

Analisis Perkiraan Umur Trafo Tenaga 150kV Di GI Isimu

Yahja Igrisa
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
yahya.peri46@gmail.com

Yasin Mohamad
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
yasinmohamad@ung.ac.id

Ade Irawaty Tolago
Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
adeirawaty75@ung.ac.id

Diterima : Juni 2021
Disetujui : Juli 2021
Dipublikasi : Juli 2021

Abstrak—Hal yang dapat mempengaruhi umur transformator adalah pembebanan, *temperature* minyak trafo dan *temperature* sekitar. Pembebanan yang terlalu berat dapat menyebabkan perubahan *temperature* pada *hot spot*. Menurut IEC, transformator akan berumur normal yaitu 30 tahun pada *temperature hot spot* 98°C dengan pembebanan yang terus menerus. Ketika *temperature hot spot* melewati batas yang telah ditetapkan maka hal ini dapat menyebabkan isolasi pada transformator akan mengalami penuaan yang cepat dari waktu normalnya. Isolasi menjadi cepat rusak dan *temperature* pada transformator akan naik yang akan menyebabkan nilai dari isolasi minyak menurun karena meningkatnya *temperature* minyak yang menyebabkan pergantian komposisi dan sifat dari minyak trafo. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui susut umur dari trafo daya 150 kV di GI Isimu. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif dengan metode analisis data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data real sistem pada PT. PLN (Persero) ULTG GI Isimu dan data *temoerature* dari BMKG Gorontalo. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, perhitungan beban konstan dengan pembebanan 100% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 112,75°C dan susut umur sebesar 5,49 pu/hari diperoleh perkiraan umur transformator yaitu 5,27 tahun, sedangkan perhitungan pembebanan pada tanggal 18 november 2019 diperoleh rata-rata *temperature hot spot* sebesar 73,42 °C dan susut umur sebesar 0,0625 pu/hari diperoleh perkiraan umur transformator GI Isimu melebihi > 30 tahun.

Kata Kunci : Transformator; Pembebanan; Susut Umur

Abstract-Factors influencing the age of a transformer oil temperature, and ambient temperature. An overloaded transformer may cause changes in the hotspot temperature. According to the IEC, the transformer will last to its normal life of 30 years with a constant load at a hot spot temperature of 98 °C. When the hot spot temperature exceeds the predetermined limit, it will cause the insulation on the transformer resulting in rapid aging from its normal life. The insulation becomes swiftly damaged, affecting the increase of transformer temperature that will cause a decrease in the value of insulating oil. It is due to the increase in oil temperature, which causes changes in the composition and characteristics of the transformer oil. This research aims at determining the age loss of the 150 kV power transformer at GI Isimu. The research is quantitative, employing

data analysis methods. The data are the real system data at PT. PLN (Persero) ULTG GI Isimu and the temperature data is from the Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) of Gorontalo. Based on the calculations, the constant load calculation with 100% loading obtains a hot spot temperature of 112.75°C, and the age loss of 5.49 p.u/day obtains a life expectancy of 5.27 years. Furthermore, based on the calculation of loading on 18 November 201, the average hot spot temperature obtains 73.42°C, and the age loss of 0.0625 days obtains the life expectancy of the transformer at GI Isimu that exceeds 30 years.

Keyword--- Transformers; Loading; Age loss

I. PENDAHULUAN

Umur transformator dipengaruhi oleh pembebanan. Ketika pembebanan yang terlalu berat dapat menyebabkan perubahan *temperature* pada titik *hot spot*.

Menurut IEC (*International Electrical Commusion*), trafo akan berumur normal yaitu 30 tahun dengan pembebanan 100% secara terus menerus dengan *temperature hot spot* 98°C [1].

GI Isimu merupakan titik kumpul penyaluran energi listrik dari sub-sistem minahasa ke sub-sistem Gorontalo, GI ini memiliki trafo daya 150kV dengan rating daya 36/60 MVA dan melayani 10 feeder. Waktu beban puncak terjadi pada pukul 18:00 dengan beban sebesar 22,12 MW. Data ini diperoleh dari PT PLN (Persero) ULTG GI Isimu Gorontalo.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan pengaruh pembebanan terhadap susut umur trafo, terhadap *temperature hot spot*, dan juga terhadap usia pakai transformator 150 kV Gardu Induk Isimu.

Penelitian ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan judul “*Analysis of the influence of loading on age of use of transformers in Botupingge substation*”. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai salah satu referensi dan evaluasi oleh PT PLN (Persero) ULTG Gardu Induk Isimu dalam menentukan usia pakai dari transformator daya 150 kV.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif dengan metode analisis data. Penelitian ini

menggunakan data pembebanan trafo, data spesifikasi trafo. Data ini diperoleh dari PT.PLN (Persero) ULTG Gardu Induk Isimu, data lain seperti data *temperature* sekitar, data ini juga diperoleh dari kantor BMKG Gorontalo. Setelah data ini diperoleh, kemudian data akan dianalisis dengan bantuan aplikasi ms.excel dan kalkulator ilmiah

A. Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk memindahkan tenaga listrik dari satu kumparan ke kumparan lainnya dengan menggunakan induksi magnet dengan frekuensi yang sama[2][3][4]. Hukum utama yang berlaku dalam transformator adalah hukum induksi faraday. Bila kumparan primer dari trafo dihubungkan dengan sumber arus listrik AC maka kumparan akan menghasilkan fluks magnetic yang berubah-ubah per satuan waktu dalam inti trafo.

Jenis-jenis transformator yaitu :

- Trafo step up
- Trafo step down
- Trafo instrumentasi

B. Trafo Daya

Trafo daya adalah sebuah peralatan listrik yang fungsinya adalah untuk menyalurkan daya listrik dari generator dengan tegangan menengah menuju ke saluran transmisi tegangan tinggi, selain itu trafo daya juga berfungsi untuk menyalurkan daya dari saluran transmisi tegangan tinggi ke saluran distribusi dengan tegangan rendah[5].

Trafo memiliki bagian-bagian utama yaitu[6] :

- Inti besi
- Kumparan
- Minyak trafo
- Tangki konservator
- Bushing

Peralatan bantu transformator[6]:

- Pendingin
- Tap changer
- Silicagel
- Indicator
- Peralatan proteksi

C. Trafo Distribusi

Trafo distribusi adalah salah satu komponen utama dalam menyalurkan tenaga listrik dari tangan listrik 20 kV ke tegangan 380-22- Volt[7].

D. Minyak Transformator

Minyak transformator adalah minyak yang digunakan sebagai bahan isolasi untuk transformator, minyak ini harus memiliki tegangan tembus yang tinggi, fungsi lain dari minyak ini adalah untuk menjaga kenaikan *temperature* pada transformator[8]. Minyak transformator memiliki sifat yang dapat melarutkan gas yang muncul karena terjadinya kerusakan system isolasi cair (minyak) maupun isolasi padat (kertas) didalam transformator[9].

E. Rugi-Rugi Besi

Rugi trafo beban kosong adalah rugi-rugi besi yang ditimbulkan dari daya magnetisasi yang arah berganti setiap saat pada inti besi, rugi besi yang memiliki nilai yang kecil juga ditimbulkan oleh adanya arus beban kosong yang mengalir sisi primer belitan[10].

F. Rugi Tembaga

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kumparan transformator. Persamaan rugi tembaga diperoleh menggunakan persamaan (1) sebagai berikut[10] :

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

Dimana :

- P_{cu} : rugi tembaga (Watt)
- I : arus (Amphere)
- R : tahanan (ohm)

G. Pengaruh Pembebanan Terhadap Trafo Tenaga

1. Kondisi untuk nilai daya tertentu.

• Rasio Pembebanan transformator

Perhitungan rasio pembebanan transformator diperoleh menggunakan persamaan (2) sebagai berikut [11]:

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

Dimana :

- K :Rasio pembebanan
- S : beban transformator (%)
- S_r : beban puncak (%)

• Sirkulasi Minyak Alami

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

$\Delta\theta_{wr}$:Rata-rata kenaikan *temperature* kumparan : 63 °C

$\Delta\theta_{or}$: Kenaikan *temperature* minyak atas : 52 °C

$\Delta\theta_{imr}$: Rata-rata kenaikan *temperature* minyak : 43 °C

H : Faktor *hot spot* 1,3

g_r :Selisih antara rata-rata kenaikan *temperature* kumparan dan rata-rata kenaikan *temperature* minyak = 20 °C

Dengan menggunakan data diatas maka persamaan untuk kenaikan *temperature hot spot* diperoleh menggunakan persamaan (3) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{hr} &= \Delta\theta_{or} + H \cdot g_r \\ &= 52 + 1,3 \times 20 \\ &= 78 \text{ °C} \end{aligned} \quad (3)$$

• Temperature Hot Spot

Penentuan kenaikan *temperature hot spot* diperoleh menggunakan persamaan (4) sebagai berikut[12] :

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{on} + \Delta\theta_{td} \quad (4)$$

Dimana :

- θ_h : *Temperature Hot Spot* (°C)
- θ_a : *Temperature* lingkungan (°C)
- $\Delta\theta_{on}$: Kenaikan *Temperature Top oil* beban berubah-ubah (°C)

$\Delta\theta_{td}$: Selisih antara *Hot Spot* dengan *Top oil* (°C)

Sedangkan untuk mengetahui selisih *temperature* antara *hot spot* dengan *top oil* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut [13]:

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{hr} - \Delta\theta_{or}) K^{2y} \quad (5)$$

Dimana :

$\Delta\theta_{td}$: Selisih antara *hot spot* dengan *top oil* (°C)

$\Delta\theta_{hr}$: kenaikan *temperature hot spot* (°C)

$\Delta\theta_{or}$: Kenaikan *temperature Top oil* (°C)

K : Ratio pembebanan

y : Eksponen Suhu Kumparan : (1,3)

2. Kondisi untuk beban stabil

• Kenaikan *Temperature Top oil* ($\Delta\theta_b$)

Penentuan kenaikan *temperature top oil* diperoleh menggunakan persamaan (6) sebagai berikut[6] :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right)^x \quad (6)$$

Sedangkan persamaan untuk mencari d diperoleh menggunakan persamaan (7) sebagai berikut :

$$d = \frac{\text{Rugi Tembaga daya pengenal}}{\text{rugi beban Nol}} \quad (7)$$

Dimana :

$\Delta\theta_b$: Kenaikan *Temperature top oil* untuk beban stabil (°C)

$\Delta\theta_{or}$: Kenaikan *temperature Top oil* (°C)

K : Rasio Pembebanan

d : Perbandingan rugi

x : Eksponen untuk minyak (0,8)

• Kenaikan *Temperature hot spot* ($\Delta\theta_h$)

Kenaikan *temperature Hot Spot* ($\Delta\theta_h$) diperoleh dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut [6]:

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{hr} - \Delta\theta_{or}) K^{2y} \quad (8)$$

Dimana :

$\Delta\theta_h$: Kenaikan *temperature hot spot* (°C)

$\Delta\theta_b$: Kenaikan *Temperature top oil* yang sudah distabilkan (°C)

$\Delta\theta_{hr}$: kenaikan *temperature hot spot* (°C)

$\Delta\theta_{or}$: Kenaikan *temperature Top oil* (°C)

y : exponent kumparan(1,3)

K : Rasio pembebanan

3. Kondisi Untuk Beban Berubah-Ubah

• Kenaikkan *temperature top oil*

Kenaikan *temperature Top oil* $\Delta\theta_{on}$ diperoleh menggunakan persamaan (9) sebagai berikut[14] :

$$\Delta\theta_{on} = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau}) \quad (9)$$

Dimana :

$\Delta\theta_{on}$:Kenaikan *temperature top oil* beban berubah – ubah (°C)

$\Delta\theta_{o(n-1)}$: Kenaikan *temperature* minyak awal (°C)

$\Delta\theta_b$:kenaikan *temperature* minyak yang sudah distabilkan (°C)

t : lama pengamatan (1 Jam)

τ : Konstanta waktu minyak (2,5)

• Kenaikkan *Temperature Hot Spot* ($\Delta\theta_h$)

Kenainakn *temperature hot spot* untuk beban berubah-ubah diperoleh dengan menggunakan persamaan (10) sebagai berikut [6]:

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{o(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau}) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (10)$$

Dimana :

$\Delta\theta_h$: Kenaikan *temperature HotSpot* (°C)

$\Delta\theta_{o(n-1)}$: Kenaikan *temperature* awal minyak (°C)

$\Delta\theta_b$: kenaikan *temperature* akhir minyak stabil (°C)

t : 1 jam

τ : 2,5

K : Rasio pembebanan

y : Eksponen kumparan (1,3)

4. Laju Penuaan Relatif Isolasi Belitan Trafo

Laju penuaan relatif isolasi belitan trafo diperoleh dengan menggunakan persamaan (11) sebagai berikut[6] :

$$v = 10^{(\theta_h - 98)/19.93} \quad (11)$$

Dimana :

v : Laju penuaan *Thermal* relatif (per jam)

θ_h : *Temperature Hot Spot* (°C)

5. Perhitungan susut umur

Menghitung susut umur diperoleh dengan menggunakan persamaan (12) sebagai berikut[13] :

$$L = \frac{1}{3T} \{ \sum 4 V_{\text{odd}} + \sum 2 V_{\text{even}} \} \quad (12)$$

Dimana :

L : Susut umur

T : Waktu (24 jam)

v_{odd} : Nilai laju penuaan thermal relatif (v) pada jam ganjil

v_{even} : Nilai laju penuaan thermal relatif (v) pada jam genap

6. Perhitungan Usia pakai trafo

Perhitungan usia pakai trafo diperoleh dengan menggunakan persamaan (13) sebagai berikut[15]:

$$n = \frac{\text{umur dasar-usia pakai}}{L} \quad (13)$$

Dimana :
 n : Sisa umur
 Umur dasar : Standar IEC (30 tahun)
 L : Susut umur

$$= 52^{\circ}\text{C}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Transformator

Tabel 1. Data Transformator

Spesifikasi Transformator	
Merek	Sintra
No Serial	170003
Tahun Pembuatan	2017
Tahun Operasi	2019
Connection	YNynO+d
Jenis Minyak	UNINHIBITED
Minyak Isolasi	NYNAS NYNITRO LIBRA
Daya Pengenal	36/60 MVA
Jenis Pendingin	ONAN/ONAF
Tegangan Primer	150 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Rugi Tembaga	114 kW
Rugi Beban Nol	30 kW

B. Perhitungan Beban Konstan

• Perhitungan beban 100%

Perhitungan untuk menentukan rasio pembebanan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut [11].

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

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

$$K = 1$$

• Menghitung perbandingan rugi

Perhitungan untuk menentukan perbandingan rugi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (7).

$$d = \frac{\text{Rugi tembaga}}{\text{Rugi beban nol}}$$

$$d = \frac{114\text{kW}}{30\text{kW}}$$

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

• Menghitung kenaikan *temperature top oil* yang stabil

Perhitungan untuk menentukan kenaikan *temperature top oil* yang stabil dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (6).

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right)^x$$

$$\Delta\theta_b = 52 \left(\frac{1+3,8(1)^2}{1+3,8} \right)^{0,8}$$

$$\Delta\theta_b = 52^{\circ}\text{C}$$

• Menghitung kenaikan *temperature top oil*

Perhitungan untuk menentukan kenaikan *temperature top oil* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (9).

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

$$\Delta\theta_{o1} = 52 + (52 - 52) \left(1 - e^{-\frac{1}{2,5}} \right)$$

• Menghitung selisih *temperature* antara *hot spot* dengan *top oil*

Perhitungan untuk Menghitung selisih *temperature* antara *hot spot* dengan *top oil* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (5).

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

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 52)(1)^{2(1,3)}$$

$$\Delta\theta_{td} = 26^{\circ}\text{C}$$

• Menghitung *temperature hotspot*

Perhitungan untuk memperoleh *temperature hot spot* diperoleh dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut :

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

$$\theta_h = 34,75 + 52 + 26$$

$$\theta_h = 112,75^{\circ}\text{C}$$

• Menghitung laju penuaan *thermal relatif*

Perhitungan laju penuaan *thermal relatif* diperoleh menggunakan persamaan (11) sebagai berikut :

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

$$v = 10^{(112,75 - 98)/19,93}$$

$$v = 5,49 \text{ pu/jam}$$

• Menghitung susut umur (L)

Perhitungan susut umur diperoleh menggunakan persamaan (12) sebagai berikut :

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

$$L = \frac{1}{3 \times 24} \{ 4 (5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49 + 5,49) + 2 (5,49 + 5,49) \}$$

$$L = 5,496 \text{ pu/hari}$$

• Perhitungan perkiraan umur

Perhitungan perkiraan umur dapat diperoleh menggunakan persamaan (13) sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{umur dasar} - 1}{\text{susut umur}}$$

$$n = \frac{30 - 1}{5,496}$$

$$n = 5,276 \text{ tahun}$$

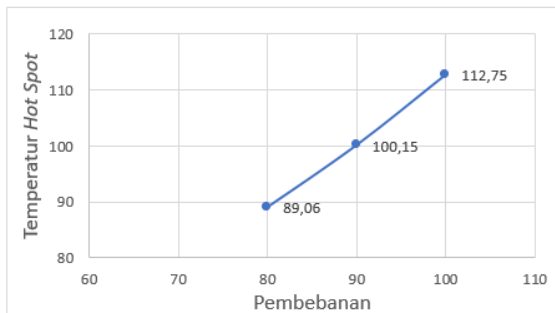
• Perkiraan umur beban konstan

Setelah dilakukan perhitungan beban konstan maka dapat diperoleh hasil seperti pada tabel 2 perkiraan umur beban konstan dan Gambar 2 grafik hubungan antara beban dan *temperature Hot Spot* sebagai berikut.

Tabel 2. Perkiraan umur untuk beban konstan

No	Pembebanan (%)	Temperature Hot Spot (°C)	Susut Umur (pu/hari)	Umur (Tahun)
1	100	112,75	5,49	5,27
2	90	100,15	1,28	22,66
3	80	89,06	0,35	82,86

Berdasarkan tabel 2, perkiraan umur untuk beban konstan, pada pembebanan 100% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 112,75°C, susut umur sebesar 5,49 pu/hari dan umur yang diperoleh sebesar 5,27 tahun. Pada pembebanan 90% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 100,15°C, susut umur sebesar 1,28 pu/hari dan umur yang diperoleh lebih lama dari beban 100% yaitu sebesar 22,66 tahun. Untuk pembebanan 80% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 89,06°C, susut umur sebesar 0,35 pu/hari memperoleh umur yang lebih lama yaitu 82,86 tahun.



Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Beban Dan *Temperature Hot Spot*

Berdasarkan Gambar 1, grafik hubungan antara beban dan *temperature hot spot* terlihat semakin besar pembebanan pada transformator maka *temperature hot spot* semakin naik. Hal ini dibuktikan dengan pembebanan transformator yang diberikan sebesar 80% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 89,06°C, sedangkan pada pembebanan 90%, *temperature hot spot* mengalami kenaikan sebesar hingga sebesar 100,15°C. Pada pembebanan 100% *temperature hot spot* juga mengalami kenaikan hingga sebesar 112,75°C.

C. Analisis Susut Umur Transformator Kapasitas 36/60 MVA Pada Gi Isimu

Berdasarkan data pembebanan real pada trafo GI Isimu dengan kapasitas 36/60 MVA, diambil contoh data pembebanan pada 18 november 2019 pukul 01:00 sebagai berikut.

- **Menghitung kapasitas transformator pada beban pukul 01:00**

Dari data pembebanan yang diperoleh pada GI Isimu, diperoleh daya aktif sebesar 13,41 MW dan daya reaktif sebesar 7,79 MVAR. Kapasitas pembebanan trafo dapat daya yang terpasang pada transformator diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [16] :

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

$$S = \sqrt{13,41^2 + 7,79^2}$$

$$S = 15,50 \text{ MVA}$$

- **Menghitung rasio pembebanan (K)**

Rasio pembebanan trafo dapat diperoleh melalui kapasitas transformator (S) dan kapasitas daya yang terpasang dan tertera pada *nameplate* transformator. Adapun rasio pembebanan (K) dapat diperoleh melalui persamaan (2) dibawah ini :

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

$$K = \frac{15,50}{36}$$

$$K = 0,43 \text{ (Rasio pembebanan untuk rating 36 MVA jenis pendingin ONAN)}$$

$$K = \frac{15,50}{60}$$

$$K = 0,25 \text{ (Rasio pembebanan untuk rating 60 MVA jenis pendingin ONAF)}$$

- **Menghitung rugi tembaga (P_{cu})**

Sebelum menentukan rugi tembaga maka harus diketahui terlebih dahulu arus dari masing masing rating trafo daya. Menentukan arus dari rating trafo dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

Besar arus rating 36 MVA

$$I_1 = \frac{S_r}{V_1}$$

$$I_{1(36)} = \frac{36}{150}$$

$$I_{1(36)} = 0,24 \text{ kA}$$

Besar arus rating 60 MVA

$$I_{1(60)} = \frac{S_r}{V_1}$$

$$I_{1(60)} = \frac{60}{150}$$

$$I_{1(60)} = 0,4 \text{ kA}$$

Setelah arus di tiap rating didapatkan, maka untuk mencari rugi tembaga di trafo dengan rating 36 MVA diperoleh menggunakan persamaan seperti yang ada dibawah ini :

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

$$\frac{114}{0,4^2} = R_1 + a^2 R_2$$

$$R_1 + a^2 R_2 = \frac{114}{0,4^2}$$

Selanjutnya untuk menghitung rugi tembaga dengan menggunakan persamaan yang ada dibawah ini :

$$P_{cu(36)} = 0,24^2 \left(\frac{114}{0,4^2} \right)$$

$$P_{cu(36)} = 41,04 \text{ kW}$$

- **Menghitung perbandingan rugi (d)**

Perhitungan untuk menghitung perbandingan rugi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut :

Daya pengenalan pada 36 MVA

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

$$d_{36} = \frac{41,04}{30}$$

$$d_{36} = 1,368 \text{ kW}$$

Daya pengenalan 60 MVA

$$d_{36} = \frac{\text{rugi tembaga untuk rating 60 MVA}}{\text{rugi beban nol}}$$

$$d_{60} = \frac{114}{30}$$

$$d_{60} = 3,8 \text{ kW}$$

- **Menghitung kenaikan *temperature stabil top oil* ($\Delta\theta_b$)**

Perhitungan untuk menentukan kenaikan *temperature stabil top oil* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut :

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{or} \left[\frac{1+d_{36}K^2}{1+d_{36}} \right]^x$$

$$\Delta\theta_b = 52 \left[\frac{1+1,368(0,43)^2}{1+1,368} \right]^{0,8}$$

$$\Delta\theta_b = 31,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Menghitung kenaikan *temperature top oil* ($\Delta\theta_{on}$)**

Perhitungan untuk menentukan kenaikan *temperature top oil* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (9) sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{o1} = 31,24 + (31,24 - 31,24)(1 - e^{-1/2,5})$$

$$\Delta\theta_{o1} = 31,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Menghitung selisih *temperature Hot Spot* dengan *Top oil* ($\Delta\theta_{td}$)**

Perhitungan untuk menentukan selisih *temperature hot spot* dengan *top oil* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{or})K^{2y}$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 52)(0,43)^{2(1,3)}$$

$$\Delta\theta_{td} = 2,89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Menghitung *temperature Hot Spot* (θ_h)**

Perhitungan untuk menentukan *temperature hot spot* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4) sebagai berikut [13] :

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{bt} + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_h = 35,8 + 31,24 + 2,89$$

$$\theta_h = 69,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Menghitung laju penuaan *Thermal* relatif (v)**

Perhitungan untuk menentukan laju penuaan *thermal* relatif dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (11) sebagai berikut :

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

$$v = 10^{(69,93 - 98)/19,93}$$

$$v = 0,039 \text{ pu/jam}$$

Hasil perhitungan untuk kapasitas transformator 36 MVA jenis pendingin ONAN.

Tabel 3. Perhitungan Untuk Kapasitas Transformator 36 Mva Jenis Pendingin Onan

No	jam	Daya semu (MVA)	K	$\Delta\theta_b$ ($^\circ\text{C}$)	θ_h ($^\circ\text{C}$)	V	L
1	1:00	15,50	0,43	31,24	69,93	0,039	0,0625
2	2:00	14,73	0,409	30,77	69,11	0,035	
3	3:00	14,47	0,402	30,61	68,84	0,034	
4	4:00	14,73	0,409	30,77	69,11	0,035	
5	5:00	15,25	0,424	31,09	69,67	0,037	
6	6:00	13,44	0,373	29,99	67,79	0,03	
7	7:00	11,63	0,323	29,03	66,20	0,025	
8	8:00	13,44	0,373	29,99	67,79	0,03	
9	9:00	14,73	0,409	30,77	69,11	0,035	
10	10:00	15,25	0,424	31,09	69,67	0,037	
11	11:00	16,28	0,452	31,78	70,88	0,043	
12	12:00	16,54	0,459	31,96	71,20	0,045	
13	13:00	16,80	0,467	32,14	71,52	0,046	
14	14:00	17,31	0,481	32,51	72,18	0,05	
15	15:00	17,31	0,481	32,51	72,18	0,05	
16	16:00	18,61	0,517	33,47	73,94	0,062	

No	jam	Daya semu (MVA)	K	$\Delta\theta_b$ ($^\circ\text{C}$)	θ_h ($^\circ\text{C}$)	V	L
17	17:00	18,87	0,524	33,67	74,31	0,064	
18	18:00	25,59	0,711	39,72	86,22	0,256	
19	19:00	25,59	0,711	39,72	86,22	0,256	
20	20:00	24,81	0,689	38,94	84,61	0,212	
21	21:00	23,78	0,660	37,93	82,57	0,168	
22	22:00	21,97	0,610	36,26	79,25	0,114	
23	23:00	20,16	0,560	34,71	76,26	0,081	
24	24:00	18,35	0,510	33,27	73,57	0,059	

- **Menghitung susut umur**

Perhitungan untuk menentukan susut umur dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (12) sebagai berikut :

$$L = \frac{1}{3 \times 24} \{4(0,039 + 0,034 + 0,037 + 0,025 + 0,035 + 0,043 + 0,046 + 0,050 + 0,064 + 0,256 + 0,168 + 0,081) + 2(0,035 + 0,035 + 0,030 + 0,030 + 0,037 + 0,047 + 0,050 + 0,062 + 0,256 + 0,212 + 0,114 + 0,059)\}$$

$$L = 0,0625 \text{ pu/hari}$$

- **Perhitungan Sisa Umur**

Perhitungan untuk menentukan sisa umur dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (13) sebagai berikut :

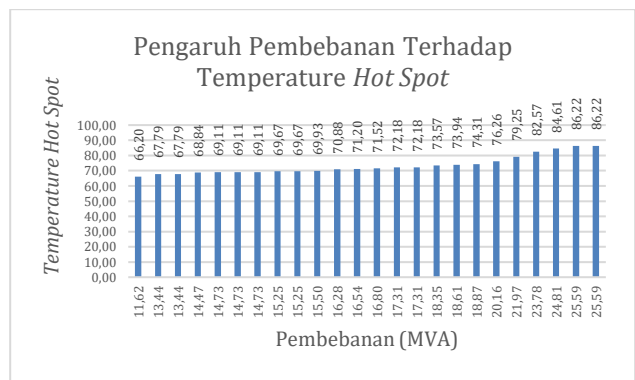
$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{usia pakai}}{\text{Susut umur}}$$

$$n = \frac{30 - 1}{0,0625}$$

$$n = 464 \text{ tahun}$$

- **Pengaruh Pembebanan Terhadap *Temperature Hot Spot***

Karakteristik pembebanan transformator kapasitas 36 MVA diperlihatkan pada Gambar 2, hubungan antara pembebanan dan *temperature hot spot*

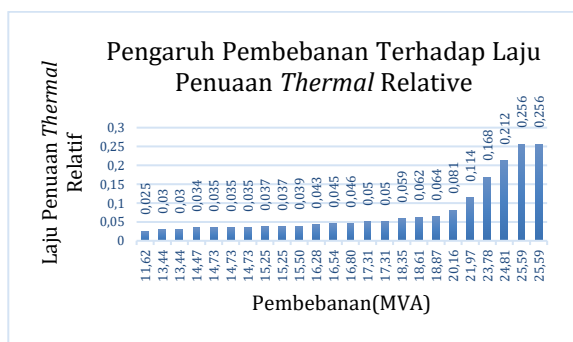


Gambar 2. Hubungan Antara Pembebanan dan *Temperature Hot Spot*

Berdasarkan data pembebanan transformator terhadap *temperature hot spot*, terlihat semakin besar pembebanan maka *temperature hot spot* akan semakin tinggi. Terlihat *temperature hot spot* terendah sebesar 66,20 $^\circ\text{C}$ dan tertinggi sebesar 86,22 $^\circ\text{C}$ dengan pembebanan terendah sebesar 11,62 MVA dan pembebanan tertinggi sebesar 25,59 MVA.

- **Pengaruh Pembebanan Terhadap Laju Penuaan *Thermal* Relatif**

Karakteristik pembebanan transformator kapasitas 36 MVA diperlihatkan pada Gambar 3, hubungan antara pembebanan dan laju penuaan *thermal relative*.

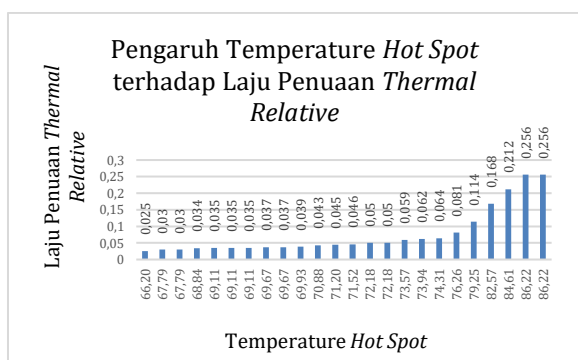


Gambar 3. Hubungan antara pembebanan dan laju penuaan *thermal relative*

Berdasarkan data pembebanan transformator terhadap laju penuaan *thermal relative*, terlihat semakin besar pembebanan pada trafo, maka laju penuaan *thermal relative* semakin tinggi. terlihat laju penuaan *thermal* terendah sebesar 0,025 pu/jam dan tertinggi sebesar 0,256 pu/jam dengan pembebanan terendah sebesar 11,62 MVA dan pembebanan tertinggi sebesar 25,59 MVA.

- **Pengaruh *Temperature Hot Spot* terhadap Laju Penuaan *Thermal Relative***

Karakteristik pengaruh *temperature hot spot* terhadap laju penuaan *thermal relative* diperlihatkan pada Gambar 4, pengaruh *temperature hot spot* terhadap laju penuaan *thermal relative*.



Gambar 4. Pengaruh *Temperature Hot Spot* terhadap Laju Penuaan *Thermal Relative*

Berdasarkan data *temperature hot spot* dan data laju penuaan *thermal relative*. Terlihat semakin besar *temperature hot spot* maka laju penuaan *thermal* semakin tinggi. Terlihat *temperature hot spot* terendah sebesar 66,20°C dan tertinggi sebesar 86,22°C dengan laju penuaan *thermal* terendah sebesar 0,025 pu/jam dan tertinggi sebesar 0,256 pu/jam.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini, mulai dari perhitungan dan analisis dapat disimpulkan yaitu Semakin besar pembebanan yang diberikan pada transformator maka *temperature hot spot* akan semakin besar, susut umur transformator akan semakin berkurang dan umur dari transformator akan semakin kecil

dimana pada pembebanan 100% diperoleh *temperature hot spot* 112,75°C, susut umur sebesar 5,49 pu/hari dan perkiraan umur transformator 5,27 tahun. pada pembebanan 90% dengan *temperature hot spot* yang diperoleh sebesar 100,15°C, susut umur sebesar 1,28 pu/hari maka diperoleh perkiraan umur transformator sebesar 22,66 tahun dan untuk pembebanan 80% diperoleh *temperature hot spot* sebesar 89,06°C dan susut umur sebesar 0,35 pu/hari maka diperoleh perkiraan umur transformator sebesar 82, 86 tahun. Untuk pembebanan yang real yaitu pada tanggal 18 novemver 2019 Rata-rata pembebanan transformator dalam 1 hari sebesar 17,71 MVA pada transformator rating 36 MVA/60.MVA GI Isimu diperoleh susut umur sebesar 0,0625 pu/hari, rata -rata *temperature hot spot* sebesar 73,42°C dan transformator rating 36 MVA/60 MVA GI Isimu diperoleh perkiraan umur yaitu >>> 30 tahun (standar IEC 30 tahun). Dengan demikian maka transformator di GI Isimu pada kondisi pembebanan pada tanggal 18 november 2019, penggunaannya masih sangat lama.

REFERENSI

- [1] R. Yolla Yaumil, F. Teknik, U. Riau, J. Teknik, and E. Universitas, "PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR BERDASARKAN PENGARUH PEMBEBANAN DAN TEMPERATUR LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE TREND LINEAR Yolla," *JOM FTEKNIK*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [2] J. Pandapotan and E. Warman, "Umur Transformator Daya (Aplikasi Pada Gardu Induk Pematangsiantar)," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [3] I. Muttaqin and A. Syakur, "TRANSFORMATOR," *TRANSIENT*, vol. 4, no. 4, pp. 1–8, 2015.
- [4] A. S. Gianto *et al.*, "Perhitungan Penurunan Umur Transformator," *JETri*, vol. 13, no. 1, pp. 15–37, 2015.
- [5] A. Herawati and Sofyan, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7," *Amplifier*, vol. 5, no. 2, pp. 76–81, 2015.
- [6] Pujiono, P. E. Pambudi, and Mujiman, "Analisis Pembebanan Terhadap Usia Pakai Transformator Tenaga Di Gardu Induk 150 Kv," *Elektrikal*, vol. 3, no. 1, pp. 11–20, 2016.
- [7] N. E. Setiawati, M. Munir, T. Wati, and I. Masfufiah, "Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode Backpropagation," *CYCLOTRON*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [8] J. Jumardin, J. Ilham, and S. Salim, "Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i2.2881.
- [9] Hermawan, A. Syakur, and iryanto Irwan, "ANALISIS GAS TERLARUT PADA MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR TENAGA," *TEKNIK*, vol. 32, no. 3, pp. 1–8, 2011.
- [10] J. O. Wuwung, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya

- Jenisterendam Minyak,” *TEKNO*, vol. 7, no. 52, pp. 1–10, 2010.
- [11] J. M. Tambunan, A. Hariyanto, and W. K. Tindra, “Kerja Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur,” *Sutet*, vol. 5, no. 2, pp. 91–99, 2015.
- [12] M. A. Adam, Y. Mohamad, and A. I. Tolago, “Analysis of the influence of loading on age of use of transformers in Botupingge substation,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 4, p. 042039, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/4/042039.
- [13] K. Perera, J. R. Lucas, K. Kumarasinghe, R. Dias, U. Athukorala, and P. G. A. Gunawardana, “Estimation of Optimum Transformer Capacity based on Load Curve,” *Trans. IEE Sri Lanka*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2001.
- [14] Kurniawan and Firdaus, “Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Tranformator Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti,” *JOM FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, 2016.
- [15] F. Azhar, Y. Rahmawati, and I. Fadlika, “Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima,” *SENIATI*, no. 2, pp. 43–49, 2019.
- [16] A. Hermawan, R. Sutjipto, S. Irmadhani Hidayat, and F. Berlian Suryaningtyas, “Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing,” *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 33–38, 2020, doi: 10.33795/elposys.v7i3.16.