

ANALISA PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP SUSUT UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH 20 KV PADA PENYULANG LAHA

Immanuel Latuny¹, H.L. Latupeirissa², Marselin Jamlaay³
^{1,2,3}Politeknik Negeri Ambon
¹immanuel@gmail.com

ABSTRACT

Abstract-Power system equipment such as distribution transformers have a design life determined by the manufacturing company so that they can operate within a certain period of time. However, in line with its use in the field, the life of the distribution transformer can be reduced or increased from its design life. 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 occurrence of heat that is too high will be able to change the construction properties of the transformer parts. Any increase of approximately 6°C from the permissible limit will result in reduced lifespan. This temperature rise should be limited. Isolation of the conductor in the transformer winding will cause damage if exposed to high temperatures. The aims of this research are, (i) to calculate the percentage of the remaining service life of the distribution transformer after being used for a number of years. (ii) calculate the predicted lifetime of distribution transformers for each transformer used. This research was conducted at PT. PLN Ambon Area, especially the distribution transformer installed on the Laha feeder, with a total number of 18 transformers consisting of a three-phase transformer with a capacity (rating) of 50 kVA 6 units, 100 kVA 4 units, 160 kVA 7 units, and 200 kVA 1 unit, there are 10 transformer units which are loaded above 80% of the transformer power rating. From the results of calculations carried out on transformers that have a load of 80÷100%, it is found that the life loss of the transformer is still normal or does not have much effect on the life of the transformer. The estimated average remaining life of the transformer is still above 20 years or still according to the standard.

Keywords: *service life; transformer*

ABSTRAK

Peralatan sistem tenaga seperti transformator distribusi memiliki umur desain yang ditentukan oleh perusahaan manufaktur sehingga dapat beroperasi dalam kurun waktu tertentu. Namun sejalan dengan pemakaiannya dilapangan, umur transformator distribusi tersebut dapat berkurang atau bertambah dari umur desainnya. Umur transformator dapat berkurang akibat beberapa hal. Salah satu penyebab berkurangnya umur 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. Setiap kenaikan sekitar 6°C dari batas yang diizinkan akan mengakibatkan berkurangnya umur. Kenaikan suhu ini harus dibatasi. Isolasi dari penghantar (*conductor*) pada belitan transformator akan mengakibatkan kerusakan jika dikenai suhu yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah, (i) menghitung seberapa besar presentasi sisa umur pakai transformator distribusi setelah digunakan sekian tahun. (ii) menghitung prediksi umur pakai transformator distribusi untuk setiap transformator yang digunakan. Penelitian ini di laksanakan pada PT. PLN Area Ambon, khususnya pada transformator distribusi yang terpasang pada penyulang/*feeder* Laha, dengan jumlah total transformator ada 18unit yang terdiri dari transformator tiga phasa dengan kapasitas (rating) 50 kVA 6unit, 100 kVA 4unit, 160 kVA 7 unit, dan 200 kVA 1 unit, terdapat 10unit transformator yang terbeban di atas 80% dari rating daya transformator. Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada transformator yang memiliki beban 80÷100%, diperoleh bahwa susut umur pada transformator masih normal atau tidak banyak berpengaruh pada umur pemakaian transformator. Rata-rata perkiraan sisa umur transformator masih di atas 20 tahun atau masih sesuai standard.

Kata kunci: *umur pakai; transformator*

I. PENDAHULUAN

Transformator distribusi sebagai peralatan tenaga listrik berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi ke tegangan rendah, agar tegangan yang dipakai sesuai dengan rating peralatan listrik konsumen. Transformator merupakan peralatan listrik yang mahal, maka harus dijaga dan dipelihara agar memiliki umur penggunaan yang panjang. 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.

Data Badan Meterologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, suhu rata-rata tahunan di Indonesia adalah 30°C dan tingkat suhu rata-rata harian 33°C dimana transformator dioperasikan. Transformator-transformator digunakan di Indonesia didesain berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission). Kondisi tidak normal, seperti pembebanan lebih atau paparan suhu lingkungan yang lebih tinggi menyebabkan laju penuaan relatif pemburukan termis isolasi transformator yang beroperasi di Indonesia lebih cepat disebabkan kegagalan isolasi transformator.

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk mengetahui susut umur pada transformator untuk periode waktu tertentu. Transformator yang akan digunakan penulis sebagai lokasi penelitian adalah transformator distribusi di Penyulang Laha 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 [1]:

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



Gambar 1 Konstruksi transformator 3 fasa

2.2. 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 °C. Penurunan umur transformator dipengaruhi oleh besarnya suhu. Selama rentang suhu titik panas 80 °C–140 °C laju penuaan transformator mengganda untuk setiap kenaikan suhu titik panas sebesar 6 °C. Nilai susut umur karena suhu titik panas dapat dilihat pada tabel 1.

TABEL 1
NILAI SUSUT UMUR AKIBAT KENAIKAN SUHU MENURUT IEC [2]

Temp. Belilitan (°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°C) dapat dihitung menggunakan persamaan [3]:

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

Keterangan: V = nilai relatif dari umur pemakaian, θ_h = suhu titik panas (°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 :

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n \dots \dots \dots (2)$$

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.

$$Estimasi \ Sisa \ Umur \ Trafo = \frac{Umur \ Dasar - n}{L} \dots (3)$$

Keterangan :

- Umur dasar trafo = 20 Tahun,
- n = waktu transformator telah beroperasi (Tahun)
- L = Susut umur (24 jam)

2.3. Struktur Distribusi Tenaga Listrik

a. Gardu Induk

Gardu induk berisikan ujung-ujung dari saluran transmisi/sub transmisi, transformator, peralatan proteksi, kontrol dan pangkal saluran distribusi. Gardu induk memberikan suplai tenaga listrik ke jaringan distribusi. Tegangan suplai gardu induk adalah berupa tegangan menengah, gardu induk berfungsi sebagai : (i) mentransformasikan tenaga listrik dari tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi lainnya, atau ke tegangan menengah. (ii) pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan dan pengamanan sistem tenaga listrik.

b. Gardu Hubung (Switch Substation)

Gardu hubung merupakan gardu penghubung antara gardu induk dengan gardu transformator distribusi. Gardu ini tidak berisikan transformator, tetapi hanya perlengkapan hubung-bagi (*Switcgear*) dan bisanya rel-rel (*busbars*). Gardu hubung ini terdiri dari gardu hubung spindel yang memiliki maksimum 7 unit penyulang dan gardu hubung non-spindel yang memiliki 3 unit penyulang.

c. Gardu Distribusi

Gardu Distribusi adalah gardu yang berisikan transformator distribusi dan merupakan daerah/titik pertemuan antar jaringan primer dan jaringan sekunder karena pada gardu ini tegangan menengah (TM) diubah ketegangan rendah (TR).

d. Penyulang (*Feeder*)

Penyulang dalam jaringan distribusi merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi.

2.4. Konsep Dasar Keandalan Sistem Distribusi

Definisi klasik dari keandalan adalah peluang berfungsinya suatu alat atau sistem secara memuaskan pada keadaan tertentu dan dalam periode waktu tertentu pula. Dapat juga dikatakan kemungkinan atau tingkat kepastian suatu alat atau sistem akan berfungsi secara memuaskan pada keadaan tertentu dalam periode waktu tertentu pula.

Dalam pengertian ini, tidak hanya peluang dari kegagalan tetapi juga banyaknya, lamanya dan frekuensinya juga penting. Kemungkinan atau tingkat kepastian sedemikian itu tidak dapat diduga dengan pasti, tetapi dapat dianalisa atas dasar logika ilmiah.

2.5. Metodologi Umur Pakai Trafo

Pada dasarnya perhitungan yang tepat serta manajemen 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, yaitu :

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.

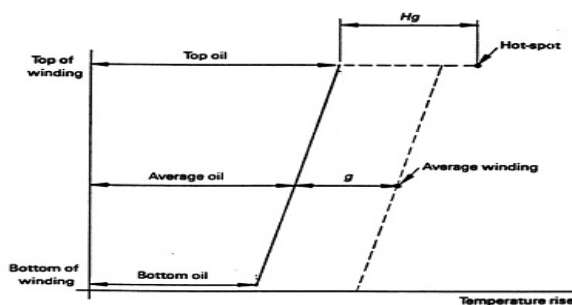
$$\text{Rating} = \frac{(KVA_{\text{Beban}})}{0,8} \dots\dots\dots (4)$$

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

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 [4], 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 2
PEMBEBANAN YANG DI IJINKAN PADA TEMPERATUR SEKITAR YANG BERBEDA

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
	Power transformer	ON	1,33	1,30	1,22	1,15	1,08	1,00	0,92
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94

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 3
HUBUNGAN KECEPATAN PENUAAN RELATIF (Z), TEMPERATUR BELITAN (Θ) DAN PERKIRAAN UMUR TRAF0

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	0,5125
140	128	0,15625

2.6. 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 [5]:

$$\zeta = 2^{(9-98)/6} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

ζ = Kecepatan penuaan relatif.

ϑ = 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 . (Purnama Sigid. 2009)

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

$$\text{Susut (24 jam)} = (t_1 \times \zeta_1) + (t_2 \times \zeta_2) \dots\dots\dots (6)$$

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.

$$\text{Perkiraan sisa umur} = \frac{(\text{Umur dasar}) - n}{(\% \text{Susut umur 24 jam})} \dots\dots (7)$$

dimana :

n = Lama waktu trafo telah beroperasi (tahun)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini di laksanakan pada PT. PLN Area Ambon, khususnya pada transformator distribusi yang terpasang pada penyulang Laha. Jenis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Survey Research* (penelitian survei), dimana tidak dilakukan perubahan atau tidak ada perlakuan khusus terhadap variabel yang diteliti. Jenis data yang diperlukan untuk melakukan analisis perhitungan, (i) data gardu dan trafo distribusi. (ii) data pembebanan siang hari dan malam hari (beban puncak)

Standar perhitungan atau analisis umur pakai transformator distribusi pada penyulang/*feeder* ini menggunakan standar IEC 354 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini. Variabel-variabel yang digunakan dalam menganalisis hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

TABEL 4
JENIS VARIABEL ANALISIS

No	Variabel	Simbol	Satuan
1	Beban transformator	P_L	kVA
2	<u>Presentasi beban transformator</u>	-	%
3	<u>Temperatur belitan</u>	(ϑ)	$^{\circ}\text{C}$
4	<u>Susut umur selama 24 jam</u>	ζ	<u>p.u</u>

Analisis umur pakai transformator distribusi pada penelitian ini, difokuskan pada (i) penentuan presentasi daya beban, tegangan output dan arus beban trafo distribusi, (ii) perhitungan nilai presentasi error umur pakai trafo distribusi, (iii) perhitungan kehilangan umur pakai trafo distribusi, (iv) perhitungan sisa umur pakai trafo distribusi, (v) perhitungan prediksi umur pakai trafo distribusi dan (vi) kesimpulan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Transformator distribusi yang akan digunakan sebagai obyek penelitian adalah transformator yang terbebani di atas 80 % sebanyak 10 buah dari 18 buah trafo distribusi, dengan jenis gardu transformator portal. Semua transformator tersebut berada di wilayah PT. PLN (Persero) Area Ambon penyulang/*feeder* Laha. Untuk dapat melakukan perhitungan, maka diperlukan sejumlah data-data masukan, berikut beberapa data masukan dari kedelapan transformator distribusi yang menjadi objek penelitian.:

1. Data Transformator

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

2. Data Temperatur

Temperatur rata-rata harian kota Ambon: $25 \div 32$ °C, sehingga pada penelitian ini temperatur sekitar (*ambient temperature*) yang digunakan adalah 30 °C

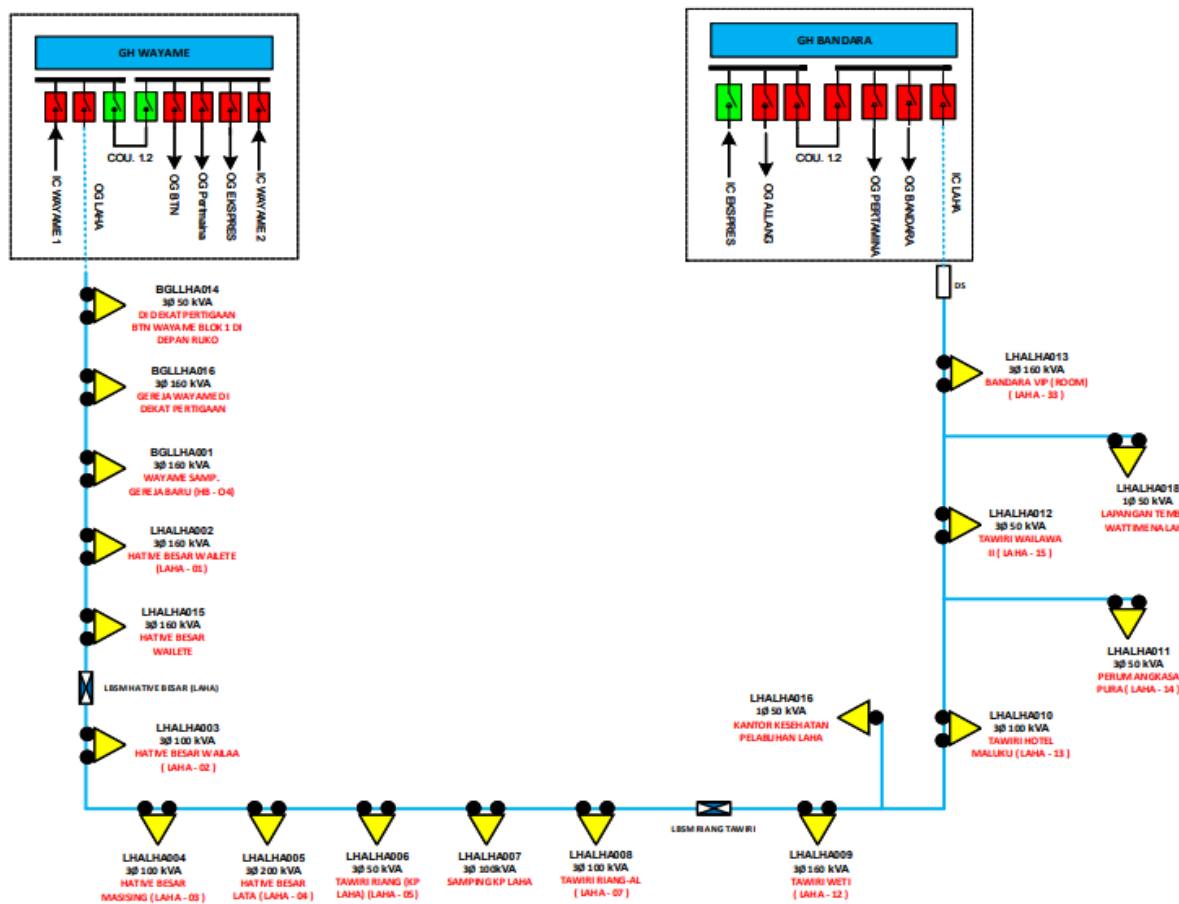
3. Data pembebanan

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

TABEL 5
DATA PEMBEBANAN

No	Gardu	Alamat	Thn Operasi	Daya (kVA)	Siang		Malam	
					Beban (kVA)	%	Beban (kVA)	%
1	BGLLHA014	Pertigaan BTN Wayame Blok 1	2018	50	38.62	77.24	46.34	92.69
2	BGLLHA016	Gereja Wayame	2017	160	114.91	71.82	129.91	81.20
3	BGLLHA001	Samp. Gereja Baru Wayame	2016	160	117.29	73.31	133.55	83.47
4	LHALHA002	Hative Besar Wailate1	2011	160	109.69	68.56	142.60	89.12
5	LHALHA003	Hative Besar Wailaa	2013	100	69.49	69.49	91.02	91.02
6	LHALHA004	Hative Besar Masising	2013	100	65.56	65.56	85.01	85.01
7	LHALHA006	Tawiri Riang	2010	50	37.02	74.04	44.42	88.85
8	LHALHA008	Tawiri Riang AL	2011	100	72.58	72.58	90.73	90.73
9	LHALHA010	Tawiri Hotel Maluku	2014	160	100.06	62.54	137.79	86.12
10	LHALHA012	Tawiri Wailawa	2013	50	38.64	77.28	46.37	92.74

4. Single Line Diagram



Gambar 3 Single Line Diagram Penyulang Laha

4.2 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.

A. Perhitungan Susut Umur

- Gardu BGLLHA014

a. Data Trafo Distribusi

- Alamat : Pertigaan BTN Wayame
- Merk Trafo : B & D
- Kapasitas : 50 kVA
- Tegangan Primer : 20 kV
- Tegangan Sekunder : 400 V
- Jenis Pendingin : ONAN

b. Data Pembebanan

- Siang Hari : 38.62 kVA
- Presentasi : 77,24 %
- Malam Hari : 46,34 kVA
- Presentasi : 92,69 %

c. Perhitungan

c.1. Temperatur belitan

• Beban Siang :

Temperatur belitan (θ) = % pembebanan x temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %
= (77,24% x 107,7 °C) = 83,19 °C

dimana, (i) % pembebanan = 77,24% dan (ii) Temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 % = 107,7 °C

• Beban Malam :

Temperatur lilitan (θ) = % pembebanan x temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 %
= (92,69% x 107,7 °C) = 99,82 °C

dimana, (i) % pembebanan = 92,69% dan (ii) temperatur belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 % = 107,7 °C

c.2. Susut Umur Selama 24 Jam

Perkiraan perhitungan susut umur selama 24 jam berdasarkan kenaikan temperatur belitan θ (°C) dihitung dengan persamaan 6 dan 7 sebagai berikut :

• Kecepatan penuaan relatif (ζ)

• Luar Beban Puncak (20 jam)

$$\zeta = 2^{(\theta-98)/6} = 2^{(83,19-98)/6} = 0,18 \text{ p.u}$$

dimana, temperatur belitan (θ) = 83,19 °C

• Beban Puncak (4 jam)

$$\zeta = 2^{(\theta-98)/6} = 2^{(99,82-98)/6} = 1,23 \text{ p.u}$$

dimana, temperatur belitan (θ) = 99,82 °C

• Perkiraan susut umur selama satu hari (24 jam)

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

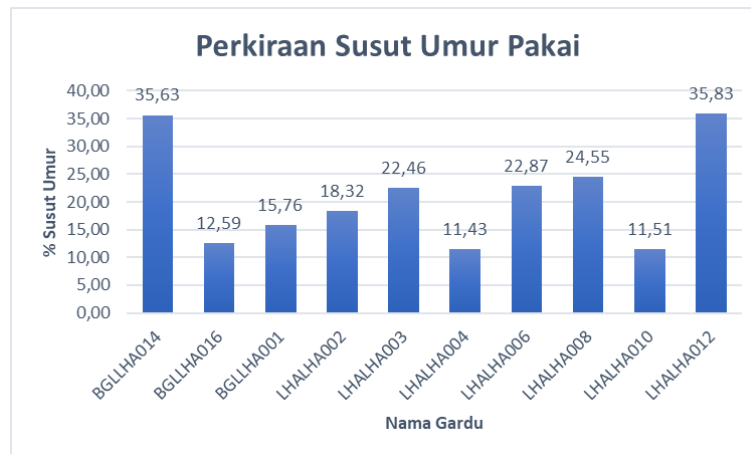
= (20 jam x 0,18 p.u) + (4 jam x 1,23 p.u)

= 8,55 jam, atau = 35,63%

Perkiraan susut umur pakai 10 transformator berbebanan $\geq 80\%$, dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

TABEL 6
PERKIRAAN SUSUT UMUR

No.	Gardu	Tahun Operasi	Rating	Beban & Temperatur Belitan						Perkiraan Susut Umur			
				Siang			Malam			LBP (p.u)	BP (p.u)	Satu Hari	
				kVA	%	°C	kVA	%	°C			jam	%
1	BGLLHA014	2018	50	38.62	77.24	83.19	46.34	92.69	99.82	0.18	1.23	8.55	35.63
2	BGLLHA016	2017	160	114.91	71.82	77.35	129.91	81.20	87.45	0.09	0.30	3.02	12.59
3	BGLLHA001	2016	160	117.29	73.31	78.95	133.55	83.47	89.90	0.11	0.39	3.78	15.76
4	LHALHA002	2011	160	109.69	68.56	73.84	142.60	89.12	95.99	0.06	0.79	4.40	18.32
5	LHALHA003	2013	100	69.49	69.49	74.84	91.02	91.02	98.03	0.07	1.00	5.39	22.46
6	LHALHA004	2013	100	65.56	65.56	70.61	85.01	85.01	91.55	0.04	0.47	2.74	11.43
7	LHALHA006	2010	50	37.02	74.04	79.74	44.42	88.85	95.69	0.12	0.77	5.49	22.87
8	LHALHA008	2011	100	72.58	72.58	78.17	90.73	90.73	97.71	0.10	0.97	5.89	24.55
9	LHALHA010	2014	160	100.06	62.54	67.35	137.79	86.12	92.75	0.03	0.55	2.76	11.51
10	LHALHA012	2013	50	38.64	77.28	83.23	46.37	92.74	99.88	0.18	1.24	8.60	35.83



Gambar 4 Perkiraan Susut Umur Pakai

B. Perhitungan Perkiraan Sisa Umur

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

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

- Gardu BGLLHA014

Sisa umur = $\frac{20 - (2022 - 2018)}{35,63\%} = 44,90$ tahun atau >20 tahun

dimana (i) umur dasar = 20 tahun, (ii) tahun operasi = 2018 dan (iii) % susut umur 24 jam = 35,63%

TABEL 7
PERKIRAAN SISA UMUR PAKAI TRAF0 BEBAN $\geq 80\%$

No	Gardu	Alamat	Tahun Operasi	Rating	Susut Umur (%)	Perkiraan Sisa Umur (tahun)
1	BGLLHA014	Pertigaan BTN Wayame Blok 1	2018	50	35.63	> 20
2	BGLLHA016	Gereja Wayame	2017	160	12.59	> 20
3	BGLLHA001	Samp. Gereja Baru Wayame	2016	160	15.76	> 20
4	LHALHA002	Hative Besar Wailate l	2011	160	18.32	> 20
5	LHALHA003	Hative Besar Wailaa	2013	100	22.46	> 20
6	LHALHA004	Hative Besar Masing	2013	100	11.43	> 20
7	LHALHA006	Tawiri Riag	2010	50	22.87	> 20
8	LHALHA008	Tawiri Riag AL	2011	100	24.55	> 20
9	LHALHA010	Tawiri Hotel Maluku	2014	160	11.51	> 20
10	LHALHA012	Tawiri Wailawa	2013	50	35.83	> 20

4.3 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. Untuk mengurangi susut umur transformator akibat pembebanan lebih pada saat beban puncak selain memperhatikan suhu sekitar, juga dapat dilakukan mutasi gardu ataupun ditambahkan trafo sisipan untuk mengurangi pembebanan pada transformator sehingga susut umur dari suatu transformator juga menurun.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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

1. Prediksi susut umur pakai transformator distribusi yang terbebani $\geq 80\%$ dari kapasitas transformator pada penyulang Laha Area Ambon, sebagai berikut : (i) Prediksi susut umur tertinggi Gardu LHALHA012 sebesar 35,83 %; (ii) Prediksi susut umur terendah Gardu LHALHA004 sebesar 11,43 %

2. Dari hasil perhitungan, diprediksikan umur pakai transformator distribusi yang terbebani $\geq 80\%$ dari kapasitas transformator pada penyulang Laha Area Ambon adalah > 20 tahun.

5.2. Saran

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

1. Untuk memperpanjang umur pakai transformator distribusi, hendaknya pembebanan tidak melebihi batas presentasi pembebanan yakni 80% dari kapasitas transformator tersebut.
2. Secara rutin memperhatikan kualitas sistem pendinginan, agar transformator distribusi tidak terbebani dengan temperatur yang melebihi ketentuan (89°C).
3. Memperkecil susut umur transformator akibat pembebanan lebih pada saat beban puncak, dengan mengurangi beban transformator sehingga tidak melebihi 80% .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, (2010). Transformator Edisi Revisi. Penerbit Universitas Indonesia (UI Press), Jakarta
- [2] IEC, (2006), Power Transformers – Part 7: Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers, IEC. International Standard 60076-7
- [3] Yolla Yaumil Rizki, Edy Ervianto, (2019). Perkiraan Umur Transformator Berdasarkan Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Menggunakan Metode Trend Linear. JOM FTEKNIK Volume 6, Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau
- [4] SPLN-17. (1979). Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak
- [5] Purnama Sigid, (2011), Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga (Studi Kasus Trafo Gtg 1.3 PLTGU Tambak Lorok Semarang), Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang