

BAB IV

DATA DAN ANALISA DATA PENELITIAN

4.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam mengevaluasi kemampuan transformator Gardu Induk 150 kV Purworejo 20 tahun mendatang adalah data pemakaian energi listrik tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 pada transformator, data kependudukan dan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) Kabupaten Purworejo tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 yang diperoleh dari BPS Kabupaten Purworejo dan data beban *feeder* wilayah Purworejo – Kutoarjo yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) APJ Magelang.

4.2. Analisa Data Penelitian

Analisa data penelitian diawali dengan menganalisa dan mengasumsikan pertumbuhan penduduk dan PDRB, menganalisa beban puncak tertinggi, menghitung pemakaian beban dalam MVA pada transformator, membuat persamaan pendekatan metode regresi linier berganda, memprakirakan pembebanan untuk mengetahui batas kemampuan transformator. Dengan persamaan regresi linier berganda yaitu :

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

Keterangan :

Y = Variabel terikat / tidak bebas

$X_1, X_2 \dots X_K$ = Variabel bebas

$b_1, b_2 \dots b_K$ = Koefisien regresi linier berganda

a = Konstanta

Beberapa faktor untuk meramalkan beban pada Gardu Induk 150 kV Purworejo yaitu Pertumbuhan Penduduk, PDRB dan Data beban puncak di Gardu Induk 150 kV Purworejo. Maka diperoleh data pertumbuhan penduduk dan PDRB dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 dari BPS Kabupaten Purworejo sehingga dapat memprakiraan pertumbuhan penduduk dan PDRB hingga 20 tahun mendatang yaitu sebagai berikut ini :

Tabel 4.1 Data Penduduk dan PDRB Kabupaten Purworejo

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan)	PDRB (Juta Rupiah)
2010	697	8,5
2011	700	9,0
2012	703	9,4
2013	706	9,9
2014	708	10,3
2015	710	10,8

Menghitung persentase kenaikan PDRB dan Penduduk setiap tahun dari data BPS Kabupaten Purworejo.

Perhitungan Persentase Kenaikan PDRB

$$\% \text{ Kenaikan PDRB} = \frac{\sum \text{PDRB tahun } n - \sum \text{PDRB tahun } n-1}{\sum \text{PDRB tahun } n-1} * 100 \%$$

$$\% \text{ Kenaikan PDRB 2010-2011} = \frac{9,0 - 8,5}{8,5} * 100\% = 5,88 \%$$

Tabel 4.2 Persentase Kenaikan PDRB per tahun

Tahun	Persentase (%)
2010 – 2011	5,88
2011 – 2012	4,44
2012 – 2013	5,32
2013 – 2014	4,04
2014 – 2015	4,85

$$\text{Rata-rata kenaikan PDRB setiap tahun} = \frac{5,88 + 4,44 + 5,32 + 4,04 + 4,85}{5} = 4,91 \%$$

Perhitungan Persentase Kenaikan Jumlah Penduduk

$$\% \text{ Kenaikan } \sum \text{ Penduduk} = \frac{\sum \text{Penduduk tahun } n - \sum \text{Penduduk tahun } n-1}{\sum \text{Penduduk tahun } n-1} * 100 \%$$

$$\% \text{ Kenaikan Penduduk 2010-2011} = \frac{700 - 697}{697} * 100\% = 0,43 \%$$

Tabel 4.3 Persentase Kenaikan Σ Penduduk per tahun

Tahun	Persentase (%)
2010 – 2011	0,43
2011 – 2012	0,43
2012 – 2013	0,43
2013 – 2014	0,28
2014 – 2015	0,28

$$\text{Rata-rata kenaikan } \Sigma \text{ Penduduk per tahun} = \frac{0,43 + 0,43 + 0,43 + 0,28 + 0,28}{5} = 0,37 \%$$

Diasumsikan pertumbuhan penduduk setiap tahun meningkat sebesar 0,37 % dan PDRB setiap tahun meningkat sebesar 4,91 % yang berdasarkan pada Data Penduduk dan PDRB BPS Kabupaten Purworejo Tahun 2010 sampai dengan 2015.

Perhitungan pertumbuhan penduduk tahun x =

$$(\Sigma \text{ penduduk tahun sebelum } x * 0,37 \%) + \Sigma \text{ penduduk tahun sebelum } x =$$

$$\text{Penduduk tahun 2016} = (710 * 0,37 \%) + 710 = 712,63$$

Perhitungan pertumbuhan PDRB tahun x =

$$(\Sigma \text{ PDRB tahun sebelum } x * 4,91 \%) + \Sigma \text{ PDRB tahun sebelum } x =$$

$$\text{PDRB tahun 2016} = (10,8 * 4,91 \%) + 10,8 = 11,33$$

Maka diperoleh data jumlah penduduk dan PDRB hingga 20 tahun mendatang sebagai berikut :

Tabel 4.4 Perhitungan Prakiraan Penduduk dan PDRB 20 tahun mendatang

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan)	PDRB (Juta Rupiah)
2016	712,63	11,33
2017	715,26	11,89
2018	717,91	12,47
2019	720,57	13,08
2020	723,23	13,72
2021	725,91	14,40
2022	728,59	15,11
2023	731,29	15,85
2024	734,00	16,63
2025	736,71	17,44
2026	739,44	18,30
2027	742,17	19,20
2028	744,92	20,14
2029	747,68	21,13
2030	750,44	22,17

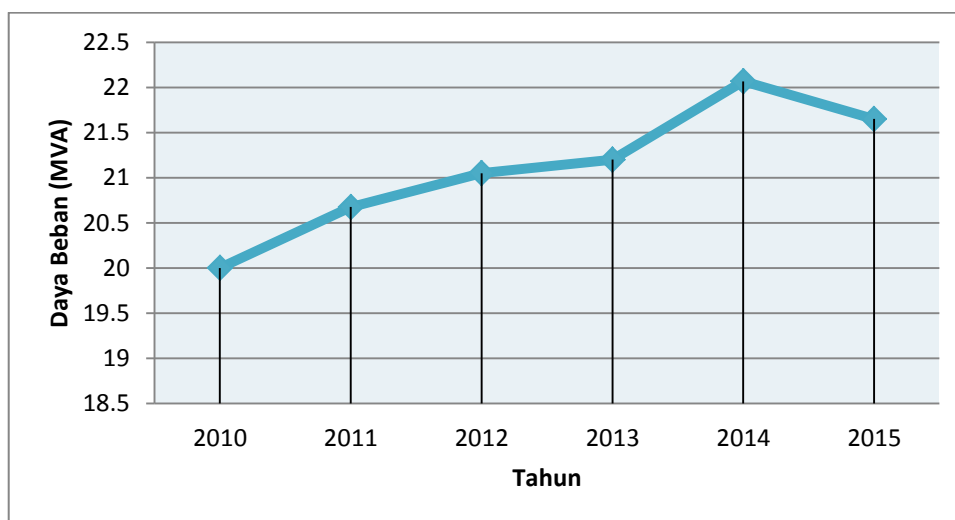
2031	753,22	23,25
2032	756,01	24,40
2033	758,80	25,59
2034	761,61	26,85
2035	764,43	28,17

Dari penelitian yang dilakukan di Gardu Induk Purworejo 150 kV, didapat data yang digunakan untuk menghitung prakiraan beban puncak yaitu data beban puncak setiap bulan dari tahun 2010 sampai dengan 2015. Berikut uraian beban puncak pada transformator tenaga 1 dan 2 pada Gardu Induk Purworejo 150 kV :

Tabel 4.5 Data Beban Puncak Transformator 1 30 MVA

Bulan	Beban Transformator (MVA)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Januari	19.6	20.5	20.8	23	21.1	21.2
Februari	20.4	20.8	19.5	23.8	21.6	21.4
Maret	20.1	20.6	21.5	23.8	21.8	21.6
April	19.3	19.8	20.4	23.1	21.9	21.6
Mei	19.9	20.1	20.6	24	22.2	21.4
Juni	19	19.4	20.9	23.4	22	21.4
Juli	19.4	20.9	21.4	22.8	23.7	21.5
Agustus	20.2	22.2	21.1	15.3	23	21.8

September	20.1	21.8	22.4	16.7	22.3	22
Oktober	20.6	20.8	20.5	16	22.3	22.8
November	20.6	20.6	20.3	21.1	21	21.6
Desember	20.8	20.6	23.2	21.4	21.9	21.5
Total	240	248.1	252.6	254.4	264.8	259.8
Rata-rata	20	20.7	21.05	21.2	22.07	21.65



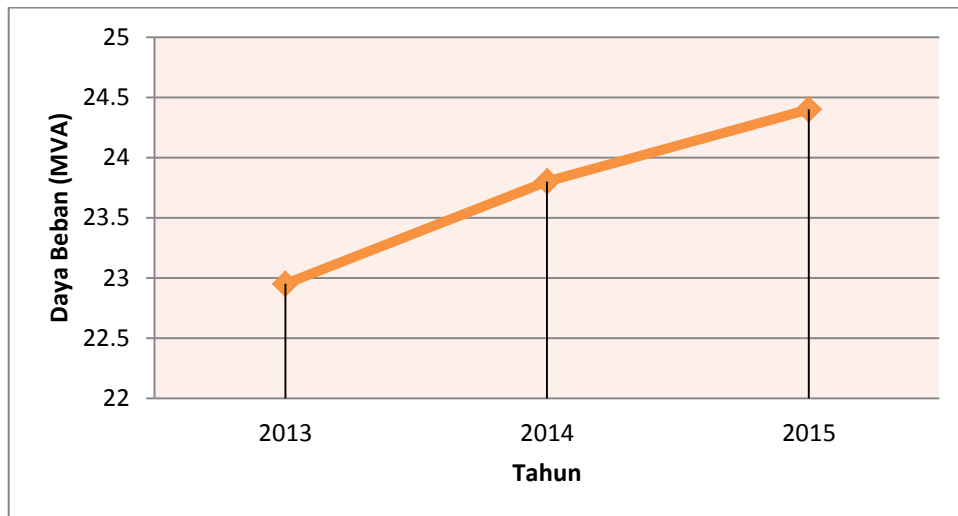
Gambar 4.1 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator 1

Datasheet transformator tenaga unit 1 30 MVA

Merk : Asea Brown Boveri
Tipe : SD0R 30000 / 170
No Seri : 12185945
Tahun Pembuatan : 1989
Tipe Pendingin : ONAN
Frekuensi : 50 Hz

Tabel 4.6 Data Beban Puncak Transformator 2 60 MVA

Bulan	Beban Transformator (MVA)		
	2013	2014	2015
Januari	17	23.7	23.2
Februari	17.7	24.4	24.5
Maret	17.7	23.5	24.8
April	17.3	23.4	25.3
Mei	17.6	23.6	23.4
Juni	17.4	23.7	23.6
Juli	40.3	23.8	23.6
Agustus	27.8	23.5	24.2
September	26.7	23.9	25.6
Oktober	27.8	24.6	25.6
November	27.4	23.8	24.4
Desember	20.7	23.7	24.6
Total	275.4	285.6	292.8
Rata-rata	22.95	23.8	24.4



Gambar 4.2 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator 2

Datasheet transformator tenaga unit 2 60 MVA

Merk : Unindo
 Tipe : P060LE673-15
 Tahun Pembuatan : 2011
 Tipe Pendingin : ONAN / ONAF
 Frekuensi : 50 Hz

Adapun cara untuk mengetahui presentase pembebanan transformator dalam tiap tahun untuk mengklasifikasikan pembebanan transformator, maka dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{Pembelian Trafo} = \frac{Y_x}{K_t} \times 100 \%$$

Keterangan :

Y_x : Pembebanan pada tahun x (MVA)

K_t : Kapasitas Transformator (MVA)

Berdasarkan SPT PLN No. 50 Tahun 1997, batas optimal pembebanan transformator berada pada nilai 60 % sampai dengan 80 %. Sedangkan pada kondisi beban berlebih (*overload*) akan menyebabkan panas berlebih yang akan beresiko transformator terbakar selain itu akan menimbulkan kerugian akibat *losses* daya transformator tersebut

Klasifikasi pembebanan transformator dapat dibagi menjadi 4, yaitu

0 – 60 % = Beban Ringan

60 – 80 % = Beban Optimal

80 – 100 % = Beban Berat

>100 % = *Overload*

4.3. Prakiraan Beban Transformator Tenaga dengan Metode Regresi Linier Berganda

4.3.1. Prakiraan Beban Transformator 1 30 MVA GI 150 kV Purworejo

Berdasarkan data yang diperoleh dari Gardu Induk Purworejo dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Purworejo, pertumbuhan penduduk di Purworejo sekitar 0,5% sedangkan kenaikan nilai PDRB Kabupaten Purworejo setiap tahun sekitar 5%. Sehingga, beban di Gardu Induk Purworejo akan bertambah setiap tahun dengan seiringnya pertumbuhan penduduk serta meningkatnya Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Purworejo.

Gardu Induk Purworejo sudah memiliki 2 (Dua) Transformator sebelum tahun 2010, sehingga ada pembagian beban di Transformator 1 dan 2. Dengan rincian Transformator 1 dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB Kab Purworejo begitu juga Transformator 2 juga dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB Kab Purworejo.

Tabel 4.7 Data beban puncak dan faktor yang diketahui

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan) (X₁)	PDRB (Juta Rupiah) (X₂)	Beban (MVA) (Y)
2010	348,5	4,3	20
2011	350	4,5	20,68
2012	351,5	4,7	21,05
2013	353	4,9	21,2
2014	354	5,2	22,07
2015	355	5,4	21,87

Tabel 4.8 Perhitungan Regresi Linier Berganda Transformator 1 30 MVA GI Purworejo

Tahun	Y (Beban)	X₁ (Penduduk)	X₂ (PDRB)	X₁²	X₂²	Y²	X₁X₂	X₁Y	X₂Y
2010	20	348,5	4,3	121452,25	18,49	400	1498,55	6970	86
2011	20,68	350	4,5	122500	20,25	427,66	1575	7238	93,06
2012	21,05	351,5	4,7	123552,25	22,09	443,10	1652,05	7399,08	98,93
2013	21,2	353	4,9	124609	24,01	449,44	1729,7	7483,6	103,88
2014	22,07	354	5,2	125316	27,04	487,08	1840,8	7812,78	114,76
2015	21,65	355	5,4	126025	29,16	468,72	1917	7685,75	116,91
Σ	126,65	2112	29	743454,5	141,04	2676,01	10213,1	44589,21	613,55

$$\sum x_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} = 743454,5 - \frac{(2112)^2}{6} = 30,5$$

$$\sum x_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} = 141,04 - \frac{(29)^2}{6} = 0,87$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 2676,01 - \frac{(126,65)^2}{6} = 2,64$$

$$\sum x_1y = \sum X_1Y - \frac{(\sum X_1 \cdot \sum Y)}{n} = 44589,21 - \frac{(2112 \cdot 126,65)}{6} = 8,41$$

$$\sum x_2y = \sum X_2Y - \frac{(\sum X_2 \cdot \sum Y)}{n} = 613,55 - \frac{(29 \cdot 126,65)}{6} = 1,41$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 - \frac{(\sum X_1 \cdot \sum X_2)}{n} = 10213,1 - \frac{(2112 \cdot 29)}{6} = 5,1$$

Maka diperoleh persamaan b_1 , b_2 dan a sebagai berikut :

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2 \times \sum x_1y) - (\sum x_2y \times \sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} = \frac{(0,87 \times 8,41) - (1,41 \times 5,1)}{(30,5 \times 0,87) - (5,1)^2} = 0,26$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2 \times \sum x_2y) - (\sum x_1y \times \sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} = \frac{(30,5 \times 1,41) - (8,41 \times 5,1)}{(30,5 \times 0,87) - (5,1)^2} = 0,09$$

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \cdot \sum X_1) - (b_2 \cdot \sum X_2)}{6}$$

$$= \frac{(126,65) - (0,26 \times 2112) - (0,09 \times 29)}{6} = -70,88$$

Rumus Regresi Linier Berganda yang akan digunakan untuk menghitung prakiraan pertumbuhan beban transformator di Gardu Induk Purworejo 20 tahun mendatang yaitu :

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

diketahui :

$$a = -70,88$$

$$b_1 = 0,26$$

$$b_2 = 0,09$$

- Beban Tahun 2016 = $-70,88 + (0,26 \times 356,31) + (0,09 \times 5,67) = 22,27 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{22,27}{30} \times 100\% = 74,24\% \text{ (Beban Optimal)}$$

- Beban Tahun 2025 = $-70,88 + (0,26 \times 368,36) + (0,09 \times 8,72) = 25,68 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{25,68}{30} \times 100\% = 85,59\% \text{ (Beban Berat)}$$

- Beban Tahun 2035 = $-70,88 + (0,26 \times 382,21) + (0,09 \times 14,08) = 29,76 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{29,76}{30} \times 100\% = 99,21\% \text{ (Beban Berlebih / Overload)}$$

Analisis Hasil Perhitungan

Evaluasi Transformator berdasarkan Standart PLN No. 50 Tahun 1997 tentang batas optimal pembebanan transformator dari 60% sampai dengan 80% dari kapasitas transformator, maka batas optimal pembebanan optimal Transformator 1 30 MVA Gardu Induk 150 kV Purworejo adalah 24 MVA.

Berdasarkan perhitungan prakiraan / prakiraan pertumbuhan beban transformator dengan menggunakan metode regresi linier berganda, maka pertumbuhan beban pada Transformator 1 30 MVA Gardu Induk 150 kV Purworejo selalu meningkat setiap tahun.

Pada tahun 2016 sampai dengan 2020 beban transformator masih dalam beban optimal. Kemudian, pada tahun 2021 sampai dengan 2035 transformator dalam keadaan beban berat, sehingga pada tahun 2021 pihak PT. PLN APP Salatiga sudah mulai mempersiapkan *Up Rating* transformator 1 atau menambahkan transformator baru sehingga beban dapat dibagi ke transformator baru tersebut.

Dengan melihat hasil prakiraan beban, saat masuk pada kondisi beban berat yaitu tahun 2021 akan lebih baiknya jika PT. PLN App Salatiga mulai mempersiapkan *Up Rating* / mengganti transformator dengan kapasitas lebih besar.

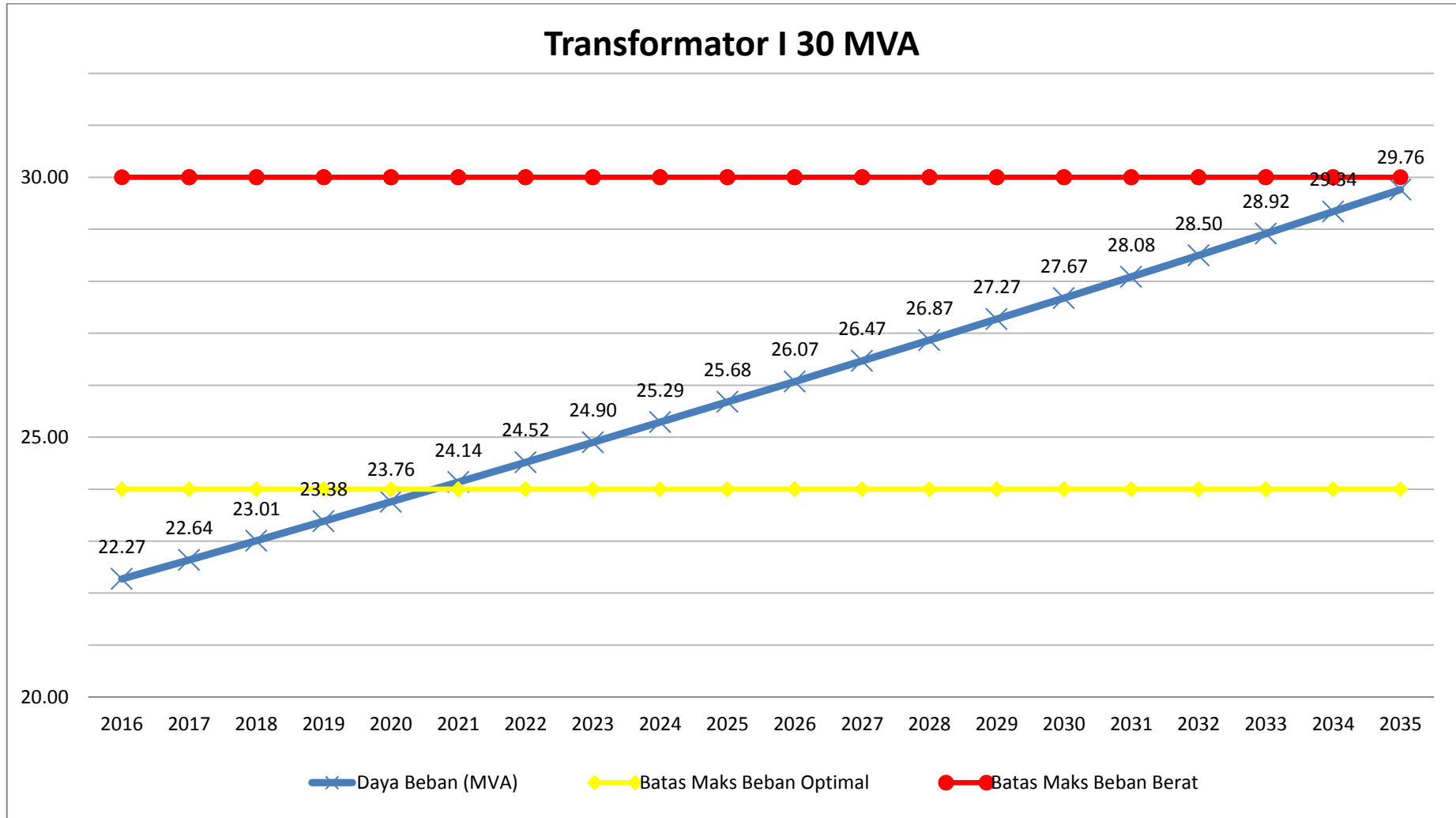
Hasil keseluruhan dari perhitungan prakiraan / prakiraan pertumbuhan beban dan presentase beban hingga 20 tahun yang akan datang terdapat pada Tabel 4.7

Tabel 4.9 Hasil Prakiraan Beban Transformator 1 30 MVA 20 tahun mendatang sebelum rekonfigurasi feeder

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan)	PDRB (Juta Rupiah)	Beban Transformator (MVA)	Presentase Beban (%)	Kondisi Pembebanan
2016	356.31	5.67	22.27	74.24	Optimal
2017	357.63	5.94	22.64	75.46	Optimal
2018	358.96	6.24	23.01	76.70	Optimal
2019	360.28	6.54	23.38	77.94	Optimal
2020	361.62	6.86	23.76	79.19	Optimal
2021	362.95	7.20	24.14	80.45	Berat
2022	364.30	7.55	24.52	81.72	Berat
2023	365.65	7.92	24.90	83.00	Berat
2024	367.00	8.31	25.29	84.29	Berat
2025	368.36	8.72	25.68	85.59	Berat

Tabel 4.9 Hasil Prakiraan Beban Transformator 1 30 MVA 20 tahun mendatang sebelum rekonfigurasi feeder (lanjutan)

2026	369.72	9.15	26.07	86.90	Berat
2027	371.09	9.60	26.47	88.22	Berat
2028	372.46	10.07	26.87	89.55	Berat
2029	373.84	10.56	27.27	90.90	Berat
2030	375.22	11.08	27.67	92.25	Berat
2031	376.61	11.63	28.08	93.62	Berat
2032	378.00	12.20	28.50	95.00	Berat
2033	379.40	12.80	28.92	96.39	Berat
2034	380.81	13.43	29.34	97.79	Berat
2035	382.21	14.08	29.76	99.21	Berat



Gambar 4.3 Grafik Prakiraan Beban Transformator I 30 MVA

4.3.2. Prakiraan Beban Transformator 2 60 MVA GI 150 kV Purworejo

Berdasarkan data yang diperoleh dari Gardu Induk Purworejo dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Purworejo, pertumbuhan penduduk di Purworejo sekitar 0,5% sedangkan kenaikan nilai PDRB Kabupaten Purworejo setiap tahun sekitar 5%. Sehingga, beban di Gardu Induk Purworejo akan bertambah setiap tahun dengan seiringnya pertumbuhan penduduk serta meningkatnya Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Purworejo.

Gardu Induk Purworejo sudah memiliki 2 (Dua) Transformator sebelum tahun 2010, sehingga ada pembagian beban di Transformator 1 dan 2. Dengan rincian Transformator 1 dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB Kab Purworejo begitu juga Transformator 2 juga dibebani 50% dari jumlah penduduk dan PDRB Kab Purworejo.

Tabel 4.10 Data beban puncak dan faktor yang diketahui

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan) (X₁)	PDRB (Juta Rupiah) (X₂)	Beban (MVA) (Y)
2013	353	4,9	22,95
2014	354	5,2	23,8
2015	355	5,4	24,4

Tabel 4.11 Tabel Perhitungan Regresi Linier Berganda Transformator 2 60 MVA GI Purworejo

Tahun	Y (Beban)	X₁ (Penduduk)	X₂ (PDRB)	X₁²	X₂²	Y²	X₁X₂	X₁Y	X₂Y
2013	22,95	353	4,9	124609	24,01	526,70	1729,7	8101,35	112,46
2014	23,3	354	5,2	125316	27,04	542,89	1840,8	8248,2	121,16
2015	24,1	355	5,4	126025	29,16	580,81	1917	8555,5	130,14
∑	70,35	1062	15,5	375950	80,21	1650,4	5487,5	24905,05	363,76

$$\sum x_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} = 375950 - \frac{(1062)^2}{3} = 2$$

$$\sum x_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} = 80,21 - \frac{(15,5)^2}{3} = 0,13$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 1650,4 - \frac{(70,35)^2}{3} = 0,7$$

$$\sum x_1y = \sum X_1Y - \frac{(\sum X_1 \cdot \sum Y)}{n} = 24905,05 - \frac{(1062 \cdot 70,35)}{3} = 1,15$$

$$\sum x_2y = \sum X_2Y - \frac{(\sum X_2 \cdot \sum Y)}{n} = 363,76 - \frac{(15,5 \cdot 70,35)}{3} = 0,3$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 - \frac{(\sum X_1 \cdot \sum X_2)}{n} = 5487,5 - \frac{(1062 \cdot 15,5)}{3} = 0,5$$

Maka diperoleh persamaan b_1 , b_2 dan a sebagai berikut :

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2 \times \sum x_1y) - (\sum x_2y \times \sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} = \frac{(0,13 \times 1,15) - (0,3 \times 0,5)}{(2 \times 0,13) - (0,5)^2} = -0,05$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2 \times \sum x_2y) - (\sum x_1y \times \sum x_1x_2)}{(\sum x_1^2 \times \sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2} = \frac{(2 \times 0,3) - (1,15 \times 0,5)}{(2 \times 0,13) - (0,5)^2} = 2,5$$

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \cdot \sum X_1) - (b_2 \cdot \sum X_2)}{6}$$

$$= \frac{(70,35) - (-0,05 \times 1062) - (2,5 \times 15,5)}{3} = 28,23$$

Rumus Regresi Linier Berganda yang akan digunakan untuk menghitung prakiraan pertumbuhan beban transformator di Gardu Induk Purworejo 20 tahun mendatang yaitu :

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

diketahui :

$$a = 28,23$$

$$b_1 = -0,05$$

$$b_2 = 2,5$$

- Beban Tahun 2016 = $28,23 + (-0,05 \times 356,5) + (2,5 \times 5,7) = 24,66 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{24,66}{60} \times 100\% = 41,09\% \text{ (Beban Ringan)}$$

- Beban Tahun 2025 = $28,23 + (-0,05 \times 370) + (2,5 \times 9,3) = 32,98 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{32,98}{60} \times 100\% = 54,97\% \text{ (Beban Ringan)}$$

- Beban Tahun 2035 = $28,23 + (-0,05 \times 385) + (2,5 \times 16,05) = 49,11 \text{ MVA}$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{49,11}{60} \times 100\% = 81,84\% \text{ (Beban Berat)}$$

Analisis Hasil Perhitungan

Evaluasi Transformator berdasarkan Standart PLN No. 50 Tahun 1997 tentang batas optimal pembebanan transformator dari 60% sampai dengan 80% dari kapasitas transformator, maka batas optimal pembebanan optimal Transformator 2 60 MVA Gardu Induk 150 kV Purworejo adalah 48 MVA.

Berdasarkan perhitungan prakiraan / prakiraan pertumbuhan beban transformator dengan menggunakan metode regresi linier berganda, maka pertumbuhan beban pada Transformator 2 60 MVA Gardu Induk 150 kV Purworejo selalu meningkat setiap tahun.

Pada tahun 2016 sampai dengan 2029 beban transformator masih dalam beban ringan. Kemudian, pada tahun 2030 sampai dengan 2035 transformator dalam keadaan beban beban optimal. Jumlah beban pada tahun 2035 sebesar 44,33 MVA sedangkan batas optimal pembebanan transformator 60 MVA sebesar 48 MVA.

Simpulannya, Gardu Induk 150 kV Purworejo Transformator 2 60 MVA masih bisa melayani beban hingga 20 tahun ke depan.

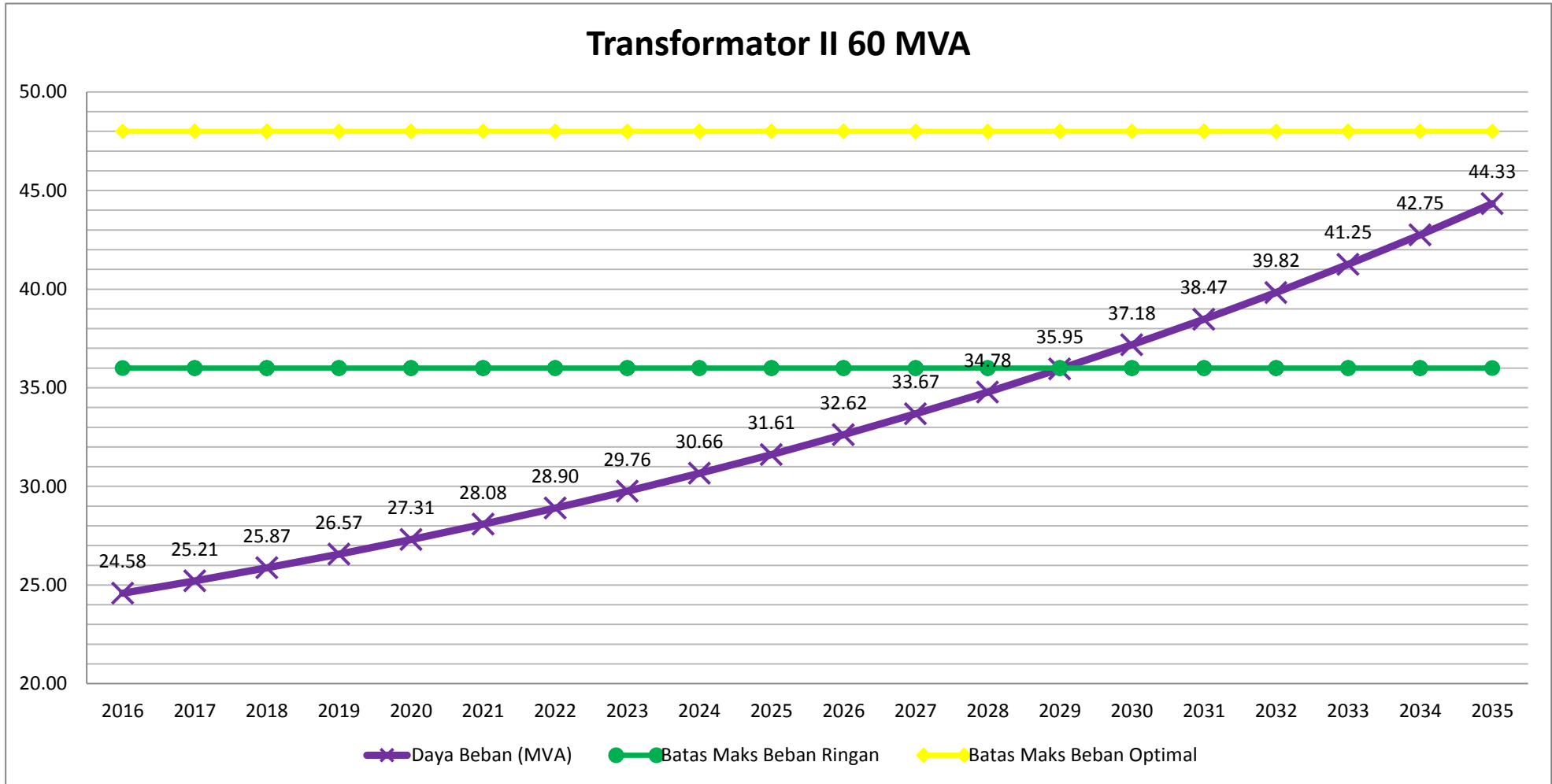
Hasil keseluruhan dari perhitungan prakiraan / prakiraan pertumbuhan beban dan presentase beban hingga 20 tahun yang akan datang terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.12 Hasil Prakiraan Beban Transformator 2 60 MVA 20 tahun mendatang sebelum rekonfigurasi feeder

Tahun	Jumlah Penduduk (Ribuan)	PDRB (Juta Rupiah)	Beban Transformator (MVA)	Presentase Beban (%)	Kondisi Pembebanan
2016	356.31	5.67	24.58	40.96	Ringan
2017	357.63	5.94	25.21	42.01	Ringan
2018	358.96	6.24	25.87	43.12	Ringan
2019	360.28	6.54	26.57	44.28	Ringan
2020	361.62	6.86	27.31	45.51	Ringan
2021	362.95	7.20	28.08	46.80	Ringan
2022	364.30	7.55	28.90	48.16	Ringan
2023	365.65	7.92	29.76	49.60	Ringan
2024	367.00	8.31	30.66	51.10	Ringan
2025	368.36	8.72	31.61	52.69	Ringan

Tabel 4.12 Hasil Prakiraan Beban Transformator 1 30 MVA 20 tahun mendatang sebelum rekonfigurasi feeder (lanjutan)

2026	369.72	9.15	32.62	54.36	Ringan
2027	371.09	9.60	33.67	56.12	Ringan
2028	372.46	10.07	34.78	57.97	Ringan
2029	373.84	10.56	35.95	59.91	Ringan
2030	375.22	11.08	37.18	61.96	Optimal
2031	376.61	11.63	38.47	64.11	Optimal
2032	378.00	12.20	39.82	66.37	Optimal
2033	379.40	12.80	41.25	68.75	Optimal
2034	380.81	13.43	42.75	71.25	Optimal
2035	382.21	14.08	44.33	73.88	Optimal



Gambar 4.4 Grafik Prakiraan Beban Transformator 2 60 MVA

4.4. Rekonfigurasi Beban Feeder di Purworejo

Pada wilayah Purworejo dan Kutoarjo yang disuplai energi listrik dari Gardu Induk 150 kV Purworejo terdapat 8 (delapan) *feeder* / penyulang. Data *feeder* di GI 150 kV Purworejo, sebagai berikut :

Tabel 4.13 Data *feeder* GI 150 kV Purworejo

Trafo I	PWO02
	PWO03
	PWO04
Trafo II	PWO01
	PWO05
	PWO06
	PWO07
	PWO08

Fungsi konfigurasi beban *feeder* adalah untuk mengurangi beban pada suatu transformator yang kondisi beban berat ke transformator yang kondisi beban masih ringan / optimal. Jika transformator dalam kondisi beban berat, akan terjadi panas yang berlebih pada transformator tersebut yang mengakibatkan rugi-rugi daya transformator tersebut besar.

Cara konfigurasi beban *feeder* penyulang dengan memindahkan beban dalam 1 *feeder* di transformator I ke transformator II. Dengan melihat hasil prakiraan pertumbuhan beban, maka transformator I 30 MVA harus dikurangi bebannya pada tahun 2021. *Feeder* yang akan dipindah ialah *Feeder* PWO04.

Sebelum mengkonfigurasi beban *feeder*, harus meramalkan / memprakiraan pertumbuhan beban semua *feeder* di transformator I dengan metode perbandingan.

Data yang dibutuhkan ialah data arus beban *feeder* tahun 2015 yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) APJ Magelang.

Berikut ini uraian data beban *feeder* tahun 2015 :

Tabel 4.14 Data arus beban *feeder* wilayah Purworejo – Kutoarjo Tahun 2015

Bulan	Feeder	Arus (A)			Total Arus
		R	S	T	
Januari	PWO02	295	266	290	851
	PWO03	194	234	212	640
	PWO04	106	109	111	326
Februari	PWO02	178	159	181	518
	PWO03	106	136	110	352
	PWO04	121	136	136	393
Maret	PWO02	301	272	295	868
	PWO03	199	240	220	659
	PWO04	107	111	115	333
April	PWO02	268	230	256	754
	PWO03	202	243	223	668
	PWO04	110	112	112	334

Mei	PWO02	262	225	254	741
	PWO03	198	245	220	663
	PWO04	107	112	110	329
Juni	PWO02	248	218	240	706
	PWO03	203	231	219	653
	PWO04	194	209	213	616
Juli	PWO02	281	254	271	806
	PWO03	237	266	255	758
	PWO04	8	39	23	70
Agustus	PWO02	351	305	324	980
	PWO03	208	234	223	665
	PWO04	105	109	109	323
September	PWO02	261	233	258	752
	PWO03	214	241	231	686
	PWO04	177	194	201	572

Oktober	PWO02	269	239	261	769
	PWO03	217	246	232	695
	PWO04	200	219	221	640
November	PWO02	99	58	63	220
	PWO03	225	254	242	721
	PWO04	208	226	233	667
Desember	PWO02	223	213	244	680
	PWO03	212	239	239	690
	PWO04	127	132	129	388

Untuk memperoleh hasil prakiraan arus *feeder* tahun berikutnya dengan menghitung perbandingan Arus *Feeder* tahun 2015 dengan Arus *Feeder* tahun x seperti pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Data Arus *Feeder* tahun 2015 Transformator 1

Tahun	Arus PWO02 (A)	Arus PWO03 (A)	Arus PWO04 (A)	Arus Total (A)
2015	747.89	681.64	443.31	1872.84

- Tahun 2016 Prakiraan Beban Transformator I 22,76 MVA

$$\text{Total arus} = \frac{22,76 \times 1000}{11,56} = 1968,86 \text{ A}$$

$$I = \frac{747,89}{1872,84} \times 1968,86 = 786,23 \text{ (PWO02)}$$

$$II = \frac{681,64}{1872,84} \times 1968,86 = 716,59 \text{ A (PWO03)}$$

$$III = \frac{443,31}{1872,84} \times 1968,86 = 466,04 \text{ A (PWO04)}$$

Maka diperoleh data arus beban *feeder* dalam 20 tahun mendatang, sebagai berikut :

Tabel 4.16 Data prakiraan pertumbuhan arus beban *feeder* Transformator I

Tahun	Arus PWO02 (A)	Arus PWO03 (A)	Arus PWO04 (A)	Arus Total (A)	Daya (MVA)
2015	747.89	681.64	443.31	1872.84	21.65
2016	786.23	716.59	466.04	1968.86	22.76
2017	799.01	728.24	473.61	2000.87	23.13
2018	811.45	739.57	480.99	2032.01	23.49
2019	824.23	751.22	488.56	2064.01	23.86
2020	837.01	762.87	496.14	2096.02	24.23
2021	849.80	774.52	503.71	2128.03	24.6
2022	862.92	786.48	511.50	2160.90	24.98
2023	875.70	798.13	519.07	2192.91	25.35
2024	888.83	810.10	526.85	2225.78	25.73
2025	901.96	822.06	534.63	2258.65	26.11
2026	915.08	834.02	542.41	2291.52	26.49

2027	928.21	845.99	550.20	2324.39	26.87
2028	941.68	858.27	558.18	2358.13	27.26
2029	954.81	870.23	565.96	2391.00	27.64
2030	968.28	882.51	573.95	2424.74	28.03
2031	981.76	894.79	581.93	2458.48	28.42
2032	995.57	907.38	590.12	2493.08	28.82
2033	1009.05	919.66	598.11	2526.82	29.21
2034	1022.86	932.26	606.30	2561.42	29.61
2035	1036.68	944.85	614.49	2596.02	30.01

Dengan hasil prakiraan arus beban *feeder* 20 tahun mendatang, selanjutnya dapat dihitung jumlah beban per *feeder* dalam satuan MVA. Untuk mendapatkan nilai beban *feeder* ialah data arus *feeder* dikali tegangan fase to fase 11,56 kV. *Feeder* yang akan dipindahkan ke Transformator II adalah *feeder* PWO04, sehingga yang dihitung bebannya hanya *feeder* PWO04.

- **Daya Beban *Feeder* PWO04 Tahun 2016**

Arus *Feeder* PWO04 Tahun 2016 = 466,04 A

$$P \text{ (MVA)} = \frac{I \times V_{LL}}{1000} = \frac{466,04 \times 11,56}{1000} = 5,39 \text{ MVA}$$

- **Daya Beban *Feeder* PWO04 Tahun 2025**

Arus *Feeder* PWO04 Tahun 2025 = 534,63 A

$$P \text{ (MVA)} = \frac{I \times V_{LL}}{1000} = \frac{534,63 \times 11,56}{1000} = 6,18 \text{ MVA}$$

- **Daya Beban *Feeder* PWO04 Tahun 2035**

Arus *Feeder* PWO04 Tahun 2035 = 614.49 A

$$P \text{ (MVA)} = \frac{I \times V_{LL}}{1000} = \frac{614,49 \times 11,56}{1000} = 7,10 \text{ MVA}$$

Tabel 4.17 Data Daya Beban *Feeder* (MVA)

Tahun	Arus PWO04 (A)	Daya (MVA)
2016	466.04	5.39
2017	473.61	5.47
2018	480.99	5.56
2019	488.56	5.65
2020	496.14	5.74

Tabel 4.17 Data Daya Beban *Feeder* (MVA) (lanjutan)

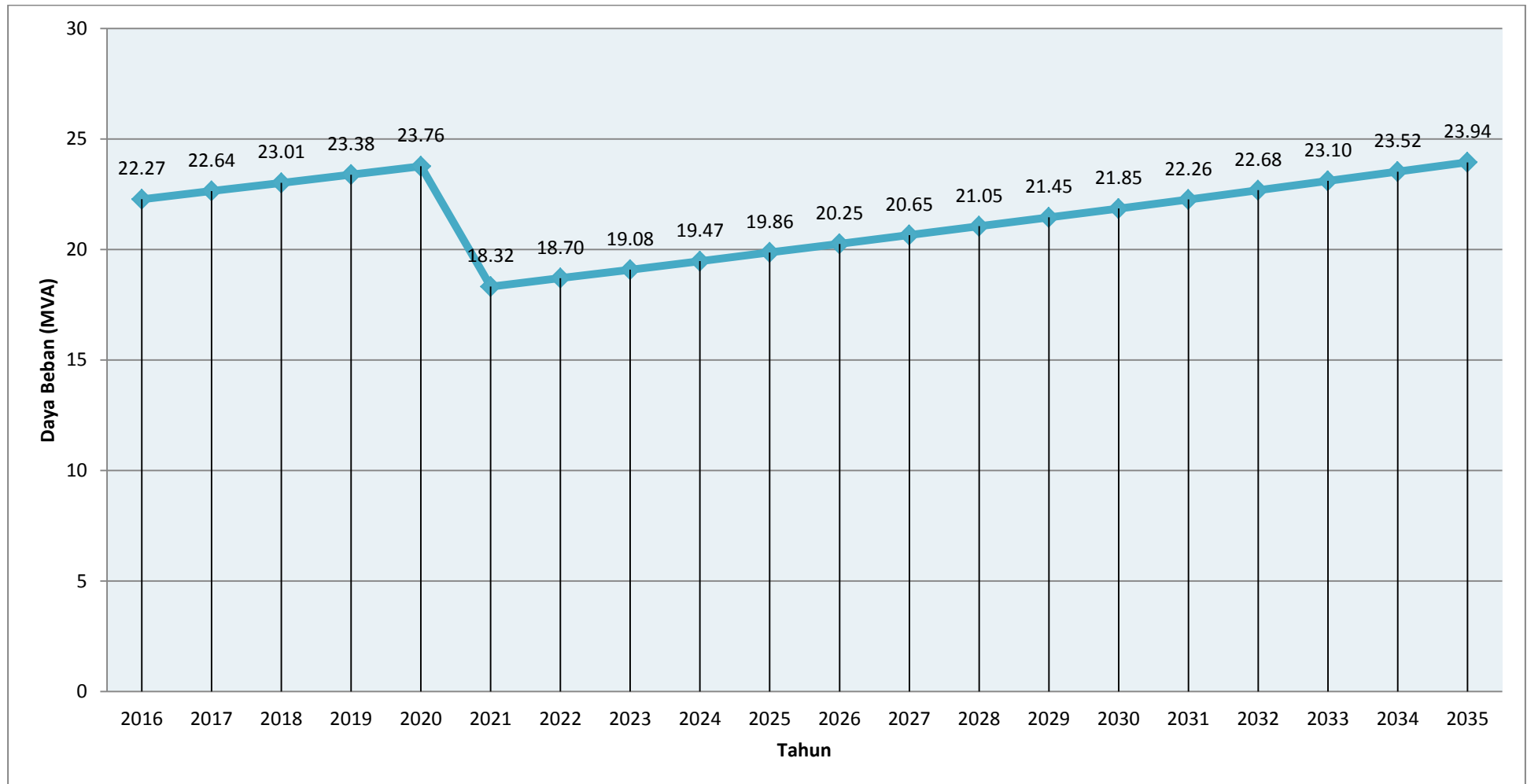
Tahun	Arus PWO04 (A)	Daya (MVA)
2021	503.71	5.82
2022	511.50	5.91
2023	519.07	6.00
2024	526.85	6.09
2025	534.63	6.18
2026	542.41	6.27
2027	550.20	6.36
2028	558.18	6.45
2029	565.96	6.54
2030	573.95	6.63
2031	581.93	6.73
2032	590.12	6.82
2033	598.11	6.91
2034	606.30	7.01
2035	614.49	7.10

Setelah didapat prakiraan jumlah beban *feeder* PWO04 setiap tahun, selanjutnya pada tahun 2021 *feeder* PWO04 dipindahkan dari transformator I ke transformator II dengan cara daya beban transformator I tahun 2021 dikurangi daya beban *feeder* PWO04 tahun 2021 dan ditambahkan ke daya beban transformator II tahun 2021. Jumlah beban *feeder* yang dipindahkan ke transformator II tahun 2022 sampai dengan 2035 mengikuti pertumbuhan beban *feeder* PWO04 sesuai Tabel 4.15.

Berikut hasil konfigurasi beban *feeder* Transformator I dan II :

Tabel 4.18 Konfigurasi Beban *Feeder* Transformator I 30 MVA

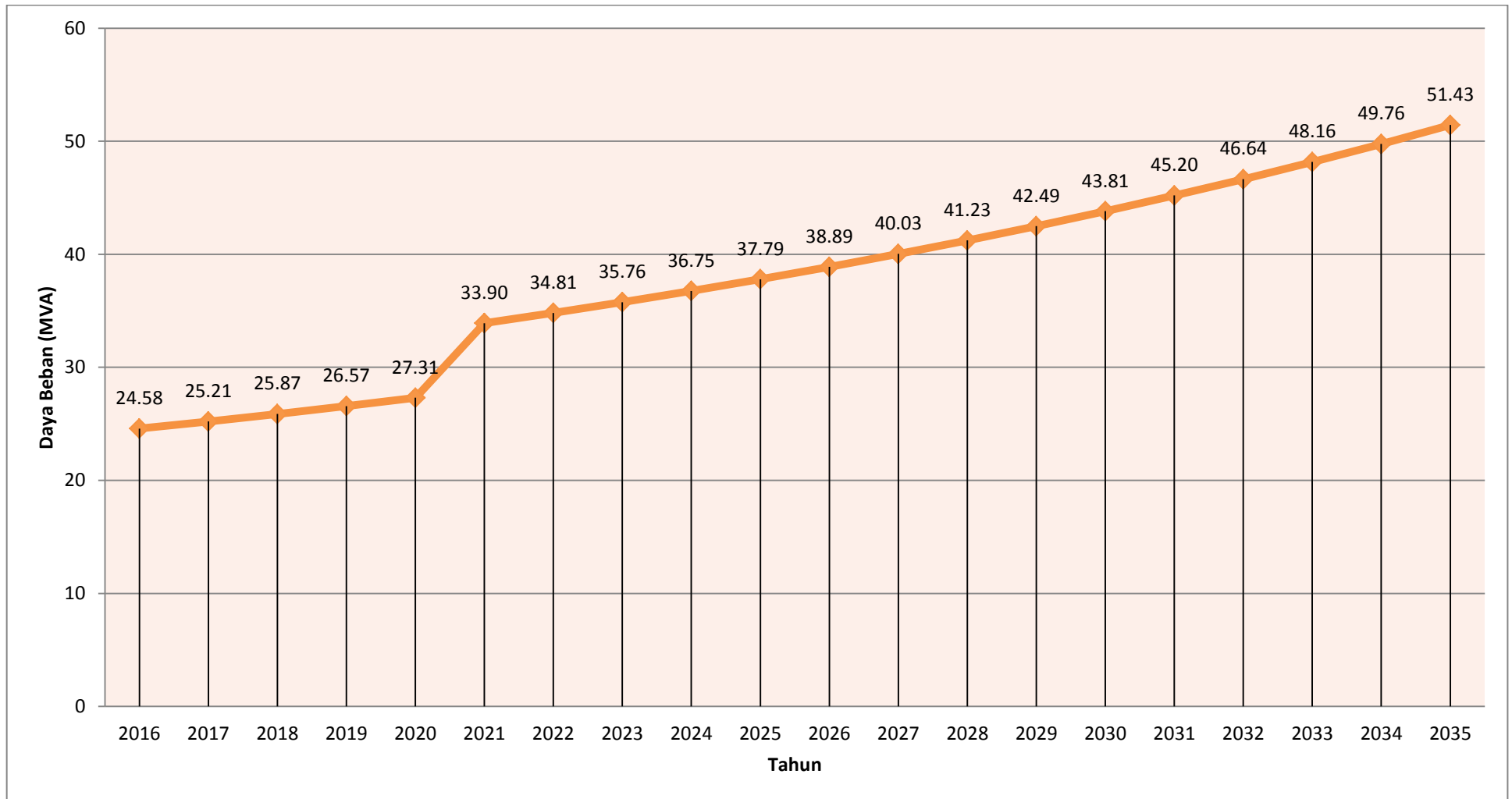
Tahun	Beban Transformator (MVA)	Beban yang dipindahkan (MVA)	Beban Akhir (MVA)	Presentase Beban (%)	Kondisi Pembebanan
2021	24.14	5.82	18.32	61.07	Optimal
2022	24.52	5.82	18.70	62.33	Optimal
2023	24.90	5.82	19.08	63.60	Optimal
2024	25.29	5.82	19.47	64.90	Optimal
2025	25.68	5.82	19.86	66.20	Optimal
2026	26.07	5.82	20.25	67.50	Optimal
2027	26.47	5.82	20.65	68.83	Optimal
2028	26.87	5.82	21.05	70.17	Optimal
2029	27.27	5.82	21.45	71.50	Optimal
2030	27.67	5.82	21.85	72.83	Optimal
2031	28.08	5.82	22.26	74.20	Optimal
2032	28.50	5.82	22.68	75.60	Optimal
2033	28.92	5.82	23.10	77.00	Optimal
2034	29.34	5.82	23.52	78.40	Optimal
2035	29.76	5.82	23.94	79.80	Optimal



Gambar 4.5 Grafik Beban Transformator I 30 MVA setelah Rekonfigurasi Beban *Feeder*

Tabel 4.19 Konfigurasi Beban *Feeder* Transformator II 60 MVA

Tahun	Beban Transformator (MVA)	Beban yang dipindahkan (MVA)	Beban Akhir (MVA)	Presentase Beban (%)	Kondisi Pembebanan
2021	28.08	5.82	33.90	56.50	Optimal
2022	28.90	5.91	34.81	58.02	Optimal
2023	29.76	6.00	35.76	59.60	Optimal
2024	30.66	6.09	36.75	61.25	Optimal
2025	31.61	6.18	37.79	62.98	Optimal
2026	32.62	6.27	38.89	64.82	Optimal
2027	33.67	6.36	40.03	66.72	Optimal
2028	34.78	6.45	41.23	68.72	Optimal
2029	35.95	6.54	42.49	70.82	Optimal
2030	37.18	6.63	43.81	73.02	Optimal
2031	38.47	6.73	45.20	75.33	Optimal
2032	39.82	6.82	46.64	77.73	Optimal
2033	41.25	6.91	48.16	80.27	Berat
2034	42.75	7.01	49.76	82.93	Berat
2035	44.33	7.10	51.43	85.72	Berat

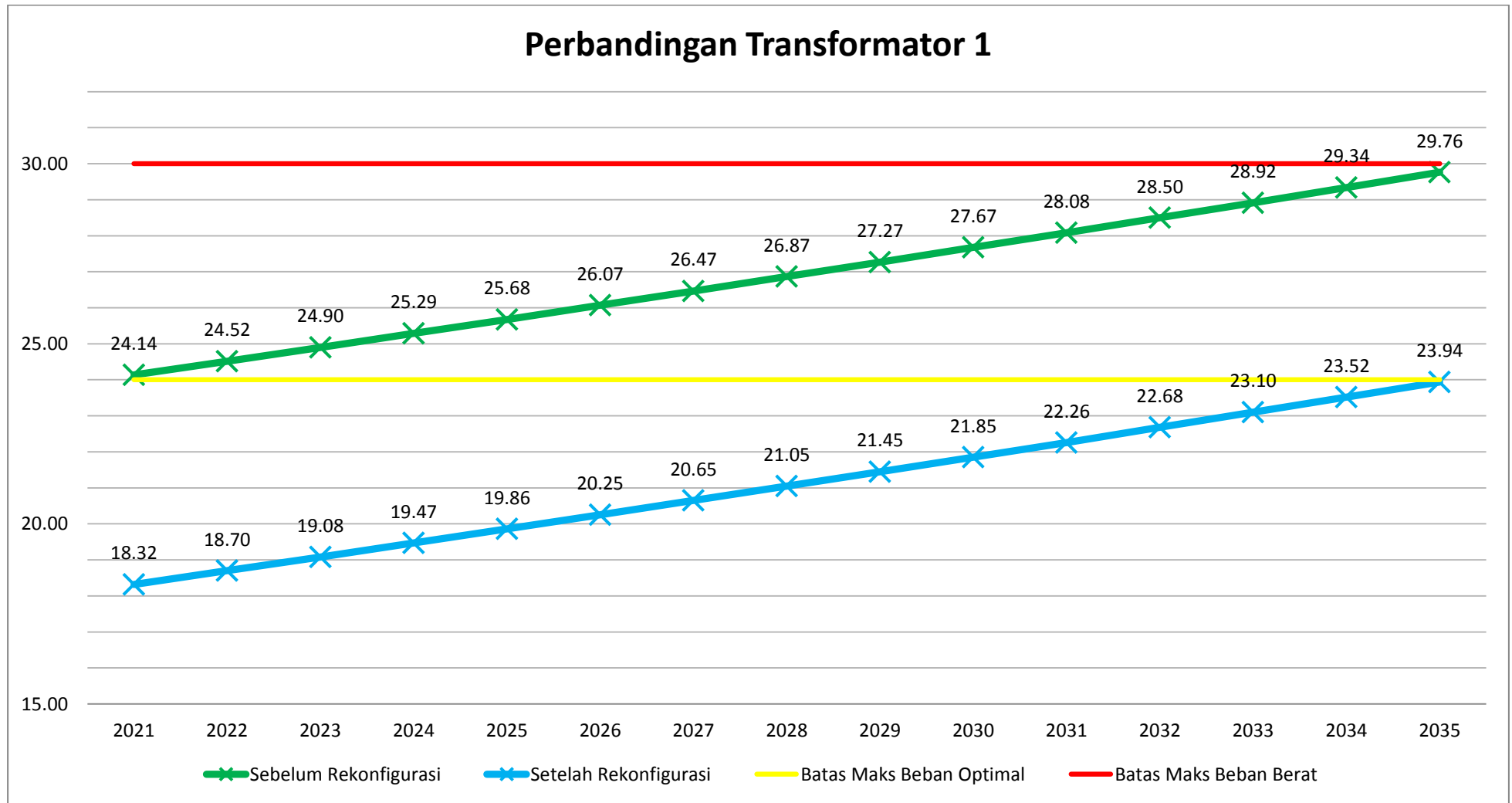


Gambar 4.6 Grafik Beban Transformator 2 60 MVA setelah Rekonfigurasi Beban *Feeder*

Untuk hasil perbandingan T1 dan T2 sebelum dan setelah rekonfigurasi beban feeder terdapat pada tabel 4.20 dan tabel 4.21.

Tabel 4.20 Perbandingan Transformator 1 sebelum dan sesudah rekonfigurasi

Tahun	Transformator 1			
	Sebelum (MVA)	Persentase (%)	Sesudah (MVA)	Persentase (%)
2021	24.14	80.45	18.32	61.07
2022	24.52	81.72	18.70	62.33
2023	24.90	83.00	19.08	63.60
2024	25.29	84.29	19.47	64.90
2025	25.68	85.59	19.86	66.20
2026	26.07	86.90	20.25	67.50
2027	26.47	88.22	20.65	68.83
2028	26.87	89.55	21.05	70.17
2029	27.27	90.90	21.45	71.50
2030	27.67	92.25	21.85	72.83
2031	28.08	93.62	22.26	74.20
2032	28.50	95.00	22.68	75.60
2033	28.92	96.39	23.10	77.00
2034	29.34	97.79	23.52	78.40
2035	29.76	99.21	23.94	79.80

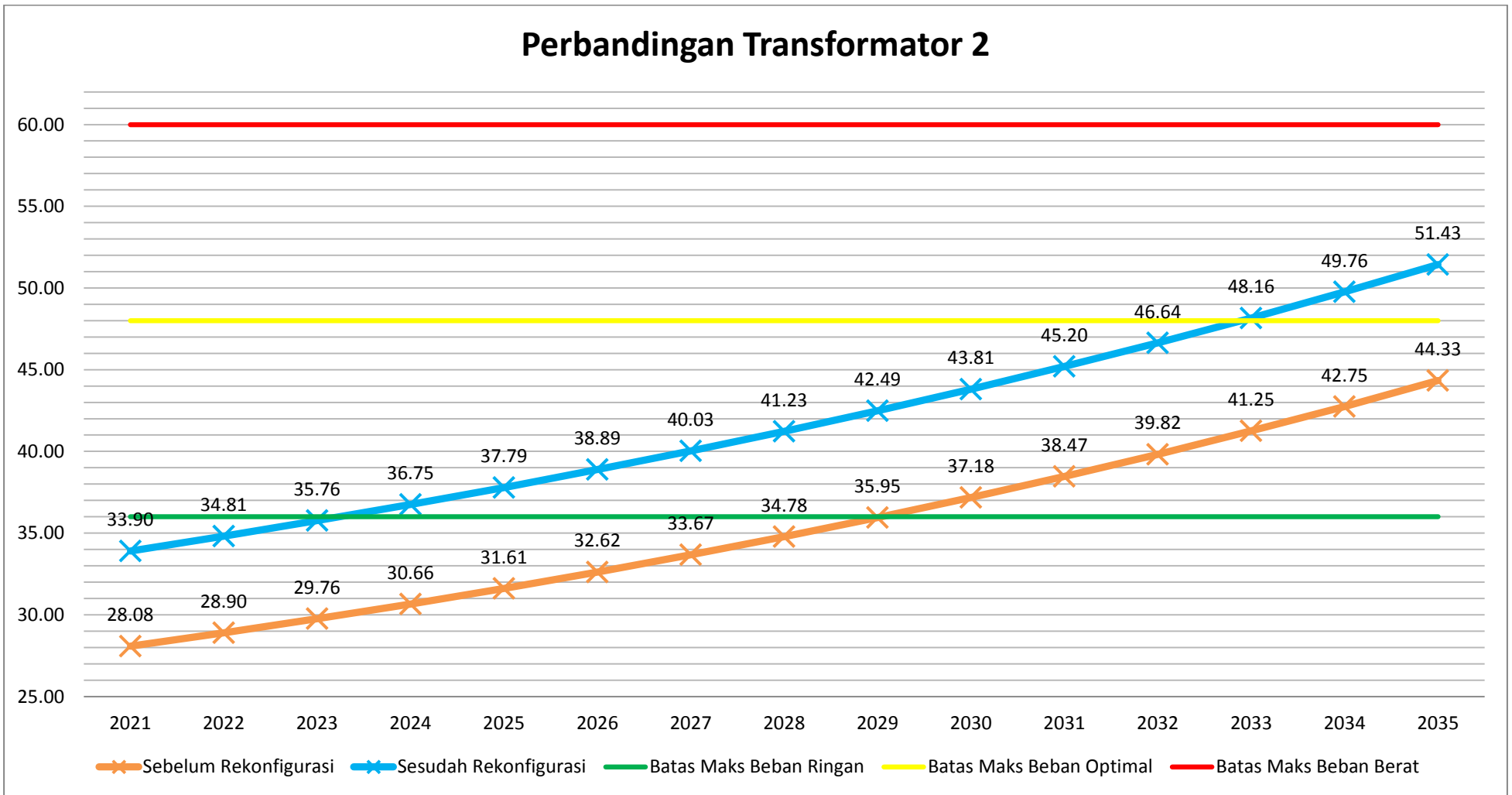


Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Transformator 1 sebelum dan sesudah rekonfigurasi

Tabel 4.21 Perbandingan Transformator 2 sebelum dan sesudah rekonfigurasi

Tahun	Transformator 2			
	Sebelum (MVA)	Persentase (%)	Sesudah (MVA)	Persentase (%)
2021	28.08	46.80	33.90	56.50
2022	28.90	48.17	34.81	58.02
2023	29.76	49.60	35.76	59.60
2024	30.66	51.10	36.75	61.25
2025	31.61	52.68	37.79	62.98
2026	32.62	54.37	38.89	64.82
2027	33.67	56.12	40.03	66.72
2028	34.78	57.97	41.23	68.72
2029	35.95	59.92	42.49	70.82
2030	37.18	61.97	43.81	73.02
2031	38.47	64.12	45.20	75.33
2032	39.82	66.37	46.64	77.73
2033	41.25	68.75	48.16	80.27
2034	42.75	71.25	49.76	82.93
2035	44.33	73.88	51.43	85.72

Perbandingan Transformator 2



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Transformator 2 sebelum dan sesudah rekonfigurasi

Analisis Hasil Perhitungan

Setelah merekonfigurasi beban *feeder* transformator 1 dan 2 dengan memindahkan beban sebagian *feeder* transformator 1 ke transformator 2 guna mendapatkan waktu umur pakai yang lebih lama pada transformator 1 yang sudah memasuki kondisi beban berat pada tahun 2021 selain itu pada transformator 2 kondisi beban optimal pada tahun 2030 sampai dengan 2035. Dengan pertimbangan tersebut, maka dapat dilakukan rekonfigurasi beban *feeder* transformator 1 dan 2 GI 150 kV Purworejo.

Pada transformator 1 setelah merekonfigurasi sebagian beban *feeder*, didapat hasil berupa kondisi beban dari tahun 2021 pada keadaan optimal. Sehingga transformator bekerja dengan maksimal dengan kerugian yang seminimal mungkin.

Sedangkan pada transformator 2 setelah merekonfigurasi beban *feeder*, didapat hasil berupa kondisi beban dari tahun 2021 sampai dengan 2032 pada keadaan optimal. Sedangkan mulai tahun 2033 beban transformator 2 sudah masuk pada kondisi beban berat.

Dari prakiraan pertumbuhan beban pada GI 150 kV Purworejo setelah dilakukan rekonfigurasi beban *feeder*, diharapkan PT. PLN (Persero) APP Salatiga untuk mempersiapkan penambahan transformator baru sebelum tahun 2033. Dengan pertimbangan transformator 2 sudah memasuki beban berat pada tahun 2033 yang akan mengakibatkan rugi-rugi yang besar.