

ANALISIS PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN ULP ELAT

¹Moses Maturbongs, ²Dr. Ir. Widodo Pudji Muljianto. Mt., ³Ir. Ni Putu Agustini, MT.
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia
Mosesmaturbongs301000@gmail.com

Abstrak— *Kebutuhan Energi Listrik Di Elat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Sistem Jaringan Distribusi 20kV ULP Elat disuplai oleh satu pembangkit PLTD yang berkapasitas 2 MW (Megawat). Penyulang Bombay, Penyulang Weduar dan Penyulang Waur. Untuk menciptakan sistem yang handal dan stabil untuk dapat memberikan kemudahan dalam pelayanan kepada pelanggan. Ini akan terwujud jika semuanya dikondisikan dengan baik, termasuk peralatannya, salah satu alat yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik dari generator ke konsumen adalah trafo. Transformator merupakan suatu bagian yang penting pada sistem tenaga listrik. Fungsi utama dari sebuah transformator adalah untuk mentransformasikan tegangan, yaitu mengubah besar tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya agar sesuai dengan dengan kebutuhan konsumen. Pelaksanaan penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa langkah berikut : Studi literatur dan melakukan interview, pengambilan data, perhitungan dan pengolahan data, mendapat nilai susut umur transformator, menganalisa hasil pengolahan dan perhitungan susut umur transformator, dan kesimpulan. Dari hasil pengolahan kesimpulan yang di dapat, transformator dengan daya 100 KVA memiliki nilai perbebanan lebih tinggi, semakin besar berbebanan transformator maka semakin besar pula suhu hot spotnya.*

Kata Kunci— *Umur Transformator*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan Energi Listrik Di Elat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Sistem Jaringan Distribusi 20kV ULP Elat disuplai oleh satu pembangkit PLTD yang berkapasitas 2 MW (Megawat). Jaringan PT. PLN (Persero) ULP Elat secara keseluruhan menyuplai 4 penyulang yaitu Penyulang Elat, Penyulang Bombay, Penyulang Weduar dan Penyulang Waur. Untuk menciptakan sistem yang handal dan stabil untuk dapat memberikan kemudahan dalam pelayanan kepada pelanggan.

Ini akan terwujud jika semuanya dikondisikan dengan baik, termasuk peralatannya, salah satu alat yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik dari generator ke konsumen adalah trafo. Oleh karena itu, untuk menciptakan sistem tenaga listrik yang handal dan stabil, umur trafo harus diperhatikan dengan baik.

Trafo merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik. Fungsi utama trafo adalah untuk mengubah tegangan yaitu mengubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya sesuai dengan kebutuhan konsumen. sebuah trafo tegangan tinggi tentunya membutuhkan isolasi yang tujuannya adalah untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dan bagian yang tidak bertegangan serta mengisolasi setiap bagian diantara fasa yang bertegangan, sehingga antara satu fase ke fase lainnya dapat ditekan dengan isolasi yang digunakan

Salah satu jenis isolasi yang digunakan pada transformator adalah berupa minyak, minyak transformator selain berfungsi sebagai isolator juga memiliki fungsi sebagai pendingin transformator dan memiliki sifat isolasi transformator yang dapat memperbaiki diri ketika terjadi kegagalan isolasi. Salah satu penyebab kerusakan atau berkurangnya umur trafo adalah akibat pengaruh pembebanan. Pembebanan mengakibatkan peningkatan temperatur yang menimbulkan panas pada trafo. Panas mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan trafo yang dapat mempercepat proses penuaan suatu trafo. Pada saat ini dengan adanya perubahan dan peningkatan beban, ada trafo distribusi yang sudah mengalami pembebanan berlebihan. Ini mengakibatkan peningkatan suhu trafo yang berlebihan bahkan bisa sampai melewati batas toleransi yang ada. Jika kondisi operasi seperti ini terus berlangsung dan tidak diperkirakan atau tidak diatasi, suatu waktu komponen trafo akan sampai pada batas ketahanan dan nilai keamanan yang diizinkan. Pada akhirnya terjadi gangguan akibat kerusakan trafo secara tiba-tiba seperti trafo yang terbakar atau meledak

Berdasarkan pada latar belakang diatas maka Rumusan masalah yang didapat sebagai berikut :

1. Bagaimana mengetahui sisa Umur pakai transformator distribusi pada suatu sistem distribusi?
2. Bagaimana cara menghitung sisa umur pakai transformator distribusi?

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa sisa umur pakai trafo distribusi.
2. Mengetahui susut umur transformator distribusi berdasarkan perhitungan.

II. LANDASAN TEORI

A Transformator Distribusi

Transformator merupakan sebuah peralatan kelistrikan, yang berperan dalam menyalurkan tegangan listrik ke konsumen dari tegangan tinggi ke tegangan rendah melalui saluran transmisi. Transformator distribusi umumnya di pasang pada beberapa jenis tiang berdasarkan jenis gardu distribusi yaitu jenis cantol dan jenis portal, masing-masing transformator distribusi beroperasi untuk menyuplai beban sesuai kapasitasnya. Transformator digunakan pada jaringan listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang cocok, serta tetap hemat untuk setiap kebutuhan contohnya kebutuhan tegangan tinggi untuk suplai listrik yang jauh.

A.1 Konstruksi Dan Alat Pelengkap

Selain itu, trafo memiliki aksesoris baru dan dibuat sesuai dengan pedoman pabrikan. Jikan mengacu pada trafo buatan lokal, pabrikan sebenarnya adalah pemberi lisensinya. Kecuali untuk trafo tiang, roda yang dipasang di alas, lubang pembuangan oli, lubang pengisian oli, kantong termometer, terminal sambung arde, telinga pengangkat, pelat nama, dan spesifikasi adalah alat yang sering dipasang untuk melengkapi trafo distribusi. Konstruksi untuk trafo distribusi. Sementara termometer tanpa kontak, termometer dengan kontak, konservator, tabung silika g tegangan menengah yang dapat ditarik, relai, dan kontak terminal tegangan rendah disediakan sebagai peralatan tambahan sesuai dengan spesifikasi PLN.

A.2 Minyak Transformator

Oli trafo berfungsi sebagai pendingin untuk memutus arus listrik dari trafo dan berperan penting dalam sistem isolasi trafo. Keuntungnngan menggunakan minyak trafo sebagai isolator pada trafo adalah insulasi cair memiliki kerapatan setidaknya 1000 kali lebih besar dari pada insulasi gas, sehingga memberikan kekuatan dielektrik yang lebih tinggi. Isolasi cair mengisi celah atau ruang yang perlu diisolasi sekaligus menghilangkan panas yang dihasilkan oleh kehilangan selama proses konversi. Isolasi untuk daya dan cairan memiliki kecenderungan untuk terlepas(perbaikan sendiri)

Cepat, viskositas rendah untuk sirkulasi sederhana dan pendinginan yang lebih baik, titik nyala tinggi, tidak mudah menguap yang bisa berbahaya, tidak menurunkan bahan isolasi padat, dan kualitas kimia yang stabil.

A.3 Pendinginan Transformator

Panas dihasilkan di dalam trafo karena pembebanan trafo. Trafo harus dilengkapi dengan mekanisme atau sistem pendingin untuk memindahkan panas dari trafo untuk mencegah penumpukan panas. Sistem pendingin menggunakan berbagai media, antara lain udara/gas, oli, air,

dan lain-lain. Sirkulasi (aliran) dapat terjadi secara alami atau dibawah tekanan atau paksaan.

B Umur Transformator Distribusi

Tentu saja, kondisi atau umur trafo distribusi dapat dipengaruhi oleh berbagai peristiwa selama operasi. Untuk itu dilakukan upaya-upaya untuk memperpanjang umur trafo, seperti memasang trafo sesuai dengan standar konstruksi, secara berkala melakukan manajemen trafo untuk melacak kondisi trafo, melakukan pengujian dan pemeliharaan trafo secara berkala, menganalisa hasil pengukuran beban trafo, mendistribusikan beban trafo, menggantikan fuse link standar yang berlaku dan sesuai dengan kapasitas trafo, serta melakukan pengujian dan pemeliharaan trafo secara berkala.

B.1 Pemeliharaan Transformator

Oli trafo, resistansi tanah, sistem pendingin, sambungan luar, kesalahan tak terduga, kenaikan suhu oli dan belitan, dan resistansi isolasi adalah beberapa elemen yang perlu diperiksa dan dirawat pada interval tertentu untuk pemeliharaan trafo. Setahun sekali dan setiap empat tahun sekali, seluruh masa pemeliharaan selesai.

B.2 Gangguan Dan Kerusakan Transformator

Terdapat beberapa hal yang dapat mengganggu atau bahkan membahayakan trafo saat sedang beroperasi seperti : bencana alam, sembarang petir, sembarang pohon, korsleting, beban berlebih, beban tidak seimbang, oli trafo rusak, dan perlindungan trafo yang tidak efektif. Secara umum, cacat mekanik, listrik, dan magnet adalah tiga kategori dimana kegagalan transformator jatuh. Gangguan mekanis meliputi kerusakan isolasi tangki, juga permukaan, lubang, busung, saluran pipa, dan sebagainya. Resistansi isolasi yang rendah dan kesalahan kerusakan adalah dua jenis gangguan listrik. Gangguan magnetik meliputi cacat inti besi, kerusakan isolasi antar laminasi, dan cacat pada laminasi inti.

B.3 Suhu Transformator Distribusi

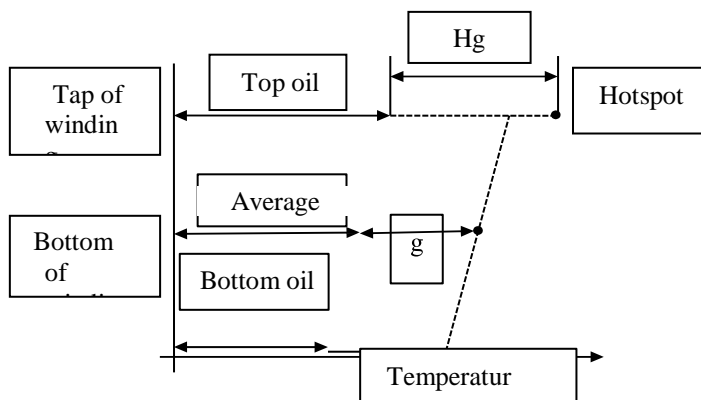
Temperatur hot spot merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi temperatur trafo distribusi. Belitan transformator mengalami suhu hot spot bagian transformator, yang merupakan situasi setinggi mungkin.

B.4 Susut Umur Transformator

Sebuah transformator akan mengalami kenaikan suhu akibat panas saat dibebani. Untuk setiap penyimpanan 6°C dari batas yang diizinkan, masa pakai akan dipersingkat. Transformator di Indonesia dibuat untuk beroperasi pada suhu lingkungan tidak lebih dari 40°C, dengan rata-rata suhu harian 30°C dan suhu rata-rata tahunan 30°C, menurut SPLN. Harapan hidup transformator yang biasa adalah 0,0137% setiap hari, dan International Electrotechnical Commission (IEC) menetapkan usia transformator 20 tahun, atau setara dengan 7300 hari.

C Dasar Perhitungan

Berdasarkan IEC 60354, untuk perhitungan pembebanan digunakan pengasumsian dengan diagram thermal sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram thermal

Penjelasan mengenai pengasumsian dengan diagram thermal pada gambar seperti dibawah ini :

- Temperatur minyak pada kumparan terus naik secara linier dari bawah ke atas dengan apapun pendinginnya.
- Kenaikan temperatur belitan pada posisi apapun diatas belitan naik secara linier parallel dan kenaikan minyak dengan perbedaan g yang konstan antara dua buah garis lurus (g) merupakan perbedaan antara kenaikan temperature rata-rata oleh hambatan dan kenaikan temperatur minyak rata-rata.
- Kenaikan suhu hotspot lebih besar dari kenaikan temperatur belitan pada belitan bagian atas. Untuk menyimpulkan ke tidak linierannya, perbedaan temperatur antara hotspot dan minyak bagian atas belitan sama dengan Hg .

Pemburukan isolasi akan semakin cepat apabila isolasi tersebut bekerja dengan *temperature* yang melebihi dari batas yang diizinkan (dalam hal ini adalah *temperature hot spot*). Menurut standar IEC 345 yang juga telah menjadi standar PLN saat ini (SPLN 17 A: 1979), sebuah transformator akan mengalami umur yang normal pada kondisi *temperature hot spot* 98°C pada pembebanan terus-menerus dengan *temperature* sekitar (*ambient temperature*) 20°C . Apabila transformator tersebut mengalami *tempereture hot spot* yang lebih besar dari 98°C maka susut umurnya akan semakin cepat sehingga dapat memperpendek umur transformator dari yang di harapkan.

Kondisi beban yang berubah

- Kenaikan temperatur top-oil

Kenaikan temperatur *top oil* pada waktu (t) setelah diberi beban mendekati untuk kenaikan sesuai eksponensial sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{iu} = \Delta\theta_{ia} + (\Delta\theta_{io} - \Delta\theta_{ia}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

- Kenaikan temperatur hot-spot

Selisih temperature antara hot spot dengan top oil dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta\theta_h = Hg_r \times K^y$$

Penentuan Rasio Pembebanan

Untuk menghitung perbandingan pembebanan atau rasio pembebanan terhadap rating dari transformator distribusi menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Penuaan Isolasi Belitan Transformator Distribusi

- Menentukan nilai relatif dari umur transformator distribusi

Untuk Kondisi Beban Stabil

- Kenaikan temperatur top-oil

Kenaikan temperatur ini setara dengan kenaikan temperatur *top-oil* pada nilai day yang dikalikan rasio dari total kerugian dengan eksponen x . Dapat dilihat seperti dibawah ini : $\Delta\theta_{io} = \Delta\theta_{ir} \left[\frac{RK^2+1}{R+1}\right]^x$

Dengan : R = perbandingan/rasio rugi

K = rasio pembebanan

X = konstanta

$\Delta\theta_{ir}$ = Suhu

Nilai d ini relatif tidak penting pada beban tinggi, hanya membrikan secara garis besar nilai kenaikan pada temperatur. Nilai d dapat dihyung dengan :

$$R = \frac{\text{rugi tembaga pada daya pengenalan}}{\text{rugi beban nol}}$$

Nilai rugi tembaga pada daya pengenalan dan rugibeban nol dapat dilihat pada *nameplate* sebuah tranformator distribusi.

- Kenaikan temperatur *host-spot*

Kenaikan temperatur *host-spot* untuk beban yang stabil dapat dihitung dengan formula berikut:

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{ir} \left(\frac{RK^2+1}{R+1}\right)^x + Hgr.K^y$$

Memperoleh nilai relatif dari umur transformator pemaakian pada temperatur (θ_h) digunakan hubungan montsinger, dibandingkan dengan nilai normal dari umur pemakaian transformator (θ_{hr}). Dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$V = \frac{\text{laju penggunaan umur saat } \theta_c}{\text{laju penggunaan umur saat } \theta_{cr}}$$

Perhitungan Pengurangan Umur Transformator Distribusi

Dalam perhitungan pengurangan usia menggunakan formula dibawah ini untuk menentukan seberapa besar susut umur dalam satu hari (24 jam) yaitu sebagai berikut:

$$\text{susut umur (24 jam)} = (\text{t x susut umur 1}) + (\text{t x susut umur 2})$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perencanaan Penelitian

3.1.1 Pengumpulan Data

Pada langkah berikut melakukan upaya untuk mendapat beberapa data yang berhubungan dengan pembahasan pada skripsi dengan cara bertanya dengan yang lebih memahami mengenai pembahasan. Untuk mendapat data tersebut diperlukan izin terlebih dahulu dari pihak PT. PLN (Persero) ULP ELAT . Data yang diambil, diantaranya adalah:

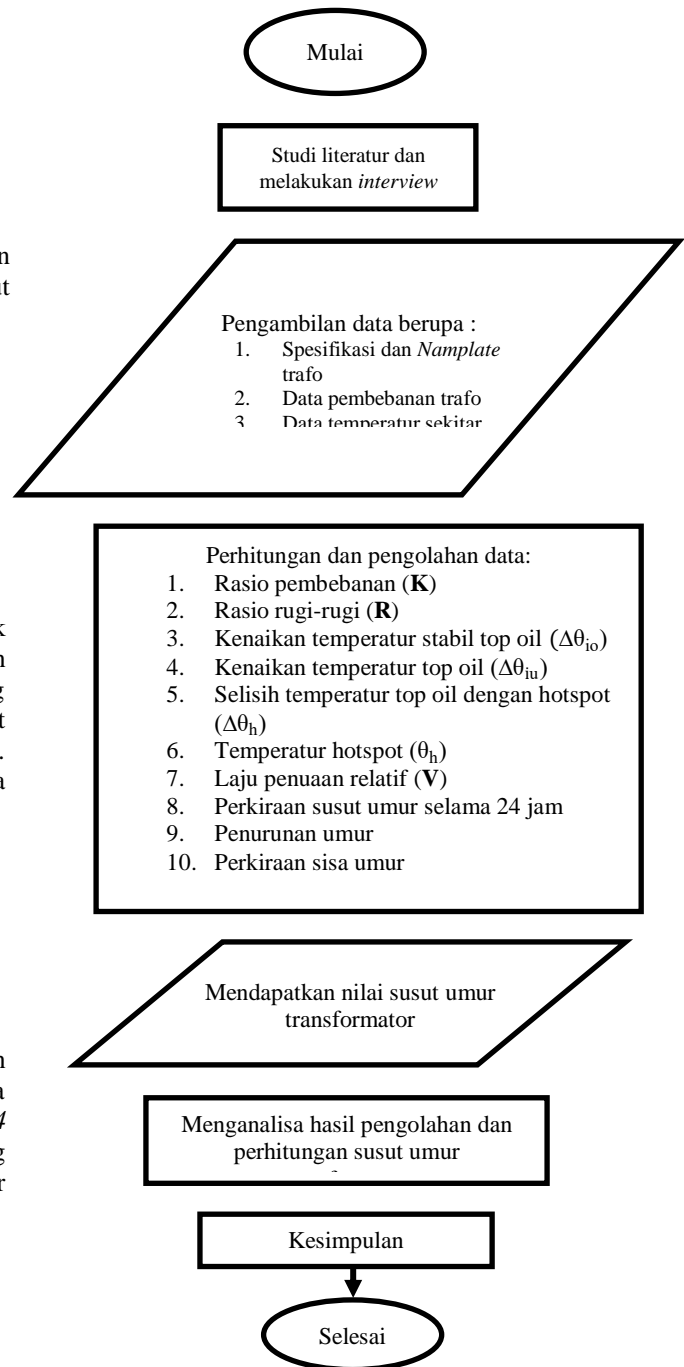
- Spesifikasi transformator distribusi yang akan diteliti
- Nameplate transformator distribusi yang akan diteliti
- Pengukuran beban transformator distribusi
- Suhu lingkungan sekitar

3.1.2 Pengolahan Data

Pengolahan dan penganalisaan data, berupa perhitungan dan formulasi atau rumus yang digunakan berdasarkan pada Standar PLN 17A:1979 yang diacu pada standar IEC 354 pada tahun 1991. Kemudian menguraikan formula yang berhubungan antara suhu dan susut umur pada transformator distribusi.

3.1.3 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini yang merupakan diagram alir dari perencanaan penelitian mengenai perhitungan susut umur transformator distribusi pada gambar di bawah ini.



Langkah awal penelitian dimulai karena penulis mendapatkan ide untuk menghitung susut umur dari sebuah transformator, kemudian penelitian dimulai, yang pertama dilakukan adalah studi literatur, literatur yang digunakan sangat banyak mengenai transformator, literatur yang digunakan penulis kebanyakan berasal dari buku elektronik dan jurnal. Selain studi literature, melakukan beberapa interview kepada orang-orang yang mungkin paham mengenai transformator. Pengambilan data-data yang diperlukan untuk penelitian ini seperti data pembebanan transformator, nameplate transformator, data suhu sekitar yang berasal dari accu weather yang merupakan situs terpercaya pencatat suhu lingkungan kemudian standar yang digunakan pada transformator tersebut. Setelah data terkumpul, melakukan pengolahan data yang terdiri dari perhitungan – perhitungan. Setelah didapat hasil perhitungan barulah membandingkan dan menganalisa hasil data yang diolah. Kemudian penelitian selesai

B. Jadwal Kegiatan

Waktu pelaksanaan Kegiatan Skripsi diperkirakan akan berlangsung selama 6 bulan periode pelaksanaannya pada semester genap 2022/2023.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Transformator dan Suhu Lingkungan

Untuk dapat melakukan pengolahan dan perhitungan data diperlukan beberapa data teknis dari transformator, data tersebut berupa nameplate dan data pengukuran pembebanan dari transformator tersebut. Data transformator distribusi yang diambil dari PT. PLN ULP Elat selain itu kedua data transformator yang diambil dengan nilai pembebanan yang berbeda.

Data Transformator Distribusi

Dibawah ini merupakan data teknis dari masing-masing transformator distribusi yang akan diteliti :

No	Keterangan	Gardu Larat	Gardu Waur
1	Jenis Gardu	PORTAL	PORTAL
2	Merk	B&D	B&D
3	Frekuensi	50 Hz	50 Hz
4	Daya	50 KVA	100 KVA
5	Tegangan Primer	20 KV	20 KV
6	Tegangan Sekunder	0,4 KV	0,4 KV
7	Berat Total	450 Kg	680 Kg
8	Rugi Berbeban	800 W	1420 W
9	Rugi Beban Nol	125 W	145 W
10	Vektor Grup	Yzn 5	Yzn 5
11	Pendingin	ONAN	ONAN
12	Tahun Produksi	2021	2022

Data Pembebanan Transformator Distribusi

Data pembebanan dari masing-masing transformatro yang akan perhitungkan dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Pembebanan Transformator

No	Nama gardu		Perbebanan			
			Siang (LWBP)		Malam (WBP)	
			KVA	%	KVA	%
1.	Larat	50	103	206 %	162	324%
2.	waur	100	162	162%	293	293%

Data Suhu Lingkungan Sekitar Transformator

Untuk menentukan besar suhu pada lingkungan sekitar, karena kondisi yang sebenarnya pada pengerjaan tulisan ini sangat kesulitan untuk mencari data yang akurat, untuk pengukuran suhu lingkungan menggunakan suhu lingkungan rata – rata di daerah Tual, Maluku Tenggara tahun 2022, yaitu sebesar 32°C. Nilai ini diperoleh dari salah satu situs terpercaya dalam pencatatan suhu lingkungan yaitu *Accu Wheater*. (AccuWeather, 2022)

B. Pengolahan dan Pembahasan

Standar IEC 354 yang juga telah menjadi acuan standar PLN saat ini (SPLN 17 A: 1979), menyatakan bahwa sebuah transformator ,mzLAK akan mengalami umur yang normal apabila kondisi suhu *hot spot* 98°C pada beban yang diberi secara terum-menerus pada suhu lingkungan atau suhu ambient sebesar 20°C. (IEC, 1991) Apabila suatu transformator tersebut mengalami suhu *hot spot* yang lebih besar dari 98°C maka nilai susut umur dari transformator tersebut akan naik semakin cepat (semakin besar) sehingga dapat memperpendek umur transformator dari yang diharapkan. Untuk suhu lingkungan menggunakan suhu lingkungan rata-rata di daerah Tual, Maluku Tenggara yaitu 31 °C.

Dibawah ini merupakan perhitungan susut umur dari transformator yang akan diteliti berdasarkan data teknis yang sudah didapatkan:

1. Transformator pada Gardu Larat

a) Menghitung Rasio Pembebanan

Untuk menghitung susut umur dari sebuah transformator yang pertama dilakukan adah menghitung rasio pembebanan untuk masing-masing pada saat siang dan malam sebagai berikut :

$$K = \frac{S(\text{daya beban})}{Sr(\text{kapasitas daya tanformator})}$$

1) Pada saat luar beban puncak

$$Ks = \frac{103 \text{ KVA}}{50 \text{ KVA}} = 2,06$$

2) Pada saat beban puncak

$$Km = \frac{162 \text{ KVA}}{50 \text{ KVA}} = 3,24$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai rasio pembebanan pada Gardu Larat yaitu sebesar 2,06 untuk pembebanan pada siang hari dan sebesar 3,24 untuk pembebanan pada malam hari. Seperti yang kita ketahui, Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) terjadi dan Waktu Beban Puncak (WBP) terjadi pada saat malam hari pada pukul 18.00 s/d 22.00. Pembebanan dikatakan normal apabila nilai rasio pembebanan pada saat LWBP dan WBP dibawah 1.

Jadi pembebanan pada Gardu Larat ini dapat dikatkan tidak normal karena pembebanannya sudah dari kapasitasnya.

a. Menentukan Rugi-Rugi

$$R = \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{Rugi beban nol}} = \frac{800 \text{ W}}{125 \text{ W}} = 6,4$$

Dalam perhitungan rugi-rugi data rugi tembaga pada daya pengenal dan rugi beban nol nilainya tertera pada *nameplate* dari transformator. Dari perhitungan didapat rugi rugi sebesar 6,4.

b. Menentukan kenaikan temperatur stabil *top oil*

$$\Delta\theta_{io} = \Delta\theta_{ir} \left[\frac{RK^2 + 1}{R + 1} \right]^x$$

Untuk ONAN besar $\Delta\theta_{ir} = 55^\circ\text{C}$ dan $x = 0,8$

1) Pada Siang Hari

$$\Delta\theta_{ios} = 55^\circ\text{C} \left[\frac{6,4(2,06)^2 + 1}{6,4 + 1} \right]^{0,8} = 160,2^\circ\text{C}$$

2) Pada Malam Hari

$$\Delta\theta_{ios} = 55^\circ\text{C} \left[\frac{6,4(3,24)^2 + 1}{6,4 + 1} \right]^{0,8} = 325,0^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan kenaikan temperatur atau suhu stabil *top oil* adalah sebesar $160,2^\circ\text{C}$ pada siang hari dan $325,0^\circ\text{C}$ pada malam hari.

c. Menentukan kenaikan temperatur *top oil*

$$\Delta\theta_{iu} = \Delta\theta_{ia} + (\Delta\theta_{io} - \Delta\theta_{ia}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right)$$

Pada tabel 3.1 Untuk ONAN, nilai $\tau_0 = 3$

Untuk menghitung kenaikan temperatur top oil pada masing – masing dalam waktu 24 jam, waktu diasumsikan untuk waktu siang dimulai dari akhir beban puncak sampai awal waktu beban puncak selama 20 jam, sedangkan waktu beban malam dimulai dari awal beban puncak samapi akhir beban puncak selama 4 jam. Selain itu nilai kenaikan temperatur awal minyak ($\Delta\theta_{ia}$) diasumsikan stabil.

1) Pada siang hari (waktu beban awal siang = akhir beban malam)

$$\Delta\theta_{iuss} = 160,2^\circ\text{C} + (160,2^\circ\text{C} - 160,2^\circ\text{C}) \left(1 - e^{-\frac{20}{3}} \right) = 160,2^\circ\text{C}$$

2) Pada malam hari (waktu awal beban malam = akhir beban siang)

$$\Delta\theta_{ium} = 325,0^\circ\text{C} + (325,0^\circ\text{C} - 325,0^\circ\text{C}) \left(1 - e^{-\frac{20}{3}} \right) = 325,0^\circ\text{C}$$

Dari perhitungan daidapatkan hasil kenaikan temperatur *top oil* yaitu sebesar $160,2^\circ\text{C}$ pada saat siang hari dan sebesar $325,0^\circ\text{C}$ pada saat malam hari.

d. Menghitung selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil*

$$\Delta\theta_h = Hgr \times K^y$$

Untuk ONAN, nilai $Hgr = 23^\circ\text{C}$ dan $y = 1,6$

1) Pada siang hari

$$\Delta\theta_{hs} = (23^\circ\text{C})(2,06^{(1,6)}) = 73,10^\circ\text{C}$$

2) Pada malam hari

$$\Delta\theta_{hm} = (23^\circ\text{C})(3,24^{(1,6)}) = 150,87^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil* yaitu sebesar $73,10^\circ\text{C}$

pada saat siang hari dan $150,87^\circ\text{C}$ pada saat malam hari.

e. Menentukan temperatur *hot spot*

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{iu} + \Delta\theta_h$$

Besar θ_a dari suhu sekitar harian rata - rata yaitu: 31°C

1) Pada siang hari

$$\theta_{hs} = 31^\circ\text{C} + 160,2^\circ\text{C} + 73,10^\circ\text{C} = 264,3^\circ\text{C}$$

2) Pada malam hari

$$\theta_{hm} = 31^\circ\text{C} + 325,0^\circ\text{C} + 325,0^\circ\text{C} = 325,0^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai temperatur *hot spot* pada saat siang hari sebesar $264,3^\circ\text{C}$ dan pada saat malam hari sebesar $506,87^\circ\text{C}$

f. Menentukan laju penuaan thermal relatif

$$V = 2^{(\theta_h - \theta_{hr})/6}$$

Nilai $\Delta\theta_{hr} = 98^\circ\text{C}$ (sesuai SPLN 17a)

1) Pada siang hari

$$V_s = 2^{(264,3^\circ\text{C} - 98^\circ\text{C})/6} = 2,21 \text{ p.u}$$

2) Pada malam hari

$$V_m = 2^{(506,87^\circ\text{C} - 98^\circ\text{C})/6} = 3,27 \text{ p.u}$$

g. Perhitungan susut umur selama satu hari (24 jam)

Untuk menghitung susut umur selama satu hari atau 24 jam pada transformator ini menggunakan asumsi bahwa luar waktu beban puncak selama 20 jam yang terjadi pada siang hari merupakan nilai susut umur 1 sedangkan waktu beban puncak selama 4 jam pada malam hari merupakan nilai susut umur 2. Jadi susut umur yang diperoleh :

$$\text{susut umur selama 24 jam} = (20 \text{ jam} \times 2,21 \text{ p.u}) + (4 \text{ jam} \times 3,27 \text{ p.u}) = 57,28 \text{ jam}$$

$$\% \text{ susut umur relatife} = \frac{57,28}{24 \text{ jam}} \times 100 = 238,6\%$$

Dari perhitungan diatas dapat ditarik kesimpulan perkiraan susut umur satu hari pada transformator gardu Larat adalah sebesar 238,6 % atau 57,28 jam perhari.

h. Menentukan perkiraan sisa umur transformator

Berdasarkan IEC 60354 umur ttransformator saat temperature hotspot 98°C . Transformator Larat mulai beroperasi pada tahun 2021, maka;
penurunan umur transformator sampe tahun 2022
 $= (2022 - 2021) \times 238,6\%$
 $= 2,38 \text{ tahun}$

Perhitungan sisa umur diasumsikan sesudah tahun 2020 pembebanan transformator mencapai temperatur hot spot 98°C . standar IEEE C57.91 1999 menetapkan umur normal transformator adalah 20,55 tahun.

$$\text{sisu umur} = 20,55 \text{ tahun} - 2,38 \text{ tahun} = 18,17 \text{ tahun}$$

Dari perhitungan diatas transformator distribusi daya 50 KVA pada gardu Larat besar nilai susut umurnya 238,6% perhari sehingga dihasilkan perkiraan sisa umur transformator tersebut selama 18,17 tahun.

Transformator Pada Gardu Waur

b. Menghitung Rasio Pembebanan

Untuk menghitung susut umur dari sebuah transformator yang pertama dilakukan adalah menghitung rasio pembebanan untuk masing-masing pada saat siang dan malam sebagai berikut :

$$K = \frac{S \text{ (daya beban)}}{Sr \text{ (kapasitas daya transformator)}}$$

1) Pada saat luar beban puncak

$$Ks = \frac{162 \text{ KVA}}{100 \text{ KVA}} = 1,62$$

2) Pada saat beban puncak

$$Km = \frac{293 \text{ KVA}}{100 \text{ KVA}} = 2,93$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai rasio pembebanan pada Gardu Waur yaitu sebesar 1,62 untuk pembebanan pada siang hari dan sebesar 2,93 untuk pembebanan pada malam hari. Seperti yang kita ketahui, Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) terjadi pada saat siang hari dan Waktu Beban Puncak (WBP) terjadi pada saat malam hari. Pembebanan dikatakan normal apabila nilai rasio pembebanan pada saat LWBP dan WBP dibawah 1. Jadi pembebanan pada Gardu Waur ini dapat dikatakan normal karena pembebanannya masih dibawah dari kapasitasnya.

c. Menentukan Rugi-Rugi

$$R \frac{\text{Rugi tembaga pada daya pengenal}}{\text{Rugi beban nol}} = \frac{1420 \text{ W}}{145 \text{ W}} = 9,8$$

Dalam perhitungan rugi-rugi data rugi tembaga pada daya pengenal dan rugi beban nol nilainya tertera pada *nameplate* dari transformator. Dari perhitungan didapat rugi rugi sebesar 9,8.

d. Menentukan kenaikan temperatur stabil *top oil*

$$\Delta\theta_{i0} = \Delta\theta_{ir} \left[\frac{RK^2 + 1}{R + 1} \right]^x$$

Untuk ONAN besar $\Delta\theta_{ir} = 55^\circ\text{C}$ dan $x = 0,8$

1) Pada Siang Hari

$$\Delta\theta_{i0s} = 55^\circ\text{C} \left[\frac{9,8(1,62)^2 + 1}{9,8 + 1} \right]^{0,8} = 113,5^\circ\text{C}$$

2) Pada Malam Hari

$$\Delta\theta_{i0m} = 55^\circ\text{C} \left[\frac{9,8(2,93)^2 + 1}{9,8 + 1} \right]^{0,8} = 286,9^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan kenaikan temperatur atau suhu stabil *top oil* adalah sebesar $113,5^\circ\text{C}$ pada siang hari dan $286,9^\circ\text{C}$ pada malam hari.

e. Menentukan kenaikan temperatur *top oil*

$$\Delta\theta_{iu} = \Delta\theta_{ia} + (\Delta\theta_{io} - \Delta\theta_{ia}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right)$$

Pada tabel 3.1 Untuk ONAN, nilai $\tau_0 = 3$

Untuk menghitung kenaikan temperatur *top oil* pada masing – masing dalam waktu 24 jam, waktu diasumsikan untuk waktu siang dimulai dari akhir beban puncak sampai awal waktu beban puncak selama 20 jam, sedangkan waktu beban malam dimulai dari awal beban puncak sampai akhir beban puncak selama 4 jam. Selain itu nilai kenaikan temperatur awal minyak ($\Delta\theta_{ia}$) diasumsikan stabil.

1) Pada siang hari (waktu akhir beban puncak = awal beban siang)

$$\Delta\theta_{i0s} = 113,5^\circ\text{C} + (113,5^\circ\text{C} - 113,5^\circ\text{C}) \left(1 - e^{-\frac{20}{3}} \right) = 113,5^\circ$$

2) Pada malam hari (waktu akhir beban siang = awal beban malam)

$$\Delta\theta_{i0m} = 286,9^\circ\text{C} + (286,9^\circ\text{C} - 286,9^\circ\text{C}) \left(1 - e^{-\frac{20}{3}} \right) = 286,9^\circ\text{C}$$

Dari perhitungan daidapatkan hasil kenaikan temperatur *top oil* yaitu sebesar $113,5^\circ\text{C}$ pada saat siang hari dan sebesar $286,9^\circ\text{C}$ pada saat malam hari.

f. Menghitung selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil*

$$\Delta\theta_{hs} = Hgr \times K^y$$

Untuk ONAN, nilai $Hgr = 23^\circ\text{C}$ dan $y = 1,6$

1) Pada siang hari

$$\Delta\theta_{hs} = (23^\circ\text{C})(1,62^{(1,6)}) = 48,76^\circ\text{C}$$

2) Pada malam hari

$$\Delta\theta_{hm} = (23^\circ\text{C})(2,93^{(1,6)}) = 128,44^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil* yaitu sebesar $48,76^\circ\text{C}$ pada saat siang hari dan $128,44^\circ\text{C}$ pada saat malam hari.

g. Menentukan temperatur *hot spot*

$$\theta_h = \theta_a + \Delta\theta_{iu} + \Delta\theta_h$$

Besar θ_a dari suhu sekitar harian rata - rata yaitu: 31°C

1) Pada siang hari

$$\theta_{hs} = 31^\circ\text{C} + 113,5^\circ\text{C} + 48,76^\circ\text{C} = 193,26^\circ\text{C}$$

2) Pada malam hari

$$\theta_{hm} = 31^\circ\text{C} + 286,9^\circ\text{C} + 128,44^\circ\text{C} = 446,34^\circ\text{C}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai temperatur *hot spot* pada saat siang hari sebesar $264,3^\circ\text{C}$ dan pada saat malam hari sebesar $506,87^\circ\text{C}$

h. Menentukan laju penuaan thermal relatif

$$V = 2^{(\theta_h - \theta_{hr})/6}$$

Nilai $\Delta\theta_{hr} = 98^\circ\text{C}$ (sesuai SPLN 17a)

- 1) Pada siang hari

$$V_s = 2^{(264,3^{\circ}C - 98^{\circ}C)/6} = 2,21 \text{ p.u}$$

- 2) Pada malam hari

$$V_m = 2^{(506,87^{\circ}C - 98^{\circ}C)/6} = 3,27 \text{ p.u}$$

- i. Perhitungan susut umur selama satu hari (24 jam)

Untuk menghitung susut umur selama satu hari atau 24 jam pada transformator ini menggunakan asumsi bahwa luar waktu beban puncak selama 20 jam yang terjadi pada siang hari merupakan nilai susut umur 1 sedangkan waktu beban puncak selama 4 jam pada malam hari merupakan nilai susut umur 2. Jadi susut umur yang diperoleh :

$$\text{susut umur selama 24 jam} = (20 \text{ jam} \times 2,21 \text{ p.u}) + (4 \text{ jam} \times 3,27 \text{ p.u}) = 57,28 \text{ jam}$$

$$\% \text{ susut umur relative} = \frac{57,28}{24 \text{ jam}} \times 100 = 238,6\%$$

Dari perhitungan diatas dapat ditarik kesimpulan perkiraan susut umur satu hari pada transformator gardu Larat adalah sebesar 238,6 % atau 57,28 jam perhari.

- j. Menentukan perkiraan sisa umur transformator

Berdasarkan IEC 60354 umur transformator saat temperature hotspot 98°C, Transformator Larat mulai beroperasi pada tahun 2021, maka;

$$\begin{aligned} \text{penurunan umur transformator sampe tahun 2022} \\ &= (2022 - 2021) \times 569,75\% \\ &= 5,69 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan sisa umur diasumsikan sesudah tahun 2020 pembebanan transformator mencapai temperatur hotspot 98° standar IEEE C57.91 1999 menetapkan umur normal transformator adalah 20,55 tahun.

$$\text{sisa umur} = 20,55 \text{ tahun} - 5,69 \text{ tahun} = 14,86 \text{ tahun}$$

Dari perhitungan diatas transformator distribusi daya 100 KVA pada gardu Waur besar nilai susut umurnya 569,75% perhari sehingga dihasilkan perkiraan sisa umur transformator tersebut selama 14,86 tahun.

Tabel 4.3 Perkiraan susut umur transformator distribusi

Nama Gardu	Suhu Hot Spot (°C)		Perkiraan susut umur (24 jam)		Perkiraan sisa umur
	Siang	Malam	Jam	%	
Larat	264,3	506,97	57,28	238,6	18,17
Waur	193,26	446,34	136,76	569,75	14,86

Dari tabel yang berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada dua transformator yaitu transformator di gardu Larat

dan gardu Waur dengan kisaran pembebanan normal sebesar ±80% pada gardu MK88 memiliki nilai susut umur yang relatif kecil yaitu 87,16% sebesar 20,92 jam per harinya. Sedangkan pada Gardu MK57AS dengan nilai pembebanan > 100% memiliki nilai susut umur yang besar. Dari data dapat dikatakan bahwa semakin besar pembebanan pada transformator akan membuat suhu *hot spot* nya semakin besar pula, apabila suhu *hot spot* nya besar, maka susut umur dari sebuah transformator akan semakin besar pula.

V. KESIMPULAN

1. Transformator distribusi dengan daya 50 KVA pada Gardu Larat memiliki nilai pembebanan yang tinggi atau dapat dikatakan overload karena pembebanannya diatas 100% yaitu luar waktu beban puncak 206% dan waktu beban puncak 324% yang mengakibatkan suhu *hot spot*nya juga semakin membesar sehingga menghasilkan susut umur transformator sebesar 238,6 % per harinya dan memiliki perkiraan sisa umurnya 18,17 tahun.
2. Transformator distribusi dengan daya 100 KVA pada Gardu Waur memiliki nilai pembebanan yang tinggi atau dapat dikatakan overload karena pembebanannya diatas 100% yaitu luar waktu beban puncak 162% dan waktu beban puncak 293% yang mengakibatkan suhu *hot spot*nya juga semakin membesar sehingga menghasilkan susut umur transformator sebesar 569,75 % per harinya dan memiliki perkiraan sisa umur 14,86 tahun.
3. Semakin besar pembebanan transformator maka semakin besar pula suhu *hot spot*nya, besarnya suhu *hot spot* ini yang menyebabkan adanya susut umur dari transformator, karena belitan mengalami penuaan akibat panas yang dihasilkan oleh pembebanan.
4. Selain untuk menentukan besar suhu hotspot, pengaruh suhu sekitar perlu diperhatikan karena transformator menggunakan pendingin ONAN yang artinya pendingin bagian luar menggunakan udara dengan sirkulasi alami, apabila suhu di sekitarnya panas akan berpengaruh pada transformator tersebut.

VI. REFERENSI

- [1] Arismunandar, d. (1991). "Teknik tenaga listrik". Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [2] Sayagi, M. S. (2011). "Hubungan konsep diri dengan tingkat kecemasan usia lanjut dalam menghadapi kematian di desa gembong", Kecamatan Gembong, Kabupaten pati. Semarang: Universitas Muhammadiyah.
- [3] Kodoati, K. A. (2015). "Analisa perkiraan umur transformator". E- journal Teknik Elektro dan Komputer (2015), 35-43
- [4] Latupeirissa, H. L. (2018). "Analisa umur pakai transformator distribusi 20 kv". Jurnal simetrik vol.8, no.2, desember 2018, 8, 126- 132.
- [5] Zuhail. (1995). "Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya". Gramedia.
- [6] Muzarr, M. A., Syahrizal, & Mahdi, S. (2018). "Analisa pengaruh suhu akibat pembebanan terhadap susut umur transformator daya". Di Gardu Induk Lamboro. Kitektro.
- [7] IEC. (1991). 60354 "power transformer loading guide."
- [8] IEEE. (1995). "Guide for loading mineral-oil-immersed transformers" C57.91. C57.91 .
- [9] PLN. (1979). SPLN 17A. "Pedoman pembebanan transformator terendam minyak."

I. BIODATA PENULIS

FOTO
MAHA
SISWA

Penulis lahir di Kota Langgur, Tanggal 30 Oktober 2000, dari pasangan Bapak Hilarius Maturbongs dan Ibu Natalia Rettobjaan. Penulis menempuh pendidikan pertama di TK Mariana Kolser tahun 2005-2006, setelah lulus melanjutkan ke SD Naskat Kolser Taahun 2006-2012, kemudia melanjutkan ke SMP Budhi Mulia Langgur tahun 2012-2015, kemudian melanjutkan ke SMK St. Yosep Siwa Lima Langgur tahun 2015-2018. Setelah lulus dari pendidikan formal penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Nasional Malang tahun 2018.

