

ANALISA PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI DAN USIA PAKAI TRANSFORMATOR PADA PENYULANG BANDARA 2

Christov A. Lawalata¹, H.L. Latupeirissa², J.J. Rikumahu³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

¹christov@gmail.com

Abstract - When a transformer is energized there will be core losses, coil losses and leakage losses are a source of heat and cause an increase in the temperature of the coil and transformer oil. The performance of the power transformer is determined through the parameters of power losses (losses) that occur in the transformer (Ervianto & Rizky, 2019). If there is a loss in the iron core, it can cause excessive heat and vibration in the transformer, causing the efficiency and service life of the transformer to be reduced. Transformer life can be reduced due to several things. One of the causes of the reduced life of the transformer is loading, loading results in an increase in the temperature of the transformer. The heat that arises results in the decomposition of transformer materials which can accelerate the aging process of a transformer. The purpose of this study is, (i) to know the estimated percentage (%) of age loss. (ii) calculate the efficiency of the transformer due to loading. This research was conducted at PT. PLN Ambon Area, especially the distribution transformer installed at the airport feeder 2, with a total of 19 transformer units consisting of a three-phase transformer with a capacity (rating) of 25 KVA 1 unit, 50 kVA 3 units, 100 kVA 2 units, 160 kVA 2 units, 200 kVA 4 units, 250 KVA 5 units, 630 KVA 1 unit and 1250 KVA 1 unit there are 6 transformer units loaded 80% of the transformer power rating. From the results of calculations carried out on transformers that have a load of 80%, it is found that the average estimated lifetime of the transformer is still above 20 years or still according to the standard, and the efficiency ranges from 80.52 to 87.23%, thus it can be concluded that the efficiency of the transformer at the airport 2 feeder is still normal.

Keywords: *service life; efficiency; transformer*

Abstrak - Beban yang bersifat fluktuatif dapat menimbulkan rugi-rugi pada transformator. Ketika suatu transformator diberi energi akan timbul rugi-rugi inti, rugi-rugi kumparan dan rugi-rugi bocor merupakan sumber panas dan menyebabkan kenaikan suhu kumparan dan minyak transformator. Kinerja transformator daya ditentukan melalui parameter rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi pada transformator (Ervianto & Rizky, 2019). Jika terjadi rugi-rugi pada inti besi dapat menyebabkan timbulnya panas dan getaran yang berlebih pada transformator sehingga menyebabkan nilai efisiensi dan usia pakai transformator menjadi berkurang. Usia transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya usia penggunaan transformator adalah pembebanan, pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Panas yang timbul mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator. Tujuan penelitian ini adalah, (i) mengetahui perkiraan persentasi (%) susut umur. (ii) menghitung efisiensi transformator akibat pembebanan. Penelitian ini di laksanakan pada PT. PLN Area Ambon, khususnya pada transformator distribusi yang terpasang pada penyulang Bandara 2, dengan jumlah total transformator 19 unit yang terdiri dari transformator tiga fasa dengan kapasitas (rating) 25 KVA 1 unit, 50 kVA 3 unit, 100 kVA 2 unit, 160 kVA 2 unit, 200 kVA 4 unit, 250 KVA 5 unit, 630 KVA 1 unit dan 1250 KVA 1 unit terdapat 6 unit transformator yang terbeban $\geq 80\%$ dari rating daya transformator. Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada transformator yang memiliki beban $\geq 80\%$, diperoleh bahwa rata-rata perkiraan usia pakai transformator masih di atas 20 tahun atau masih sesuai standard, serta efisiensi berkisar antara 80,52 s/d 87,23 %, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa efisiensi transformator pada penyulang Bandara 2 masih normal.

Kata Kunci: *usia pakai; efisiensi; transformator*

I. PENDAHULUAN

Transformator dalam sistem distribusi diperlukan dalam penyaluran energi listrik yang dapat mentransformasi tegangan dari level tegangan tinggi menjadi level tegangan yang lebih rendah (step down), oleh karena itu kinerja transformator tersebut perlu dijaga dan dipelihara dengan melihat beberapa parameter yang ada.

Beban yang bersifat fluktuatif dapat menimbulkan rugi-rugi pada transformator. Ketika suatu transformator diberi energi akan timbul rugi-rugi inti, rugi-rugi kumparan dan rugi-rugi bocor merupakan sumber panas dan menyebabkan kenaikan suhu kumparan dan minyak transformator [1]. Kinerja transformator daya ditentukan melalui parameter rugi-rugi daya (losses) yang terjadi pada transformator [2]. Jika terjadi rugi-rugi pada inti besi dapat menyebabkan timbulnya panas dan getaran yang berlebih pada transformator sehingga menyebabkan nilai efisiensi dan usia pakai transformator menjadi berkurang.

Usia transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya usia penggunaan transformator adalah pembebanan, pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Panas yang timbul mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator. Terjadinya panas yang terlalu tinggi akan dapat merubah sifat konstruksi bagian-bagian transformator.

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk mengetahui susut umur pada transformator. Transformator yang akan digunakan penulis sebagai lokasi penelitian adalah transformator distribusi di Gardu Penyulang Bandara 2 (Express) PT. PLN (Persero) Area Ambon.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Transformator

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik, dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal, oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut Interbus Transformator (IBT). Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi.

Titik netral transformator diketanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi, transformator dapat dibagi menurut fungsi/ pemakaian seperti : (Abdul Kadir, 2010)

1. Transformator Mesin (pembangkit)
2. Transformator Gardu Induk
3. Transformator Distribusi



Gambar 1 Konstruksi transformator 3 fasa [3]

2.2 Suhu Transformator

Salah satu hal yang mempengaruhi suhu transformator distribusi adalah suhu titik panas. Suhu titik panas merupakan kondisi terpanas dari bagian transformator dan terjadi pada lilitan transformator.

Temperatur sekitar menentukan perubahan temperatur hot spot. Semakin besar temperatur sekitar maka semakin besar temperatur hot spot, begitu pula sebaliknya. Besaran pembebanan yang diberikan terhadap transformator juga menentukan kenaikan suhu transformator tersebut. Sebagai pedoman untuk perhitungan pembebanan, diberikan karakteristik termal dari transformator distribusi jenis pendingin ONAN, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Termal Transformator Distribusi Pendingin ONAN [4]

Karakteristik Termal Transformator	Transformator Distribusi ONAN
Eksponen Minyak (x)	0,8
Eksponen Belitan (y)	1,6
Rasio Rugi-rugi (R)	5
Faktor Titik Panas (H)	1,1
Kostanta Waktu Minyak (t_0)	180
Konstanta Waktu Belitan (t_w)	4
Suhu Sekitar (θ_a)	20
Suhu Titik Panas (θ_h)	98
Gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal (H_{gr})	23
Kenaikan suhu minyak rata-rata ($\Delta\theta_{omr}$)	44
Kenaikan suhu minyak atas ($\Delta\theta_{or}$)	55
Kenaikan suhu minyak bawah ($\Delta\theta_{br}$)	33
Kenaikan suhu belitan rata-rata	65

Suhu titik panas belitan pada diagram termal dapat dihitung menggunakan persamaan [5]:

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x + H_{gr} \cdot K^y \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

θ_h = Suhu titik panas ($^{\circ}\text{C}$),

θ_a = Suhu sekitar ($^{\circ}\text{C}$),

$\Delta\theta_{or}$ = Kenaikan suhu minyak

R = Rasio rugi-rugi,

K = Rasio beban,

x = Eksponen minyak,

y = Eksponen belitan,

H_{gr} = Gradien titik panas ke minyak atas (dalam tangki) pada arus pengenal.

2.3 Umur Transformator

Menurut International Electrotechnical Commission (IEC) apabila transformator diberi beban maksimal (100%) dari kapasitas daya transformator maka transformator akan memiliki umur 20 tahun pada suhu sekitar 20 $^{\circ}\text{C}$.

Penurunan umur transformator dipengaruhi oleh besarnya suhu. Selama rentang suhu titik panas 80 $^{\circ}\text{C}$ –140 $^{\circ}\text{C}$ laju penuaan transformator mengganda untuk setiap kenaikan suhu titik panas sebesar 6 $^{\circ}\text{C}$. Nilai susut umur karena suhu titik panas dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai Susut Umur akibat Kenaikan Suhu Menurut IEC [4]

Temp. Belilitan ($^{\circ}\text{C}$)	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140
Susut Umur (p.u)	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	128
Perkiraan Umur (Thn)	>20	>20	>20	20	10	5	2,5	1,25	0,6	0,51	0,16

Faktor penuaan atau laju perubahan usia transformator pada setiap kenaikan suhu titik panas diatas suhu normal (98 $^{\circ}\text{C}$) dapat dihitung menggunakan persamaan [5] :

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x + H_{gr} \cdot K^y \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: V = nilai relatif dari umur pemakaian, θ_h = suhu titik panas ($^{\circ}\text{C}$)

Susut umur dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam jika beban dan suhu sekitar konstan selama satu periode. Susut umur relatif transformator selama satu periode dapat dihitung [5]:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

L = Susut umur,

N = Periode waktu,

V_n = Laju penuaan relatif pada waktu ke n,

n = Interval waktu

Untuk menghitung perkiraan sisa umur transformator dapat menggunakan persamaan.

Estimasi sisa umur transformator

$$\text{Estimasi Sisa Umur Trafo} = \frac{\text{Umur Dasar} - n}{L} \dots (4)$$

Keterangan :

Umur dasar trafo = 20 Tahun,

n = waktu transformator telah beroperasi (Tahun)

L = Susut umur (24 jam)

2.4 Metodologi Umur Pakai Trafo

Pada dasarnya perhitungan yang tepat serta management yang baik dari Transformator distribusi akan meningkatkan keandalan system tenaga listrik sehingga kontinuitas pelayanan listrik ke konsumen terjamin.

Transformator distribusi merupakan komponen yang sangat penting dalam mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen, jadi ada beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan dan lama waktu pakai transformator jaringan distribusi.

2.4.1 Pemilihan trafo jaringan distribusi

Pemilihan kapasitas KVA Transformator Distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan presentasi pembebanan Transformator Distribusi mendekati 80%.

Transformator distribusi umumnya mencapai efisiensi maksimum (rugi-rugi transformator minimum). Bila beban transformator terlalu besar, maka dilakukan penggantian Transformator atau penyisipan transformator atau mutasi transformator (transformator yang melayani beban kecil dimutasikan ke beban besar, dan begitu sebaliknya). Mutasi antar transformator dapat dilakukan setelah hasil pengukuran beban diperoleh.

Rumus berikut dapat digunakan untuk perhitungan rating trafo distribusi yang dipilih.

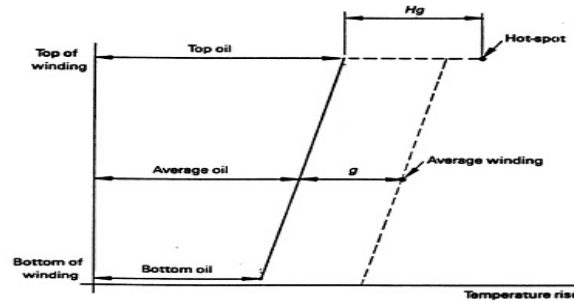
$$\text{Rating} = \frac{(KVA \text{Beban})}{0,8} \dots (5)$$

2.4.2 Susut Umur Transformator Distribusi

Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (*aging*). Hal ini merupakan faktor utama yang membatasi kemampuan mempertahankan perkiraan umur dari transformator distribusi. Dengan kata lain, akibat adanya pembebanan lebih akan menimbulkan panas pada lilitan kumparan transformator sehingga pada suatu saat akan menurunkan umur transformator (penyusutan umur) dari yang diharapkan.

Untuk transformator yang menggunakan media pendingin air, maka temperatur air tidak boleh lebih dari 25 °C, sedangkan untuk transformator yang menggunakan media pendingin udara, maka temperatur udaranya tidak boleh lebih dari 40 °C dan tidak boleh di bawah -25 °C untuk pemasangan luar dan tidak boleh di bawah -5 °C untuk pemasangan dalam.

Sebagai tambahan untuk pendinginan dengan udara, temperaturnya tidak melebihi rata-rata 30 °C untuk satu hari. Kenaikan temperature dapat diasumsikan dengan diagram temperatur sederhana seperti ditunjukkan gambar 1. Gambar ini dapat dipahami karena merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit. Kenaikan temperatur minyak bagian atas yang diukur selama pengujian kenaikan temperatur, berbeda dengan minyak yang meninggalkan kumparan. Minyak pada bagian atas adalah campuran sebagian dari minyak yang bersirkulasi sepanjang kumparan. Tetapi perbedaan ini tidak dipertimbangkan dengan cukup signifikan untuk mevalidasi metode. Metode ini disederhanakan sebagai asumsi yang telah dibuat sebagai berikut : (i) temperatur minyak di dalam kumparan bertambah secara linear dari bawah ke atas. (ii) kenaikan temperatur rata-rata dari tembaga pada setiap posisi di atas kumparan meningkat secara linier sejalan kenaikan temperatur minyak yang mempunyai selisih konstan g antara dua garis lurus (g adalah selisih antara kenaikan temperatur rata-rata tahanan dan kenaikan temperatur rata-rata minyak). (iii) kenaikan temperatur *hotspot* adalah lebih tinggi dibanding kenaikan temperatur rata-rata puncak kumparan.



Gambar 2 Diagram thermal trafo distribusi [6]

Pemburukan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan temperatur yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah temperatur *hot spot*). Menurut standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini (SPLN 17 A: 1979), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “temperatur *hotspot* 98 °C pada pembebanan yang terus-menerus” dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) 20 °C. Apabila transformator tersebut mengalami temperatur *hot spot* yang lebih besar dari 98 °C, susut umurnya akan semakin cepat (besar) sehingga dapat memperpendek umur dari yang diharapkan. Standar IEC 354 memberikan faktor beban terus menerus yang akan menghasilkan temperatur *hot spot* 98 °C dari berbagai temperatur lingkungan dan untuk setiap jenis pendinginan, sehingga memungkinkan untuk menghitung kemampuan pembebanan terus menerus berdasarkan temperatur sekitar.

Tabel 3 Pembebanan yang di ijinakan pada temperatur sekitar yang berbeda [6]

Ambient temperature (°C)			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
Hot-spot temperature rise (K)			123	118	108	98	88	78	68	58
K ₂₄	Distribution	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Power transformer	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Berdasarkan SPLN, transformator di Indonesia dirancang untuk bekerja pada temperatur sekitar tidak melebihi 40 °C dan pada temperatur rata-rata harian 30 °C serta temperatur rata-rata tahunan 30 °C. *International electrotechnical commission* (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari apabila di bebani 100% dari nilai rating daya transformator pada temperatur sekitar 20 °C, sehingga susut umur normal adalah 0,0137% per hari. Susut umur karena temperatur titik panas dapat dilihat pada tabel.

Berbagai peneliti belum sepenuhnya sependapat mengenai susut umur transformator di temperatur tertentu. Tetapi mereka setuju bahwa selama rentang 80÷140 °C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap 6 °C kenaikan temperatur dan nilai ini digunakan sebagai dasar penelitian.

Tabel 4 Hubungan kecepatan penuaan relatif (ζ), temperatur belitan (θ) dan perkiraan umur trafo [6]

θ (°C)	ζ (p.u)	Perkiraan Umur (Tahun)
80	0,125	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1	20
104	2	10
110	4	5
116	8	2,5
122	16	1,25
128	32	0,625
134	64	0,3125
140	128	0,15625

2.4.3 Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Trafo

Rumus Montsinger untuk memperoleh kecepatan relatif pada tiap titik panas di atas suhu normal (98°C) pada beban nominal serta suhu lingkungan acuan serta peningkatan suhu kumparan. Untuk desain transformator berdasarkan standar IEC 76 dan IEC 354, nilai relatif dari umur pemakaian tergantung pada suhu titik panas. Hubungan suhu ini terhadap operasi dalam suhu sekitar 30°C pada nilai daya nominal transformator memberikan kenaikan suhu titik panas sebesar 68°C .

Pada transformator, kecepatan proses penuaan relatif itu secara pendekatan dapat dinyatakan dengan rumus *Mountsinger* sebagai berikut [6] :

$$\zeta = 2^{(9-98)/6} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

ζ = Kecepatan penuaan relatif.

9 = Temperatur belitan bagian terpanas.

98°C = Temperatur sebagai dasar disain untuk umur yang wajar (20 – 30 tahun).

Rumus *Mountsinger* tersebut berlaku sampai temperatur 140°C .

Dalam menghitung pengurangan umur diberikan persamaan untuk dapat menentukan besarnya susut umur adalah sebagai berikut :

$$\text{Susut (24 jam)} = (t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2) \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

t_1 = waktu pembebanan trafo pada temp belitan θ_1

t_2 = waktu pembebanan trafo pada temp belitan θ_2

ζ_1 = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan θ_1

ζ_2 = kecepatan penuaan relatif pada temp belitan θ_2

Karena pembebanan transformator berubah-ubah setiap harinya atau tidak kontinyu sehingga sulit menentukan pola pembebanan hariannya, maka dalam penelitian ini diasumsikan pola pembebanan hariannya adalah sama.

Perhitungan perkiraan umur transformator pada penelitian ini hanya memperhitungkan pengaruh penurunan isolasi belitan saja tanpa memperhitungkan pengaruh yang lain.

$$\text{Perkiraan sisa umur} = \frac{(\text{Umur dasar}) - n}{(\% \text{Susut umur 24 jam})} \dots\dots\dots (8)$$

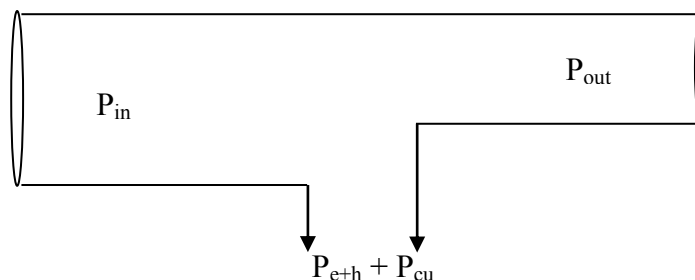
dimana :

n = Lama waktu trafo telah beroperasi (tahun)

2.5 Daya dan Efisiensi Transformator

2.5.1 Daya Transformator

Tingkat daya pada transformator dapat digambar seperti gambar berikut :



Gambar 3 Tingkat daya pada transformator

Daya masukan (P_{in}) merupakan daya yang diterima dari sumber atau pembangkit, daya tersebut nantinya dipergunakan untuk mengatasi kerugian yang terjadi dalam transformator berupa rugi inti (P_{e+h}) dan rugi belitan primer dan sekunder atau rugi tembaga (P_{cu}). Sisa dari daya masukan setelah terpakai mengatasi rugi-rugi, digunakan atau disalurkan ke beban dan disebut daya keluaran (P_{out}).

Daya transformator dinyatakan dalam satuan VA (Volt-Ampere). Untuk ukuran yang lebih besar dinyatakan dalam satuan kVA (kiloVolt-ampere). Pada transformator yang ideal, daya yang diberikan pada kumparan primer akan seluruhnya dipindahkan ke kumparan sekunder tanpa rugi-rugi. Transformator ideal tidak mengubah daya yang diberikan, hanya

mengubah tegangan. Transformator hanya dapat menaikkan atau menurunkan tegangan tetapi tidak dapat menaikkan daya listrik. Secara matematis, daya sebuah transformator dapat dituliskan :

$$\text{Daya Primer} = \text{Daya Sekunder} \dots\dots\dots (9)$$

$$P_p = P_s \dots\dots\dots (10)$$

$$V_p \cdot I_p \cos \theta_p = V_s \cdot I_s \cos \theta_s \dots\dots\dots (11)$$

2.5.2 Efisiensi Transformator

Untuk menentukan besarnya efisiensi transformator, dapat digunakan rumus, yaitu :

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluaran}}{\text{Daya Masukan}} \times 100 \% \dots\dots\dots (12)$$

Dari pengujian beban nol dan hubung singkat, didapat rugi total pada transformator, sehingga

$$\text{Daya Masukan} = \text{Daya Keluaran} + \sum \text{rugi} \dots\dots\dots (13)$$

Dengan demikian efisiensi transformator berdasarkan rugi-rugi yang ada

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluaran}}{\text{Daya Keluaran} + \sum \text{rugi}} \times 100 \% \dots\dots\dots (14)$$

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluaran} + \sum \text{rugi}}{\text{Daya Masukan}} \times 100 \% \dots\dots\dots (15)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{\sum \text{rugi}}{\text{Daya Masukan}} \right) \times 100 \% \dots\dots\dots (16)$$

Daya keluaran transformator dalam besaran watt,

$$P_o = V_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2 \text{ (watt)} \dots\dots\dots (17)$$

Daya masukan transformator dalam besaran watt,

$$P_i = V_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1 \text{ (watt)} \dots\dots\dots (18)$$

Rugi transformator :

a. Rugi inti $P_c = W_o$ dari pengujian beban nol

b. Rugi tembaga $P_{cu} = I_2^2 \cdot R_{02}$ dari pengujian hubungan singkat

Berdasarkan daya keluaran dan rugi-rugi, maka efisiensi transformator :

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2}{V_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2 + P_o + I_2^2 \cdot R_{02}} \times 100 \% \dots\dots\dots (19)$$

2.5.3 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut : (Abdul Kadir, 2010)

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)} \dots\dots\dots (20)$$

dimana, S = Daya transformator (kVA); V = Tegangan primer transformator (kV); I = Arus (A) (Abdul Kadir, , 2000)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*), dapat menggunakan rumus : (Abdul Kadir, 2010)

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \text{ (Ampere)} \dots\dots\dots (21)$$

dimana, I_{FL} = Arus beban penuh (A); S = Daya transformator (kVA); V = Tegangan sekunder transformator (kV)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Transformator distribusi yang akan digunakan sebagai obyek penelitian adalah transformator yang terbebani $\geq 80 \%$ sebanyak 6 buah dari 19 buah trafo distribusi. Untuk dapat melakukan perhitungan, maka diperlukan sejumlah data-data masukan, berikut beberapa data masukan dari 6 transformator distribusi yang menjadi objek penelitian :

a) Data Transformator

Transformator : 3 fasa
Jenis pendinginan : ONAN
Tegangan primer : 20 KV
Jenis gardu : Portal

b) Data Temperatur

Temperatur rata-rata harian kota Ambon: $28 \div 32$ °C, sehingga pada penelitian ini temperatur sekitar (*ambient temperature*) yang digunakan adalah 30 °C

c) Data pembebanan

Data pembebanan 6 unit transformator distribusi yang menjadi bahan penelitian adalah sebagai berikut :

3.2 Pembahasan

Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini (SPLN 17 A: 1979), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi “temperatur *hot spot* 98 °C pada pembebanan 100 % dari rating pengenalan”, dengan temperatur sekitar (*ambient temperature*) 20 °C. Oleh karena rata-rata temperatur sekitar Ambon adalah 30 °C, maka penelitian ini mengacu pada Tabel 2, yakni pada temperatur sekitar 30 °C temperatur belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN akan mencapai 68 °C, tetapi digunakan 98 °C (temperatur *hot spot* pada kondisi umur normal) pada faktor pembebanan 0,91 (91%) dari rating daya transformator. Maka dapat dinyatakan bahwa pada temperatur sekitar 30 °C, temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 % dari rating daya transformator adalah 107,7 °C.

$$\frac{91\%}{98^{\circ}\text{C}} = \frac{100\%}{9^{\circ}\text{C}} \Rightarrow 9 = \frac{98^{\circ}\text{C} \times 100\%}{91\%} = \frac{98^{\circ}\text{C}}{0,91} = 107,69 \approx 107,7^{\circ}\text{C}$$

Untuk pembebanan selama satu hari (24 jam) diasumsikan 20 jam di luar beban puncak (LBP) mengikuti beban siang dan 4 jam pada beban puncak (BP) mengikuti beban malam. Berikut perhitungan umur pakai dari masing-masing transformator yang menjadi bahan penelitian.

3.2.1 Perhitungan Susut Umur

Gardu LHAEPS002

a) Data Trafo Distribusi

- Alamat : Tawiri Tanah Putih 1
- Kapasitas : 50 kVA
- Tegangan Primer : 20 kV
- Tegangan Sekunder : 400 V
- Jenis Pendingin : ONAN

b) Data Pembebanan

- Siang Hari : 34,49 kVA
- Presentasi : 68,97 %
- Malam Hari : 40,58 kVA
- Presentasi : 81,15 %

c) Perhitungan

>Temperatur belitan

• Beban Siang :

Temperatur belitan (9) = % pembebanan x temperatur belitan pada pembebanan 100 %
= (68,97% x 107,7 OC) = 74,28 OC

dimana, (i) % pembebanan = 68,97% dan (ii) Temperatur belitan = 107,7 OC

• Beban Malam :

Temperatur lilitan (9) = % pembebanan x temperatur belitan pada pembebanan 100 %
= (81,15% x 107,7 OC) = 87,40 OC

dimana, (i) % pembebanan = 81,15% dan (ii) temperatur belitan pada pembebanan 100 % = 107,7 OC

>Susut Umur Selama 24 Jam

Perkiraan susut umur selama 24 jam berdasarkan kenaikan temperatur belitan 9 (°C) dihitung sebagai berikut :

• Kecepatan penuaan relatif (ζ)

- Luar Beban Puncak (20 jam)

$$\zeta_1 = 2^{(9-98)/6} = 2^{(74,28-98)/6} = 0,06 \text{ p.u}$$

dimana, temperatur belitan (9) = 74,28 °C

- Beban Puncak (4 jam)

$$\zeta_2 = 2^{(9-98)/6} = 2^{(87,40-98)/6} = 0,29 \text{ p.u}$$

dimana, temperatur belitan (9) = 87,40 °C

• Perkiraan susut umur selama satu hari (24 jam)

$$\text{Susut umur (24 jam)} = (t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2)$$

$$= (20 \text{ jam} \times 0,06 \text{ p.u}) + (4 \text{ jam} \times 0,29 \text{ p.u}) = 2,47 \text{ jam atau } 10,28\%$$

> Perkiraan Sisa Umur

Perkiraan sisa umur Transformator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut :

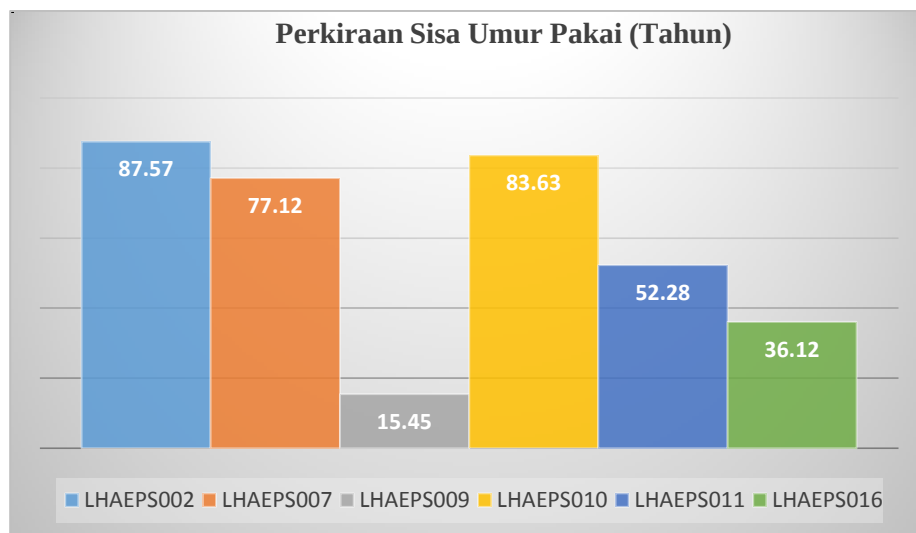
$$\text{Sisa umur} = \frac{20 - (2022 - 2011)}{10,28\%} = 87,57 \text{ tahun atau } >20 \text{ tahun}$$

dimana (i) umur dasar = 20 tahun, (ii) tahun operasi = 2011 dan (iii) % susut umur 24 jam = 10,28%

Perkiraan susut umur pakai 6 transformator berbebanan $\geq 80\%$, dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

Tabel 6 Perkiraan Susut Umur

Gardu	Tahun Operasi	Rating	Beban & Temperatur Belitan						Perkiraan Susut Umur				Perkiraan Sisa Umur	
			Siang			Malam			LBP	BP	Satu Hari		Umur	
			kVA	%	°C	kVA	%	°C	(p.u)	(p.u)	(jam)	%	Tahun	
LHAEPS002	2011	50	34,49	68,97	74,28	40,57	81,15	87,40	0,06	0,29	2,47	10,28	87,57	> 20
LHAEPS007	2013	200	142,80	71,40	76,90	168,01	84,01	90,47	0,09	0,42	3,42	14,26	77,12	> 20
LHAEPS009	2004	250	176,70	70,68	76,12	207,90	83,16	89,56	0,08	0,38	3,11	12,94	15,45	< 20
LHAEPS010	2010	160	109,50	68,44	73,71	128,84	80,52	86,72	0,06	0,27	2,30	9,57	83,63	> 20
LHAEPS011	2016	100	77,90	77,90	83,90	87,23	87,23	93,95	0,20	0,63	6,43	26,78	52,28	> 20
LHAEPS016	2006	160	111,24	69,53	74,88	130,88	81,80	88,10	0,07	0,32	2,66	11,08	36,12	> 20



Gambar 4 Perkiraan Sisa Umur Pakai

3.2.2 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi trafo yang berbeban $\geq 80\%$, menggunakan persamaan 9 s/d 21, sebagai berikut :

Gardu LHAEPS002

a) Arus Transformator Sisi Primer

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 (\text{VA}) \text{ atau } I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot V_1} (\text{Ampere})$$

$$I_1 = \frac{50}{\sqrt{3} \times 20} = 1,45 \text{ A}$$

b) Daya Masukan Transformator

$$P_i = V_1 \cdot I_1 \cos \phi_1$$

$$P_i = 20 \times 1,45 \times 0,95 = 47,5 \text{ KW}$$

c) Daya Keluaran Transformator

$$P_o = V_2 \cdot I_2 \cos \phi_2 \text{ atau } P_o = S_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$P_o = 40,57 \times 0,95 = 38,55 \text{ KW}$$

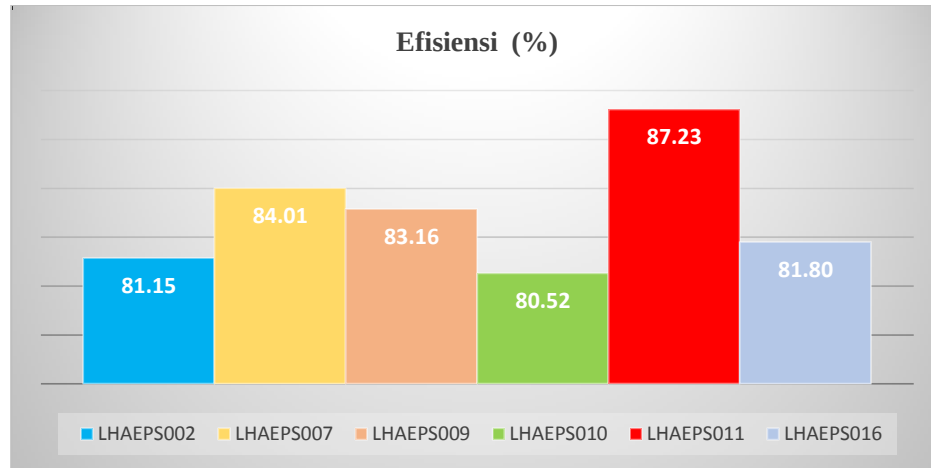
d) Efisiensi

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluaran}}{\text{Daya Masukan}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{38,55}{47,5} \times 100 \% = 81,15\%$$

Tabel 7 Perkiraan sisa umur pakai trafo beban $\geq 80\%$

Gardu	Rating	Phasa	V_1	I_1	$\cos\phi$	P_{in}	S_2	P_{out}	Eff
LHAEPS002	50	3	20	1,45	0,95	47,5	40,57	38,55	81,15
LHAEPS007	200	3	20	5,78	0,95	190	168,01	159,61	84,01
LHAEPS009	250	3	20	7,23	0,95	237,5	207,90	197,51	83,16
LHAEPS010	160	3	20	4,62	0,95	152	128,84	122,4	80,52
LHAEPS011	100	3	20	2,89	0,95	95	87,23	82,87	87,23
LHAEPS016	160	3	20	4,62	0,95	152	130,88	124,34	81,80



Gambar 5 Efisiensi Transformator

3.3 Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan standar IEC 76 dan IEC 354, suatu transformator akan mengalami penyusutan umur pakai apabila temperatur belitannya melebihi 98°C . Hasil perhitungan yang dilakukan transformator akan mengalami penyusutan umur ketika transformator dibebani $\geq 80\%$, karena suhu belitan pada saat kondisi pembebanan $\geq 80\%$ mendekati atau melebihi 98°C .

Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan dan minyak transformator. Panas yang berlebihan pada kumparan trafo dapat merusak isolasi dan naiknya temperatur pada minyak dapat mengubah viskositas dari minyak trafo.

Hasil perhitungan pada table 4.3 terlihat bahwa efisiensi transformator penyulang Bandara 2 (Ekspres) memiliki efisiensi yang sesuai dengan kebutuhan beban oleh konsumen. Efisiensi terkecil 80,52 % sedangkan efisiensi terbesar ada 87,23 %. Pembebanan pada penyulang Bandara 2 (Ekspres) berfluktuatif karena mayoritas konsumen adalah beban rumah tangga.

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data pada bab sebelumnya, terlihat bahwa pengaruh pembebanan terhadap umur pakai trafo distribusi penyulang Bandara 2 Area Ambon dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Nilai efisiensi transformator tertinggi sebesar 87,23% (LHAEPS011) pada beban puncak. Besar kecilnya nilai efisiensi transformator tergantung oleh kebutuhan beban konsumen, semakin besar beban yang dibutuhkan konsumen maka semakin besar nilai efisiensi penggunaan transformator.
- Nilai suhu hot-spot pada transformator beban tertinggi 207,90 kVA (LHAEPS009) mencapai $89,56^{\circ}\text{C}$, sehingga didapat susut umur sebesar 12,94% selama satu hari, menyebabkan sisa umur 15,45 tahun atau kurang dari 20 tahun.

4.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa hasil serta kesimpulan, maka disarankan sebagai berikut:

- Untuk memperpanjang umur pakai transformator distribusi, hendaknya pembebanan tidak melebihi batas presentasi pembebanan yakni 80% dari kapasitas transformator tersebut.
- Secara rutin memperhatikan kualitas sistem pendinginan, agar transformator distribusi tidak terbebani dengan temperatur yang melebihi ketentuan (89°C).

- c. Memperkecil susut umur transformator akibat pembebanan lebih pada saat beban puncak, dengan mengurangi beban transformator sehingga tidak melebihi 80%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Srinivasan & Krishnan. (2012). Prediction of Transformer Insulation Life with an Effect of Environmental Variables, International Journal of Computer Applications Vol. 55 No 5
- [2] Rizki, Y. Y., & Ervianto, E. (2019). Perkiraan umur transformator berdasarkan pengaruh pembebanan dan temperatur lingkungan menggunakan metode trend linear. Jom Fteknik, 6(2), 1–8.
- [3] Abdul Kadir, (2010). Transformator Edisi Revisi. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press), Jakarta
- [4] IEC, (2006), Power Transformers – Part 7: Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers, IEC. International Standard 60076-7.
- [5] Yolla Yaumil Rizki, Edy Ervianto, (2019). Perkiraan Umur Transformator Berdasarkan Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Menggunakan Metode Trend Linear. JOM FTEKNIK Volume 6
- [6] Sigid, Purnama, 2009. Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga, Semarang. (http://www.elektro.undip.ac.id/elk_kpta/wpcontent/uploads/2012/05/12f306046_MTA.pdf).