

STUDI ANALISIS PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK BANTUL 150 KV

(The Analysis Study of Transformer Bantul Substation 150 KV's Age Estimation)

Dwi Nugroho Juliansyah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta
Email: dnjuliansyah@gmail.com

ABSTRACT

Transformer has an important role in electrical power system, because it is used as voltage adjuster for the load served. Therefore the transformer must be protected and maintained to have live longer. In this final project, research transformer's age estimation that is affected by various variations of load, temperature of transformer and ambient temperature of transformer in bantul substation 150 KV based on the 2009 IEEE standard. In this research use descriptive analysis method, which is a research method carried out by collecting data directly then processed into calculations and then analyze and take conclusions that can be used as a basic process to determine the shrinkage life of the power transformer due to loading. The calculation of the transformer starts from calculating the loading ratio then used to calculate the increase of the top oil stable temperature and the increase of the top oil temperature for changing load and then calculate the temperature difference between the hotspot and top oil. Then calculate the hotspot temperature use Yogyakarta environmental temperature data. From the calculation of the temperature of the hotspot can be calculated the relative thermal aging rate and then the results to calculate shrink age and remainder age of the transformer. The result of the research acquired that the highest estimated age is 33,55 years at load 61,52% with shrinkage of transformer age 0,523 p.u while the lowest estimated age is 2,59 years at peak load that is 100% with transformer lifespan 6,775 p.u

Keywords: Power Transformer, loading , temperature and age of Transformer

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring meningkatnya pertumbuhan pembangunan maka menuntut energi listrik yang semakin besar dan berkualitas. Sekarang tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan industri. Hal ini dikarenakan tenaga listrik mudan didistribusikan dan dikonversikan dari satu ke bentuk lainnya. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu untuk memenuhi kebutuhan kebutuhan tenaga listrik maka dibutuhkan transformator untuk menyalurkan tenaga listrik secara maksimal.

Transformator merupakan peralatan yang penting dalam saluran distribusi untuk menyalurkan tenaga listrik. Transformator memiliki fungsi untuk memindahkan dan

mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Dalam jaringan transmisi dan distribusi, salah satu peralatan utama yaitu transformator daya sebagai peralatan tenaga listrik untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya, agar tegangan yang digunakan sesuai dengan rating peralatan listrik. Transformator merupakan peralatan yang harus dijaga dan dipelihara dikarenakan harganya yang mahal dan agar memiliki umur penggunaan yang panjang.

Umur transformator dapat berkurang dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satu faktor penyebab kerusakan atau berkurangnya umur transformator adalah pengaruh dari pembebanan, pembebanan yang berlebih mengakibatkan peningkatan temperatur dapat menimbulkan panas dari trafo. Panas mengakibatkan kerusakan/penguraian materian

transformator sehingga dapat mempercepat proses penuaan umur transformator. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini, penulis akan meneliti perkiraan umur transformator.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pembebanan terhadap harapan hidup (umur) transformator.
2. Mengetahui dan menganalisis pengaruh suhu minyak, suhu kumparan dan suhu lingkungan transformator daya
3. Mengetahui perkiraan umur transformator daya.

II. DASAR TEORI

2.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik elektromagnetik statis yang digunakan untuk mengubah dan memindahkan daya listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, menggunakan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana pada sisi primer dan sisi sekunder, perbandingan tegangan berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator dapat digunakan secara luas baik dalam sistem tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam Sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap kebutuhan, misalnya keperluan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik dengan jarak jauh ke konsumen. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan handal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik bolak-balik, Karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian sebesar I^2R watt, kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian saluran-saluran tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi

2.2 Pengaruh Pembebanan dan Suhu pada Transformator Daya

1. Kenaikan Beban

Transformator dalam keadaan bertegangan dan belum dibebani akan timbul rugi-rugi yang dapat menimbulkan kondisi trafo tersebut panas, namun panas yang timbul kecil Transformator mempunyai batas panas yang diijinkan sesuai dengan klas isolasi spesifikasi trafo. Demikian juga minyak isolasi trafo mempunyai batas panas yang diijinkan. Apabila panas-panas tersebut dilampaui maka isolasi akan rusak dan secara keseluruhan transformator tersebut akan rusak. Panas tersebut harus direduksi dengan memasang sistem pendingin.

Untuk menentukan rasio pembebanan transformator, menurut IS : 6600 - 1972 dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$k = \frac{S}{S_r} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- k = Rasio pembebanan
- S = persentase pembebanan (%)
- Sr = pembebanan penuh = 100 %

2. Kenaikan Temperatur Top Oil

Kenaikan temperatur ini sepadan dengan kenaikan temperatur top oil pada nilai daya yang dikalikan ratio dari total kerugian eksponen x. menurut (pandapotan dan warman, 2013) kenaikan temperatur ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- k = ratio pembebanan
- d = 5,
- x = konstanta (ketetapan)
- x = 0,9 (untuk ONAN dan juga ONAF)
- x = 1,0 (untuk OFAF dan juga OFWF)
- $\Delta\theta_{br}$ = temperatur (suhu)

Untuk $\Delta\theta_{br} = 55$ °C untuk ON, dan $\Delta\theta_{br} = 40$ °C untuk OF, spesifikasi dalam sub bab 41.7.1 publikasi IEC .76 (1967) dikarenakan mengikuti tabel tunggal yang diatur untuk digunakan pada kedua jenis pendinginan dengan kesalahan yang tidak lebih dari + 2%.

Nilai d secara relatif tidak penting pada beban tinggi hanya memberikan secara garis besar

tinggi atau rendahnya kenaikan temperatur. Lebih dari itu ini di kompensasi untuk seberapa besar korespondensinya dengan naik atau turunnya temperatur minyak pada beban rendah

3. Kenaikan Temperatur Top Oil untuk beban berubah-ubah

Menurut (Pandapotan dan Warman, 2013) Kenaikan temperatur top oil ($\Delta\theta_{on}$) pada waktu t setelah pemberian beban adalah sangat mendekati untuk kenaikan eksponensial berikut :

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_o (n - 1) + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_o (n - 1)) (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

$\Delta\theta_o$ adalah kenaikan temperatur awal minyak

$\Delta\theta_b$ adalah kenaikan temperatur akhir minyak yang telah di stabilkan, berhubungan dengan beban seperti dihitung dalam sub bab sebelumnya.

τ = konstanta waktu minyak dalam jam

$\tau = 3$ (ONAN dan ONAF)

$\tau = 2$ (OFAF dan OFWF)

t = waktu dalam jam.

4. Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil

Untuk selisih temperatur antara hot spot dengan top oil, menurut (Sigid, 2011) dapat digunakan persamaan berikut :

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) k^{2y} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{td}$ = Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil ($^{\circ}\text{C}$)

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

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

k = Ratio pembebanan

y = konstanta

y = 0,8 (Untuk ONAN dan juga ONAF)

y = 0,9 (Untuk OFAF dan juga OFWF)

5. Kenaikan Temperatur Hotspot

Kenaikan temperatur hotspot pada waktu tertentu sebelum kondisi distabilkan adalah mendekati perkiraan dengan asumsi bahwa

kenaikan temperatur hotspot diatas adalah kenaikan temperatur top oil yang terbentuk dengan seketika.

Menurut IEEE C57.92-1981 Kenaikan temperatur hotspot pada waktu tertentu sama dengan :

$$\Delta\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$\Delta\theta_c$ = Kenaikan temperatur hotspot ($^{\circ}\text{C}$)

θ_a = temperatur ambient (suhu lingkungan sekitar)

$\Delta\theta_{on}$ = kenaikan temperatur top oil ($^{\circ}\text{C}$)

$\Delta\theta_{td}$ = Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil ($^{\circ}\text{C}$)

6. Laju Penuaan Thermal Relatif

Dalam menentukan nilai relatif dari umur pemakaian sebuah transformator dapat menggunakan hubungan Montsinger. Hubungan Monsinger sekarang telah digunakan untuk memperoleh nilai relatif dari umur pemakaian pada temperatur θ_c , dibandingkan dengan nilai normal dari nilai normal dari umur pemakaian pada temperatur θ_{cr} . Menurut (IS :6600 -1972) untuk mengetahui laju penuaan Thermal Relatif dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = 10^{(\theta_c - 98)/19,93} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

V = nilai relatif dari umur pemakaian

$\theta_{cr} = 98 \text{ }^{\circ}\text{C}$ menurut publikasi IEC 76 (1967)

7. Pengurangan umur transformator

Besarnya susut umur pada transformator karena pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain, menurut (Sigid, 2011) dapat dihitung sebagai berikut:

$$L = \frac{h}{3T} \{ VO + \sum 4 V_{odd} + \sum 2 V_{even} + V_n \} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

L = Susut Umur (P.u)

h = Konstanta = 1

T = Waktu

Vodd, Veven = Laju penuaan thermal relatif.

Vodd untuk nilai V ganjil, Veven untuk nilai V genap

8. Perkiraan Sisa Umur Transformator

Untuk menghitung perkiraan sisa umur transformator daya, menurut (pandapotan dan warman, 2013) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$n = \frac{\text{umur dasar (tahun)} - \text{lama trafo dipakai (tahun)}}{\text{susut umur transformator (pu)}} \dots\dots\dots(2.8)$$

III. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode deskriptif analisis, yaitu suatu metode penelitian yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data secara langsung dan menganalisisnya serta mengambil suatu kesimpulan yang dapat digunakan sebagai proses dasar untuk menentukan penyusutan umur transformator daya akibat pembebanan. Data-data yang dikumpulkan berdasarkan pada data-data teknis transformator daya yang ada dilapangan. Metode penelitian ini terdapat lima hal pokok yaitu : studi literatur, persiapan penelitian, pengambilan data, pengolahan dan perhitungan data, analisis dan pembahasan hasil, dan kesimpulan.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna mengetahui dan menguasai materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk memperdalam faktor-faktor tertentu dalam melakukan analisa penelitian. Dengan melakukan studi literatur, peneliti akan mendapatkan informasi dan data yang dapat membantu dalam penyelesaian masalah. Informasi dan data yang didapatkan dengan sumber literatur : referensi buku, jurnal, internet, tugas akhir serta hasil penelitian dan literatur lain yang terkait.

3.2 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan merupakan tahap melakukan observasi dan mengurus perizinan pengambilan data-data penelitian di Gardu Induk Bantul. Ada beberapa persyaratan perizinan untuk mengambil data-data di Gardu Induk Bantul antara lain : proposal skripsi, surat perintah tugas akhir dan transkrip nilai. Semua persyaratan tersebut diajukan ke BaseCamp PLN Salatiga setelah itu akan mendapatkan perizinan penelitian tugas akhir selama satu minggu.

3.3 Pengambilan data

Data-data yang dibutuhkan akan diambil langsung ke lokasi dengan cara mengukur beban tranformator dan mengumpulkan data-data pendukung lainnya, kemudian data tersebut akan diolah untuk dianalisis di tahap selanjutnya. Adapun cara pengambilan data dilakukan dengan studi dokumentasi dan wawancara sebagai berikut:

1. Studi Dokumentasi

Pengambilan data-data sesuai dengan yang diperlukan dalam penelitian seperti spesifikasi transformator daya, pengukuran beban transformator dan data pendukung lainnya yang ada di Gardu Induk Bantul baik dalam bentuk softfile maupun dalam bentuk dokumentasi

2. Wawancara

Wawancara yang dilakukan oleh penulis untuk memperoleh data berdasarkan keterangan dari karyawan Gardu Induk Bantul

3.4 Pengolahan dan perhitungan data

Data-data yang telah terkumpul, kemudian diolah kedalam tahapan perhitungan penelitian ini yang dimulai dari menghitung ratio pembebanan kemudian digunakan untuk menghitung kenaikan temperatur stabil top oil serta kenaikan temperatur top oil untuk beban berubah lalu menghitung selisih temperatur antara hotspot dengan top oil. Kemudian menghitung temperatur hotspot menggunakan data temperatur lingkungan Yogyakarta. Dari hasil perhitungan temperatur hotspot dapat dihitung laju penuaan thermal relatif kemudian hasilnya untuk menghitung susut umur dan sisa dari umur transformator

3.5 Analisis dan Pembahasan Hasil

Setelah mendapatkan hasil perhitungan tahap selanjutnya menganalisis pengaruh dari beban yang berubah-ubah, suhu minyak transformator, suhu kumparan transformator dan suhu sekitar transformator. Kemudian dbuat data perbandingan untuk menganalisis pengaruh dari beban yang stabil terhadap transformator sehingga besaran beban stabil yang dibuat yaitu 80%, 90% dan 100%.

3.6 Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh dari hasil perhitungan, analisis dan pembahasan hasil sehingga dapat ditarik kesimpulan secara keseluruhan dari

penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan yang diberikan berisikan dengan alasan yang sesuai dari permasalahan yang dihadapi sehingga hasil dari penelitian dapat diterima secara teoritis dan dapat dipertanggung jawabkan.

IV. HASIL PENELITIAN

4.1 Data Spesifikasi Tranformator 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

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 Tap Changer	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 trafo daya hari Senin 19-11-2018

Tabel 4.2 pengukuran beban dan suhu kumparan

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

Tabel 4.3 pengukuran suhu minyak dan ambient

Jam	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan / ambient (°C)
00.00	60,0	25,6
01.00	59,3	25,4
02.00	58,5	25,4
03.00	57,2	25,2
04.00	56,5	25,2
05.00	56,2	25,2
06.00	56,2	26,5
07.00	57,0	28,7
08.00	59,6	29,6
09.00	60,7	30,1
10.00	62,1	31,2
11.00	63,3	32,2
12.00	62,8	33,5
13.00	63,0	33,5
14.00	63,9	33,5
15.00	64,3	33,2
16.00	63,7	32,7
17.00	62,2	31,4
18.00	63,4	30,1
19.00	65,0	29,6
20.00	65,2	27,5
21.00	64,6	27,0
22.00	63,7	27,0
23.00	61,7	26,6

4.3. Data Pembebanan Transformator Daya Senin, 19 November 2018

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

Tabel 4.4. 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 :
Daya nominal $\times \cos \phi = 60 \text{ MVA} \times 0,96 = 57,6 \text{ MW}$

Untuk daya terpakai digunakan persamaan :
 \sum beban transformator : 24 jam = 868,89 : 24 = 36,20 MW

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

1. Ratio Pembebanan

Dengan persentase pembebanan sebesar 62,84 % maka menentukan ratio pembebanan dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut:

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

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

$$K = 0,62$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh ratio sebesar 0,62

2. Kenaikan temperatur konstan top oil

Untuk menentukan kenaikan temperatur konstan top oil dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Kenaikan Temperatur Top Oil untuk Beban yang Berubah

Untuk menentukan kenaikan temperatur berubah top oil dapat menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut:

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

$\Delta\theta_{o(n-1)}$ = 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. Selisih Temperatur antara Hotspot dengan Top Oil

Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil dapat menggunakan persamaan 2.4 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°C

5. Temperatur Hotspot

Untuk menentukan temperatur hotspot dapat menggunakan persamaan 2.5 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°C

6. Laju Penuaan Thermal Relatif

Laju penuaan thermal relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 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

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 2.7 sebagai berikut :

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

$$L = \frac{1}{3(24)} \{VO + 4(V1 + V3 + V4 + V5 + V7 + V9 + V11 + V13 + V15 + V17 + V19 + V21 + V23) + 2(V2 + V4 + V6 + V8 + V10 + V12 + V14 + V16 + V18 + V20 + V22) + V24\}$$

$$L = \frac{1}{72} \{0,726 + 4(0,476 + 0,738 + 0,775 + 0,756 + 0,858 + 0,665 + 1,994 + 1,288 + 0,794 + 0,598 + 0,558 + 0,598) + 2(0,649 + 0,824 +$$

$$0,555 + 0,845 + 0,761 + 1,364 + 1,664 + 1,111 + 0,679 + 0,569 + 0,622) + 0,496\}$$

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

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

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

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

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

8. Perkiraan umur transformator daya

Perkiraan umur transformator daya dengan adanya perubahan beban dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.8 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

Untuk pembebanan data real senin-jum'at yaitu 62,84%, 59,61%, 62,86%, 61,25%, 61,52%, dan pembebanan 80%, 90%, 100% umurnya dapat ditentukan dengan cara yang sama sehingga didapatkan tabel sebagai berikut :

Tabel 4.5 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

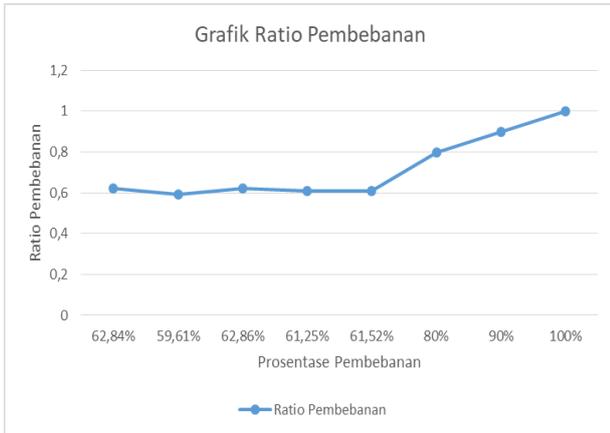
Keterangan :

K = Ratio Pembebanan

V = Laju Penuaan Thermal Relatif

L = Perkiraan susut umur transformator daya

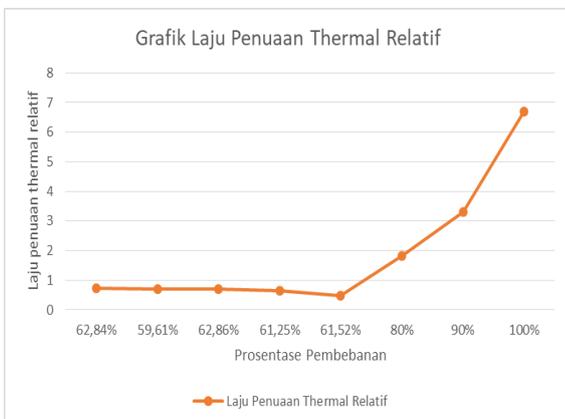
Dari Data tabel 4.5 perhitungan pembebanan diubah ke dalam beberapa bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Ratio Pembebanan

Dari hasil perhitungan tabel 4.5 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.

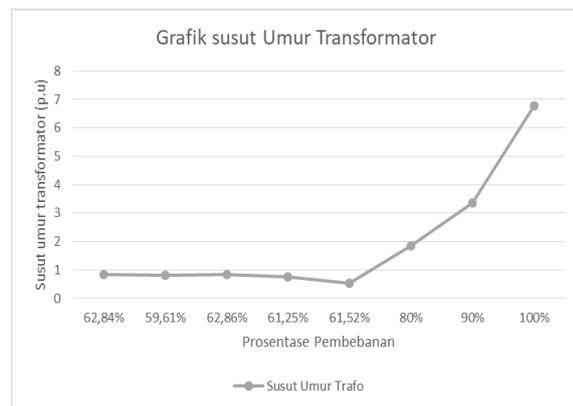
Berdasarkan pada gambar 4.1 didapatkan bahwa saat prosentase pembebanan yang paling tinggi yaitu 100%, diperoleh juga ratio pembebanan yang paling tinggi yaitu 1, sedangkan saat prosentase pembebanan yang paling rendah yaitu, 59,61%, juga diperoleh ratio pembebanan yang paling rendah yaitu 0,59. Dengan 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 4.5 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.

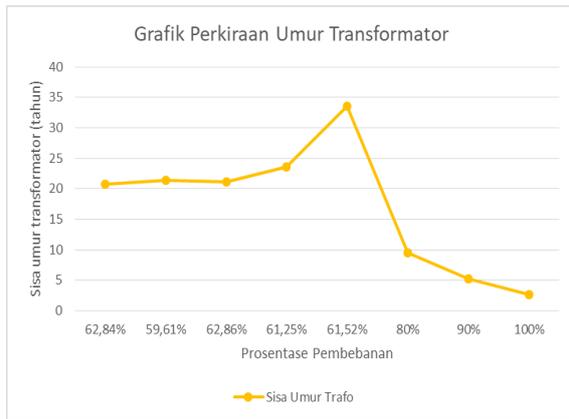


Gambar 4.3 Grafik Susut Umur Transformator

Dari hasil perhitungan tabel 4.5 dan gambar 4.3 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 4.5 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 4.1 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.

V. KESIMPULAN

1. Prosentase pembebanan rata-rata harian yang tertinggi di transformator daya Gardu Induk Bantul 60 MVA adalah sebesar 62,86% sedangkan prosentase pembebanan rata-rata harian yang terendah 59,51% . Prosentase pembebanan rata-rata harian ini dapat dikatakan masih sesuai dengan kapasitas transformator yang terpasang.

2. Pada pembebanan transformator yang tidak stabil saat pembebanan 61,52%, diperoleh laju penuaan thermal terendah yaitu sebesar 0,462. Sedangkan pada pembebanan yang stabil saat pembebanan 80%, diperoleh laju penuaan thermal terendah yaitu sebesar 1,819. Namun pada beban puncak yaitu 100%, diperoleh laju penuaan thermal tertinggi yaitu sebesar 6,683.

3. Hasil penelitian dari perhitungan data pembandingan untuk pembebanan yang konstan yaitu 80%, 90%, 100% diperoleh susut umur 1,844 p.u, 3,348p.u dan 6,775 p.u serta dengan sisa umur 9,51 tahun, 5,24 tahun dan 2,59 tahun.

4. Hasil penelitian dari perhitungan data real lapangan mulai hari senin-jum'at dengan pembebanan yang tidak konstan yaitu 62,84%, 59,51%, 62,86%, 61,25% dan 61,52% diperoleh susut umur 0,845 p.u, 0,818 p.u, 0,830 p.u, 0,743 p.u dan 0,523 p.u dan memiliki sisa umur 20,76 tahun, 21,45 tahun, 21,14 tahun, 23,62 tahun,

5. Transformator yang bebannya semakin besar akan memperbesar laju penuaan thermal akibatnya susut umur trafo yang semakin besar sehingga sisa umur trafo akan semakin kecil sebaliknya jika semakin kecil pembebanan transformator maka akan semakin kecil juga laju penuaan thermal dan susut umur trafo sehingga sisa umur trafo akan semakin besar. Oleh karena itu, umur transformator yang diperoleh berasal dari pengaruh pembebanan, suhu minyak dan suhu lingkungan sekitar transformator

6. Pembebanan transformator daya di gardu induk Bantul yang masih dibawah 70%, pembebanan tersebut masih dalam rating daya transformator. Oleh karena itu transformator daya di gardu induk Bantul masih sesuai dengan kapasitas transformator yang terpasang.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesainya tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian perkiraan umur transformator di gardu induk Bantul 150 kv, Teknik Elektro UMY yang telah memberikan kesempatan kepada penulis dalam menuangkan sebuah penelitian yang bisa bermanfaat bagi gardu induk dan masyarakat serta dosen pembimbing dan dosen penguji tugas akhir

yang memberikan bimbingan, arahan dan koreksinya dalam pembuatan dan penyelesaian tugas akhir.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, S. Kuwahara 1979. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid III. Jakarta : Pradya Paramita
- Andika, Dimas Aldi Yanuar. Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Tenaga Di Gardu Induk Palur 150 kV. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Gultom, Palindungan dkk. 2017. Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 kV Akibat Pembebanan Lebih Di PT.PLN (PERSERO) Kota Pontianak. Jurnal Untan. Universitas Tanjung Pura.
- Heathcote, Martin, j. 1998. The J & P Transformer Book (Twelfth Edition). London: Newnes Imprint.
- IEC, Loading Guide For Oil Immersed Transformer, IEC Publication, 1972.
- IEC-354, Loading For Oil-Immersed Power Transformers, International Electrical Commission, Second Edition, 1991.
- IEEE, Guide for Loading Mineral-Oil Immersed Power Transformers, IEEE standard C57.91 Institute of Electrical and Electronic Engineers, NewYork NY, 2000.
- IEEE, Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers, IEEE standard C57.91 Institute of Electrical and Electronic Engineers, NewYork NY, 2000.
- IEEE, Recommended Practice For Performing Temperature Rise Test on Oil-Immersed Power Transformer at Load Beyond Nameplate Ratings, Institute of Electrical and Electronic Engineers, NewYork NY, 2000.
- Indian Standard. Guide For Loading Of Oil-Immersed Transformer, IS : 6600-1972
- Julianoor, Muhammad Sajid. 2017. Analisis Pembebanan Transformator 150/20 KV Gardu Induk Cempaka BanjarBaru Kalimantan Selatan. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Kadir, Abdul 1979. Transformator. Jakarta : Pradya paramita
- Kodoati, Krestovel Alvian dkk. 2015. Analisa Perkiraan Umur Transformator. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer. Manado : Universitas Sam Ratulangi
- Laughton, M.A dan D.F. Warne. 2003. "Electrical Engineer's Reference Book 16th Editionn". Great Britian : Newnes
- Muzar, Muhammad Aidil dkk. 2018. Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro. Jurnal Online Teknik Elektro Vol.3 No.2. Banda Aceh : Universitas Syiah Kuala
- Pandapotan, Junedy dan Warman, Eddy. 2013. Studi Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya (Aplikasi Pada Gardu Induk PematangSiantar). Jurnal Vol 3 No 1. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Sadi, Sumardi. 2015. Pengujian Temperatur Rise Transformator 3 Fasa 1000 Kva Tegangan 20000/400 V. Jurnal Teknik Volume 4 No 1. Tangerang : Universitas Muhammadiyah Tangerang.
- Sigid, Purnama. 2009. Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Transformator Tenaga. Semarang : Universitas Diponegoro
- Sulistyo, Teguh. 2014. Pengkajian Kondisi Transformator BHT03 Pada RSG-Gas Menggunakan Metoda Dissolved Gas Analysis. Jurnal Sigma Epsilon Volume 18 No 3-4.
- Syahfitra, Febrian Dhimas. Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Sebagai Sistem Peramalan Beban Puncak Transformator Gardu Induk Bumiayu. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- Syahputra, R. 2017. Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. Yogyakarta : LP3M UMY Yogyakarta
- Wardi, Epo. 2015. Analisa Pembebanan Transformator Distribusi Fasa Tiga 1000 Kva 20 kV/ 400 V Di Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wijonarko, Bagus. 2018. Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator.

Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta

Zainuddin, M., Wiraputra, L. 2016. “Gardu Induk Anggrek dan Rekonfigurasi Jaringan terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-Rugi Daya (Studi Kasus PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo)’ Jurnal Rekayasa Elektrika Volume 12 (hlm. 73-118). Banda Aceh.