

Analisis Umur Pakai Transformator Distribusi 800 Dan 1600 kVA Di PDAM Ngagel Surabaya

Oktavianus Rikardus Waro

Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Aris Heriandriawan

Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118, Telp. (031)5931800, Fax. (031)5927871

Korespondensi penulis: oktafianuswaro10@gmail.com

Abstract. Distribution transformers have a very important role in the electric power system. The lifespan of transformers in electric power systems will decrease over time. The reduced service life of distribution transformers is caused by several factors, including loading, ambient temperature, transformer winding temperature and transformer oil temperature. The author uses quantitative and qualitative research types. This research was conducted to determine the remaining useful life of distribution transformers. The data used in this research are transformer template data and peak load data during the day and night. The results of data processing obtained state that the first transformer's estimated remaining life with a load > 80% is 18 years starting from 2023, the second transformer's estimated remaining life with a load > 80% is 16 years starting from 2023, for the third and fourth transformers it is not calculated because it has been used since 1982 or is around 41 years old. For the winding temperature on the first transformer LBP 84 °C and BP 89 °C, on the second transformer the winding temperature LBP 81 °C and BP 96 °C. Both transformers are still considered good because the hot spot temperature is below the maximum limit set by the IEEE in 1955, namely a temperature of 98 °C.

Keywords: Loading, Remaining Transformer Life, Winding Temperature

Abstrak. Transformator distribusi memiliki peran yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Umur transformator pada sistem tenaga listrik akan berkurang seiring berjalannya waktu. Berkurangnya umur pakai transformator distribusi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, akibat pembebanan, suhu sekitar, suhu belitan transformator dan suhu minyak transformator. Penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui sisa umur pakai transformator distribusi. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data template transformator dan data beban puncak siang dan malam. Hasil pengolahan data yang diperoleh menyatakan bahwa transformator pertama perkiraan sisa umur dengan beban > 80% adalah 18 tahun terhitung dari tahun 2023, transformator kedua perkiraan sisa umur dengan beban > 80% adalah 16 tahun terhitung dari tahun 2023, untuk transformator ke tiga dan keempat tidak terhitung dikarenakan digunakan sejak tahun 1982 atau beumur sekitar 41 tahun. Untuk suhu lilitan pada transformator pertama LBP 84 °C dan BP 89 °C, pada transformator kedua suhu lilitan LBP 81 °C dan BP 96 °C. Kedua transformator tersebut masih terbilang baik dikarenakan temperatur hotspot terdapat dibawah batas maksimum yang telah ditetapkan oleh IEEE pada tahun 1955 yaitu suhu sebesar 98 °C.

Kata kunci: Loading, Remaining Transformer Life, Winding Temperature.

PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, kestabilan dan kehandalan sistem tenaga sangat penting agar konsumen mendapatkan kenyamanan dalam pelayanan. Salah satu cara untuk mempertahankan kehandalan dan kestabilan suatu sistem tenaga listrik adalah dengan memperhatikan keadaan peralatan-peralatan listrik yang ada. Salah satu peralatan yang penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator.

Untuk menyalurkan sistem tenaga listrik yang baik di jaringan transmisi dan distribusi, transformator diharapkan beroperasi secara maksimal. Dikarenakan transformator adalah peralatan yang mahal maka, diusahakan agar transformator harus memiliki umur penggunaan yang panjang. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kondisi suatu transformator. Salah satu penyebab kerusakan atau berkurangnya umur transformator adalah akibat pembebanan. Pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur yang menimbulkan panas pada transformator, Panas mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator.

PDAM Ngagel 3 Surabaya memiliki empat transformator dengan masing-masing dayanya 800 kva dan 1600 kva. Empat transformator ini memiliki beban yaitu motor induksi, penerangan Gedung perkantoran PDAM dan kebutuhan listrik lainnya yang ada di PDAM Ngagel 3. Namun seiring berjalanya waktu transformator PDAM kadang mengalami gangguan seperti terjadinya hubungan singkat, kelemahan tap charger, kegagalan proteksi, kebocoran pada bushing, dan proses penuaan trafo. Hal ini mengakibatkan kerusakan pada trafo dan terputusnya penyaluran tenaga listrik.

Salah satu kasus mengenai transformator yang pernah terjadi di PDAM Ngagel 3 yaitu overload beban. Transformator yang overload ini dilakukan pergantian yang berdampak menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik yang ada di PDAM Ngagel 3 Surabaya. Dari kasus tersebut, apabila transformator diberi beban, maka akan menyebabkan kenaikan temperatur dan akan menimbulkan panas. Apabila transformator diberikan beban berlebih yaitu kondisi dimana beban melebihi batas toleransi transformator, maka akan menyebabkan kenaikan suhu yang berlebih yang dapat mempercepat proses penuaan dari transformator tersebut.

Susut umur transformator adalah salah satu kondisi yang harus diperhatikan. Kondisi ini berpengaruh terhadap tingkat performa dari transformator. Semakin baik kondisinya semakin panjang usia pakai sebuah transformato. Dengan mengetahui susut umur transformator, maka sisa umur transformator pun dapat diketahui. Hal tersebut dilakukan agar gangguan akibat beban-beban lebih yang membebani transformator dapat dicegah dan agar dapat mengetahui kapan waktu penggantian transformator.

KAJIAN TEORITIS

State of The Art

Pada penelitian yang dilakukan oleh muhammad avif, Aris Heri Andriawan, Giovanni Dimas Prenata pada transformator daya 300 kva di instalasi pengolahan air limbah PT. Sier “Analisa pembebanan transformator daya 300 kva”. Bertujuan untuk mengetahui nilai derating transformator, nilai persentase pembebanan transformator, nilai ketidakseimbangan transformator, nilai rugi-rugi transformator, dan nilai efisiensi transformator. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui besaran nilai dari transformator yang terpasang tidak melebihi dari nilai SPLN yang berlaku. Dengan menggunakan metode kuantitatif data didapat dari pengukuran dilapangan dan akan dianalisis secara matematis. Selama 5 hari pengukuran didapatkan hasil bahwa nilai derating transformator sebesar 14,55 kVA atau sebesar 14,26 kW dengan persentase derating sebesar 4,85%. Persentase pembebanan transformator sebesar 66,3% (SPLN maksimal 80%, minimal 40%). Nilai ketidakseimbangan beban sebesar 1,67% (SPLN dikategorikan baik jika <10%). Presentase nilai arus pada penghantar netral sebesar 13,02% (SPLN nilai arus netral <20%) dengan nilai rugi-rugi akibat adanya arus penghantar netral sebesar 0,24 kw atau sebesar 0,08%. Presentase efesiensi yang terbebani sebesar 99,91% dari nilai efisiensioptimal sebesar 100%.

Pada penelitian sebelumnya pada tahun 2021, Bahrudin Muhammad. “Analisa Perkiraan Umur Trafo-2 150/22KV 60MVA GI Rungkut Berdasarkan Pengaruh Beban Dan Suhu Lingkungan” menjelaskan penelitian tentang mengetahui perkiraan susut umur transformator dan pembebanan di GI Rungkut dari bulan januari-juni pukul 10.00 WIB dengan menggunakan metode kuantitatif yang mengambil data dari GI Rungkut yang menganalisa perkiraan umur transformator. Dengan metode kuantitatif perhitungan kurang presisi dibandingkan menggunakan metode regresi linear yang saya gunakan akan lebih presisi untuk mengetahui perkiraan umur transformator.

TRANSFORMATOR

Transformator atau trafo adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tenaga yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pendistribusian listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator Daya
2. Transformator Distribusi
3. Transformator Pengukuran

Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnetik, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama. Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.

PRINSIP KERJA TRANSFORMATOR

Prinsip kerja suatu transformator adalah induksi bersama (mutual induction) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu alur induksi. Kedua kumparan tersebut mempunyai mutual induction yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum Faraday.

Berdasarkan hukum Faraday yang menyatakan magnitude dari electromotive force (emf) proporsional terhadap perubahan fluks terhubung dan hukum Lenz yang menyatakan arah dari emf berlawanan dengan arah fluks sebagai reaksi perlawanan dari perubahan fluks tersebut didapatkan persamaan:

$$e = \frac{d\psi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana;

e = emf sesaat (instantaneous emf)

ψ = fluks terhubung (linked fluks)

Dan pada transformator ideal yang dieksitasi dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan:

$$E = 4,44 \cdot \Phi_m \cdot N \cdot f \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana;

E = tegangan (rms)

N = jumlah lilitan

Φ_m = fluks puncak (*peak flux*)

f = frekuensi

dan persamaan;

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dikarenakan pada transformator ideal seluruh mutual flux yang dihasilkan salah satu kumparan akan diterima seutuhnya oleh kumparan yang lainnya tanpa adanya leakage flux maupun loss lain misalnya berubah menjadi panas.

TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step- down 20KV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V.



Gambar 1. Transformator Distribusi

Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = ϕ). Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik, maka fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal, maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula. Karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat belitan primer dan sekunder, maka pada belitan primer dan sekunder tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik) induksi, tetapi arah ggl induksi primer berlawanan dengan arah ggl induksi sekunder. Sedangkan frekuensi masing-masing tegangan sama dengan frekuensi sumbernya. Hubungan transformasi tegangan adalah sebagai berikut:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

E_1 = GGL induksi di sisi primer (volt)

E_2 = GGL induksi di sisi sekunder (volt)

N_1 = jumlah belitan sisi primer (turn)

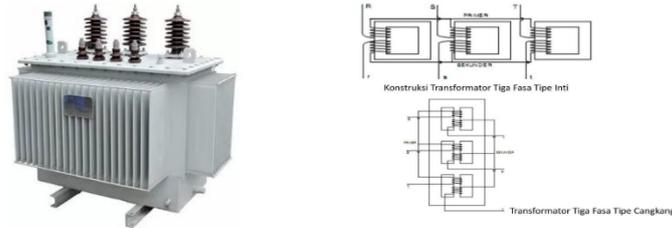
N_2 = jumlah belitan sisi sekunder (turn)

α = perbandingan transformasi.

TEORI TRANSFORMATOR 3 PHASE

Trafo 3 fasa pada dasarnya adalah trafo 1 fasa yang disusun dalam 3 bagian dan memiliki 2 lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder. Ada dua metode utama penyambungan belitan primer, yaitu sambungan delta dan bintang (delta dan bintang). Pada saat yang sama, belitan sekunder dapat dihubungkan dalam delta, bintang, dan zigzag (delta, wye, dan zig-zag). Ada juga hubungan khusus yaitu hubungan delta terbuka.

Seperti namanya, transformator tiga fasa bekerja dengan tegangan yang memiliki tiga fasa. Perbedaan yang paling mendasar terletak pada sistem kelistrikan yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Hal ini memungkinkan transformator tiga fasa untuk diaktifkan secara bintang, delta, dan zigzag. Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena banyak pertimbangan ekonomis. Transformator tiga fasa banyak sekali mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan rating daya yang sama.



Gambar 2. Transformator 3 Phase

MASA PAKAI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Susut umur transformator disebabkan adanya pembebanan berlebihan yang menyebabkan panas lilitan kumparan pada transformator. Berdasarkan standar perusahaan listrik negara (SPLN), transformator yang digunakan di Indonesia bekerja pada suhu aporisma 40 °C. Hal ini ditimbulkan negara Indonesia mempunyai tingkat suhu rata-rata perhari juga pertahun sebesar 30 °C dari Internasioanl Electrotechnical Commission (IEC) jika transformator diberi beban aporisma (100%) dari kapasitas daya transformator maka transformator akan mempunyai umur 20 tahun di suhu berkisar 20 °C. bila transformator diberi beban 100% dan bekerja pada suhu 20 °C akan bisa diketahui penurunan umur transformator perhari sebesar 0,0137%. Penurunan umur transformator dipengaruhi oleh besarnya suhu. Dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\theta H = \text{beban transformator } (\%) \times T_{max} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$V = 2 \left(\frac{\theta H - 98^\circ C}{6} \right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana:

V = lama pengukuran (v)

θH = titik suhu panas (°C)

T_{max} = suhu 98 °C

PERHITUNGAN ARUS BEBAN PENUH TRANSFORMATOR

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (VA)} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (KV)

$I =$ Arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load), dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \text{ (Ampere)(2.25)}$$

Dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (KV)

METODELOGI UMUR PAKAI TRANSFORMATOR

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, yaitu:

PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR 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.

$$\text{Rating} = \frac{(kVA \text{ Beban})}{0,8} \text{(2.26)}$$

SUSUT UMUR TRANSFORMATOR JARINGAN 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 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.

PERHITUNGAN PERKIRAAN SISA UMUR TRANSFORMATOR

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:

$$\zeta = 2^{(\vartheta - 98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana:

ζ = Kecepatan penuaan relatif.

ϑ = Temperatur belitan bagian terpanas (hot spot).

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

Rumus Mountsinger tersebut berlaku sampai temperatur 140°C.4 Dalam menghitung pengurangan umur diberikan persamaan untuk dapat menentukan besarnya susut umur adalah sebagai berikut:

$$\text{Susut (24 jam)} = (t1 \times \zeta1) + (t2 \times \zeta2) \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana:

t1 = waktu pembebanan trafo pada temp belitan $\vartheta1$

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.

$$\text{Perkiraan sisa umur} = \frac{(\text{umur dasar}) - n}{\% \text{susut umur } 24} \dots \dots \dots (2.29)$$

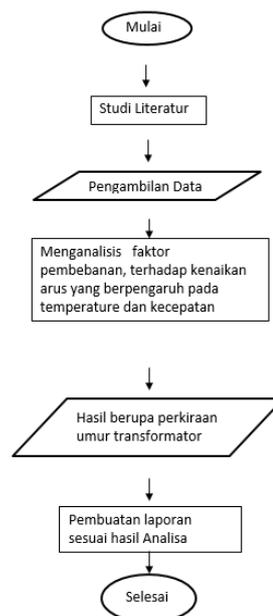
Dimana:

n = Lama waktu trafo telah beroperasi (tahun)

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif. Bentuk penelitian ini dimana data-datanya berupa angka-angka berdasarkan hasil pengukuran transformator Di PDAM Ngagel 3 Surabaya. Data hasil pengukuran ini kemudian dianalisis dan diolah dengan rumus penyusutan umur transformator. Penelitian ini dilakukan di PDAM Surya Sembada Surabaya.



Gambar 3. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Transformator Distribusi PDAM

Data yang diambil adalah data pembebanan yang ada di pdam ngagel 3 surabaya, data yang dimaksud yaitu data pada waktu beban puncak (BP) dan pada waktu luar beban puncak (LBP).

Merek Transformator 1	Trafindo
Tipe pendingin	ONAN
Kapasitas	800 kVA
Fasa	3
Tegangan (kV) Primer	20 kV
Tegangan (V) Sekunder	400 V
Arus (A) Primer	46.18 A
Arus (A) Sekunder	2309.40 A
Tahun Pasang	2020

Merek Transformator 2	Trafindo
Tipe Pendingin	ONAN
Kapasitas	1600 kVA
Fasa	3
Tegangan (kV) Primer	20 kV
Tegangan (V) Sekunder	400 V
Arus (A) Primer	25.1 A
Arus (A) Sekunder	1220 A
Tahun Pasang	2018

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Arus Transformator

No.	Transfo r mato r	Rating	Be ban			
			Siang		Pagi & So re	
			kVA	%	kVA	%
1	Transfo r mato r 1	800	714.3	89,3%	741.2	92.6%
2	Transfo r mato r 2	1600	1421.2	89%	1480.0	93%
3	Transfo r mato r 3	800	652.9	82%	765.9	96%
4	Transfo r mato r 4	800	696.5	87%	717.6	90%

Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi

Dari hasil pengukuran dapat diperkirakan susut umur transformator. Analisa perhitungan ini 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 “suhu *hot spot* 98°C pada pembebanan 100 % dari rating pengenalan” dengan suhu sekitar (ambient temperature) 30°C. Oleh karena rata-rata suhu sekitar surabaya adalah 30°C maka penelitian ini mengacu pada Tabel 3.1, yaitu pada suhu sekitar 30°C suhu belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN akan mencapai 98°C pada faktor pembebanan 0,91 (91%) dari rating daya transformator. Maka dapat dinyatakan bahwa pada suhu sekitar 30°C, suhu belitan yang dihasilkan pada pembebanan 100 % dari rating daya transformator adalah 107.7°C.

$$\frac{0.91}{98^{\circ}\text{c}} = \frac{1}{\vartheta} \Rightarrow \vartheta = \frac{98^{\circ}\text{c} \times 1}{0.91} = 107.7^{\circ}\text{c}$$

Untuk pembebanan selama satu hari (24 jam) diasumsikan 18 jam di luar beban puncak layanan PDAM Surabaya (LBP) mengikuti beban siang dan 6 jam pada beban puncak Layanan PDAM Surabaya (BP) mengikuti beban malam. Berikut perhitungan susut umur dari masing masing transformator yang menjadi bahan penelitian.

Perhitunga Transformator Pertama

- a. Menghitung suhu aktual dengan % beban transformato

- Pembebanan Transformator

$$\begin{aligned} \text{Pembebanan LBP (\%)} &= \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Rating Transformator}} \times 100 \\ &= \frac{714.3}{800} = 89.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pembebanan BP (\%)} &= \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Rating Transformator}} \times 100 \\ &= \frac{741.2}{800} = 92.6\% \end{aligned}$$

- Suhu lilitan Transformator

$$\begin{aligned}
 \text{Suhu lilitan LBP} &= \text{Pembebanan} \times 107.7 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 89.3 \% \times 107.7 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 96.2 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 \text{Suhu lilitan BP} &= \text{Pembebanan} \times 107.7 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 92.6 \% \times 107.7 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &= 99.7 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung susut umur relatif dari pembebanan transformator

- Susut umur relatif LBP

$$\begin{aligned}
 f &= 2^{(9-98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \\
 &= 2^{(96.2-98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \\
 &= 2^{(-1.8 \text{ } ^\circ\text{C})/6} = 0.81 \text{ p.u}
 \end{aligned}$$

- Susut umur relatif BP

$$\begin{aligned}
 f &= 2^{(9-98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \\
 &= 2^{(99.7-98 \text{ } ^\circ\text{C})/6} \\
 &= 2^{(1.7 \text{ } ^\circ\text{C})/6} = 1.2 \text{ p. u}
 \end{aligned}$$

c. Menghitung perkiraan susut umur transformator dalam 24 jam

Perkiraan susut umur selama satu hari adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Susut umur 24 jam} &= (18 \text{ jam} \times 0.81 \text{ p. u}) + (6 \text{ jam} \times 1.2 \text{ p.u}) \\
 &= 21.78 \text{ jam} = \frac{21,78}{24} = 0,908 = 90,8\%
 \end{aligned}$$

d. Menghitung perkiraan sisa umur transformator

$$\begin{aligned}
 \text{Sisa umur} &= \frac{\text{Umur dasar} - n}{\% \text{ susut umur 24 jam}} \\
 &= \frac{7300 - (2023 - 2020)}{90.8\%} \\
 &= \frac{7300 - 1095}{0.908} \\
 &= \frac{6205}{0.908} \\
 &= 6833 \text{ Hari} = \frac{6833}{365} = 18 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Perkiraan Sisa umur dari transformator no 1 dibawah 20 tahun, karena pembebanan pada transformator melebihi 80%. Kondisi tersebut mempengaruhi suhu belitan menjadi semakin panas. Selain suhu sekitar yang juga berpengaruh terhadap kenaikan suhu belitan, usia terpasang transformator juga berpengaruh pada sisa umur transformator.

Perhitungan Transformator Kedua

a. Menghitung suhu aktual dengan % beban transformator

- Pembebanan Transformator

$$\begin{aligned}\text{Pembebanan LBP (\%)} &= \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Rating Transformator}} \times 100 \\ &= \frac{1421}{1600} = 89 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pembebanan BP (\%)} &= \frac{\text{Beban Transformator}}{\text{Rating Transformator}} \times 100 \\ &= \frac{1480}{1600} = 93\%\end{aligned}$$

- Suhu lilitan Transformator

$$\begin{aligned}\text{Suhu lilitan LBP} &= \text{Pembebanan} \times 107.7 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 89 \% \times 107.7 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 95.85 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Suhu lilitan BP} &= \text{Pembebanan} \times 107.7 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 93 \% \times 107.7 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 100.16 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

b. Menghitung susut umur relatif dari pembebanan transformator

- Susut umur relatif LBP

$$\begin{aligned}\zeta &= 2^{(T-98 \text{ }^\circ\text{C})/6} \\ &= 2^{(95.85-98 \text{ }^\circ\text{C})/6} \\ &= 2^{(-2.15 \text{ }^\circ\text{C})/6} = 0.78 \text{ p.ue}\end{aligned}$$

- Susut umur relatif BP

$$\begin{aligned}\zeta &= 2^{(T-98 \text{ }^\circ\text{C})/6} \\ &= 2^{(100.16-98 \text{ }^\circ\text{C})/6} \\ &= 2^{(2.16 \text{ }^\circ\text{C})/6} = 1.28 \text{ p. ue}\end{aligned}$$

c. Menghitung perkiraan susut umur transformator dalam 24 jam

$$\begin{aligned}\text{Susut umur 24 jam} &= (18 \text{ jam} \times 0.78 \text{ p. ue}) + (6 \text{ jam} \times 1.28 \text{ p.ue}) \\ &= 21.72 \text{ jam} = \frac{21.72}{24} = 0,905 = 90.5 \%\end{aligned}$$

d. Meenghitung peerkiraan sisa umur transformator

$$\begin{aligned}\text{Sisa uemuer} &= \frac{Uemuer \text{ dasar} - n}{\% \text{ suesuet uemuer 24 jam}} \\ &= \frac{7300 - (2023 - 2018)}{90.5\%} \\ &= \frac{7300 - 1825}{0.905} \\ &= \frac{5475}{0.905} \\ &= 6049 \text{ Hari} = \frac{6049}{365} = 16 \text{ Tahunen}\end{aligned}$$

Perkiraan Sisa umur dari transformator no 2 dibawah 20 tahun, Perkiraan Sisa umur dari transformator no 1 dibawah 20 tahun, karena pembebanan pada transformator melebihi 80 %. Kondisi tersebut mempengaruhi suhu belitan menjadi semakin panas. Selain suhu sekitar yang juga berpengaruh terhadap kenaikan suhu belitan, usia terpasang transformator juga berpengaruh pada sisa umur transformator.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan Analisa perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Analisa susut umur berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi akibat pemanasan dari pembebanan dan suhu sekitar.
2. Pengaruh pembebanan terhadap usia transformator berbanding lurus, semakin besar pembebanan pada transformator maka susut umur pada transformator akan semakin cepat.
3. Hasil analisa usia pakai yang didapat pada transformator pertama adalah 18 tahun dan transformator kedua 16 tahun.
4. Transformator nomo r3 dan 4 tidak dapat diidentifikasi sisa umurnya karena sudah melebihi umur dasar transformator (20-30 tahun).

Saran

Setelah melakukan Analisa perhitungan dari data yang diperoleh, maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Transformator nomor 3 dan 4 dapat dipertimbangkan untuk dilakukan penggantian dengan pertimbangan antara lain:
 - a. Usia Transformator (41 tahun) jauh melebihi usia dasar Transformator (20-30 tahun)
 - b. Potensi terjadinya kegagalan suplai tenaga sangat besar, mengingat beban transformator mencapai 90 %.
2. Mahasiswa lain yang ingin melanjutkan penelitian, terbuka peluang untuk meneliti susut umur akibat ketidak seimbangan beban.
3. Tetap berdoa dan semangat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A, S., R, D. T., & N, L. (2018). Analisis susut umur transformator akibat beban lebih dengan penambahan transformator distribusi sisipan. *SINUSOIDA*.
- [2] Anshar, C. N. (2022). Studi Analisa Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan. *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi Dan Sains 1*.
- [3] Avif, M., Andriawan, A. H., & Prenata, G. D. (2022). *Analisis Pembebanan Transformator Daya 300kVA di Instalasi pengolahan air limbah PT.Sier*.
- [4] Azhar, F., Rahmawati, Y., & Fadlika, I. (2019). Estimasi Umur Transformator Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima. *Prosiding Seniati 5*.
- [5] Latupeirissa, H. L. (2018). Analisa Umur Transformator Distribusi 20 KV di PT.PLN Cabang Ambon. *Teknik Elektro*, 129.
- [6] Mufrihi, M. Z., Tasmono, H., & Widagdo, R. S. (2023). Analisa Pengaruh Beban dan Suhu Lingkungan Terhadap Susut Usia Transformator di Galaxy Mall 3. *Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa*.
- [7] Nuryadi, J. S. (2019). Analisis Pengaruh Pembebanan dan Suhu Lingkungan Terhadap Susut Umur Transformator Distribusi di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Menggunakan Metode Mostinger.
- [8] Priyono, T. O. (2022). Analisa Sisa Umur Pemakaian Transformator Tipe Rectifier Kapasitas 20 KV Berdasarkan Perhitungan Pembebanan di Chemical Plant Karawang. *Jurnal Elektro 10*.
- [9] Pujiono, Pambudi, P. E., & Mujiman. (2016). Analisis Pembebanan terhadap Usia Pakai Transformator Tenaga di Gardu Induk 150 kv. *Jurnal Elektrikal*.

- [10] Purnama , S. (2009). *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*. Semarang: Universitas Diponegoro .
- [11] Suheta, T. (2022). Perkiraan umur transformator distribusi di EDTL CAI-COLI Dili. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Sistem Informasi dan Teknik Informatika*
- [12] Syukri, S., Asyadi, T. M., Muliadi, & Moesnadi, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*.