

# Analisa Perkiraan Umur Transformator Di Gardu Induk Paniki Berdasarkan Pengaruh Pembebanan

Rifli Gultom<sup>1)</sup>, Lily S. Patras<sup>2)</sup>, Maickel Tuegeh<sup>3)</sup>,

Fakultas Teknik

Prodi Teknik Elektro

Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu, 95115, Indonesia

Email: [rifligultom09@gmail.com](mailto:rifligultom09@gmail.com)

*Abstract - One of the energy that is needed by society today is electrical energy. This happens because of the increasing number of household and industrial appliances that use electrical energy. The transformer is one of the equipment that used in electrical energy distribution. There are several things that affect the age of a transformer, including a loading. High transformer loading will result a transformer insulation temperature increase both solid insulation, such as paper and oil insulation. his temperature increase will result in rapid aging of the insulation and a decrease in the quality of the transformer insulation, so need to be known he routine maintenance of the transformer to keep the transformer's age become long. This research was conducted to determine the life shrinkage and the estimated remaining life of the 150 kV transformer at the Paniki's substation. In this research, I used a quantitative method which is a data analysis method. Based on the calculation, the average real loading at the Paniki's substation for 24 hours was 22.61 MVA with an age loss of 0.158 pu/hour, and an average hotspot temperature of 81.29 °C. It is estimated that the age of the transformer at the Paniki's substation is still long, which is more than 30 years.*

**Keywords :** Loading; age loss; hotspot temperature; transformer age

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi salah satu energi yang banyak digunakan masyarakat untuk saat ini. Hal ini terjadi karena semakin banyaknya peralatan rumah tangga maupun industri yang menggunakan energi listrik. Transformator

*Abstrak - Salah satu energi yang sangat dibutuhkan masyarakat saat ini adalah energi listrik. Hal ini terjadi karena semakin banyaknya peralatan rumah tangga maupun industri yang menggunakan energi listrik. Transformator menjadi salah satu peralatan yang digunakan dalam penyaluran energi listrik. Ada beberapa hal yang mempengaruhi umur suatu transformator, diantaranya adalah pembebanan. Pembebanan trafo yang tinggi akan mengakibatkan kenaikan suhu pada isolasi transformator baik isolasi yang bersifat padat, misalnya kertas maupun isolasi minyak. Kenaikan suhu ini akan mengakibatkan isolasi cepat menua dan penurunan kualitas dari isolasi trafo, sehingga perlu diketahui pemeliharaan rutin pada transformator untuk menjaga umur trafo bisa bertahan lama. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui susut umur dan perkiraan sisa umur transformator 150 kV GI Paniki. Pada penelitian ini, metode yang dilakukan adalah metode kuantitatif dengan metode analisis data. Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata pembebanan real di GI Paniki selama 24 jam sebesar 22,61 MVA dengan susut umur sebesar 0,158 pu/jam, dan rata-rata temperature hotspot 81,29 °C. Diperkirakan umur transformator pada GI Paniki masih lama, yaitu >30 tahun.*

**Kata Kunci :** Pembebanan; Susut Umur; Temperatur Hotspot; Umur Transformator

menjadi salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik sehingga umur transformator diharapkan dapat bertahan lama. Transformator dalam sistem tenaga berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Pembebanan pada trafo akan menaikkan suhu pada isolasi yang

menyebabkan kualitas isolasi trafo akan menurun. Oleh karena itu pentingnya mengetahui besar susut umur transformator agar dapat memprediksi kapan transformator akan berhenti bekerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pembebanan terhadap usia suatu transformator 150 kV di Gardu Induk Paniki. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi bagi Gardu Induk Paniki dalam menentukan besar pembebanan transformator agar usia pakai transformator tersebut dapat bertahan lama.

## I. DASAR TEORI

### A. Transformator

Transformator digunakan untuk menaikkan ataupun menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keandalan tenaga listrik yang akan disalurkan ke konsumen. Tegangan tinggi yang dinaikkan dengan transformator digunakan pada saluran transmisi, hal ini dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada saluran, dengan menaikkan tegangan maka rugi-rugi saluran dapat diperkecil.

### B. Konstruksi Pada Transformator

Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dibelitkan pada inti besi. Konstruksi transformator daya ada pada dua tipe yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Kedua tipe ini menggunakan inti berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya, dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi arus Eddy.

### C. Prinsip Kerja Transformator

Trafo terdiri dari dua gulungan kawat yang terpisah satu sama lain, yang dibelitkan pada inti yang sama. Daya listrik dipisahkan dari kumparan primer ke kumparan sekunder dengan perantaraan garis gaya magnet (flux magnet) yang dibangkitkan oleh aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer.

### D. Pendinginan Transformator

Pendingin transformator daya dibutuhkan agar panas yang timbul pada inti besi dan kumparan dapat disalurkan keluar sehingga tidak merusak isolasi didalam transformator daya. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa : udara / gas, minyak dan air

### E. Rugi-Rugi Pada Transformator

Rugi-rugi terdiri dari rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun kumparan sekunder. Untuk mengurangi rugi-rugi besi diambil penampang yang cukup besar agar fluks magnet agar mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi-rugi tembaga, harus diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang diperlukan[6]. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histeris. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti yang menghasilkan panas[10]. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan fluks magnet.

Persamaan untuk rugi tembaga adalah sebagai berikut [14]:

$$P_{cu} = I^2 \times R \quad (1)$$

Dimana :

$P_{cu}$  = rugi tembaga (watt)

$I$  = arus (ampere)

$R$  = tahanan (ohm)

### F. Pengaruh Pembebanan Terhadap Trafo

#### 1. Kondisi untuk nilai daya tertentu

##### • Rasio Pembebanan transformator

Perhitungan rasio pembebanan transformator diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [9] :

$$K = \frac{S}{Sr} \quad (2)$$

Dimana : K :Rasio pembebanan

S : Beban transformator (%)

Sr: Beban puncak(%)

Sedangkan persentase pembebanan (%) bisa diperoleh dari data pembebanan transformator daya sebagai berikut:

$$\text{persentase pembebanan}(\%) = \frac{\text{Daya terpakai}}{\text{Daya terpasang}} \quad (3)$$

### ● Sirkulasi Minyak Alami

Trafo yang terpasang pada GI Paniki menggunakan system pendingin ONAN dan ONAF, apabila trafo menggunakan system pendingin ONAN dan ONAF maka dapat digunakan standar-standar IEC sebagai berikut :

$\Delta QWr$ :Rata-rata kenaikan temperature kumparan: 55°C

$\Delta Qor$  : Kenaikan temperature minyak atas : 52 °C

$\Delta Qimr$ : Rata-rata kenaikan temperature minyak : 43 °C

H : Faktor hot spot (1,3)

gr :Selisih antara rata-rata kenaikan temperature kumparan dan rata- rata kenaikan temperature minyak = 12 °C

Dengan menggunakan data diatas maka persamaan untuk kenaikan temperature hot spot diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta Qhr &= \Delta Qor + H \cdot gr \\ &= 52 + 1,3 \times 12 \\ &= 67,6 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4)$$

### ●Temperature Hot Spot

kenaikan temperature hot spot diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [1] :

$$Qh = Qa + \Delta Qon + \Delta Qtd \quad (5)$$

Dimana :

$Qh$  : Temperature Hot Spot (°C)

$Qa$  : Temperature lingkungan (°C)

$\Delta Qon$  : Kenaikan Temperature Top oil beban berubah-ubah (°C)

$\Delta Qtd$  : Selisih antara Hot Spot dengan Top oil (°C)

Sedangkan untuk mengetahui selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8] :

$$\Delta Qtd = (\Delta Qhr - \Delta Qor) K^{2y} \quad (6)$$

Dimana :

$\Delta Qtd$  : Selisih antara hot spot dengan top oil (°C)

$\Delta Qhr$  : kenaikan temperature hot spot (°C)

$\Delta Qor$  : Kenaikan temperature Top oil (°C)

K : Ratio pembebanan

y : Eksponen Suhu Kumparan : (1,3)

## 2.Kondisi untuk beban stabil

### ●Kenaikan Temperature Top oil ( $\Delta Qb$ )

Penentuan kenaikan temperature top oil diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$\Delta Qb = \Delta Qor \left( \frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x \quad (7)$$

Sedangkan persamaan untuk mencari d diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{\text{Rugi tembaga daya pengenalan}}{\text{Rugi beban nol}} \quad (8)$$

Dimana :

$\Delta Qb$  : Kenaikan Temperature top oil untuk beban stabil

$\Delta Qor$  : Kenaikan temperature Top oil (°C)

K : Rasio Pembebanan

d : Perbandingan rugi

x : Eksponen untuk minyak (0,8)

#### •Kenaikan Temperature hot spot ( $\Delta Q_h$ )

Kenaikan temperature Hot Spot ( $\Delta Q_h$ ) diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9] :

$$\Delta Q_h = \Delta Q_b + (\Delta Q_{hr} - \Delta Q_{or}) K^{2y} \quad (9)$$

Dimana :

$\Delta Q_h$  : Kenaikan temperature hot spot ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_b$  : Kenaikan Temperature top oil yang sudah distabilkan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_{hr}$  : kenaikan temperature hot spot ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_{or}$  : Kenaikan temperature Top oil ( $^{\circ}\text{C}$ )

y : exponent kumparan(1,3)

K : Rasio pembebanan

### 3.Kondisi Untuk Beban Berubah-Ubah

#### •Kenaikkan temperature top oil

Kenaikan temperature Top oil  $\Delta Q_{on}$  diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$\Delta Q_{on} = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0}) \quad (10)$$

Dimana :

$\Delta Q_{on}$  :Kenaikan temperature top oil beban berubah – ubah ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_{o(n-1)}$  : Kenaikan temperature minyak awal ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_b$  : kenaikan temperature minyak yang sudah distabilkan ( $^{\circ}\text{C}$ )

t : lama pengamatan (1 Jam)

$T_0$  : Konstanta waktu minyak (2,5)

#### •Kenaikkan Temperature Hot Spot ( $\Delta Q_h$ )

Kenaikan temperature hot spot untuk beban berubahubah diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [9] :

$$\Delta Q_h = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0}) + (\Delta Q_{cr} - \Delta Q_{br}) K^{2y} \quad (11)$$

Dimana :

$\Delta Q_h$  : Kenaikan temperature HotSpot ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_{o(n-1)}$  : Kenaikan temperature awal minyak ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta Q_b$  : kenaikan temperature akhir minyak stabil ( $^{\circ}\text{C}$ )

t : 1 jam

$T_0$  : 2,5

K : Rasio pembebanan

### 4.Laju Penuaan Relatif Isolasi Belitan Trafo

Laju penuaan relatif isolasi belitan trafo diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12]:

$$V = 10^{(Q_h - 98)/19,93} \quad (12)$$

Dimana :

V : Laju penuaan Thermal relatif (pu/ jam )

$Q_h$  :Temperature Hot Spot ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 5.Perhitungan susut umur

Menghitung susut umur diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8] :

$$L = \frac{1}{3T} \{ \sum 4 V_{odd} + \sum 2 V_{even} \} \quad (13)$$

Dimana :

L : Susut umur

T : Waktu (24 jam)

Vodd : Nilai laju penuaan thermal relatif (v) pada jam ganjil

Veven : Nilai laju penuaan thermal relatif (v) pada jam genap

### 6.Perhitungan Usia pakai trafo

Perhitungan usia pakai trafo diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [2] :

$$n = \frac{\text{umur dasar}-\text{umur pakai}}{L} \quad (14)$$

Dimana :

n : Sisa umur

Umur dasar : Standar IEC (30 tahun)

L : Susut umur

## II. DATA DAN PERHITUNGAN

### A. Data Transformator

Berikut ini adalah data spesifikasi yang digunakan di Gardu Induk Paniki.

**Tabel 3.1 Data Transformtor**

Data Transformator	
Merek	<i>Schneider Electric</i>
Nomor Serial	33173810001
Tahun Pembuatan	2017
Tahun Operasi	2020
Jenis Minyak	UNINHIBITED
Minyak Isolasi	NYNAS LIBRA
Daya Pengenal	36/60 MVA
Jenis Pendinginan	ONAN/ONAF
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Rugi Tembaga	115 kW
Rugi Beban Nol	30 W

## B. Data Pembebanan Transformator Tiap Jam

Berdasarkan data pembebanan real pada GI Paniki didapatkan data pembebanan selama 24 jam sebagai berikut

**Tabel 3.2**  
**Data pembebanan selama 24 jam**

NO	JAM	DAYA AKTIF(MW)	DAYA REAKTIF(MVAR)
1	01:00	18,5	6,1
2	02:00	17,9	6
3	03:00	17,6	5,6
4	04:00	17,4	5,4
5	05:00	17,2	5,1
6	06:00	18,2	5,9
7	07:00	18,6	6,6
8	08:00	19,4	6,9
9	09:00	20,8	7,4
10	10:00	27,8	10,6
11	11:00	27,8	10,6
12	12:00	25	9,2
13	13:00	25,4	9,5
14	14:00	23,6	8,7
15	15:00	22,9	8,5
16	16:00	22,9	8,7
17	17:00	22,6	8,5
18	18:00	25,9	8,7
19	19:00	26	7,9
20	20:00	26	7,9
21	21:00	6	7,9
22	22:00	20	7,9
23	23:00	21,5	6,5
24	24:00	20,3	6,3

### 1.Perhitungan Beban 100%

#### a.Menghitung Rasio Pembebanan (K)

Untuk menentukan rasio pembebanan kita dapat menggunakan persamaan :

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

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

$$K = 1$$

#### b. Menghitung Perbandingan Rugi (d)

Perhitungan untuk menentukan perbandingan rugi kita dapat menghitung dengan menggunakan rumus:

$$d = \frac{\text{rugi tembaga daya pengenal}}{\text{rugi}}$$

$$d = \frac{115 \text{ kW}}{30 \text{ kW}}$$

$$d = 3,8 \text{ kW}$$

#### c .Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil Yang Stabil ( $\Delta Q_b$ )

Perhitungan untuk menentukan kenaikan top oil kita dapat menentukan menggunakan persamaan:

$$\Delta Q_b = \Delta Q_{or} \left( \frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+3.8(1)^2}{1+3.8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### d. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil

Perhitungan untuk menentukan kenaikan temperature top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{on} = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (50 - 50) (1 - e^{-1/2,5})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

**e. Menghitung Selisih Antara Temperatur Hot Spot Dengan Top Oil**

Perhitungan untuk Menghitung selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{td} = (\Delta Q_{hr} - \Delta Q_{or}) K^{2y}$$

$$\Delta Q_{td} = (67,6 - 50) 1^{2(1,3)}$$

$$\Delta Q_{td} = 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

**f. Menghitung Temperatur Hot Spot**

Perhitungan untuk memperoleh temperature hot spot diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = Q_a + \Delta Q_{on} + \Delta Q_{td}$$

$$Q_h = 30 + 50 + 17,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 97,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

**g. Menghitung Laju Penuaan Thermal Relatif**

Perhitungan laju penuaan thermal relatif diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = 10^{(Q_h - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(97,6 - 98)/19,93}$$

$$V = 0,95 \text{ pu/jam}$$

**h. Menghitung Susut Umur (L)**

Perhitungan susut umur diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$L = \frac{1}{3(24)} \{ 4(0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95)+$$

$$2$$

$$(0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95+0,95) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 4(11,4) + 2(11,4) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 45,6 + 22,8 \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 68,4 \}$$

$$L = 0,95 \text{ pu/hari}$$

**i. Perkiraan Sisa Umur**

Setelah kita mendapat hasil dari susut umur transformator maka kita dapat menghitung perkiraan sisa umur transformator menggunakan persamaan:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{umur pakai}}{L}$$

$$n = \frac{30 - 2}{0,95}$$

$$n = 29,4 \text{ tahun}$$

Jadi untuk sisa umur transformator jika dilakukan pembebanan sebesar 100% sesuai dengan rating yang ada ada pada transformator maka didapatkan hasil perhitungan sisa umur transformator sebesar 29,4 tahun.

**2.Perhitungan Beban 90%**

**a. Menghitung Rasio Pembebanan (K)**

Untuk rasio pembebanan kita dapat menghitungnya menggunakan persamaan:

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

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

$$K = 0,9$$

**b. Menghitung Perbandingan Rugi (d)**

Perhitungan untuk menentukan perbandingan rugi kita dapat menghitung dengan menggunakan rumus:

$$d = \frac{\text{rugi tembaga daya pengenal}}{\text{rugi}}$$

$$d = \frac{115 \text{ kW}}{30 \text{ kW}}$$

$$d = 3,8 \text{ kW}$$

**c. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil Yang Stabil (ΔQb)**

Perhitungan untuk menentukan kenaikan top oil kita dapat menentukan menggunakan persamaan:

$$\Delta Q_b = \Delta Q_{or} \left( \frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+3.8(0,9)^2}{1+3,8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+3.8(0,81)}{1+3,8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50(0,84)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### d. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil

Perhitungan untuk menentukan kenaikan temperature top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{on} = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (43 - 50) (1 - e^{-1/2,5})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (-7) (0,32)$$

$$\Delta Q_{on} = 47,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### e. Menghitung Selisih Antara Temperatur Hot Spot Dengan Top Oil

Perhitungan untuk Menghitung selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{td} = (\Delta Q_{hr} - \Delta Q_{or}) K^{2y}$$

$$\Delta Q_{td} = (67,6 - 50) 0,9^{2(1,3)}$$

$$\Delta Q_{td} = 13,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### f. Menghitung Temperatur Hot Spot

Perhitungan untuk memperoleh temperature hot spot diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = Q_a + \Delta Q_{on} + \Delta Q_{td}$$

$$Q_h = 30 + 47,76 + 13,37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 91,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### g. Menghitung Laju Penuaan Thermal Relatif

Perhitungan laju penuaan thermal relatif diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = 10^{(Q_h - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(91,13-98)/19,93}$$

$$V = 0,45 \text{ pu/jam}$$

#### h. Menghitung Susut Umur (L)

Perhitungan susut umur diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$L = \frac{1}{3(24)} \{ 4(0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45) +$$

$$2(0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45+0,45) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 4(0,45) + 2(0,45) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 21,16 + 10,8 \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 31,96 \}$$

$$L = 0,44 \text{ pu/hari}$$

#### i. Perkiraan Sisa Umur

Setelah kita mendapat hasil dari susut umur transformator maka kita dapat menghitung perkiraan sisa umur transformator menggunakan persamaan:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{umur pakai}}{L}$$

$$n = \frac{30-2}{0,44}$$

$$n = 63,6 \text{ tahun}$$

Jadi untuk sisa umur transformator jika dilakukan pembebanan sebesar 90% sesuai dengan rating yang ada ada pada transformator maka didapatkan hasil perhitungan sisa umur transformator sebesar 63,6 tahun.

#### 3.Perhitungan Beban 80%

##### a. Menghitung Rasio Pembebanan (K)

Untuk rasio pembebanan kita dapat menghitungnya menggunakan persamaan:

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

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

$$K = 0,8$$



### b. Menghitung Perbandingan Rugi (d)

Perhitungan untuk menentukan perbandingan rugi kita dapat menghitung dengan menggunakan rumus:

$$d = \frac{\text{rugi tembaga daya pengenalan}}{\text{rugi}}$$

$$d = \frac{115 \text{ kW}}{30 \text{ kW}}$$

$$d = 3,8 \text{ kW}$$

### c. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil Yang Stabil ( $\Delta Q_b$ )

Perhitungan untuk menentukan kenaikan top oil kita dapat menentukan menggunakan persamaan:

$$\Delta Q_b = \Delta Q_{or} \left( \frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+3,8(0,8)^2}{1+3,8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+3,8(0,64)}{1+3,8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50(0,71)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

### d. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil

Perhitungan untuk menentukan kenaikan temperature top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{on} = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (38 - 50) (1 - e^{-1/2,5})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (-12) (0,32)$$

$$\Delta Q_{on} = 46,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

### e. Menghitung Selisih Antara Temperatur Hot Spot Dengan Top Oil

Perhitungan untuk Menghitung selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{td} = (\Delta Q_{hr} - \Delta Q_{or}) K^{2y}$$

$$\Delta Q_{td} = (67,6 - 50) 0,8^{2(1,3)}$$

$$\Delta Q_{td} = 9,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

### f. Menghitung Temperatur Hot Spot

Perhitungan untuk memperoleh temperature hot spot diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = Q_a + \Delta Q_{on} + \Delta Q_{td}$$

$$Q_h = 30 + 46,16 + 9,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 85,84 \text{ }^\circ\text{C}$$

### g. Menghitung Laju Penuaan Thermal Relatif

Perhitungan laju penuaan thermal relatif diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = 10^{(Q_h - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(85,84 - 98)/19,93}$$

$$V = 0,24 \text{ pu/jam}$$

### h. Menghitung Susut Umur (L)

Perhitungan susut umur diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$L =$$

$$\frac{1}{3(24)} \{ 4(0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24) +$$

$$2(0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24+0,24) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 4(2,88) + 2(2,88) \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 11,52 + 5,76 \}$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 17,28 \}$$

$$L = 0,24 \text{ pu/hari}$$

### i. Perkiraan Sisa Umur

Setelah kita mendapat hasil dari susut umur transformator maka kita dapat menghitung perkiraan sisa umur transformator menggunakan persamaan:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{umur pakai}}{L}$$

$$n = \frac{30 - 2}{0,24}$$

$$n = 116,6 \text{ tahun}$$

Jadi untuk sisa umur transformator jika dilakukan pembebanan sebesar 80% sesuai dengan rating yang ada ada pada transformator maka didapatkan hasil perhitungan sisa umur transformator sebesar 116,6 tahun.

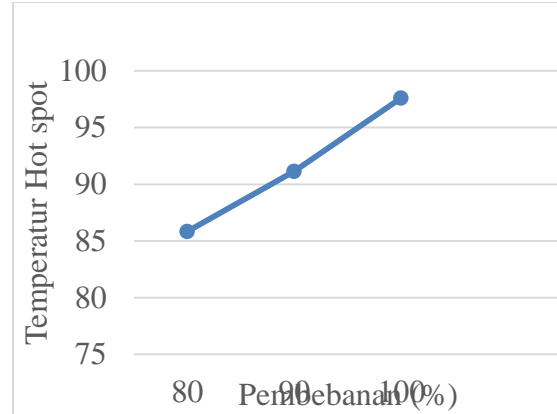
Setelah dilakukan perhitungan beban konstan maka dapat diperoleh hasil seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 3.3**

**Perkiraan umur transformator untuk beban konstan**

N O	Pembebanan (%)	Tempetat ur Hot spot(°C)	Susut umur (pu/hari)	Umur(tahun)
1	100	97,6	0,95	29,4
2	90	91,13	0,44	63,6
3	80	85,84	0,24	116,6

Berdasarkan table 2,pada pembebanan 100% diperoleh temperature hot spot sebesar 97,6°C,susut umur sebesar 0,95 pu/hari dan umur yang diperoleh sebesar 29,4 tahun. Pada pembebanan 90% diperoleh temperature hot spot sebesar 91,13°C,susut umur sebesar 0,44 pu/hari dan umur yang diperoleh lebih lama dari pembebanan 100% yaitu sebesar 63,6 tahun. Untuk pembebanan 80% diperoleh temperature hotspot sebesar 85,84°C,susut umur sebesar 0,24 pu/hari dan umur yang diperoleh sebesar 116,6 tahun.



*Diagram 1 : Pengaruh pembebanan terhadap temperature hotspot*

**Perhitungan Analisa Susut Umur Transformator Berdasarkan Pembebanan Pada Transformator**

**1)Menghitung Kapasitas Transformator Pada Pukul 01:00**

Pada pukul 01:00 WITA didapat pembebanan pada trafo sebesar 18,5 MW daya aktif dan 6,1 MVAR daya semu.Kita dapat menghitung daya terpasang menggunakan persamaan:

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

$$S = \sqrt{(18,5)^2 + (6,1)^2}$$

$$S = 19,47 \text{ MVA}$$

**a.Menghitung Rasio Pembebanan (K)**

Rasio pembebanan dapat kita tentukan melalui hasil bagi dari nilai pembebanan trafo (S) dan kapasitas pada nameplate trafo. Untuk rasio pembebanan yang kita peroleh pada pukul 01:00 adalah sebagai berikut :

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

$$K = \frac{19,47}{36}$$

$$K = 0,540 \text{ (untuk rating 36 MVA)}$$

$$K = \frac{19,47}{60}$$

$$K = 0,324 \text{ (untuk rating 60 MVA)}$$

## b. Menentukan Rugi Tembaga (Pcu)

Untuk menentukan besar rugi kita tembaga, kita terlebih dahulu harus mengetahui besar arus yang ada pada setiap rating transformator. Kita dapat mengetahui arus pada transformator dengan melakukan perhitungan sebagai berikut.

Besar arus rating 36 MVA

$$I_{36} = \frac{S}{V}$$

$$I_{36} = \frac{36}{150}$$

$$I_{36} = 0,24 \text{ kA}$$

Besar arus rating 60 MVA

$$I_{60} = \frac{60}{150}$$

$$I_{60} = 0,4 \text{ kA}$$

Setelah arus untuk setiap rating kita dapatkan, kita dapat menentukan rugi tembaga untuk rating 36 MVA dengan melakukan perhitungan berikut:

$$\frac{P_{cu(60)}}{I^2(60)} = (R_1 + I_1^2 a^2 R_2)$$

$$\frac{115}{0,4^2} = R_1 + a^2 R_2$$

$$R_1 + a^2 R_2 = \frac{115}{0,4^2}$$

Selanjutnya untuk menentukan rugi tembaga kita melakukan perhitungan seperti di bawah ini.

$$P_{cu(36)} = 0,24^2 \left( \frac{115}{0,4^2} \right)$$

$$P_{cu(36)} = 41,4 \text{ kW}$$

## c. Menentukan Perbandingan Rugi (d)

Setelah kita mendapat hasil perhitungan dari rugi tembaga, kita dapat menentukan perbandingan rugi dengan melakukan perhitungan seperti berikut:

$$d_{36} = \frac{\text{rugi tembaga untuk rating 36 MVA}}{\text{rugi beban nol}}$$

$$d_{36} = \frac{41,4}{36}$$

$$d_{36} = 1,15$$

## d. Menentukan Kenaikan Temperatur Stabil Top Oil ( $\Delta Q_b$ )

Untuk menentukan kenaikan temperature top oil kita dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta Q_b = \Delta Q_{or} \left( \frac{1+dk^2}{1+d} \right)^x$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+1,15(0,540)^2}{1+1,15} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50 \left( \frac{1+0,334}{1+1,15} \right)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 50(0,620)^{0,8}$$

$$\Delta Q_b = 34,1^\circ\text{C}$$

## e. Menentukan Kenaikan Temperatur Top Oil ( $\Delta Q_{on}$ )

Perhitungan untuk menentukan kenaikan temperature top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{on} = \Delta Q_{o(n-1)} + (\Delta Q_b - \Delta Q_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/T_0})$$

$$\Delta Q_{on} = 50 + (34,1 - 50) (1 - e^{-1/2,5})$$

$$\Delta Q_{on} = 44,76^\circ\text{C}$$

## f. Menghitung Selisih Antara Temperatur Hot Spot Dengan Top Oil

Perhitungan untuk Menghitung selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta Q_{td} = (\Delta Q_{hr} - \Delta Q_{or}) K^{2y}$$

$$\Delta Q_{td} = (67,6 - 50) 0,540^{2(1,3)}$$

$$\Delta Q_{td} = 3,53^\circ\text{C}$$

## g. Menghitung Temperatur Hot Spot

Perhitungan untuk memperoleh temperature hot spot diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = Q_a + \Delta Q_{on} + \Delta Q_{td}$$

$$Q_h = 30 + 44,76 + 3,53^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 78,29^\circ\text{C}$$

## h. Menghitung Laju Penuaan Thermal Relatif

Perhitungan laju penuaan thermal relatif diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = 10^{(Q_h - 98)/19,93}$$

$$V = 10^{(78,29-98)/19,93}$$

$$V = 0,102 \text{ pu/jam}$$

C. Analisa Perkiraan Sisa Umur Pada  
Transformator

Setelah kita selasi melakukan perhitungan,diperoleh hasil seperti tabel di bawah ini:

**Tabel 4.1 Hasil perhitungan**

NO	Jam	Daya semu (MVA)	Rasio pembebanan	Kenaikan Temperatur Top Oil	Temperatur Hotspot	Penuaan Thermal
1	01:00	19,45	0,540	34,1	78,29	0,102
2	02:00	18,87	0,524	33,7	77,9	0,098
3	03:00	18,46	0,512	33,4	77,61	0,094
4	04:00	18,21	0,505	33,25	77,45	0,093
5	05:00	17,94	0,498	33,05	77,28	0,091
6	06:00	19,13	0,531	33,85	78,05	0,099
7	07:00	19,73	0,548	34,3	78,5	0,105
8	08:00	20,59	0,571	34,9	79,11	0,112
9	09:00	22,07	0,613	36,05	80,33	0,129
10	10:00	29,75	0,826	43	88,4	0,32
11	11:00	29,75	0,826	43	88,4	0,32
12	12:00	26,63	0,739	39,95	84,69	0,214
13	13:00	27,11	0,753	40,45	85,27	0,229
14	14:00	25,15	0,698	38,65	83,15	0,179
15	15:00	24,42	0,678	38	82,45	0,165
16	16:00	24,49	0,680	38,1	82,52	0,167
17	17:00	24,14	0,670	37,75	82,18	0,160
18	18:00	27,32	0,758	40,65	85,47	0,234
19	19:00	27,17	0,754	40,48	85,3	0,230
20	20:00	27,17	0,754	40,48	85,3	0,230
21	21:00	9,92	0,275	28,9	73,64	0,059
22	22:00	21,50	0,597	35,6	79,85	0,122
23	23:00	22,46	0,623	36,35	80,63	0,134
24	24:00	21,25	0,590	35,46	79,33	0,120

$$9+0,165+0,160+0,230+0,059 +0,134)+2(0,098+0,093+0,099+0,112+0,32+0,214+0,179+0,167+0,234+0,230+0,122+0,12\}$$

Setelah kita mendapat hasil dari penuaan thermal tiap jam maka kita dapat menghitung besar susut umur transformator seperti di bawah ini.

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

$$L = \frac{1}{3(24)} \{ 4(0,102+0,094+0,091+0,105+0,129+0,32+0,22$$

$$L = \frac{1}{72} \{ 4(1,818) + 2(1,988) \}$$

$$L = \frac{1}{72} (7,272 + 3,976)$$

$$L = \frac{1}{72} (11,24)$$

$$L = 0,156 \text{ pu/hari}$$

Setelah kita mendapat hasil dari perhitungan susut umur tiap jamnya, maka kita dapat menghitung sisa umur yang dimiliki oleh transformator. Maka sisa umur transformator adalah:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{umur pakai}}{L}$$

$$n = \frac{30 - 2}{0,156}$$

$$n = 179 \text{ tahun}$$

Jadi perhitungan perkiraan sisa umur transformator adalah sekitar 179 tahun.

### III. KESIMPULAN DAN SARAN

#### KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisa yang dilakukan dapat dilihat bahwa semakin besar pembebanan yang diberikan pada transformator maka semakin tinggi temperatur hotspot yang dihasilkan, penuaan thermalnya juga semakin tinggi, susut umur yang dihasilkan juga tinggi dan sisa umur transformator akan semakin kecil. Rata-rata pembebanan real pada trafo rating 36/60 MVA di GI Paniki dalam 1 hari sebesar 22,61 MVA, rata-rata susut umur yang diperoleh sebesar 0,158 pu/jam, dan rata-rata temperatur hot spot sebesar 81,29°C. Diperkirakan sisa umur transformator rating 36/60 MVA di GI Paniki masih sangat lama, yaitu >30 tahun (standart IEC 30 tahun).

Pembebanan paling rendah yaitu pada pukul 21:00 dengan daya 9,92 MVA menghasilkan temperatur hotspot sebesar 73,64°C dan menghasilkan laju penuaan thermal sebesar 0,05 pu/jam. Sedangkan untuk pembebanan terbesar yaitu pada pukul 10:00 dan 11:00 dengan daya yang sama yaitu 29,75 MVA menghasilkan temperatur hotspot sebesar 88,4 °C dan menghasilkan laju penuaan thermal sebesar 0,32 pu/jam.

#### SARAN

Saran yang dapat saya berikan berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan kiranya dengan adanya analisa ini menjadi referensi dalam menentukan besar pembebanan suatu trafo agar umur trafo dapat bertahan lama.

### Daftar Pustaka

- [1] Adam, M. A., Mohamad, Y., & Tolago, A. I. (2021, March). *Analysis of the influence of loading on age of use of transformers in Botupingge substation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1098, No. 4, p. 042039). IOP Publishing.*
- [2] Azhar, F., Rahmawati, Y., & Fadlika, I. (2019). *Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima. Prosiding SENIATI,*
- [3] Gultom, P. (2017). *Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan Lebih di PT. PLN (Persero) Kota Pontianak. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.*
- [4] IEC, (2000), *Power Transformers, IEC Standard 60076-1, International Electrotechnical Commission, 2000-04 Edition.*
- [5] Igirisa, Y., Mohamad, Y., & Tolago, A. I. (2021). *Analisis Perkiraan Umur Trafo Tenaga 150kV Di GI Isimu. Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*
- [6] Kodoati, K. A., Lisi, F., & Pakiding, M. (2015). *Analisa Perkiraan Umur Transformator. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer.*
- [7] Kurniawan, & Firdaus. (2016). *Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Pada*

- Gardu Induk Garuda Sakti. Jom FTEKNIK.*
- [8] Perera, K. B. M. I., Lucas, J. R., Kumarasinghe, K. K. A. S. D., Dias, R. L. I. K., Athukorala, U. A. D. R., & Gunawardana, P. G. A. (2001). *Estimation of optimum transformer capacity based on load curve. Trans. Inst. Elect. Eng. Sri Lanka*, 3(1).
- [9] Pujiono, P., Pambudi, P. E., & Mujiman, M. (2016). *ANALISIS PEMBEBANAN TERHADAP USIA PAKAI TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK 150 KV. Jurnal Elektrikal*, 3(1), 11-20.
- [10] Sigit, P., Sukamdi, T., & Karnoto, K. (2011). *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip).*
- [11] Syadad, R., & Agus Supardi, S. T. (2019). *Perkiraan Umur Transformator Tenaga di Gardu Induk Banyudono Berdasar Variasi Pembebanan (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).*
- [12] Tambunan, J. M., Hariyanto, A., & Tindra, W. K. (2015). *KERJA PEMBEBANAN DAN TEMPERATUR TERHADAP SUSUT UMUR TRANSFORMATOR TENAGA 150/20 kV 60 MVA. JURNAL ILMIAH SUTET*, 5(2), 91-99.
- [13] Utomo, P. *STUDI ANALISIS KUALITAS TRANSFORMATOR DAYA GARDU INDUK 150 KV SIANTAN. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura .*
- [14] Wuwung, J. O. (2010). *Pengaruh pembebanan terhadap kenaikan suhu pada belitan transformator daya jenisterendam minyak. TEKNO.*



Penulis bernama Rifli Gultom, anak keempat dari lima bersaudara dari pasangan suami istri Bangun Gultom (Ayah) dan Rusmita Sinaga (Ibu), Lahir di Sitamiang, 12 Maret

2000. Pada tahun 2017, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik. Pada 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PLTP Lahendong Unit 5 & 6. Selama menempuh pendidikan penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam dan luar lingkungan kampus terutama dalam kegiatan di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik UNSRAT. Penulis selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada Bulan Januari 2022, dengan judul tugas akhir Analisa Perkiraan Usia Transformator di Gardu Induk Paniki Berdasarkan Pengaruh Pembebanan.