

# ANALISA PENGARUH BEBAN DAN SUHU LINGKUNGAN TERHADAP SUSUT USIA TRANSFORMATOR DI GALAXY MALL 3

Muhyiddin Zubair Al Mufri<sup>1)</sup>, Hadi Tasmono<sup>2)</sup>, Reza Sarwo Widagdo<sup>3)</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Email: [muhyidinzubair@gmail.com](mailto:muhyidinzubair@gmail.com)<sup>1)</sup>, [haditasmono@untag-sby.ac.id](mailto:haditasmono@untag-sby.ac.id)<sup>2)</sup>, [rezaswidagdo@untag-sby.ac.id](mailto:rezaswidagdo@untag-sby.ac.id)<sup>3)</sup>.

## ABSTRAK

Menyediakan kondisi terbaik pada peralatan-peralatan tenaga listrik yang ada termasuk bentuk pelayanan kepada konsumen, salah satunya yaitu perawatan transformator. Transformator distribusi adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Peralatan seperti transformator memiliki batas masa pakai yang telah ditentukan sesuai standar IEEE C57.91 tahun 2011 yaitu 20,55 tahun. Usia transformator sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu pembebanan dan suhu lingkungan sekitar transformator. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembebanan dan suhu lingkungan pada transformator. Berdasarkan analisis tersebut didapatkan masa pakai transformator, dengan metode yang digunakan ialah metode kuantitatif dan teknik analisis statistik deskriptif. Penelitian ini mengambil data pada unit transformator distribusi di Galaxy Mall 3 Surabaya. Pembebanan berlebih dan suhu lingkungan yang tinggi dapat menyebabkan susut usia transformator semakin meningkat. Pada data pembebanan unit transformator Galaxy Mall 3 pada tahun 2021 didapatkan susut usia transformator MZ1/1 yaitu 4,38. Berdasarkan IEEE std C57.91-2011 dengan data pembebanan tahun 2021 ini dapat memperkirakan usia transformator distribusi MZ1/1 yaitu 19,89 tahun.

Kata Kunci - Transformator Distribusi, Pembebanan, Suhu lingkungan, Susut Usia.

## ABSTRACT

*Providing the best conditions for existing electric power equipment including forms of service to consumers, one of which is transformer maintenance. Distribution transformer is an electric power equipment that functions to transmit power or electric power from high voltage to low voltage. Equipment such as transformers have a specified lifetime limit according to the IEEE C57.91 2011 standard, which is 20.55 years. The age of the transformer itself can be influenced by several factors, one of which is the loading and ambient temperature around the transformer. Therefore, this study aims to analyze the effect of loading and ambient temperature on the transformer. Based on this analysis, it was found that the service life of the transformer, with the method used is the quantitative method and descriptive statistical analysis techniques. This study took data on 4 distribution transformer units at Galaxy Mall 3 Surabaya. Overloading and high ambient temperatures can cause the life of the transformer to increase. In the loading data of units of the Galaxy Mall 3 transformer in 2021, the age loss of the MZ1/1 transformer is 4.38%. Based on IEEE std C57.91-2011 with 2021 loading data, it can estimate the age of the distribution transformer MZ1/1, which is 19.89 years.*

*Keywords - Distribution Transformer, Loading, Ambient temperature, Loss of Age.*

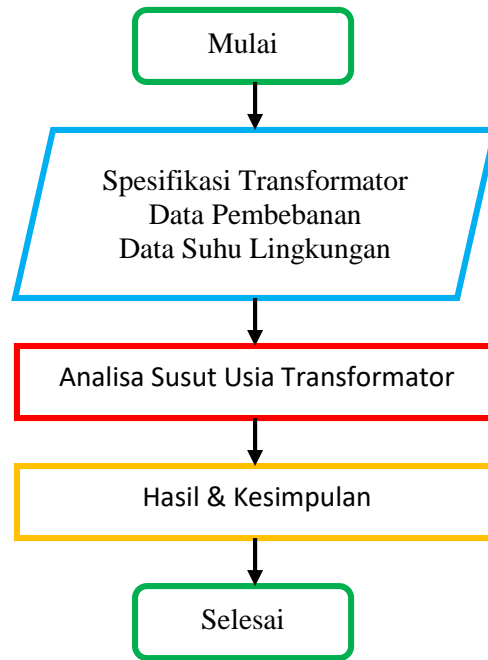
## PENDAHULUAN

Dalam proses pendistribusian tenaga listrik, salah satu peralatan yang sangat penting adalah trafo distribusi. Tugas trafo distribusi adalah membawa energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Fungsi utama trafo distribusi adalah untuk menurunkan tegangan utama dari sistem distribusi listrik menjadi tegangan bagi pengguna / konsumen. Trafo adalah peralatan yang sangat penting, sehingga harus bertahan lama dan dapat digunakan lebih lama lagi. Usia transformator dalam sistem tenaga listrik secara bertahap akan berkurang seiring dengan waktu operasi transformator. Berkurangnya usia transformator disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah pembebanan berlebih yang menyebabkan suhu transformator naik. Faktor lain yang mengurangi usia trafo atau penuaan trafo adalah pengaruh suhu lingkungan, suhu belitan dan suhu minyak transformator. Suhu sekitar tempat transformator beroperasi memiliki pengaruh besar pada karakteristik termal dan suhu titik panas belitan transformator (Gianto *et al.*, 2015). Semakin tinggi presentase pembebanan maka sisa usia akan semakin menurun (Utomo, 2019). Saat nilai *hotspot* transformator meningkat, usia transformator berkurang dan kapasitasnya untuk mengirimkan beban juga menurun. Suhu *hotspot* akhir akan naik seiring dengan meningkatnya beban trafo, mendekati tingkat maksimum yang diizinkan.

Bila digunakan pada peringkat pengenal, umur transformator biasanya diperkirakan 30 tahun. Namun, mungkin ada trafo yang kelebihan beban dalam keadaan tertentu. Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (*aging*). Faktor utama yang membatasi kemampuan pembebanan / kemampuan memepertahankan usia perkiraan dari transformator, akibat adanya pembebanan lebih akan menimbulkan panas pada lilitan kumparan transformator sehingga pada suatu saat akan menurunkan usia transformator (penyusutan usia) dari yang diharapkan. Jika insulasi beroperasi pada suhu di atas batas yang diizinkan, kerusakan insulasi akan semakin cepat (suhu *hotspot*). Ketika sebuah trafo dibebani terus menerus dan memiliki suhu *hotspot* 98°C, trafo tersebut menua secara normal (Kodoati, Lisi and Pakiding, 2015). Harapan hidup transformator akan lebih pendek jika suhu *hotspot* melebihi 98°C karena kehilangan umur akan terjadi lebih cepat (Rauf, 2020).

## METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dalam yang dilakukan dalam penelitian ini yang mana hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif. Waktu penelitian tugas akhir ini dilakukan 1 bulan pada bulan November 2022 dan lokasi pengambilan data yaitu bertempat di Galaxy Mall 3. Data-data yang dibutuhkan yaitu meliputi spesifikasi transformator, data pembebanan transformator, dan data suhu lingkungan. Berikut ini merupakan diagram alir penelitian dalam analisa susut usia transformator:



**GAMBAR 1 DIAGRAM ALIR ANALISA SUSUT USIA TRANSFORMATOR**

Pada gambar 1 merupakan diagram alir pada proses analisa susut usia transformator yang dikerjakan. Hal pertama yang dilakukan yaitu dengan melakukan pengambilan data berupa spesifikasi transformator, data pembebanan transformator, dan data suhu lingkungan. Kemudian, dilakukan analisa mengenai susut usia dari transformator tersebut.

### **Pengambilan Data**

Dalam analisa susut usia diperlukan variabel berupa data. Berikut adalah data yang diperlukan sebagai bahan rujukan dalam penelitian.

Spesifikasi Transformator

**TABEL 1 NAMEPLATE PADA TRANSFORMATOR TSD-M.Z1/1**

Data Trafo unit TSD-M.Z1	
Kapasitas	2500 kVA
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Fasa	3
Merk Trafo	B&D
Tegangan Primer	20 kV
Tegangan Sekunder	400 V
Tipe Pendingin	ONAN
Impedansi	7%
Rugi tembaga	25000 W
Rugi beban nol	4000 W
Grup Vektor	Dyn5

Pada Tabel 1 diatas data diperoleh dari nameplate unit TSD-M.Z1/1 yang terdapat keterangan mengenai merk, kapasitas, jumlah fasa, tegangan, tipe pendingin, rugi

tembaga, rugi beban nol, dan grup vektor. Transformator tersebut digunakan dari tahun 2007.

#### Data Pembebanan

**TABEL 2 DATA PEMBEBANAN TRANSFORMATOR TSD-M.Z1/1**

Bulan	Daya Aktif (MW)	Daya Semu (MVA)	Daya Reaktif MVAR)
Januari	1.122	1.402	0.8414
Februari	1.161	1.451	0.8708
Maret	1.202	1.502	0.9014
April	1.272	1.59	0.9541
Mei	1.261	1.577	0.9459
Juni	1.102	1.377	0.8263
Juli	1.199	1.499	0.8993
Agustus	1.188	1.486	0.8914
September	1.262	1.578	0.9468
Oktober	1.195	1.494	0.8964
November	0	0	0
Desember	1.219	1.524	0.9143

Pada tabel 2 merupakan data pembebanan dari transformator TSD-M.Z1/1 dari bulan Januari – Desember 2021. Data tersebut meliputi daya aktif, daya semu, dan daya reaktif pada pembebanan tersebut. Pada bulan November data bernilai 0 (nol) karena pada bulan tersebut dilakukan perawatan pada transformator tersebut sehingga tugasnya digantikan dengan transformator unit lainnya.

#### Data Temperatur Lingkungan

**TABEL 3 DATA TEMPERATUR LINGKUNGAN**

Data Temperatur Lingkungan	
Temperatur rata-rata Januari	32.08437°C
Temperatur rata-rata Februari	32.33793°C
Temperatur rata-rata Maret	32.84687°C
Temperatur rata-rata April	34.23548°C
Temperatur rata-rata Mei	34.38125°C
Temperatur rata-rata Juni	33.92581°C
Temperatur rata-rata Juli	34.18125°C
Temperatur rata-rata Agustus	35.10937°C
Temperatur rata-rata September	34.86129°C
Temperatur rata-rata Oktober	35.23752°C
Temperatur rata-rata November	32.90322°C
Temperatur rata-rata Desember	33.14193°C
Temperatur rata rata tahun 2021	33.7705242°C

Pada tabel 3 merupakan data rata-rata temperatur lingkungan daerah surabaya pada bulan Januari – Desember pada tahun 2021.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Susut Usia dan Perkiraan Usia Pada Transformator Unit 1 Bulan Januari Tahun 2021

Perhitungan Rasio Pembebanan

$$\begin{aligned} K &= \frac{S}{S_r} \\ &= \frac{1,402}{2,5} \\ &= 0,5608 \end{aligned} \quad (1)$$

Perbandingan rugi transformator

$$\begin{aligned} d &= \frac{25 \text{ kW}}{4 \text{ kW}} \\ &= 6,25 \end{aligned} \quad (2)$$

Perhitungan Temperatur Top Oil Untuk Beban Stabil

$$\begin{aligned} \Delta\theta_b &= \Delta\theta_{br} \times \left( \frac{1+dK^2}{1+d} \right)^x \\ &= 50 \left[ \frac{1+(6,25 \times 0,5608^2)}{1+6,25} \right]^{0,9} \\ &= 22,365^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3)$$

Selisih temperatur antara hotspot dengan temperatur top oil

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{td} &= (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \\ &= (78^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) 0,5608^{2 \times 0,8} \\ &= 11,098^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4)$$

Perhitungan Temperatur Hotspot

$$\begin{aligned} \theta_c &= \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td} \\ &= 32,08437^\circ\text{C} + 22,365^\circ\text{C} + 11,098^\circ\text{C} \\ &= 65,547^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (5)$$

Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relatif

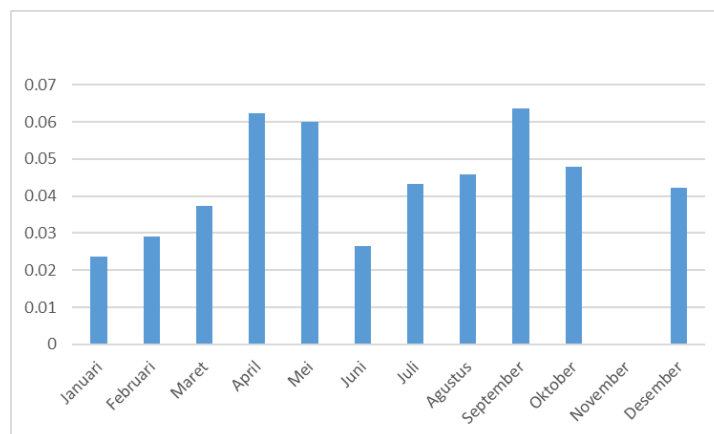
$$\begin{aligned} V &= 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6} \\ &= 2^{(65,547 - 98)/6} \\ &= 0,0235 \end{aligned} \quad (6)$$

Melalui cara perhitungan yang sama sesuai dengan perhitungan diatas, maka dapat diketahui susut usia transformator unit 1 pada bulan-bulan berikutnya dengan melihat tabel dibawah ini:

**TABEL 4 TABEL PERHITUNGAN UNIT 1**

Bulan	MVA	K	d	$\Delta\theta_b$	$\Delta\theta_{td}$	$\theta_c$	V
Januari	1.402	0.5608	6.25	22.364	11.098	65.547	0.023
Februari	1.451	0.5804	6.25	23.311	11.725	67.374	0.029
Maret	1.502	0.6008	6.25	24.326	12.391	69.565	0.037
April	1.59	0.636	6.25	26.148	13.573	73.957	0.062
Mei	1.577	0.6308	6.25	25.874	13.396	73.651	0.060
Juni	1.377	0.5508	6.25	21.892	10.783	66.601	0.026
Juli	1.499	0.5996	6.25	24.266	12.351	70.799	0.043
Agustus	1.486	0.5944	6.25	24.004	12.181	71.295	0.045
September	1.578	0.6312	6.25	25.895	13.409	74.166	0.063
Oktober	1.494	0.5976	6.25	24.165	12.286	71.689	0.047
November	0	0	0	0	0	0	0
Desember	1.524	0.6096	6.25	24.773	12.683	70.598	0.042

Pada tabel 4 merupakan tabel perhitungan analisa pada unit 1 pada bulan Januari – Desember 2021. Pada bulan November hasil perhitungan bernilai 0 (nol) karena pada bulan tersebut unit transformator dilakukan perawatan rutin tahunan, Sehingga tugasnya digantikan dengan transformator cadangan. Berikut ini grafik susut usia transformator unit 1:



**GAMBAR 2 GRAFIK SUSUT USIA UNIT 1**

Perhitungan Susut Usia Transformator

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V & (7) \\
 &= \frac{1}{11} (0.0235 + 0.0290 + 0.0374 + 0.0621 + 0.0600 + 0.0265 + 0.0431 + \\
 &\quad 0.0457 + 0.0637 + 0.0478 + 0.0421) \\
 &= 0.04377691 \text{ Atau } 4.37\%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan perkiraan sisa usia transformator unit 1 sesuai dengan IEEE std C57.91-2011 Yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Perkiraan usia} &= 20,55 - (n \times \text{susut usia}) & (8) \\
 &= 20,55 - (15 \times 0,0437) \\
 &= 19.893 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Susut Usia Terhadap Transformator Berdasarkan Pembebanan Konstan Dengan Suhu Rata-Rata Lingkungan Tahun 2021

Perhitungan yang dilakukan dengan pembebanan yang konstan dari 80%, 90%, 100%. Adapun hasil perhitungan susut usia transformator didapatkan melalui perhitungan dibawah ini :

### Perhitungan Untuk Pembebanan 100%

Perhitungan rasio pembebanan 100%:

$$K = \frac{\% \text{ Suplay Beban}}{\% \text{ Rating Beban}} \quad (1)$$

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

$$K = 1$$

Perhitungan perbandingan rugi (d)

$$d = \frac{\text{rugi tembaga}}{\text{rugi beban nol}} \quad (2)$$

$$d = \frac{25000}{4000}$$

$$d = 6,25$$

Perhitungan kenaikan temperature Ultimate Top Oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \times \left(\frac{1+dK^2}{1+d}\right)^x \quad (3)$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{1+(6,25 \times 1^2)}{1+6,25}\right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{7,25}{7,25}\right]^{0,9}$$

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

Perhitungan selisih antara temperature hotspot dengan top oil

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{td} = (78^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) 1^{(2 \times 0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = 28^\circ\text{C}$$

Perhitungan temperature hotspot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td} \quad (5)$$

$$\theta_c = 33,7705242^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C} + 28^\circ\text{C}$$

$$\theta_c = 111,77^\circ\text{C}$$

Perhitungan laju penuaan thermal realtif

$$V = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6} \quad (6)$$

$$V = 2^{(111,77 - 98)/6}$$

$$V = 2^{(13,77)/6}$$

$$V = 2^{(2,295)}$$

$$V = 4,9078$$

Perhitungan susut usia transformator

$$L = \frac{1}{N} \sum N_n \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{11}(11 \times 4,9078)$$

$$L = 4,9078$$

### Perhitungan untuk Pembebanan 90%

Perhitungan rasio pembebanan 90%:

$$K = \frac{\% \text{ Suplay Beban}}{\% \text{ Rating Beban}} \quad (1)$$

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

$$K = 0.9$$

Perhitungan perbandingan rugi (d)

$$d = \frac{\text{rugi tembaga}}{\text{rugi beban nol}} \quad (2)$$

$$d = \frac{25000}{4000}$$

$$d = 6,25$$

Perhitungan kenaikan temperature Ultimate Top Oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \times \left(\frac{1+dK^2}{1+d}\right)^x \quad (3)$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{1+(6,25 \times 0,9^2)}{1+6,25}\right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{6,0625}{7,25}\right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 42,565^\circ\text{C}$$

Perhitungan selisih antara temperature hotspot dengan top oil

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{td} = (78^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) 0,9^{(2 \times 0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = 23,656^\circ\text{C}$$

Perhitungan temperature hotspot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td} \quad (5)$$

$$\theta_c = 33,7705242^\circ\text{C} + 42,565^\circ\text{C} + 23,656^\circ\text{C}$$

$$\theta_c = 99,992^\circ\text{C}$$

Perhitungan laju penuaan thermal realtif

$$V = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6} \quad (6)$$

$$V = 2^{(99,992 - 98)/6}$$

$$V = 2^{(1,99)/6}$$

$$V = 2^{(0,332)}$$

$$V = 1,258$$

Perhitungan susut usia transformator

$$L = \frac{1}{N} \sum_n \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{11} (11 \times 1,258)$$

$$L = 1,258$$

### Perhitungan untuk Pembebanan 80%

Perhitungan rasio pembebanan 80%:

$$K = \frac{\% \text{ Suplay Beban}}{\% \text{ Rating Beban}} \quad (1)$$

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

$$K = 0.8$$



Perhitungan perbandingan rugi (d)

$$d = \frac{\text{rugi tembaga}}{\text{rugi beban nol}} \quad (2)$$

$$d = \frac{25000}{4000}$$

$$d = 6,25$$

Perhitungan kenaikan temperature Ultimate Top Oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \times \left(\frac{1+dK^2}{1+d}\right)^x \quad (3)$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{1+(6,25 \times 0,8^2)}{1+6,25}\right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{5}{7,25}\right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_b = 35,788^\circ\text{C}$$

Perhitungan selisih antara temperature hotspot dengan top oil

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{td} = (78^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) 0,8^{(2 \times 0,8)}$$

$$\Delta\theta_{td} = 19,593^\circ\text{C}$$

Perhitungan temperature hotspot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td} \quad (5)$$

$$\theta_c = 33,7705242^\circ\text{C} + 35,788^\circ\text{C} + 19,593^\circ\text{C}$$

$$\theta_c = 89,152^\circ\text{C}$$

Perhitungan laju penuaan thermal realtif

$$V = 2^{(\theta_c - \theta_{cr})/6} \quad (6)$$

$$V = 2^{(89,152 - 98)/6}$$

$$V = 2^{(-8,848)/6}$$

$$V = 2^{(-1,475)}$$

$$V = 0,359$$

Perhitungan susut usia transformator

$$L = \frac{1}{N} \sum_n \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{11} (11 \times 0,359)$$

$$L = 0,359$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan susut usia pada beban konstan yaitu 100%, 90%, 80% dengan suhu rata-rata lingkungan pada tahun 2021. Jadi ketika didapatkan susut usia transformator tersebut, maka dapat diketahui perkiraan usia dari transformator unit 1 sesuai dengan IEEE std C57.91-2011. Normal usia transformator distribusi adalah 20,55 tahun(IEEE Power & Energy Society, 2011). Perkiraan usia ini dipengaruhi oleh penurunan isolasi belitan saja tanpa pengaruh lainnya. Transformator MZ1/1 sudah beroperasi pada tahun 2007. Oleh karena itu, dari susut usia trafo yang dihitung didapatkan perkiraan usia yaitu :

$$\text{Perkiraan usia} = 20,55 - (n \times \text{susut usia}) \quad (8)$$

a. Pembebanan 100%

$$\text{Perkiraan usia} = 20,55 - (15 \times 4,9078)$$

$$= -53,07 \text{ tahun}$$

- b. Pembebanan 90%  
 Perkiraan usia =  $20,55 - (15 \times 1,258)$   
 = 1,669 tahun
- c. Pembebanan 80%  
 Perkiraan usia =  $20,55 - (15 \times 0,359)$   
 = 15,165 tahun

diketahui bahwa ketika transformator unit 1 diberikan pembebanan 100% dan suhu lingkungan  $33,7705242^{\circ}\text{C}$ , maka susut usia yang didapatkan adalah sebesar 4,9078 dan sisa usia dari transformator diperkirakan -53,07 tahun (habis masa pakai). Pada pembebanan 90% dan suhu lingkungan  $33,7705242^{\circ}\text{C}$ , maka susut usia yang didapatkan sebesar 1,258 dan sisa usia transformator diperkirakan 1,669 tahun. Sedangkan pada pembebanan 80% dan suhu lingkungan  $33,7705242^{\circ}\text{C}$  didapatkan susut usia sebesar 0,359 dan sisa usia transformator 15,165 tahun. Karena transformator unit 1 sudah beroperasi selama 15 tahun, maka pada pembebanan 80% lebih ideal dikarenakan masa pakai transformator bisa melebihi dari standard IEEE std C57.91-2011 yaitu 20,55 tahun.

## KESIMPULAN

Pada data pembebanan transformator Galaxy Mall 3 pada tahun 2021 didapatkan susut usia transformator MZ1/1 yaitu 4,37. Berdasarkan IEEE std C57.91-2011 dengan data pembebanan tahun 2021 ini dapat memperkirakan sisa usia transformator distribusi MZ1/1 yaitu 19,89 tahun. Pada perhitungan susut usia, pembebanan dan suhu lingkungan saling berkaitan. Dikarenakan menurut standar IEC 354 sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi temperatur *hotspot*  $98^{\circ}\text{C}$ . Sehingga semakin tinggi pembebanan maka suhu lingkungan harus menyesuaikan dengan suhu yang semakin rendah agar temperatur *hotspot* tidak melebihi  $98^{\circ}\text{C}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Gianto, A.S. *et al.* (2015) 'Perhitungan Penurunan Umur Transformator', *JETri*, 13(1), pp. 15–37.
- IEEE Power & Energy Society (2011) 'IEEE Std C57.91-2011', *IEEE Standards*.
- Kodoati, K.A., Lisi, I.F. and Pakiding, I.M. (2015) 'Analisa Perkiraan Umur Transformator', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(3), pp. 35–43.
- Rauf, R. (2020) 'Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga Unit 2 GI Karet Lama 150/20 KV Jakarta Pusat', *Akrab Juara*, 5(1), pp. 43–54.
- Utomo, P. (2019) 'Studi Analisis Kualitas Transformator Daya Gardu Induk 150 Kv Siantan', *Teknik Elektro*, 1(1), pp. 1–11.