

BAB IV

DATA DAN ANALISIS DATA PENELITIAN

4.1. Data Penelitian

Data yang digunakan untuk memperkirakan beban transformator Gardu Induk 150 kV Mojosongo selama 20 tahun kedepan adalah data monitoring beban puncak dari transformator selama 5 tahun dari tahun 2012 sampai tahun 2016, data teknik tranformator I yakni dengan kapasitas 60 MVA dan transformator II dengan kapasitas 30 MVA, data jumlah penduduk yang mendapatkan daya listrik dari Gardu Induk Mojosongo dan data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) yang bersumber dari Badan Pusat Statiska (BPS) kabupaten Boyolali dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2016.

4.2 Analisis Data Penelitian

Dalam melakukan analisis pada penelitian ini, langkah awal yang harus dilakukan adalah menganalisis beban puncak paling tinggi dari gardu induk 150 kV mojosongo dalam setiap bulannya, kemudian menganalisa pertumbuhan penduduk Kabupaten Boyolali, menghitung beban transformator dengan satuan MVA, dengan menghitung data semua tersebut maka dapat dilanjutkan dengan persamaan pendekatan metode Regresi Linear Berganda sehingga dengan demikian prakiraan pembebanan transformator dapat di ketahui. Persamaan regresi linear berganda mempunyai rumus sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots b_kX_k$$

Keterangan :

Y = Variabel terkait / tidak bebas

a = Konstanta

$b_1, b_2, \dots b_k$ = Koefisien regresi linear berganda

$X_1, X_2, \dots X_k$ = Variabel bebas

dari penelitian yang dilakukan di gardu indu mojosongo, peneliti mendapatkan data dari transformator, data tersebut merupakan data spesifikasi transformator dan data beban puncak transformator I dan transformator II.

4.2.1 Data Transformator

1. Transformator I 60 MVA

Spesifikasi

Merk : Unido

Tahun pembuatan : 2011

Frekuensi : 50 hz

Fase : 3 fase

Tahun operasi :20-30-2012

2. Transformator II 30 MVA

Spesifikasi

Merk : Pasti

Tahun pembuatan : 1995

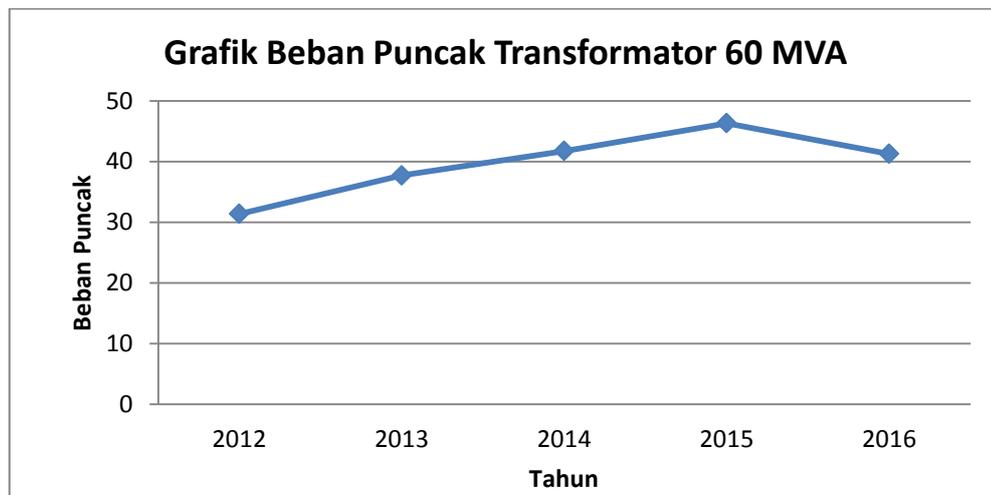
Frekuensi : 50 hz

Fase : 3 fase

Tahun operasi :07-09-2010

Tabel 4.1 Data beban Puncak Trafo I 60 MVA Gardu Induk Mojosongo 150 kV

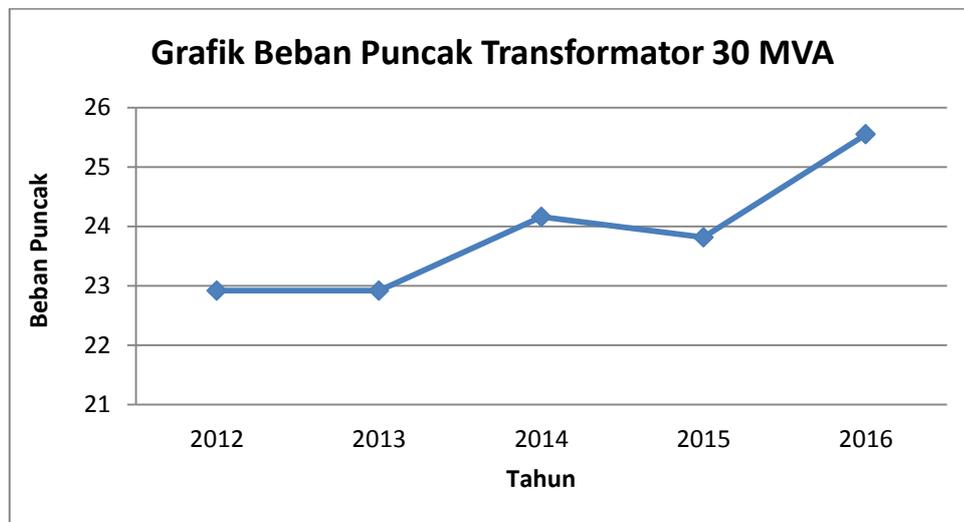
| Bulan | Beban Puncak Transformator (MW) | | | | |
|-----------|---------------------------------|------|------|------|------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Januari | | 44 | 40,5 | 43,8 | 48,3 |
| Februari | | 35 | 41,3 | 43,2 | 43,8 |
| Maret | | 34,2 | 42,1 | 44,9 | 43,2 |
| April | 28,9 | 33,8 | 41,5 | 44,1 | 39,8 |
| Mei | 29,9 | 35,2 | 42,3 | 46,3 | 42,4 |
| Juni | 29,3 | 36,2 | 41,3 | 46,6 | 42,7 |
| Juli | 30,7 | 36,7 | 40,7 | 47,7 | 36,9 |
| Agustus | 30,8 | 36,2 | 40,8 | 47,2 | 37,6 |
| September | 31,3 | 36,2 | 41,4 | 47,4 | 41,9 |
| Oktober | 34 | 37,5 | 42,7 | 47,6 | 34,4 |
| November | 32,9 | 43,7 | 44,9 | 48,7 | 41,8 |
| Desember | 34,6 | 44 | 41,4 | 48,4 | 42,6 |
| Rata-Rata | 31,3 | 37,7 | 41,7 | 46,3 | 41,2 |



Grafik 4.1 Beban Puncak trafo I

Tabel 4.2 Data beban Puncak Trafo I 30 MVA Gardu Induk Mojosongo 150 kV

| Bulan | Beban Puncak Transformator (MVA) | | | | |
|-----------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Januari | 24,2 | 21 | 23 | 23,5 | 25 |
| Februari | 20,9 | 22,4 | 23,1 | 24,3 | 25,5 |
| Maret | 26,3 | 22,5 | 23,3 | 22,7 | 24,8 |
| April | 23,3 | 22,8 | 23 | 22,8 | 25,3 |
| Mei | 23,7 | 23 | 25,3 | 22,8 | 25,1 |
| Juni | 21 | 23 | 23,7 | 22,8 | 26 |
| Juli | 23,5 | 23,4 | 24,3 | 23,5 | 26,1 |
| Agustus | 23,3 | 23,8 | 25 | 23,4 | 25,8 |
| September | 22 | 24 | 24,9 | 24,8 | 26 |
| Oktober | 22,2 | 24 | 25 | 25,2 | 25,8 |
| November | 22,8 | 24,5 | 25,1 | 25,2 | 25,7 |
| Desember | 21,8 | 20,6 | 24,2 | 24,8 | 25,5 |
| Rata-rata | 22,9 | 22,9 | 24,1 | 25,5 | |



Grafik 4.1 Beban Puncak Trafo II

4.2.2 Data Penduduk dan PDRB Kabupaten Boyolali

Untuk memperkirakan beban transformator gardu induk 150 kV Mojosongo selama 20 tahun yang akan datang, dibutuhkan data jumlah penduduk dan pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dari Kabupaten Boyolali. berikut data Jumlah penduduk dan PDRB yang bersumber dari Badan Pusat Statiska.

Tabel 4.3 Data jumlah Penduduk dan PDRB Kabupaten Boyolali

| Tahun | Jumlah Penduduk(ribu) | PDRB (juta) |
|-------|-----------------------|-------------|
| 2012 | 959 | 15,36 |
| 2013 | 963 | 16,26 |
| 2014 | 967 | 17,08 |
| 2015 | 970 | 17,93 |
| 2016 | 973 | 18,83 |

Penduduk Kabupaten Boyolali mendapat suplai energi listrik dari dua gardu induk, yakni gardu induk Mojosongo dan gardu induk Banyudono. Untuk gardu induk Mojosongo menyuplai energi listrik sebesar 60% dari total jumlah penduduk Boyolali. Sehingga data jumlah penduduk hanya meliputi 11 kecamatan dari 19 kecamatan yang ada di Boyolali. Berikut data Jumlah penduduk 60% dari total penduduk Kabupaten Boyolali.

Tabel 4.4 Data penduduk setiap kecamatan yang disuplai Gardu Induk Mojosongo

| Kecamatan | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Selo | 27146 | 27198 | 27243 | 27324,7 | 27406,7 |
| Ampel | 69353 | 69861 | 70081 | 70291,2 | 70502,1 |
| Cepogo | 53847 | 54033 | 54222 | 54384,7 | 54547,8 |
| Musuk | 61418 | 61449 | 61310 | 61493,9 | 61678,4 |
| Boyolali | 60265 | 60661 | 61038 | 61221,1 | 61404,8 |
| Mojosongo | 51727 | 52007 | 52301 | 52457,9 | 52615,3 |
| Sawit | 32931 | 32969 | 33027 | 33126,1 | 33225,5 |
| Karanggede | 40682 | 40933 | 40990 | 41113 | 41236,3 |
| Klego | 46222 | 46371 | 46399 | 46538,2 | 46677,8 |
| Andong | 61918 | 61967 | 62085 | 62271,3 | 62458,1 |
| Wonosegoro | 55076 | 55205 | 55391 | 55557,2 | 55723,8 |
| Total | 560585 | 562654 | 564087 | 565779 | 567477 |

Dengan data tersebut maka diperoleh total Jumlah penduduk dan PDRB dari 60% total penduduk Kabupaten Boyolali.

Tabel 4.5 Jumlah penduduk kecamatan dan PDRB yang di suplai gardu induk

| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta) |
|-------|-----------------|-------------|
| 2012 | 560 | 9,20 |
| 2013 | 562 | 9,72 |
| 2014 | 564 | 10,25 |
| 2015 | 565 | 10,76 |
| 2016 | 567 | 11,30 |

Dari data tersebut bahwa jumlah PDRB dari 60% Kabupaten Boyolali terjadi peningkatan setiap tahunnya rata-rata sebesar 5,5% dan untuk jumlah penduduk mengalami peningkatan 0,3%. Dengan demikian dapat ditentukan data pertumbuhan penduduk dengan menghitung pada persamaan dibawah ini.

PDRB tahun $n = (\text{jumlah PDRB tahun sebelum } n \times 5,5\%) + \text{PDRB tahun sebelum } n$

- PDRB tahun 2017

$$\begin{aligned} \text{PDRB tahun 2017} &= 113 \times 5,5\% + 113 \\ &= 119 \text{ Juta} \end{aligned}$$

- PDRB tahun 2018

$$\begin{aligned} \text{PDRB tahun 2018} &= 119 \times 5,5\% + 119 \\ &= 125 \text{ juta} \end{aligned}$$

Untuk memperkirakan pertumbuhan penduduk di tahun selanjutnya atau sampai tahun ke n, maka digunakan persamaan berikut :

$$\text{Penduduk tahun } n = (\text{Jumlah penduduk tahun sebelum } n \times 0,3\%) + \text{penduduk tahun sebelum } n$$

- Penduduk tahun 2017 =

$$\begin{aligned} \text{Penduduk tahun 2017} &= (\text{penduduk 2016} \times 0,3\%) + \text{penduduk 2016} \\ &= (567 \times 0,3\%) + 567 \\ &= 569 \text{ Ribu} \end{aligned}$$

- Penduduk tahun 2018 =

$$\begin{aligned} \text{Penduduk tahun 2018} &= (\text{penduduk 2017} \times 0,3\%) + \text{penduduk 2017} \\ &= (569 \times 0,3\%) + 569 \\ &= 570 \text{ Ribu} \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan, berikut perkiraan jumlah penduduk dan PDRB Kabupaten Boyolali selama 20 tahun mendatang.

Tabel 4.6 Prakiraan Jumlah penduduk dan PDRB 20 tahun mendatang

| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) |
|-------|-----------------|--------------------|
| 2012 | 560 | 9,207 |
| 2013 | 562 | 9,725 |
| 2014 | 264 | 10,251 |
| 2015 | 565 | 10,765 |

Tabel 4.6 Prakiraan Jumlah penduduk dan PDRB 20 tahun mendatang (lanjutan)

| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) |
|-------|-----------------|--------------------|
| 2016 | 567 | 11,302 |
| 2017 | 569 | 11,923 |
| 2018 | 570 | 12,579 |
| 2019 | 572 | 13,271 |
| 2020 | 574 | 14,001 |
| 2021 | 576 | 14,771 |
| 2022 | 577 | 15,583 |
| 2023 | 579 | 16,441 |
| 2024 | 581 | 17,345 |
| 2025 | 582 | 18,299 |
| 2026 | 584 | 19,305 |
| 2027 | 586 | 20,367 |
| 2028 | 588 | 21,487 |
| 2029 | 590 | 22,669 |
| 2030 | 591 | 23,916 |
| 2031 | 593 | 25,231 |
| 2032 | 595 | 26,619 |
| 2033 | 597 | 28,083 |
| 2034 | 598 | 29,628 |
| 2035 | 600 | 31,257 |
| 2036 | 602 | 32,976 |
| 2037 | 604 | 34,79 |

Gardu Induk Mojosongo Memiliki 2 buah Trafo yang diantaranya Trafo I berkapasitas 60 MVA dengan dibebani 60% dan Trafo II berkapasitas 30 MVA dengan dibebani 40%

4.3 Prakiraan Beban Trafo

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

Klasifikasi pembebanan transformator dapat dibedakan menjadi 4, yaitu

| | |
|-----------|-----------------|
| 0 -60% | = Beban ringan |
| 60 – 80% | = Beban Optimal |
| 80 - 100% | = Beban Berat |
| >100% | = Overload |

4.3.1 Prakiraan beban Trafo I Gardu induk 150 kV Mojosongo

Untuk memperkirakan beban trafo I Gardu Induk Mojosongo selama 20 tahun mendatang menggunakan metode regresi linear berganda, dibutuhkan data monitoring beban Trafo I dari tahun 2012-2016, jumlah penduduk yang mendapatkan daya listrik Gardu Induk Mojosongo dan PDRB Kabupaten Boyolali dari tahun 2012-2016. berikut data yang sudah di olah sesuai dengan data tersebut.

Tabel 4.7 Beban dan faktor yang mempengaruhi

| Tahun | Beban (MVA) Y | Jumlah Penduduk (dalam ribuan) X ₁ | PDRB (dalam Juta rupiah) X ₂ |
|-------|------------------|--|--|
| 2012 | 31,3 | 336 | 5,524 |
| 2013 | 37,7 | 337,2 | 5,833 |
| 2014 | 41,7 | 338,4 | 6,150 |
| 2015 | 46,3 | 339,6 | 6,459 |
| 2016 | 41,2 | 341,4 | 6,718 |

Dari data tersebut terlihat bahwa Jumlah penduduk dan PDRB Kabupaten Boyolali mempengaruhi pertumbuhan beban gardu induk Mojosongo. sehingga beban trafo di Gardu Induk Mojosongo mengalami pertumbuhan beban yang diimbangi juga dengan pertumbuhan penduduk dan PDRB.

Tabel 4.8 Persamaan regresi trafo I Gardu Induk Mojosongo

| Tahun | Y (Beban) | X ₁ (penduduk) | X ₂ (PDRB) | X ₁ ² | X ₂ ² | Y ² | X ₁ X ₂ | X ₁ Y | X ₂ Y |
|-------|--------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| 2012 | 31.3 | 336 | 5,524 | 112896 | 84.76885 | 979.69 | 3093.552 | 10516.8 | 288.17 |
| 2013 | 37.7 | 337.2 | 5,833 | 113703.8 | 94.57563 | 1421.29 | 3279.27 | 12712.44 | 366.63 |
| 2014 | 41.7 | 338.4 | 6,150 | 114514.6 | 105.083 | 1738.89 | 3468.938 | 14111.28 | 427.46 |
| 2015 | 46.3 | 339.6 | 6,459 | 115328.2 | 115.9068 | 2143.69 | 3656.134 | 15723.48 | 498.46 |
| 2016 | 41.2 | 341.4 | 6,718 | 116554 | 127.7352 | 1697.44 | 3858.503 | 14065.68 | 465.64 |
| total | 198.2 | 1692.6 | 30,686 | 572996.5 | 528.0694 | 7981 | 17356.4 | 67129.68 | 2046.3 |

Perhitungan regresi linear untuk Trafo I

$$\sum X_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} = 572996,6 - \frac{(1692,6)^2}{5} = 18,6$$

$$\sum X_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} = 189,24 - \frac{(30,68)^2}{5} = 1,24$$

$$\sum Y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 7981 - \frac{(198,2)^2}{5} = 124,36$$

$$\sum X_1Y = \sum X_1Y - \frac{(\sum X_1 \sum Y)}{n} = 67129,6 - \frac{1692,6 \times 198,2}{5} = 44,94$$

$$\sum X_2Y = \sum X_2Y - \frac{(\sum X_2 \sum Y)}{n} = 2046,38 - \frac{30,68 \times 198,2}{5} = 9,19$$

$$\sum X_1X_2 = \sum X_1X_2 - \frac{\sum X_1X_2}{n} = 10391,99 - \frac{1692,6 \times 30,68}{5} = 6,29$$

maka

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2)(\sum x_1y) - (\sum x_2y)(\sum x_1x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2]}$$

$$= \frac{1,24 \times 44,94 - 9,19 \times 6,29}{18,6 \times 1,24 - 6,29^2}$$

$$= \frac{55,725 - 62}{23,06 - 39}$$

$$= 0,44$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2)(\sum x_2y) - (\sum x_1y)(\sum x_1x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2]}$$

$$= \frac{18,6 \times 9,19 - 44,94 \times 6,29}{18,6 \times 1,24 - 6,29^2}$$

$$= \frac{-9,8}{-16,5}$$

$$= 0,6$$

$$a = \frac{(\sum y) - (b_1 \sum x_1) - (b_2 \sum x_2)}{(n)}$$

$$= \frac{192 - (0,44 \times 1692,9) - (0,6 \times 30,68)}{5}$$

$$= \frac{192 - 744,40 - 18,4}{5}$$

$$= -110$$

Dengan mendapat nilai b_1 b_2 dan a dari perhitungan diatas, langkah selanjutnya adalah menghitung beban puncak trafo I selama 20 tahun kedepan. Persamaan regresi linear untuk menghitung beban trafo adalah

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots$$

Yang dimana

$$a = -110$$

$$b_1 = 0,44$$

$$b_2 = 0,6$$

Setelah mendapatkan nilai diatas, langkah selanjutnya adalah mencari beban trafo di tahun selanjutnya.

$$\text{Beban tahun 2017} = a + b_1X1_{2017} + b_2X2_{2017}$$

$$= -110 + (0,44 \times 341,4) + (0,5 \times 7,15)$$

$$= -110 + 150,21 + 3,5$$

$$= 44,53 \text{ MVA}$$

$$\text{Beban tahun 2018} = a + b_1X1_{2018} + b_2X2_{2018}$$

$$= -113,87 + (0,44 \times 342) + (0,5 \times 7,54)$$

$$= -110 + 150,48 + 3,77$$

$$= 45,00 \text{ MVA}$$

$$\text{Beban tahun 2019} = a + b_1X1_{2019} + b_2X2_{2019}$$

$$= -110 + (0,44 \times 343,2) + (0,5 \times 7,962)$$

$$= -110 + 150,92 + 3,98$$

$$= 45,78 \text{ MVA}$$

Untuk menghitung faktor beban trafo maka menggunakan persamaan berikut :

$$LF = \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\%$$

Sehingga

$$\text{Faktor beban 2017} = \frac{44,53}{60} \times 100\% = 74\%$$

$$\text{Faktor beban 2018} = \frac{45,00}{60} \times 100\% = 75\%$$

$$\text{Faktor beban 2017} = \frac{45,78}{60} \times 100\% = 76\%$$

Tabel 4.9 Prakiraan Beban 20 tahun kedepan

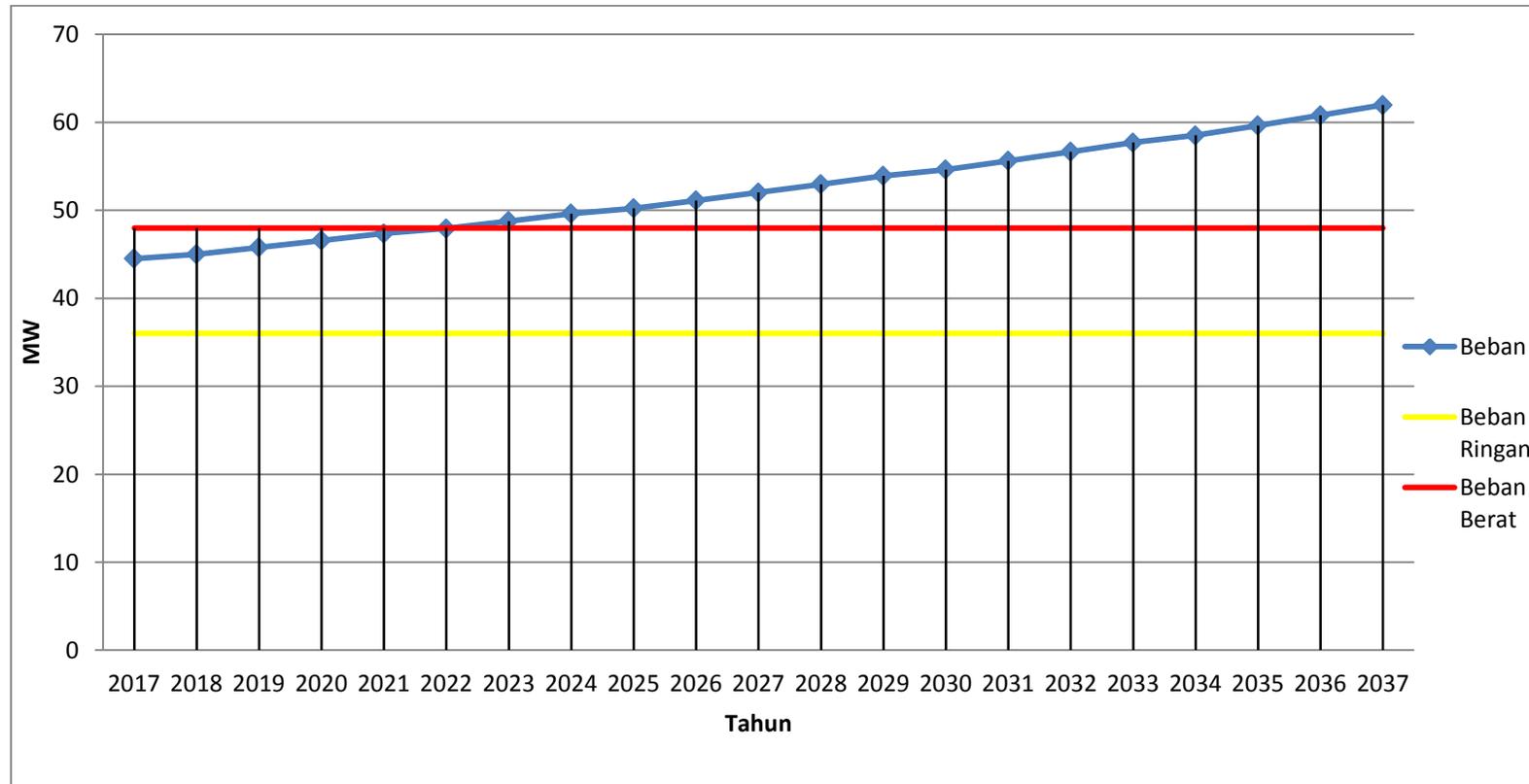
| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) | Beban (MVA) | Persentase | Keterangan |
|-------|-----------------|--------------------|-------------|------------|------------|
| 2017 | 341,4 | 7,15 | 44,53 | 74% | Optimal |
| 2018 | 342 | 7,5474 | 45,00 | 75% | Optimal |
| 2019 | 343,2 | 7,9626 | 45,78 | 76% | Optimal |
| 2020 | 344,4 | 8,4006 | 46,57 | 77% | Optimal |
| 2021 | 345,6 | 8,8626 | 47,38 | 78% | Optimal |
| 2022 | 346,2 | 9,3498 | 47,93 | 79% | Optimal |
| 2023 | 347,4 | 9,8646 | 48,77 | 81% | Berat |
| 2024 | 348,6 | 10,047 | 49,62 | 83% | Berat |
| 2025 | 349,2 | 10,979 | 50,23 | 84% | Berat |
| 2026 | 350,4 | 11,583 | 51,12 | 85% | Berat |
| 2027 | 351,6 | 12,220 | 52,03 | 87% | Berat |

Tabel 4.9 Prakiraan Beban 20 tahun kedepan (lanjutan)

| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) | Beban (MVA) | Persentase | Keterangan |
|-------|-----------------|--------------------|-------------|------------|-----------------|
| 2028 | 352,8 | 12,892 | 52,96 | 88% | Berat |
| 2029 | 354 | 13,601 | 53,92 | 90% | Berat |
| 2030 | 354,6 | 14,349 | 54,63 | 91% | Berat |
| 2031 | 355,8 | 15,138 | 55,63 | 93% | Berat |
| 2032 | 357 | 15,971 | 56,66 | 94% | Berat |
| 2033 | 358,2 | 16,849 | 57,71 | 96% | Berat |
| 2034 | 358,8 | 17,7768 | 58,53 | 98% | Berat |
| 2035 | 360 | 18,7542 | 59,65 | 99% | Berat |
| 2036 | 361,2 | 19,7856 | 60,79 | 101% | <i>Overload</i> |
| 2037 | 362,4 | 20,874 | 61,98 | 103% | <i>Overload</i> |

Hasil perhitungan Prakiraan dan persentase pembebanan Trafo I 60 MVA Gardu Induk Mojosongo dapat dilihat dalam tabel diatas. Untuk menunjukan Tingkat kenaikan Pembebanan trafo dapat di perhatikan dengan grafik dibawah ini.

Prakiraan Pertumbuhan Beban Transformator I 60 MVA Gardu Induk Mojosongo



Grafik 4.3 Pertumbuhan beban trafo

Berdasarkan batas kinerja optimal suatu transformator yaitu antara 60%-80% dari kapasitas Transformator tersebut. Dari 60% batas kinerja optimal dari trafo I gardu induk Mojosoongo didapatkan nilai 36 MVA dan 48 MVA dari batas maksimal 80%. Terlihat dari data di atas menunjukkan prakiraan beban transformator mempunyai kinerja optimal dari tahun 2017 sampai 2022 sehingga transformator masih dapat digunakan untuk melayani sebagian penduduk Kabupaten Boyolali.

Transformator I ini mengalami kinerja beban berat pada tahun 2023 yang dimana diperkirakan jumlah beban yang ditampungnya 80% dari kapasitas transformator. Ketika transformator mencapai batas maksimal dari beban optimal, perencanaan penggantian trafo haruslah segera dilakukan mengingat dengan semakin naiknya pertumbuhan penduduk. Dengan naiknya beban transformator pada tahun 2022 di gardu Induk Mojosoongo sebaiknya pihak PLN APP Salatiga melakukan tindakan perencanaan untuk mengatasi beban lebih di tahun kedepannya terhadap transformator mengingat bahwa kinerja transformator sudah dalam kondisi beban berat.

Tahun 2036 beban trafo sudah melebihi dari kapasitasnya. Beban trafo sudah mencapai 60,79 MVA. Sehingga pada tahun 2036 gardu induk Mojosoongo harus sudah mengganti trafo dengan kapasitas yang lebih besar dari sebelumnya atau dengan menambahkan satu transformator baru untuk melayani beban di Kabupaten Boyolali bertujuan untuk menjaga keidealannya kinerja transformator kedepan.

4.3.2 Prakiraan beban Trafo II Gardu induk 150 kV Mojosongo

Tabel 4.10 Beban Dan faktor yang mempengaruhi

| Tahun | Beban (MVA) Y | Jumlah Penduduk (dalam ribuan) X1 | PDRB (dalam juta rupiah) X2 |
|-------|---------------------|---|-----------------------------------|
| 2012 | 22,9 | 224 | 2,76 |
| 2013 | 22,9 | 224,8 | 2,916 |
| 2014 | 24,1 | 225,6 | 3,075 |
| 2015 | 25,5 | 226,4 | 3,228 |
| 2016 | 25,6 | 227,6 | 3,39 |

Penggunaan beban trafo II gardu induk mojosongo meliputi 40 % jumlah penduduk yang disuplay dari gardu induk tersebut. terlihat dari tabel diatas bahwa pertumbuhan penduduk menyebabkan penggunaan listrik semakin meningkat setiap tahunnya dengan diimbangi dengan pertumbuhan PDRB di kabupaten Boyolali.

Tabel 4.11 Persamaan regresi linear Trafo II

| Tahun | Y (Beban) | X ₁ (Penduduk) | X ₂ (PDRB) | X ₁ ² | X ₂ ² | Y ² | X ₁ X ₂ | X ₁ ² Y | X ₂ ² Y |
|-------|--------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 2012 | 22,9 | 224 | 3,68 | 50176 | 13,5424 | 524,41 | 824,32 | 5129,6 | 84,272 |
| 2013 | 22,9 | 224,8 | 3,88 | 50535,04 | 15,0544 | 524,41 | 872,224 | 5147,92 | 88,852 |
| 2014 | 24,1 | 225,6 | 4,1 | 50895,36 | 16,81 | 580,81 | 924,96 | 5436,96 | 98,81 |
| 2015 | 25,5 | 226,4 | 4,304 | 51256,96 | 18,52442 | 650,25 | 974,4256 | 5773,2 | 109,752 |
| 2016 | 25,6 | 227,6 | 4,52 | 51801,76 | 20,4304 | 655,36 | 1028,752 | 5826,56 | 115,712 |
| total | 121 | 1128,4 | 20,484 | 254665,1 | 84,36162 | 2935,24 | 4624,682 | 27314,24 | 497,398 |

Perhitungan regresi linear untuk Trafo II

$$\sum X_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} = 254665,1 - \frac{(1128,4)^2}{5} = 7,8$$

$$\sum X_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} = 84,36162 - \frac{(20,484)^2}{5} = 80,479$$

$$\sum Y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 2935,24 - \frac{(121)^2}{5} = 7,041$$

$$\sum X_1Y = \sum X_1Y - \frac{(\sum X_1 \sum Y)}{n} = 27314,24 - \frac{1128,4 \times 121}{5} = 26,96$$

$$\sum X_2Y = \sum X_2Y - \frac{(\sum X_2 \sum Y)}{n} = 497,398 - \frac{20,484 \times 121}{5} = 1,68$$

$$\sum X_1X_2 = \sum X_1X_2 - \frac{\sum X_1X_2}{n} = 4624,682 - \frac{1128,4 \times 20,484}{5} = 1,853$$

maka

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2)(\sum x_1y) - (\sum x_2y)(\sum x_1x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2]}$$

$$= \frac{0,479 \times 6,96 - 1,68 \times 1,853}{7,8 \times 0,479 - 1,853^2}$$

$$= \frac{3,333 - 3,11}{3,736 - 3,433}$$

$$= 0,7333$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2)(\sum x_2y) - (\sum x_1y)(\sum x_1x_2)]}{[(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2]}$$

$$= \frac{7,8 \times 1,68 - 6,96 \times 1,853}{7,8 \times 0,479 - 1,853^2}$$

$$= \frac{13,104 - 12,896}{3,736 - 3,433}$$

$$= 0,6$$

$$a = \frac{(\sum y) - (b_1 \sum x_1) - (b_2 \sum x_2)}{(n)}$$

$$= \frac{121 - (0,733 \times 1128,4) - (0,6 \times 20,484)}{5}$$

$$= 827,11 - 12,29$$

$$= -143,68$$

Dengan mendapat nilai b_1 b_2 dan a dari perhitungan diatas, langkah selanjutnya adalah menghitung beban puncak trafo II selama 20 tahun kedepan. Persamaan regresi linear untuk menghitung beban trafo adalah

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots$$

Yang dimana

$$a = -143,68$$

$$b_1 = 0,73$$

$$b_2 = 0,6$$

Setelah mendapatkan nilai diatas, langkah selanjutnya adalah mencari beban trafo II di tahun selanjutnya

$$\begin{aligned}
 \text{Beban tahun 2017} &= a + b_1X1_{2017} + b_2X2_{2017} \\
 &= -143,68 + (0,73 \times 227,6) + (0,5 \times 4,76) \\
 &= -143,68 + 166,14 + 2,38 \\
 &= 24,84 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban tahun 2018} &= a + b_1X1_{2018} + b_2X2_{2018} \\
 &= -143,68 + (0,73 \times 228) + (0,5 \times 5,0316) \\
 &= -143,68 + 166,44 + 2,51 \\
 &= 25,27 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban tahun 2019} &= a + b_1X1_{2018} + b_2X2_{2018} \\
 &= -143,68 + (0,73 \times 228) + (0,5 \times 5,0316) \\
 &= -143,68 + 166,44 + 2,51 \\
 &= 25,98 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung faktor beban trafo maka menggunakan persamaan berikut :

$$\text{LF} = \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\%$$

Sehingga

$$\text{Faktor beban 2017} = \frac{24,85}{30} \times 100\% = 83\%$$

$$\text{Faktor beban 2018} = \frac{25,27}{30} \times 100\% = 84\%$$

$$\text{Faktor beban 2019} = \frac{25,99}{30} \times 100\% = 87\%$$

Tabel 12. Prakiraan Beban 20 tahun kedepan

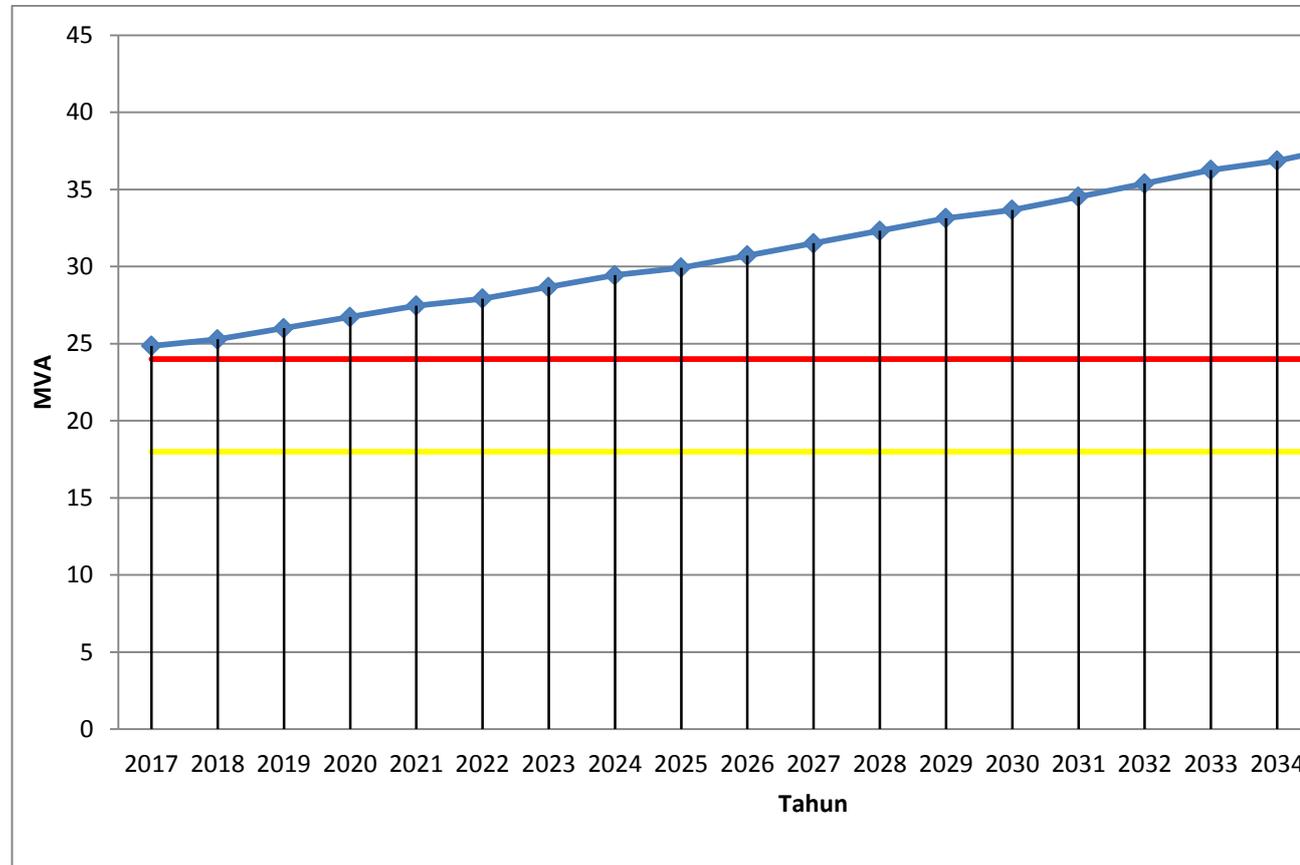
| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) | Beban (MVA) | Persentase | Keterangan |
|-------|-----------------|--------------------|-------------|------------|-----------------|
| 2017 | 227,6 | 4,769 | 24,85 | 83% | Berat |
| 2018 | 228 | 5,031 | 25,27 | 84% | Berat |
| 2019 | 228,8 | 5,308 | 25,99 | 87% | Berat |
| 2020 | 229,6 | 5,600 | 26,72 | 89% | Berat |
| 2021 | 230,4 | 5,908 | 27,46 | 92% | Berat |
| 2022 | 230,8 | 6,233 | 27,92 | 93% | Berat |
| 2023 | 231,6 | 6,576 | 28,67 | 96% | Berat |
| 2024 | 232,4 | 6,938 | 29,44 | 98% | Berat |
| 2025 | 232,8 | 7,319 | 29,92 | 100% | <i>overload</i> |

Tabel 12. Prakiraan Beban 20 tahun kedepan (lanjutan)

| Tahun | Penduduk (ribu) | PDRB (juta rupiah) | Beban (MVA) | persentase | Keterangan |
|-------|-----------------|--------------------|-------------|------------|-----------------|
| 2026 | 233,6 | 7,722 | 30,70 | 102% | <i>overload</i> |
| 2027 | 234,4 | 8,146 | 31,50 | 105% | <i>overload</i> |
| 2028 | 235,2 | 8,594 | 32,31 | 108% | <i>overload</i> |
| 2029 | 236 | 9,067 | 33,13 | 110% | <i>overload</i> |
| 2030 | 236,4 | 9,566 | 33,67 | 112% | <i>overload</i> |
| 2031 | 237,2 | 10,092 | 34,52 | 115% | <i>overload</i> |
| 2032 | 238 | 10,647 | 35,38 | 118% | <i>overload</i> |
| 2033 | 238,8 | 11,233 | 36,26 | 121% | <i>overload</i> |
| 2034 | 239,2 | 11,851 | 36,86 | 123% | <i>overload</i> |
| 2035 | 240 | 12,502 | 37,77 | 126% | <i>overload</i> |
| 2036 | 240,8 | 13,190 | 38,69 | 129% | <i>overload</i> |
| 2037 | 241,6 | 13,916 | 56,02 | 132% | <i>overload</i> |

Hasil perhitungan Prakiraan dan persentase pembebanan Trafo I 30 MVA Gardu Induk Mojosongo dapat dilihat dalam tabel diatas. Untuk menunjukan Tingkat kenaikan Pembebanan trafo dapat di perhatikan dengan grafik dibawah ini.

Prakiraan Pertumbuhan Beban Transformator II 30 MVA Gardu Induk Mojosongo



Grafik 4.4 Pertumbuhan Beban Trafo I

Berdasarkan batas kinerja Optimal suatu transformator yaitu antara 60%-80% dari kapasitas Tranformator tersebut. Dari 60 % batas kinerja optimal dari tafo I gardu induk Mojosoongo didapatkan nilai 18 MVA dan 24 MVA dari batas maksimal

80%. Dari Perhitungan data diatas menunjukkan Prakiraan beban transformator II gardu induk mojosongo bahwa beban transformator sudah mengalami kondisi beban Berat.hal ini di karenakan beban transformator II gardu induk mojosongo terbebani 24,85 MVA pada tahun 2017. sehingga beban sebesar tersebut dikategorikan sebagai beban berat karena melebihi standar beban optimal trafo sekitar 24 MVA dari 80% kapasitas trafo II gardu induk mojosongo.

Sebaiknya PT PLN APP salatiga segera melakukan pergantian atau pemindahan beban dari trafo II ke trafo I melihat kondisi trafo II sudah dalam kondisi beban berat. karena berdasarkan data diatas di tahun 2017- 2024 beban trafo tergolong beban berat. Apabila tidak segera dilakukannya maka trafo II akan mengalami Overload di tahun 2025. penambahan atau penggantian transformator ini bertujuan untuk menjaga kestabilan beban trafo berdasarkan kapasitas yang tersedia dalam trafo dan menjamin ke konsumen untuk menyalurkan listrik lebih ideal.