

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN HASIL

4.1 Data Spesifikasi Transformator Daya

Pada Gardu Induk Bantul, diambil data pengukuran dari transformator 2 dengan daya 60 MVA dimulai dari 19-23 November 2018. Transformator daya 2 gardu induk Bantul merupakan transformator daya dengan jenis pendingin yang digunakan yaitu type ONAN. Jenis pendingin dapat ditentukan dengan memenuhi satu keadaan atau lebih, yaitu :

1. Jika temperatur *top oil* kurang dari atau sama dengan 64°C maka jenis pendinginnya adalah ONAN.
2. Jika temperatur *top oil* lebih dari 64°C maka jenis pendinginnya adalah OFAF, bila temperaturnya masih diatas 50°C pendinginannya masih OFAF.
3. Jika kurang dari 50°C pendinginannya berubah menjadi ONAN

Adapun spesifikasi transformator di Gardu Induk Bantul dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Spesifikasi transformator daya 2 GI Bantul.

Serial Number	3011120090
Merk	CG POUWELS
Daya Nominal (MVA)	36/60
Banyak fasa	3
Frekuensi (Hz)	50
Tegangan Nominal Primer (KV)	150
Tegangan Nominal Sekunder (KV)	20
Tegangan Tap (KV)	MR-MS 111 3000-60+MA9
Sistem Pendinginan	ONAN
Tipe <i>Tap Changer</i>	On Load Tap Changer
Koneksi Kumparan	YNyn0(d)
Kenaikan Suhu Minyak	50
Kenaikan Suhu Kumparan	55
Merk/Type Minyak	Nynas Libra
Tahun Pembuatan	2013

4.2 Data pengukuran beban dan suhu transformator daya

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran beban dan suhu transformator daya 2 Bantul setiap 1 jam selama 24 jam, Senin, 19 November 2018

Jam	Beban Trafo (MW)	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
00.00	34,68	54,4	60,0	25,6
01.00	33,22	53,3	59,3	25,4
02.00	32,60	52,6	58,5	25,4
03.00	32,33	52,2	57,2	25,2
04.00	33,65	51,8	56,5	25,2
05.00	33,20	51,5	56,2	25,2
06.00	30,87	51,3	56,2	26,5
07.00	30,30	51,5	57,0	28,7
08.00	34,20	53,4	59,6	29,6
09.00	35,68	53,2	60,7	30,1
10.00	36,96	54,3	62,1	31,2
11.00	36,26	55,9	63,3	32,2
12.00	32,27	56,6	62,8	33,5
13.00	35,95	55,8	63,0	33,5
14.00	37,25	57,0	63,9	33,5
15.00	37,43	57,1	64,3	33,2
16.00	36,00	57,4	63,7	32,7
17.00	34,46	55,8	62,2	31,4
18.00	42,39	55,0	63,4	30,1
19.00	46,19	55,3	65,0	29,6
20.00	44,40	56,2	65,2	27,5
21.00	41,81	56,5	64,6	27,0
22.00	40,26	56,1	63,7	27,0
23.00	36,53	55,1	61,7	26,6

Tabel 4.3 Data hasil pengukuran beban dan suhu transformator daya 2 Bantul setiap 1 jam selama 24 jam, Selasa, 20 November 2018

Jam	Beban Trafo (MW)	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
00.00	36,32	54,7	61,5	25,9
01.00	33,61	53,4	59,2	26,1
02.00	32,67	52,5	58,1	25,6
03.00	32,43	52,3	57,5	25,6
04.00	33,50	51,6	57,1	25,2
05.00	33,01	51,3	56,9	24,5
06.00	30,57	51,1	56,2	26,7
07.00	30,18	51,4	56,4	29,3
08.00	30,84	52,2	57,7	31,2
09.00	31,56	52,1	58,5	31,7
10.00	31,78	53,3	59,9	32,2
11.00	32,16	54,7	61,3	33,1
12.00	32,03	55,7	61,4	33,3
13.00	32,28	54,5	60,7	33,4
14.00	32,42	55,1	60,7	33,4
15.00	31,61	54,7	60,1	32,2
16.00	31,31	54,0	59,6	31,9
17.00	32,39	53,5	59,2	29,2
18.00	40,38	52,8	60,5	28,5
19.00	44,53	53,5	62,1	26,9
20.00	43,29	54,0	62,9	26,2
21.00	41,7	54,6	63,0	24,2
22.00	39,90	54,3	61,6	24,0
23.00	36,60	54,1	60,5	23,0

Tabel 4.4 Data hasil pengukuran beban dan suhu transformator daya 2 Bantul setiap 1 jam selama 24 jam, Rabu, 21 November 2018

Jam	Beban Trafo (MW)	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
00.00	34,58	53,8	59,4	24,9
01.00	35,00	52,3	58,4	24,7
02.00	31,67	51,8	56,9	24,3
03.00	31,37	50,6	55,6	23,8
04.00	32,89	50,3	55,4	23,6
05.00	32,50	49,4	55,2	23,2
06.00	31,87	49,3	55,0	24,7
07.00	30,52	49,3	54,5	26,8
08.00	34,00	50,3	57,0	28,7
09.00	36,68	51,8	59,8	31,3
10.00	36,54	52,3	60,5	32,8
11.00	35,94	54,7	62,6	33,0
12.00	34,49	56,3	62,9	33,0
13.00	36,22	55,4	63,0	33,7
14.00	38,54	56,6	64,3	33,5
15.00	37,32	57,2	64,4	32,7
16.00	35,15	56,6	63,9	31,4
17.00	36,02	55,8	62,6	28,0
18.00	42,00	55,1	63,2	27,7
19.00	46,36	55,5	65,1	26,3
20.00	44,60	56,0	65,2	25,2
21.00	42,71	55,9	64,6	25,2
22.00	36,50	54,8	61,5	24,7
23.00	35,76	54,4	60,7	24,7

Tabel 4.5 Data hasil pengukuran beban dan suhu transformator daya 2 Bantul setiap 1 jam selama 24 jam, Kamis, 22 November 2018

Jam	Beban Trafo (MW)	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
00.00	34,81	54,3	60,5	25,2
01.00	31,89	51,9	57,1	24,1
02.00	31,20	51,4	56,2	24,1
03.00	31,58	50,8	55,8	24,1
04.00	31,97	50,6	56,0	24,0
05.00	34,51	49,8	55,6	24,7
06.00	32,55	49,5	55,4	25,1
07.00	31,21	43,8	49,8	26,2
08.00	33,32	43,9	51,3	26,9
09.00	35,49	48,2	55,4	28,9
10.00	37,40	50,1	58,8	29,9
11.00	38,12	52,2	60,5	30,7
12.00	36,57	54,2	61,4	31,6
13.00	35,24	54,3	61,4	32,6
14.00	32,94	55,2	61,3	31,6
15.00	28,14	55,5	59,9	30,3
16.00	30,15	54,7	59,5	30,3
17.00	30,00	53,8	59,0	28,91
18.00	44,22	53,1	62,0	26,5
19.00	45,25	54,2	63,6	25,2
20.00	43,90	54,4	63,6	24,7
21.00	41,54	54,7	62,9	23,2
22.00	39,12	53,8	61,6	23,0
23.00	35,82	53,6	60,1	22,8

Tabel 4.6 Data hasil pengukuran beban dan suhu transformator daya 2 Bantul setiap 1 jam selama 24 jam, Jum'at, 23 November 2018

Jam	Beban Trafo (MW)	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
00.00	33,95	52,1	58,1	22,6
01.00	31,99	51,4	56,5	22,4
02.00	31,36	50,3	55,5	21,7
03.00	31,00	50,0	55,0	21,0
04.00	32,07	49,4	54,7	21,0
05.00	33,39	48,5	54,3	21,0
06.00	32,14	48,3	53,9	23,2
07.00	30,48	48,5	53,5	25,5
08.00	31,60	55,6	49,1	27,3
09.00	34,70	51,2	58,6	27,8
10.00	35,21	52,7	60,7	28,7
11.00	36,46	53,8	61,8	28,8
12.00	35,69	54,2	61,8	29,0
13.00	34,64	54,7	61,6	31,4
14.00	36,11	55,9	63,2	30,7
15.00	35,54	55,8	63,2	29,7
16.00	34,78	55,5	62,2	29,5
17.00	35,65	54,3	61,5	28,2
18.00	40,77	55,2	62,3	26,9
19.00	44,69	55,3	64,4	25,6
20.00	43,61	55,2	64,2	24,5
21.00	40,99	55,2	63,2	23,8
22.00	38,23	54,3	61,6	23,4
23.00	35,71	53,9	60,1	22,7

4.3. Data Pembebanan Transformator Daya Senin, 19 November 2018

Berdasarkan tabel 4.2, diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Tabel 4.7. Data pembebanan transformator daya senin, 19 november 2018

Daya terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Prosentase Pembebanan (%)
57,6	36,20	62,84

Untuk daya terpasang digunakan persamaan :

$$\text{Daya nominal} \times \cos \varphi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :

$$\Sigma \text{ beban transformator} : 24 \text{ jam} = 868,89 : 24 = 36,20$$

Untuk prosentase pembebanan digunakan persamaan:

$$\frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% = \frac{36,20}{57,6} \times 100\% = 62,84\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa prosentase pembebanan sebesar 62,84% dengan daya terpasang 57,6 MW

4.4. Perhitungan Transformator Daya

4.4.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 62,84 % maka menentukan ratio pembebanan dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{62,84\%}{100\%}$$

$$K = 0,62$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,62

4.4.2. Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,62)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{2,92}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,48)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,51)$$

$$\Delta\theta_b = 28,05^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar 28,05°C

4.4.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \text{kenaikan temperatur awal minyak}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,0 + (28,05 - 60,0) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,0 + (-31,95) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,0 + (-8,977)$$

$$\Delta\theta_{on} = 51,023^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar 51,023°C

4.4.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,62^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,62^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,465$$

$$\Delta\theta_{td} = 10,695^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar $10,695^{\circ}\text{C}$

4.4.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

θ_a = temperatur maksimum suhu ambient (suhu maksimum lingkungan)

$$\theta_a = 33,5$$

$$\theta_c = 33,5 + 51,023 + 10,695$$

$$\theta_c = 95,218^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar $95,218^{\circ}\text{C}$

4.4.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(95,218 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(-2,782)/19,93}$$

$$v = 10^{(-0,139)}$$

$$v = 0,726$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 0,726

4.4.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil, maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,726 + 4 (0,476 + 0,738 + 0,775 + 0,756 + 0,858 + 0,665 + 1,994 + 1,288 + 0,794 + 0,598 + 0,558 + 0,598) + 2 (0,649 + 0,824 + 0,555 + 0,845 + 0,761 + 1,364 + 1,664 + 1,111 + 0,679 + 0,569 + 0,622) + 0,496\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,726 + 4 (10,098) + 2 (9,643) + 0,496\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,726 + 40,392 + 19,286 + 0,496\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{60,9\}$$

$$L = 0,845 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 0,845 p.u

4.4.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{0,845}$$

$$n = 20,76 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 20,76 tahun

4.5. Data Pembebanan Transformator Daya Selasa, 20 November 2018

Berdasarkan tabel 4.3, diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Tabel 4.8. Data pembebanan transformator daya selasa, 20 november 2018

Daya terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Prosentase Pembebanan (%)
57,6	34,46	59,61

Untuk daya terpasang digunakan persamaan :

$$\text{Daya nominal} \times \cos \varphi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :

$$\sum \text{ beban transformator} : 24 \text{ jam} = 827,07 : 24 = 34,46$$

Untuk prosentase pembebanan digunakan persamaan :

$$\frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% = \frac{34,46}{57,6} = 59,61\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa prosentase pembebanan sebesar 59,61% dengan daya terpasang 57,6 MW

4.6. Perhitungan Transformator Daya

4.6.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 59,61 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{59,61\%}{100\%}$$

$$K = 0,59$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,59

4.6.2. Kenaikan temperatur konstan top oil

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,59)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{2,74}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,46)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,49)$$

$$\Delta\theta_b = 26,95^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar $26,95^\circ\text{C}$

4.6.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \text{kenaikan temperatur awal minyak}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 61,5 + (26,95 - 61,5) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 61,5 + (-34,55) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 61,5 + (-9,708)$$

$$\Delta\theta_{on} = 51,792^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar $51,792^\circ\text{C}$

4.6.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,59^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,59^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,429$$

$$\Delta\theta_{td} = 9,867^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar $9,867^{\circ}\text{C}$

4.6.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

θ_a = temperatur maksimum suhu ambient (suhu maksimum lingkungan)

$$\theta_a = 33,4$$

$$\theta_c = 33,4 + 51,792 + 9,867$$

$$\theta_c = 95,059^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar $95,059^{\circ}\text{C}$

4.6.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(95,059 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(-2,941)/19,93}$$

$$v = 10^{(-0,147)}$$

$$v = 0,712$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 0,712

4.6.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16:

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4(V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2(V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,712 + 4(0,525 + 0,586 + 0,616 + 0,621 + 0,589 + 0,627 + 1,892 + 1,427 + 0,895 + 0,692 + 0,630 + 0,662) + 2(0,555 + 0,596 + 0,610 + 0,627 + 0,576 + 1,262 + 1,672 + 1,205 + 0,872 + 0,641 + 0,685) + 0,542\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,712 + 4(9,762) + 2(9,301) + 0,542\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,712 + 39,048 + 18,602 + 0,542\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{58,904\}$$

$$L = 0,818 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 0,818 p.u

4.6.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{0,818}$$

$$n = 21,45 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 21,45 tahun

4.7. Data Pembebanan Transformator Daya Rabu, 21 November 2018

Berdasarkan tabel 4.4, diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Tabel 4.9. Data pembebanan transformator daya rabu, 22 november 2018

Daya terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Prosentase Pembebanan (%)
57,6	36,21	62,86

Untuk daya terpasang digunakan persamaan :

$$\text{Daya nominal} \times \cos \varphi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :

$$\sum \text{ beban transformator} : 24 \text{ jam} = 869,23 : 24 = 36,21$$

Untuk Prosentase Pembebanan digunakan persamaan:

$$\frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% = \frac{36,21}{57,6} = 62,86\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa prosentase pembebanan sebesar 62,86% dengan daya terpasang 57,6 MW

4.8. Perhitungan Transformator Daya

4.8.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 62,86 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{62,86\%}{100\%}$$

$$K = 0,62$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,62

4.8.2. 2. Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,62)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{2,92}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,48)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,51)$$

$$\Delta\theta_b = 28,05^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar 28,05°C

4.8.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \text{kenaikan temperatur awal minyak}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,4 + (28,05 - 59,4) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,4 + (-31,35) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,4 + (-8,809)$$

$$\Delta\theta_{on} = 50,591^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar 50,591°C

4.8.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,62^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,62^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,465$$

$$\Delta\theta_{td} = 10,695^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar $10,695^{\circ}\text{C}$

4.8.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

θ_a = temperatur maksimum suhu ambient (suhu maksimum lingkungan)

$$\theta_a = 33,7$$

$$\theta_c = 33,7 + 50,591 + 10,695$$

$$\theta_c = 94,986^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar $94,986^{\circ}\text{C}$

4.8.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(94,986 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(-3,014)/19,93}$$

$$v = 10^{(-0,151)}$$

$$v = 0,706$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 0,706

4.8.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,706 + 4 (0,469 + 0,781 + 0,734 + 0,752 + 0,828 + 0,740 + 1,980 + 1,375 + 0,723 + 0,678 + 0,502 + 0,552) + 2 (0,623 + 0,773 + 0,647 + 0,926 + 0,688 + 1,281 + 1,657 + 0,735 + 0,654 + 0,514 + 0,570) + 0,523\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,706 + 4 (10,114) + 2 (9,068) + 0,523\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,706 + 40,456 + 18,136 + 0,523\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{59,821\}$$

$$L = 0,830 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 0,830 p.u

4.8.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{0,830}$$

$$n = 21,14 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 21,14 tahun

4.9. Data Pembebanan Transformator Daya Kamis, 22 November 2018

Berdasarkan tabel 4.5, diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Tabel 4.10. Data pembebanan transformator daya kamis, 22 november 2018

Daya terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Prosentase Pembebanan (%)
57,6	35,28	61,25

Untuk daya terpasang digunakan persamaan :

$$\text{Daya nominal} \times \cos \varphi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :

$$\sum \text{ beban transformator} : 24 \text{ jam} = 846,94 : 24 = 35,28$$

Untuk prosentase pembebanan digunakan persamaan :

$$\frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% = \frac{35,28}{57,6} = 61,25\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa prosentase pembebanan sebesar 61,25% dengan daya terpasang 57,6 MW

4.10. Perhitungan Transformator Daya

4.10.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 61,25 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{61,25\%}{100\%}$$

$$K = 0,61$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,61

4.10.2. Kenaikan Temperatur Stabil *Top Oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,61)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{2,86}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,47)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,50)$$

$$\Delta\theta_b = 27,5^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar $27,5^\circ\text{C}$

4.10.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \text{kenaikan temperatur awal minyak}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,5 + (27,5 - 60,5) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,5 + (-33) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 60,5 + (-9,273)$$

$$\Delta\theta_{on} = 51,227^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar $51,227^\circ\text{C}$

4.10.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,61^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,61^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,453$$

$$\Delta\theta_{td} = 10,419^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar $10,419^{\circ}\text{C}$

4.10.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

θ_a = temperatur maksimum suhu ambient (suhu maksimum lingkungan)

$$\theta_a = 32,6$$

$$\theta_c = 32,6 + 51,227 + 10,419$$

$$\theta_c = 94,246^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar $94,246^{\circ}\text{C}$

4.10.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(94,246 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(-3,754)/19,93}$$

$$v = 10^{(-0,188)}$$

$$v = 0,648$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 0,648

4.10.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,648 + 4 (0,380 + 0,436 + 1,708 + 1,183 + 0,699 + 0,505 + 0,494 + 0,628 + 0,479 + 0,682 + 0,859 + 0,666) + 2 (0,441 + 1,537 + 1,493 + 0,943 + 0,644 + 0,505 + 0,511 + 0,534 + 0,569 + 0,806 + 0,746) + 0,550\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,648 + 4 (8,719) + 2 (8,731) + 0,550\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,648 + 34,876 + 17,462 + 0,550\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{53,536\}$$

$$L = 0,743 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 0,743 p.u

4.10.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{0,743}$$

$$n = 23,62 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 23,62 tahun

4.11. Data Pembebanan Transformator Daya Jum'at, 23 November 2018

Berdasarkan tabel 4.6, diperoleh data pembebanan transformator daya sebagai berikut :

Tabel 4.11. Data pembebanan transformator daya jum'at, 22 november 2018

Daya terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Prosentase Pembebanan (%)
57,6	35,44	61,52

Untuk daya terpasang digunakan persamaan :

$$\text{Daya nominal} \times \cos \varphi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :

$$\sum \text{ beban transformator} : 24 \text{ jam} = 850,76 : 24 = 35,44$$

Untuk prosentase pembebanan digunakan persamaan :

$$\frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\% = \frac{35,44}{57,6} = 61,52\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh bahwa prosentase pembebanan sebesar 61,52% dengan daya terpasang 57,6 MW

4.12. Perhitungan Transformator Daya

4.12.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 61,52 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{61,52\%}{100\%}$$

$$K = 0,61$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,62

4.12.2. Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,61)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{2,86}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,47)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,50)$$

$$\Delta\theta_b = 27,5^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar $27,5^\circ\text{C}$

4.12.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \text{kenaikan temperatur awal minyak}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 58,1 + (27,5 - 58,1) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 58,1 + (-30,6) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 58,1 + (-8,598)$$

$$\Delta\theta_{on} = 49,502^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar $49,502^\circ\text{C}$

4.12.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,61^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,61^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,453$$

$$\Delta\theta_{td} = 10,419^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar $10,419^{\circ}\text{C}$

4.12.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

θ_a = temperatur maksimum ambient (suhu maksimum lingkungan)

$$\theta_a = 31,4$$

$$\theta_c = 31,4 + 49,502 + 10,419$$

$$\theta_c = 91,321^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar $91,321^{\circ}\text{C}$

4.12.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(91,321 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(-6,679)/19,93}$$

$$v = 10^{(-0,335)}$$

$$v = 0,462$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 0,462

4.12.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan tidak stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,462 + 4 (0,323 + 0,455 + 0,527 + 0,452 + 0,489 + 0,491 + 1,148 + 0,779 + 0,494 + 0,364 + 0,336 + 0,407) + 2 (0,352 + 0,475 + 0,494 + 0,511 + 0,456 + 0,781 + 1,034 + 0,618 + 0,427 + 0,345 + 0,365) + 0,367\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,462 + 4 (6,285) + 2 (5,858) + 0,367\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,462 + 25,14 + 11,716 + 0,367\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{37,685\}$$

$$L = 0,523 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 0,845 p.u

4.12.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{0,523}$$

$$n = 33,55 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 33,55 tahun

4.13. Data Pemanding

4.13.1 Pembebanan 80 %

4.13.1.1 Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 80 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{80\%}{100\%}$$

$$K = 0,8$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,8

4.13.1.2 Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,8)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{4,2}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,7)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,72)$$

$$\Delta\theta_b = 39,6^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar 39,6°C

4.13.1.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{o(n-1)} &= \sum \text{kenaikan temperatur awal minyak selama 5 hari} : 5 \\ &= (60,0 + 61,5 + 59,4 + 60,5 + 58,1) : 5 \\ &= 29,95 : 5 \\ &= 59,9\end{aligned}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (39,6 - 59,9) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}}\right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-20,3) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-5,704)$$

$$\Delta\theta_{on} = 54,196^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar $54,196^\circ\text{C}$

4.13.1.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}$$

$$k = \text{ratio pembebanan}$$

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,8^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,8^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,699$$

$$\Delta\theta_{td} = 16,077^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar 16,077°C

4.13.1.5. Temperatur *Hotspot*

Temperature *hotspot* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_a = \sum \text{temperatur maksimum ambient (suhu maksimum lingkungan)}$$

selama 5 hari : 5

$$= (33,5 + 33,4 + 33,7 + 32,6 + 31,4) : 5$$

$$= 164,6 : 5$$

$$= 32,92$$

$$\theta_a = 32,92$$

$$\theta_c = 32,92 + 54,196 \cdot 16,077$$

$$\theta_c = 103,193^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar 103,193°C

4.13.1.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(103,193 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(5,193)/19,93}$$

$$v = 10^{(0,260)}$$

$$v = 1,819$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 1,819

4.13.1.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{1,819 + 4 (1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819) + 2 (1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819 + 1,819)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{1,819 + 4 (21,828) + 2 (21,828)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{1,819 + 87,312 + 43,656\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{32,878\}$$

$$L = 1,844 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 1,844 p.u

4.13.1.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{1,844}$$

$$n = 9,51 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 9,51 tahun

4.13.2. Pembebanan 90 %

4.13.2.1 Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 90 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{90\%}{100\%}$$

$$K = 0,9$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,9

4.13.2.2. Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (0,9)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{5,05}{6}\right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,84)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (0,85)$$

$$\Delta\theta_b = 46,75^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar $46,75^\circ\text{C}$

4.13.2.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{o(n-1)} &= \sum \text{kenaikan temperatur awal minyak selama 5 hari} : 5 \\ &= (60,0 + 61,5 + 59,4 + 60,5 + 58,1) : 5 \\ &= 29,95 : 5 \\ &= 59,9 \end{aligned}$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (46,75 - 59,9) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}}\right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-13,15) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-3,695)$$

$$\Delta\theta_{on} = 56,205^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar $56,205^\circ\text{C}$

4.13.2.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 0,9^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,9^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 0,844$$

$$\Delta\theta_{td} = 19,412^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar 19,412°C

4.13.2.5 Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_a = \sum \text{temperatur maksimum ambient (suhu maksimum lingkungan)}$$

selama 5 hari : 5

$$= (33,5 + 33,4 + 33,7 + 32,6 + 31,4) : 5$$

$$= 164,6 : 5$$

$$= 32,92$$

$$\theta_a = 32,92$$

$$\theta_c = 32,92 + 56,205 + 19,412$$

$$\theta_c = 108,537^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar 108,537°C

4.13.2.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(\theta_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(108,537 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(10,357)/19,93}$$

$$v = 10^{(0,519)}$$

$$v = 3,303$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 3,303

4.13.2.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan stabil maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{3,303 + 4 (3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303) + 2 (3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303 + 3,303)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{3,303 + 4 (39,636) + 2 (39,636)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{3,303 + 158,544 + 79,272\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{241,119\}$$

$$L = 3,348 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 3,348 p.u

4.13.2.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{3,348}$$

$$n = 5,24 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 5,24 tahun

4.13.3. Pembebanan 100 %

4.13.3.1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 100 % maka menentukan ratio pembebanan dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$K = \frac{S}{Sr}$$

$$K = \frac{100\%}{100\%}$$

$$K = 1$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 1

4.13.3.2 Kenaikan temperatur konstan *top oil*

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1 + d k^2}{1 + d} \right)^{0,9}$$

$$d = 5, \quad \Delta\theta_{br} = 55^\circ\text{C}, \quad x=0,9$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{1 + 5 (1)^2}{1 + 5} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 \left(\frac{6}{6} \right)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (1)^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 55 (1)$$

$$\Delta\theta_b = 55^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur stabil *top oil* sebesar 55°C

4.13.3.3. Kenaikan Temperatur *Top Oil* untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.10 sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + \{\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}\} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\Delta\theta_{o(n-1)} = \sum \text{kenaikan temperatur awal minyak selama 5 hari} : 5$$

$$= (60,0 + 61,5 + 59,4 + 60,5 + 58,1) : 5$$

$$= 29,95 : 5$$

$$= 59,9$$

$$\tau = 3, \quad t = \text{waktu dalam jam}$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (55 - 59,9) \left(1 - e^{-\frac{1}{3}} \right)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-4,9) (0,281)$$

$$\Delta\theta_{on} = 59,9 + (-1,376)$$

$$\Delta\theta_{on} = 58,524^\circ\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh kenaikan temperatur *top oil* sebesar 58,524°C

4.13.3.4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

Selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* dapat menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y}$$

$$\Delta\theta_{cr} = 78^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\theta_{br} = 55^{\circ}\text{C}$$

k = ratio pembebanan

$$y = 0,8$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 55) 1^{2(0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 1^{1,6}$$

$$\Delta\theta_{td} = (23) 1$$

$$\Delta\theta_{td} = 23^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh selisih temperatur antara *hotspot* dengan *top oil* sebesar 23°C

4.13.3.5. Temperatur *Hotspot*

Untuk menentukan temperatur *hotspot* dapat menggunakan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_a = \sum \text{temperatur maksimum ambient (suhu maksimum lingkungan)}$$

selama 5 hari : 5

$$= (33,5 + 33,4 + 33,7 + 32,6 + 31,4) : 5$$

$$= 164,6 : 5$$

$$= 32,92$$

$$\theta_a = 32,92$$

$$\theta_c = 32,92 + 58,524 + 23$$

$$\theta_c = 114,444^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh temperatur *hotspot* sebesar 114,444°C

4.13.3.6. Laju Penuaan *Thermal Relatif*

Laju penuaan *thermal relatif* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$v = 10^{(t_c - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(114,444 - 98)/19,93}$$

$$v = 10^{(16,444)/19,93}$$

$$v = 10^{(0,825)}$$

$$v = 6,683$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh laju penuaan *thermal relatif* sebesar 6,683

4.13.3.7. Pengurangan Umur

Untuk menentukan susut umur transformator pada daya 60 MVA karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain dalam keadaan pembebanan stabil maka dapat dihitung menggunakan persamaan 2.16 sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3T} \{V_0 + \sum 4V_{\text{odd}} + \sum 2V_{\text{even}} + V_n\}$$

$$L = \frac{1}{3(24)} \{V_0 + 4 (V_1 + V_3 + V_4 + V_5 + V_7 + V_9 + V_{11} + V_{13} + V_{15} + V_{17} + V_{19} + V_{21} + V_{23}) + 2 (V_2 + V_4 + V_6 + V_8 + V_{10} + V_{12} + V_{14} + V_{16} + V_{18} + V_{20} + V_{22}) + V_{24}\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{6,683 + 4 (6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683) + 2 (6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683 + 6,683)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{6,683 + 4 (80,196) + 2 (80,196)\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{6,683 + 320,784 + 160,392\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{487,859\}$$

$$L = 6,775 \text{ p. u}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh susut umur transformator sebesar 6,775 p.u

4.13.3.8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban maka dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur transformator}}$$

$$n = \frac{20,55 - 3}{6,775}$$

$$n = 2,59 \text{ tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sisa umur transformator sekitar 2,59 tahun

4.14. Pembahasan Perhitungan

Menurut standar IEEE, tahun 2009 batasan suhu dan umur transformator yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.12 Batasan suhu dan umur transformator menurut IEEE tahun 1999

Variabel	Suhu (°C)	Keterangan
Kenaikan suhu belitan rata-rata	65	Diatas suhu lingkungan
Kenaikan suhu titik panas	98	Diatas suhu lingkungan
Kenaikan suhu minyak rata-rata ($\Delta\theta_{on}$)	65	Diatas suhu lingkungan
Batas suhu titik panas maksimum (θ_c)	110	Absolut
Rata-rata umur transformator normal	20,55	

Berdasarkan hasil perhitungan data real lapangan pada perhitungan 4.3-4.13 didapatkan hasil sebagai berikut:

Pada perhitungan 4.3 dan 4.4 hari Senin, 19 November 2018 didapatkan ratio pembebanan (K) = 0,526 – 0,801 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 49,864 – 54,349 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu 65 °C dan suhu titik panas (θ_c) diperoleh hasil sebesar 91,592 – 103,975 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Pada perhitungan 4.5 dan 4.6 hari Selasa, 20 November 2018 didapatkan ratio pembebanan (K) = 0,523 – 0,773 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 50,88 – 54,89 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu 65 °C dan suhu titik panas (θ_c) diperoleh hasil sebesar 92,433 – 103,52 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Pada perhitungan 4.7 dan 4.8 hari Rabu, 21 November 2018 didapatkan ratio pembebanan (K) = 0,529 – 0,804 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 49,45 – 53,99 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu 65 °C dan suhu titik panas (θ_c) diperoleh hasil sebesar 91,453 – 103,913 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Pada perhitungan 4.9 dan 4.10 hari Kamis, 22 November 2018 didapatkan ratio pembebanan (K) = 0,488 – 0,785 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 49,737 – 54,421 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu 65 °C dan suhu titik panas (θ_c) diperoleh hasil sebesar 89,634 – 102,635 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110°C.

Pada perhitungan 4.10 dan 4.11 hari Jum'at, 23 November 2018 didapatkan ratio pembebanan (K) = 0,529 – 0,775 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 48,523 – 52,502 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu 65 °C dan suhu titik panas (θ_c) diperoleh hasil sebesar 88,226 – 99,199 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110°C.

Berdasarkan hasil perhitungan data pembanding pada perhitungan 4.13.1-4.13.3 diperoleh hasil sebagai berikut :

Pada perhitungan 4.13.1 diperoleh ratio pembebanan (K) = 0,8 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 54,196 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu sebesar 65 °C dan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yang diperoleh yaitu sebesar 103,193 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Pada perhitungan 4.13.2 diperoleh ratio pembebanan (K) = 0,9 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 56,205 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu sebesar 65 °C dan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yang diperoleh yaitu sebesar 108,537 °C. Nilai tersebut masih dibawah batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Pada perhitungan 4.13.3 diperoleh ratio pembebanan (K) = 1 dengan kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{on}$) sebesar 58,524 °C. Nilai tersebut masih dibawah batasan suhu minyak rata-rata yaitu sebesar 65 °C dan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yang diperoleh yaitu sebesar 114,444 °C. Nilai tersebut sudah melewati batas maksimum kenaikan suhu titik panas ($\Delta\theta_c$) yaitu 110 °C.

Dengan demikian dapat diketahui dari penjelasan diatas bahwa transformator daya 2 Gardu Induk Bantul memiliki sisa umur sebesar $\geq 20,76$, $\geq 21,45$, $\geq 21,14$, $\geq 23,62$, dan $\geq 33,55$ tahun, dengan beban tidak stabil, rata-rata pembebanan 62,84% , 59,61% , 62,86% , 61,25% , 61,52%. Sedangkan pada beban 80% , 90% dan 100% dengan sisa umur sebesar $\geq 9,51$, $\geq 5,24$ dan $\geq 2,59$ tahun.

Berikut tabel hasil perhitungan data real senin-jum'at yaitu 62,84%, 59,61%, 62,86%, 61,25%, 61,52%, dan pembebanan 80%, 90%, 100%.

Tabel 4.13 Perhitungan dari berbagai macam pembebanan

No	Prosentase Pembebanan (%)	K	V	L	Sisa Umur (tahun)
1	62,84	0,62	0,726	0,845	20,76
2	59,61	0,59	0,712	0,818	21,45
3	62,86	0,62	0,706	0,830	21,14
4	61,25	0,61	0,648	0,743	23,62
5	61,52	0,61	0,462	0,523	33,55
6	80	0,8	1,819	1,844	9,51
7	90	0,9	3,303	3,348	5,24
8	100	1	6,683	6,775	2,59

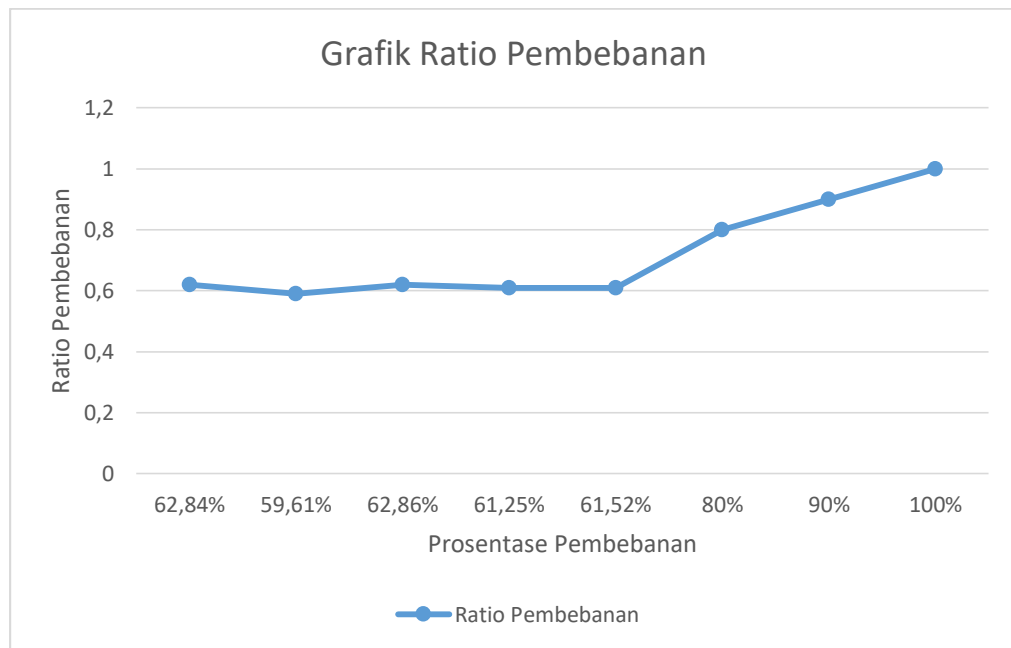
Keterangan :

K = Ratio Pembebanan

V = Laju Penuaan Thermal Relatif

L = Perkiraan susut umur transformator daya

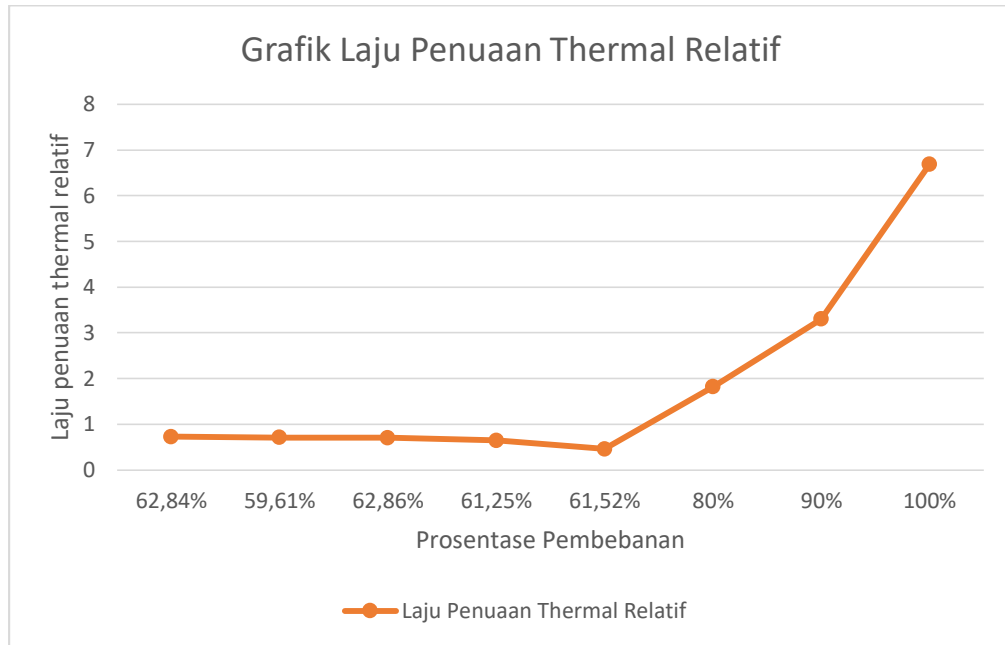
Data tabel 4.13 perhitungan pembebanan diubah ke dalam beberapa bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Ratio Pembebanan

Dari hasil perhitungan tabel 4.13 dan gambar 4.1 diperoleh bahwa ratio pembebanan rata-rata harian yang tertinggi yaitu sebesar 0,62 sedangkan ratio pembebanan rata-rata harian yang terendah yaitu sebesar 0,59. Ratio pembebanan harian dengan rentang 0,59-0,62 dapat dikatakan cukup baik karena perbedaan ratio pembebanan rata-rata harian yang relatif kecil.

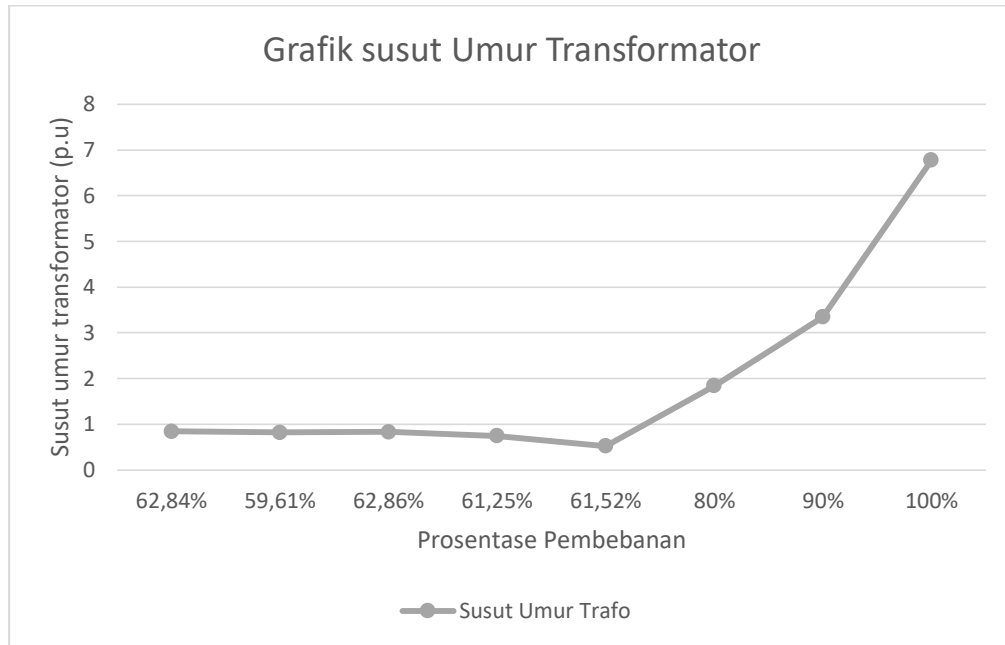
Berdasarkan pada gambar 4.1 didapatkan bahwa saat prosentase pembebanan yang paling tinggi yaitu 100%, diperoleh juga ratio pembebanan yang paling tinggi yaitu 1, sedangkan saat prosentase pembebanan yang paling rendah yaitu, 59,61%, juga diperoleh ratio pembebanan yang paling rendah yaitu 0,59. Dengan demikian ratio pembebanan berbanding lurus dengan prosentase pembebanan yang artinya jika semakin besar prosentase pembebanan maka semakin besar pula ratio pembebanan yang dihasilkan, dan sebaliknya.



Gambar 4.2 Grafik Laju Penuaan Thermal Relatif

Dari hasil perhitungan tabel 4.13 dan gambar 4.2 diperoleh bahwa laju penuaan thermal relatif dengan prosentase pembebanan harian yang berubah-ubah yaitu 59,61%-62,86% didapatkan hasil penurunan laju penuaan thermal dari hari ke hari, hal ini dikarenakan laju penuaan thermal relatif dipengaruhi oleh perbedaan rentang prosentase pembebanan yang relatif kecil serta suhu panas dan suhu sekitar transformator berubah-ubah.

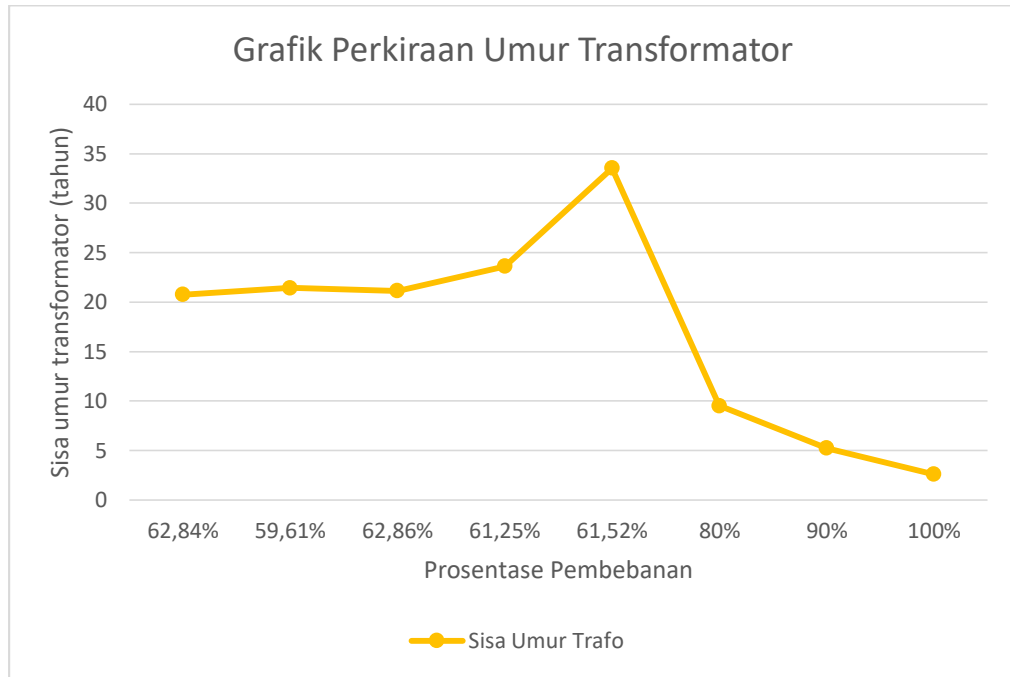
Berdasarkan prosentase pembebanan yang tidak berubah-ubah yaitu 80%, 90% dan 100% diperoleh laju penuaan thermal semakin membesar karena suhu sekitar transformator tidak berubah-ubah dan perbedaan prosentase pembebanan yang relatif besar, maka jika pembebanan semakin besar akan menyebabkan suhu belitan dan suhu minyak akan semakin besar pula.



Gambar 4.3 Grafik Susut Umur Transformator

Dari hasil perhitungan tabel 4.13 dan gambar 4.2 diperoleh bahwa susut umur transformator hampir sama hasilnya dengan laju penuaan thermal relatif dengan prosentase pembebanan harian yang konstan yaitu 59,61%-62,86% didapatkan hasil susut umur transformator relatif menurun dari hari ke hari, hal ini dikarenakan susut umur transformator merupakan hasil penjumlahan dari laju penuaan thermal relatif yang dipengaruhi oleh perbedaan rentang prosentase pembebanan yang relatif kecil serta suhu panas dan suhu sekitar transformator berubah-ubah.

Berdasarkan prosentase pembebanan yang konstan yaitu 80%, 90% dan 100%, didapatkan susut umur transformator semakin membesar, hasil tersebut sama dengan laju penuaan thermal karena suhu sekitar transformator tidak berubah-ubah dan perbedaan prosentase pembebanan yang relatif besar, maka jika pembebanan semakin besar akan menyebabkan suhu belitan dan suhu minyak akan semakin besar pula.



Gambar 4.4. Grafik Perkiraan Umur Transformator

Dari hasil perhitungan tabel 4.13 dan gambar 4.4 diperoleh bahwa perkiraan umur tertinggi transformator terdapat pada prosentase pembebanan sebesar 61,25% dan perkiraan umur terendah transformator terdapat pada prosentase puncak pembebanan yaitu 100%. Pada pembebanan yang tidak stabil, diperoleh sisa umur transformator yang berubah-ubah, dikarenakan pembebanan dan suhu sekitar yang berubah-ubah. Sedangkan pada pembebanan yang stabil, diperoleh bahwa jika semakin besar pembebanan maka semakin kecil umur transformator, dan sebaliknya. Dengan kata lain, pembebanan berbanding terbalik dengan umur transformator

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 4.14 dan gambar 4.1-4.4 diperoleh bahwa pembebanan yang semakin besar akan memperbesar laju penuaan thermal akibatnya juga memperbesar susut umur transformator sehingga sisa umur transformator akan semakin kecil sebaliknya jika pembebanan semakin kecil

akan semakin kecil juga laju penuaan thermal dan susut umur trafo sehingga sisa umur trafo akan semakin besar.

Menurut standar IEC 354 suhu ambient atau suhu lingkungan sekitar transformator pada umumnya berkisar 20 sampai 38 sehingga suhu ambient atau suhu lingkungan sangat mempengaruhi susut umur transformator. Semakin tinggi temperatur suhu ambient semakin tinggi pula temperatur *hotspot*, dan sebaliknya. Oleh karena itu suhu ambient atau suhu lingkungan menentukan temperatur *hotspot*.