732,9	7447,068

$$\begin{aligned}\sum x_1^2 &= \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} \\ &= 3613411.514 - \frac{(4247.733)^2}{5} \\ &= 4018,1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_2^2 &= \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} \\ &= 4959,03 - \frac{(156)^2}{5} \\ &= 93,1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum y^2 &= \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \\ &= 11381.65 - \frac{(238.16)^2}{5} \\ &= 37,6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_1y &= \sum X_1Y - \frac{\sum X_1Y}{n} \\ &= 202732.9 - \frac{4247.733(238.16)}{5} \\ &= 404,9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum x_2y &= \sum X_2Y - \frac{\sum X_2Y}{n} \\ &= 7447,068 - \frac{156(238.16)}{5} \\ &= 17,4\end{aligned}$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 - \frac{\sum X_1X_2}{n}$$

$$= 132786,13 - \frac{4247.733 (156)}{5}$$

$$= 273,9$$

Maka:

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_2 y)(\sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2]}$$

$$= \frac{[(93,1)(404,9) - (17,4)(273,9)]}{[(4018,1)(93,1) - (273,9)^2]}$$

$$= 0,089$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 y)(\sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2]}$$

$$= \frac{[(4081,1)(17,4) - (404,9)(273,9)]}{[(4018,1)(93,1) - (273,9)^2]}$$

$$= -0,063$$

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \sum X_1) - (b_2 \sum X_2)}{n}$$

$$= \frac{238.16 - (0,089)(4247.733) - (-0,063)(156)}{5}$$

$$= -26,3$$

Setelah mendapatkan nilai b_1 , b_2 , dan a , maka dilakukan perhitungan prakiraan beban pada transformator 2 pada GI 150 Ungaran untuk 15 tahun yang akan datang dengan berdasarkan rumus regresi linier berganda:

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

$$a = -26,3$$

$$b_1 = 0,089$$

$$b_2 = -0,063$$

Perhitungan prakiraan beban:

$$\text{Beban tahun } X = a + (b_1 * \text{jumlah penduduk th } X) + (b_2 * \text{PDRB th } X)$$

➤ Beban 2018

$$= -26,3 + (0,089 * 884,25) + (-0,063 * 41,5)$$

$$= 49,8 \text{ MVA}$$

➤ Beban 2019

$$= -26,3 + (0,089 * 896,118) + (-0,063 * 45,83)$$

$$= 50,6 \text{ MVA}$$

➤ Beban 2020

$$= -26,3 + (0,089 * 908,287) + (-0,063 * 50,6)$$

$$= 51,4 \text{ MVA}$$

Perhitungan Persentase pembebanan transformator 2:

$$\% \text{ Pembebanan tahun } x = \frac{\text{Beban tahun } X}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2018} &= \frac{49,8 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 83\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2019} &= \frac{50,6 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 84\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Pembebanan tahun 2020} &= \frac{51,4 \text{ MVA}}{60 \text{ MVA}} \times 100\% \\ &= 86\% \end{aligned}$$

Batas pembebanan transformator yang telah ditetapkan dalam SPLN No.50 Tahun 1997 dengan klasifikasi pembebanan transformator sebagai berikut:

- 0% - 60% = Beban ringan
- 60% - 80% = Beban optimal
- 80% - 100% = Beban berat
- >100% = *Overload*

Tabel 4.16 bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan perbandingan hasil prakiraan beban transformator 2 untuk 15 tahun kedepan dengan standar yang digunakan adalah SPLN No.50 Tahun 1997.

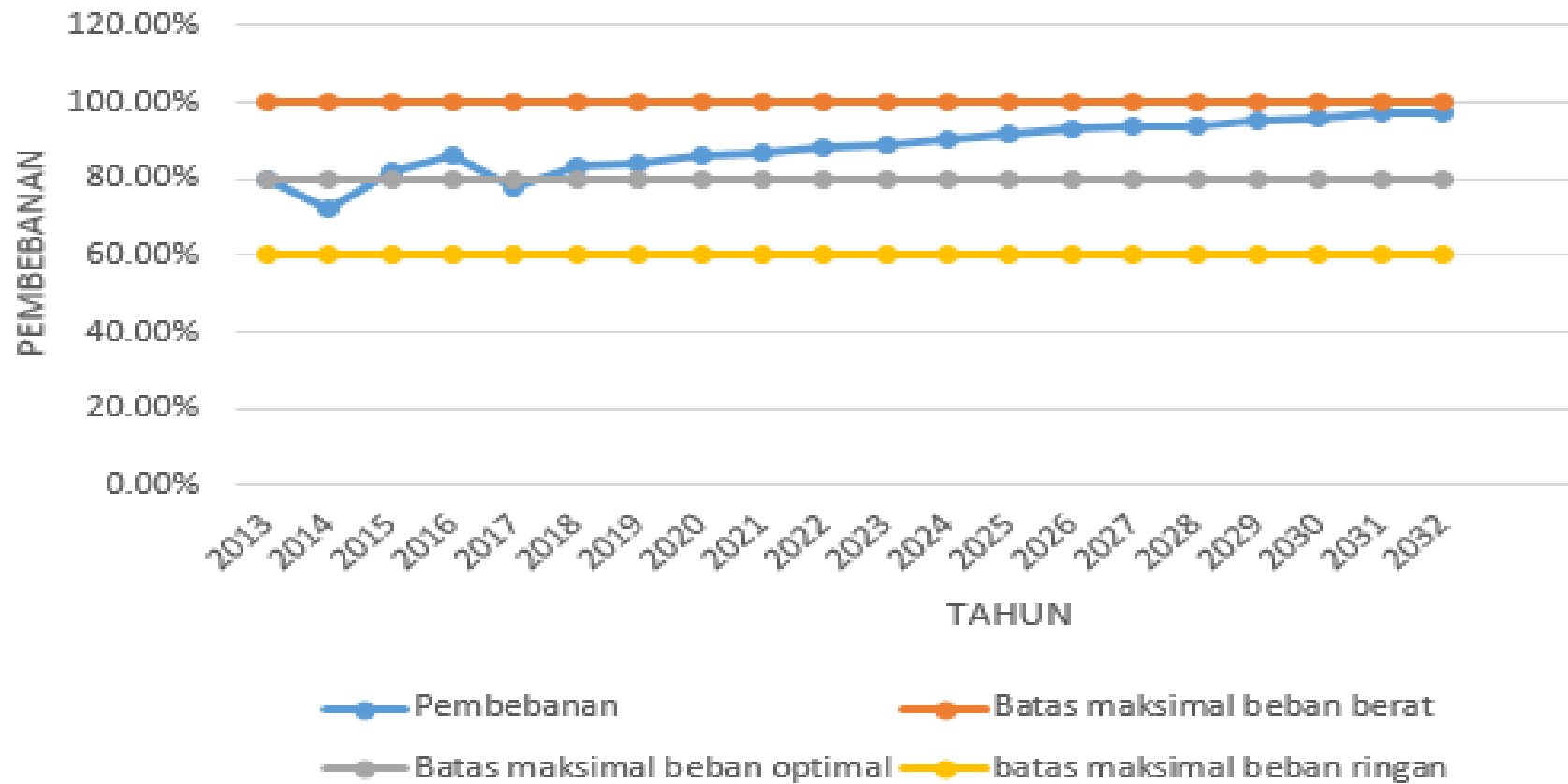
Tabel 4.16 Hasil prakiraan beban transformator 3 untuk 15 tahun kedepan

Tahun	Penduduk	PDRB	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Kondisi
2013	838,392	25,29	47,75	79.58%	Beban optimal
2014	808,971	28,15	43,16	72%	Beban optimal
2015	858,253	30,92	49,1	82%	Beban berat
2016	902,620	34,04	51,45	86%	Beban berat
2017	839,497	37,58	46,7	78%	Beban optimal
2018	884,25	41,5	49,8	83%	Beban Berat
2019	896,188	45,83	50,6	84%	Beban berat
2020	908,287	50,6	51,4	86%	Beban berat
2021	920,548	55,87	52,1	87%	Beban berat
2022	932,976	61,68	52,9	88%	Beban berat
2023	945,571	68,12	53,6	89%	Beban berat
2024	958,336	75,22	54,3	90%	Beban berat

Tabel 4.16 Hasil prakiraan beban transformator 3 untuk 15 tahun kedepan

(lanjutan)

Tahun	Penduduk	PDRB	Beban (MVA)	Pembebanan (%)	Kondisi
2025	971,274	83,06	54,9	92%	Beban berat
2026	984,386	91,71	55,5	93%	Beban berat
2027	997,675	101,27	56,1	94%	Beban berat
2028	1011,143	111,82	56,7	94%	Beban berat
2029	1024,794	123,47	57,1	95%	Beban berat
2030	1038,629	136,34	57,6	96%	Beban berat
2031	1052,65	150,54	57,9	97%	Beban berat
2032	1066,861	166,23	58,2	97%	Beban berat



Gambar 4.6 Grafik pertumbuhan beban transformator 3 GI 150 kV Ungaran

Aalisis perhitungan:

Berdasarkan hasil perhitungan pada transformator 3 dapat dilihat pada tabel 4.16 bahwa di tahun 2013 hingga 2017, kapasitas transformator yang digunakan yaitu sebesar 60 MVA. Menurut hasil prakiraan, pada tahun 2018 hingga tahun 2032, kondisi transformator 3 sudah dalam keadaan beban berat yaitu nilai beban sebesar 49,8 MVA di tahun 2018 dengan persentase pembebanan sebesar 83%. Pada tahun 2032 nilai beban sebesar 58,2 MVA dengan persentase pembebanan sebesar 97%. Beban berat yang terjadi pada transformator 3 ini sebanding dengan besarnya beban yang dibebankan pada transformator 3 tersebut.

Dampak beban berat yang terjadi pada transformator akan berakibat pada susut umur transformator tersebut. Hal tersebut terjadi ketika semakin besar beban yang dilayani maka sebanding dengan kenaikan panas pada lilitan kawat dan inti transformator. Dampak dari kenaikan panas mengakibatkan umur pada isolator lilitan kawat akan berkurang apabila suhu pada lilitan melebihi dari spesifikasi lilitan yang ada. Untuk menghindari terjadinya panas berlebih pada transformator maka dapat dilakukan rekonfigurasi transformator. Rekonfigurasi dapat dilakukan dengan cara membagi pembebanan pada transformator 2 dan 3 secara rata (50% : 50%). Dengan dilakukannya rekonfigurasi diharapkan pada transformator 2 dan 3 mendapat pembebanan yang seimbang dan kondisi transformator tidak akan mengalami kenaikan panas yang timbul akibat beban berat.