

Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN(PERSERO) UP3 Malang

Asfari Hariz Santoso^{*a)}, Ernanda Rizka^{a)}, Harrij Mukti K^{a)}

(Artikel diterima: Agustus 2022, direvisi: Oktober 2022)

Abstract: *One of the most important equipment components in the distribution of electrical energy is the distribution transformer. Distribution transformer if used continuously or continuously it can affect the performance of the transformer. The service life of the transformer can be reduced more quickly if you do not pay attention to the factors that can make the transformer life shrinkage high. One of the causes of the reduced life of the transformer is due to loading. From the eleven transformers, it can be seen that there are different loading variations, it is expected that the transformer life will remain at normal age. IEC 60354-1, 1991 stipulates the normal life of the transformer is 20.55 years. The research method used is to perform calculations using the long-time method and 24-hour daily data by calculating the loading at the time of LWBP and WBP on a 20 kV distribution transformer. Analysis of the calculation results revealed that the normal condition of the transformer P1385 (68.66 %) winding temperature at LWBP 67.47°C and when WBP 69.45°C compared to transformer P0032 with overload conditions (120.91%) winding temperature when LWBP 60, 88°C and at WBP 119.51°C. From the data on the lowest loading on the eleven transformers, namely transformer P0527 (41.69%) it is obtained that the estimated real aging age is 0.125 and the estimated age of the P0527 transformer is >20 years. Compared to transformer P0032 (120.91%), the estimated real aging age is 12,0003 p-u and the estimated age is less than 20 years or 9.5 years. Loading above 100% on the transformer based on the standard IEC 60354-1, 1991 if it takes place continuously will cause heating of the transformer windings which can cause the shrinkage process in the life of the transformer to be faster.*

Kata kunci: Distribution Transformer, Loading, Age, Winding Temperature.

1. Pendahuluan

Salah satu komponen peralatan yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik yaitu transformator distribusi. Jika digunakan secara terus menerus dapat mempengaruhi kinerja dari transformator tersebut. Usia pemakaian pada transformator bisa berkurang lebih cepat apabila tidak memperhatikan faktor-faktor yang dapat membuat susut umur transformator menjadi tinggi. Diketahui banyak faktor yang mempengaruhi susut umur transformator distribusi, seperti akibat suhu lingkungan, pembebanan, isolasi belitan transformator, konstruksi transformator, minyak trafo dan lain-lain. Salah satu penyebab berkurangnya umur penggunaan transformator adalah akibat pembebanan [4].

Panas yang timbul pada inti besi dan kumparan mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator. Terjadinya panas yang terlalu tinggi akan dapat mengubah sifat konstruksi bagian-bagian transformator. Pada standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60354-1, 1991 menetapkan kehidupan normal umur transformator adalah 20,55 tahun [1]. Apabila dapat diketahui susut umur transformator, maka dapat dicegah pembebanan yang lebih pada transformator tersebut dengan mengganti transformator dengan daya yang lebih besar atau dengan menyisipkan transformator sebelum transformator mengalami kerusakan.

Pembebanan transformator yang semakin tinggi akan menyebabkan suhu kumparan dan minyak transformator semakin tinggi, sehingga berpengaruh terhadap temperatur hotspot. Selain pembebanan, suhu lingkungan (*ambient temperature*) juga sangat berpengaruh terhadap kenaikan temperatur hotspot. Temperatur hotspot yang semakin tinggi mengakibatkan laju penuaan thermal

relatif yang semakin tinggi, sehingga akan mengurangi umur operasional dari transformator daya [5].

Pemanasan yang ada di belitan trafo dapat menyebabkan kerusakan pada belitan isolasi dan suhu dari minyak trafo yang naik. Hal ini apabila dibiarkan secara terus-menerus maka dapat mengalami perubahan-perubahan pada kualitas minyak isolasi menjadi menurun. Maka perlu diadakan scheduling maintenance agar dapat mengetahui kondisi transformator seperti karakteristik minyak dan nilai isolasi pada transformator [10].

Berdasarkan studi yang dilakukan didapatkan transformator yang beroperasi di kota Pontianak tidak boleh dibebani melebihi 91% dari daya pengenal transformator, apabila dibebani diatas 91% akan membuat berkurangnya umur transformator secara drastis. Maka perlu dilakukan studi susut umur transformator distribusi 20 KV akibat pembebanan agar mengantisipasi adanya pembebanan lebih pada transformator, yang bisa berakibat berkurangnya umur transformator secara cepat dan kehidupan normal umur transformator kurang dari 20,55 tahun atau tidak [7].

Suhu rata-rata sekitar Kota Malang adalah 30°C - 32°C. Dari data diperoleh transformator distribusi Penyulang Lowokwaru menggunakan jenis pendingin ONAN. Hasil perhitungan suhu lilitan, nilai suhu lilitan WBP lebih besar dibandingkan dengan nilai suhu lilitan LWBP. Hal ini disebabkan, peningkatan pembebanan dapat mempengaruhi besarnya kenaikan suhu lilitan. Suhu lilitan berbanding lurus dengan pembebanan transformator distribusi. Semakin tinggi nilai pembebanan transformator distribusi maka suhu lilitan semakin tinggi juga begitupun sebaliknya. Semakin tinggi nilai temperatur suhu belitan maka akan semakin tinggi pula susut umur pada transformator. Maka umur transformator semakin kecil dan kemampuan daya mensuplai beban juga berkurang.

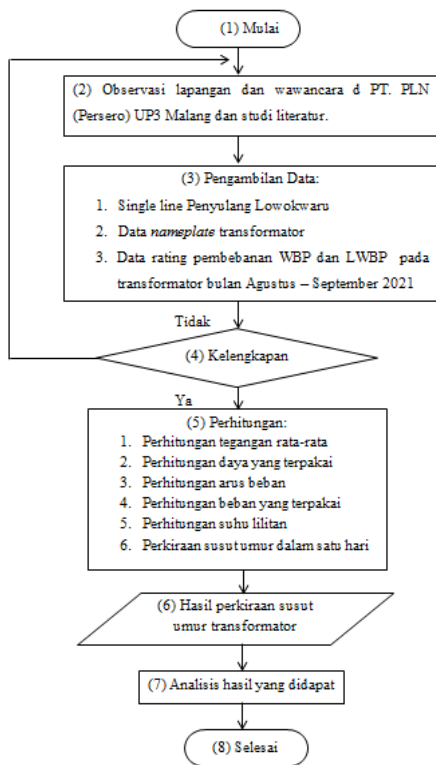
* Korespondensi: asfarihariz87@gmail.com

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

Dari hasil kesimpulan perhitungan susut umur transformator, pembebanan yang berkisar 40 % - 80 % didapat suhu belitan dalam kondisi aman untuk beroperasi karena masih berada di bawah batas nilai maksimum yang ditetapkan di PLN yaitu sebesar 98°C. Apabila keadaan suhu belitan tetap terus dipertahankan berada di bawah standar PLN yaitu 98°C, maka usia pakai dari transformator akan tetap optimal dan bisa bertahan lama. Susut umur harian pada transformator yang memiliki suhu belitan dibawah 98°C untuk perkiraan sisa umur transformator bisa lebih dari 20,55 tahun. Sehingga dapat dikatakan transformator dalam keadaan baik karena tidak menimbulkan masalah pada susut umur transformatornya. Namun, saat pembebanan diketahui suhu belitan berada diatas standar PLN yaitu 98°C maka perkiraan umur dari transformator distribusi kurang dari dari 20,55 tahun dan tidak sesuai standar IEC 60354-1, 1991 yang digunakan.

2. Metodologi

Adapun diagram alir penyelesaian penelitian menggunakan metode wawancara, metode observasi, dan metode literatur dengan tujuan dapat menganalisis pengaruh pembebanan dan dapat mengetahui susut umur pada transformator distribusi pada transformator distribusi Penyulang Lowokwaru.



Gambar 1 Diagram Alir Penyelesaian Penelitian

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

a. Pembangkit Tenaga Listrik

Merupakan tempat menghasilkan energi listrik yang terdapat mesin membangkitkan tenaga listrik berupa generator, dilengkapi dengan gardu induk penaik tegangan, dari tegangan rendah yang dihasilkan generator dinaikan menjadi tegangan tertentu dengan transformator step up sebagai penaik

tegangan.

b. Penyaluran Tenaga Listrik

Merupakan saluran penyalur energi listrik berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk pusat pembangkit ke gardu induk yang lain dengan jarak yang jauh.

c. Distribusi Tenaga Listrik

Saluran distribusi berfungsi menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke kelompok beban berupa gardu distribusi dan konsumen dengan mutu yang handal dan memadai.

Untuk memenuhi tujuan operasi sistem tenaga listrik, ketiga bagian yaitu pembangkit, penyaluran dan distribusi tersebut satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan. Energi listrik dibangkitkan oleh pembangkit tenaga listrik, disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian didistribusikan ke beban.

2.2 Transformator Distribusi

Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan hal penting dalam pemakaian penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Transformator distribusi yang sering digunakan adalah jenis transformator step up down 20/0,4 kV dengan tegangan fasa sistem JTR adalah 380 volt karena terjadi drop tegangan maka tegangan pada rak TR dibuat diatas 380 volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 volt. Pada kumparan primer mengalir arus jika dihubungkan ke sumber listrik arus bolak balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan feromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = ϕ). Hubungan tranformasi tegangan adalah sebagai berikut:

$$E_{1(\text{primer})} / E_{2(\text{sekunder})} = N_{1(\text{primer})} / N_{2(\text{sekunder})} \tag{2-1}$$

$$E_1 = \alpha(\text{angka beban trafo}) \cdot E_2 \tag{2-2}$$

$$E_1 / E_2 = I_1 / I_2 \tag{2-3}$$

$$N_1 / N_2 = I_1 / I_2 \tag{2-4}$$



Gambar 2.1 Panel Transformator Distribusi

2.3 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah trafo yang terdiri dari inti besi dan lilitan. Pada dua sisi inti besi tersebut dililit oleh kawat yang terhubung pada 2 buah terminal trafo yakni terminal primer dan terminal sekunder. Sisi primer merupakan bagian trafo yang terhubung dengan masukan (*input*) sedangkan sisi sekunder merupakan bagian trafo yang terhubung dengan keluaran (*output*). Terminal primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC dan terminal sekunder di biarkan terbuka tidak terhubung dengan

beban (*open circuit characteristic*). Rangkaian tertutup pada sisi primer ini akan menimbulkan arus yang mengalir pada lilitan primer. Sesuai dengan hukum Ampere, arus listrik pada kawat primer yang melingkari inti besi tersebut akan menghasilkan fluks magnetik. kemudian ada ada sebagian fluks magnetik sisi primer ini yang ikut menembus lilitan di sisi sekunder. Sehingga menurut hukum Faraday, fluks tersebut akan dapat menghasilkan tegangan induksi pada sisi sekunder.

$$\frac{d\Phi}{dt} = e(-)N \text{ (volt)} \tag{2-5}$$

2.4 Pendingin Transformator

Panas yang timbul dari bagian inti core, kumparan, terminal bushing, minyak transformator dan tangki transformator. Panas yang timbul biasanya terbuang ke atmosfer atau lingkungan sekitar melalui tangki transformator dan sistem pendingin. Sistem pendingin pada transformator digunakan untuk mengurangi panas dan menjaga kenaikan temperatur agar tetap berada dibatas normal. Temperatur maksimal bahan isolator pada kumparan dan minyak sangat tergantung dari pembebanan.

Tabel 2.1 Macam-Macam Sistem Pendingin

No	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Luar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Sumber: IEEE C57.91 tahun 2011

Ada beberapa tipe pendingin yang digunakan pada transformator menurut IEEE C57.91 tahun 2011 [10] yaitu :

- a. ONAN (Oil Natural Air Natural)
Sistem pendingin ONAN adalah sistem pendingin dengan minyak sebagai pendingin kumparan transformator yang bersirkulasi secara alami dan dengan udara sebagai pendingin luar yang bersirkulasi secara alami pula.
- b. ONAF (Oil Natural Air Force)
Pada sistem pendingin ONAF adalah sistem pendingin dengan minyak sebagai pendingin kumparan transformator yang bersirkulasi secara alami dan 12 dengan udara sebagai pendingin luar yang bersirkulasi secara buatan, dengan menggunakan hembusan kipas angin. Ketika suhu trafo semakin meningkat, maka kipas angin akan berputar secara bertahap.
- c. OFAF (Oil Force Air Force)
Pada sistem pendingin OFAF adalah sistem pendingin dengan minyak sebagai pendingin kumparan transformator yang bersirkulasi secara buatan dan udara sebagai pendingin luar yang bersirkulasi secara buatan pula.
- d. OFWF (Oil Force – Water Force)
Pendingin OFWF dengan minyak sebagai pendingin kumparan transformator yang bersirkulasi secara paksa/buatan dan dengan air sebagai pendingin luar transformator yang

bersirkulasi secara paksa/buatan.

2.5 Susut Umur Transformator

Menurut SPLN, transformator di Indonesia dirancang pada suhu sekitar tidak melebihi 40°C dan suhu rata-rata harian 30°C serta suhu rata-rata tahunan 30°C. Pada referensi menyatakan bahwa umur transformator 20,55 tahun atau 7500 hari atau 180.000 jam dengan susut umur normal 0,0137 % per hari, apabila di bebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20°C [8]. Susut umur karena suhu titik panas dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun acuan yang digunakan sebagai besaran niali susut umur transformator akibat kenaikan suhu pada tabel berikut [2]:

Tabel 2.2 Susut Umur Akibat Kenaikan Suhu

Q(°)	Relative Aging Rate (p.u)	Age (year)
80	0,13	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1,0	20
104	2,0	10
110	4,0	5
116	8,0	2,5
122	16,0	1,25
128	31,0	0,625
134	64,0	0,3125
140	128,0	0,15625

Sumber: SPLN 17 tahun 1979

2.6 Teknis Perhitungan

Dalam melakukan proses perhitungan, hal yang dilakukan terlebih dahulu adalah melakukan studi literature dan melakukan wawancara yang berkaitan dengan objek penelitian dan didapatkan data trafo yang akan diteliti, yaitu data pembebanan transformator. Kemudian data yang telah didapat tadi dilakukan pengolahan data dengan menggunakan rumus perhitungan tegangan rata-rata, daya yang terpakai, arus beban penuh, beban terpakai, suhu lilitan, perhitungan dan perhitungan susut umur transformator.

1) Perhitungan Tegangan Rata-Rata

Besarnya tegangan rata-rata dapat dihitung dengan:

$$V_{rata-rata} = \frac{(V_{R-S}) + (V_{S-T}) + (V_{T-R})}{3} \tag{2-6}$$

2) Perhitungan Daya yang Terpakai

Besarnya arus rata-rata dapat dihitung dengan:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{2-7}$$

Besarnya daya 3 fasa yang terpakai dapat dihitung dengan

$$S_{3\phi\text{terpakai}} = \sqrt{3} \times V_{rata-rata} \times I_{rata-rata} \tag{2-8}$$

Besarnya arus beban dapat dihitung dengan:

$$I_{FL} = \frac{S_{3\phi\text{terpakai}}}{\sqrt{3} \times V} \tag{2-9}$$

3) Perhitungan Beban Terpakai

Besarnya persentase pembebanan dapat dihitung dengan:

$$\text{Beban Terpakai \%} = \frac{\frac{1}{3}(I_{rata-rata})}{I_{FL}} \times 100\% \tag{2-10}$$

4) Perhitungan Suhu Lilitan

Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada standar IEC

60354-1, 1991. Rata – rata temperatur di Kota Malang berkisar sekitar 30°C. Pembebanan yang di ijinakan pada suhu sekitar yang berbeda, yakni pada temperatur sekitar 30°C temperatur belitan transformator distribusi dengan jenis pendingin ONAN akan mencapai *Hot-Spot temperature rise* (K) sebesar 98°C pada faktor pembebanan.

Pada Waktu Beban Puncak (WBP) berlangsung selama 4 jam yang dimulai pada jam 18.00 WIB s/d 22.00 WIB, sedangkan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) berlangsung selama 20 jam dimulai pada jam 22.01 WIB s/d 17.59. Perhitungan menggunakan referensi [6] dengan rumus:

$$\text{Suhu lilitan LWBP} = 98^\circ\text{C} - (100\% - \% \text{ Beban LWBP}) \times 98^\circ\text{C} \quad (2-11)$$

$$\text{Suhu lilitan WBP} = \% \frac{\% \text{ Beban WBP}}{100\%} \times 98^\circ\text{C} \quad (2-12)$$

5) Perhitungan Susut Umur Transformator

Susut umur yang disebabkan oleh operasi harian atau bulanan pada suhu panas setempat 98°C dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian, atau jam. Maka susut umur dapat dilihat dari Tabel 2.3. Perkiraan perhitungan susut umur transformator selama 24 jam [7] adalah:

$$\text{Susut umur (24 jam)} = (t_1 \times p.u) + (t_2 \times p.u) \quad (2-13)$$

3. Pembahasan

3.1 Data Transformator Penyulang Lowokwaru

Tabel 3.1 Data Transformator Penyulang Lowokwaru pada LWBP

No.	No. GTT	Gardu Induk	Penyulang	Daya (kVA)	I ₂ Utama (A)	I ₃ Utama (A)	I ₁ Utama (A)	V _{1-rasi} (V)
1.	P0032	POLEHAN	LWKWR	100	68	74	127	400
2.	P0527	POLEHAN	LWKWR	150	115	102	51	400
3.	P1326	POLEHAN	LWKWR	100	89	61	36	400
4.	P1385	POLEHAN	LWKWR	160	155	168	154	400
5.	P0919	POLEHAN	LWKWR	160	86	123	102	400
6.	P0192	POLEHAN	LWKWR	160	165	145	128	400
7.	P0153	POLEHAN	LWKWR	200	199	189	218	400
8.	P0284	POLEHAN	LWKWR	200	218	201	194	400
9.	P0485	POLEHAN	LWKWR	200	137	163	162	400
10.	P0290	POLEHAN	LWKWR	250	224	187	186	400
11.	P1384	POLEHAN	LWKWR	250	190	164	171	400

Tabel 3.2 Data Transformator Penyulang Lowokwaru pada WBP

No.	No. GTT	Gardu Induk	Penyulang	Daya (kVA)	I ₂ Utama (A)	I ₃ Utama (A)	I ₁ Utama (A)	V _{1-rasi} (V)
1.	P0032	POLEHAN	LWKWR	100	231	160	128	407
2.	P0527	POLEHAN	LWKWR	150	130	127	90	403
3.	P1326	POLEHAN	LWKWR	100	128	153	213	413
4.	P1385	POLEHAN	LWKWR	160	160	182	159	392
5.	P0919	POLEHAN	LWKWR	160	90	124	112	400
6.	P0192	POLEHAN	LWKWR	160	173	167	212	410
7.	P0153	POLEHAN	LWKWR	200	189	198	298	405
8.	P0284	POLEHAN	LWKWR	200	222	189	288	401
9.	P0485	POLEHAN	LWKWR	200	140	163	160	405
10.	P0290	POLEHAN	LWKWR	250	225	190	190	419
11.	P1384	POLEHAN	LWKWR	250	199	164	169	404

Data Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 diperoleh dari hasil wawancara

petugas PLN di PT. PLN (Persero) UP3 Malang. Dalam Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan kode transformator Penyulang Lowokwaru, besaran daya transformator yang digunakan, besaran arus per-fasa dan juga besaran tegangan pada saat dilakukan pengukuran LWBP dan WBP.

3.2 Hasil Perhitungan Beban Transformator

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Pembebanan Saat LWBP

No.	No. GTT	Daya (kVA)	V _{1-rasi} (V)	I _{1-rasi} (A)	Daya Terpakai (kVA)	I ₁ (A)	Beban Terpakai (%)	Keterangan
1.	P0032	100	400	90,333	62,121	144,3418	62,12107	NORMAL
2.	P0527	150	400	89,33333	61,890	216,5127	41,26009	NORMAL
3.	P1326	100	400	62	42,853	144,3418	42,95360	NORMAL
4.	P1385	160	400	159	110,155	230,9469	68,84700	NORMAL
5.	P0919	160	400	103,66667	71,820	230,9469	44,88767	NORMAL
6.	P0192	160	400	146	101,149	230,9469	63,21800	NORMAL
7.	P0153	200	400	202	139,945	288,6836	69,97280	NORMAL
8.	P0284	200	400	204,33333	141,562	288,6836	70,78107	NORMAL
9.	P0485	200	400	154	106,691	288,6836	53,34560	NORMAL
10.	P0290	250	400	199	137,867	360,8545	55,14688	NORMAL
11.	P1384	250	400	175	121,240	360,8545	48,49600	NORMAL

Berdasarkan data Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa jumlah total transformator yang dianalisis sebanyak 11 unit yang terdiri dari transformator 100 kVA sebanyak 2 unit, 150 kVA sebanyak 1 unit, 160 kVA sebanyak 3 unit, 200 kVA sebanyak 3 unit dan 250 kVA sebanyak 2 unit. Dari kesebelas unit transformator diperoleh pembebanan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) memiliki rating beban 40% - 80% [3]. Kondisi pembebanan pada saat LWBP adalah dalam keadaan normal semuanya, hal ini dikarenakan tidak melebihi diatas 80%. Apabila melebihi diatas 80 % maka pembebanan bisa masuk kedalam kondisi karakteristik pembebanan tinggi dan pembebanan lebih. Pada Tabel 5 tidak terjadi beban tinggi maupun beban lebih, hal ini dikarenakan pada wilayah Penyulang Lowokwaru bukan kawasan pemakaian energi listrik perindustrian dan tidak ada terjadinya fenomena alam yang bisa mempengaruhi kondisi transformator distribusi tersebut.

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Pembebanan Saat WBP

No.	No. GTT	Daya (kVA)	V _{1-rasi} (V)	I _{1-rasi} (A)	Daya Terpakai (kVA)	I ₁ (A)	Beban Terpakai (%)	Keterangan
1.	P0032	100	407	173,00	121,952	141,8593	121,9519	LEBIH
2.	P0527	150	403	115,67	80,7349	214,9009	53,8232	NORMAL
3.	P1326	100	413	164,67	117,7887	139,7984	117,7887	LEBIH
4.	P1385	160	392	167,00	113,3836	235,6601	70,8648	NORMAL
5.	P0919	160	400	108,67	75,2843	230,9469	47,0527	NORMAL
6.	P0192	160	410	184,00	130,6621	225,3140	81,6638	TINGGI
7.	P0153	200	405	228,33	160,1667	285,1196	80,0834	TINGGI
8.	P0284	200	401	233,00	161,8260	287,9637	80,9130	TINGGI
9.	P0485	200	405	154,33	108,2587	285,1196	54,1293	NORMAL
10.	P0290	250	419	201,67	146,3511	344,4912	58,5404	NORMAL
11.	P1384	250	404	177,33	124,0851	357,2817	49,6340	NORMAL

Berdasarkan data Tabel 3.4 dapat dilihat dari kesebelas unit transformator didapat pengukuran Waktu Beban Puncak (WBP) memiliki rating kondisi beban yang bermacam-macam. Kondisi pembebanan pada saat WBP terdapat 2 kondisi transformator dalam keadaan beban lebih, 3 kondisi transformator dalam keadaan beban tinggi dan 6 kondisi transformator dalam keadaan normal. Terjadinya beban tinggi maupun beban lebih disebabkan karena pemakaian energi listrik di jam 18.00 WIB – 22.00 WIB yang

merupakan waktu beban puncak pemakaian energi listrik rumah tangga, selain itu disebabkan karena arus beban tidak seimbang tiap fasanya.

3.3 Perkiraan Umur Transformator

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan Susut Umur Transformator

No	NO GTT	Suhu Lilitan		Perkiraan Susut Umur				Perkiraan Umur	
		LWBP (°C)	WBP (°C)	LWBP (p.u)	WBP (p.u)	Perhari (Jam)	Keterangan	Standar: IEC 60354-1, 1991	Perkiraan Umur Transformator (Tahun)
1.	P0032	60,88	119,51	0,125	12,0003	50,501	>24 jam	<20	9,5
2.	P0527	40,43	52,75	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
3.	P1326	42,09	115,43	0,125	9,835	41,54	>24 jam	<20	11,563
4.	P1385	67,47	69,45	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
5.	P0919	43,99	46,11	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
6.	P0192	61,95	80,03	0,125	0,126	3,504	<24 jam	>20	>20
7.	P0153	68,57	78,48	0,125	0,125	3,0044	<24 jam	>20	>20
8.	P0284	69,37	79,29	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
9.	P0485	52,28	53,05	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
10.	P0290	54,04	57,37	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20
11.	P1384	47,53	48,64	0,125	0,125	3	<24 jam	>20	>20

Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan susut umur pada Tabel 3.5 didapat dari kesebelas transformator distribusi Penyulang Lowokwaru dapat dilihat bahwa jumlah total transformator yang dianalisis sebanyak 11 uni dari hasil perhitungan yang dilakukan didapat ada 2 transformator dengan beban diatas 100 % dari rating daya transformator. Dapat dilihat bahwa transformator dengan beban di atas 100% mengalami susut umur yang besar, dibuktikan pada transformator distribusi P0032 dengan daya 100 kVA memiliki beban 62,12107 % pada siang hari dan 121,9518% pada malam hari, lalu ada juga transformator distribusi P1326 dengan daya 100 kVA memiliki beban 43,06% pada siang hari dan 117,7887% pada malam hari.

3.4 Analisa Hasil Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi Penyulang Lowokwaru

1) Analisa Umum Hasil Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi Penyulang Lowokwaru

Transformator distribusi P0032 mulai beroperasi pada tahun 2018, berdasarkan hasil perhitungan perkiraan susut umur transformator yang didapat susut umurnya kurang lebih sekitar 9,5 tahun. Sehingga perkiraan sisa umur transformator distribusi P0032 tinggal 5,5 tahun saja, selain itu juga ada transformator distribusi P1326 yang mulai beroperasi pada tahun 2010, berdasarkan hasil perhitungan perkiraan susut umur transformator yang didapat susut umurnya kurang lebih sekitar 11,563 tahun. Sehingga perkiraan sisa umur transformator distribusi P1326 tinggal 1,563 tahun saja. Sedangkan transformator diharapkan dapat digunakan selama lebih dari 20 tahun sesuai dengan standard. Transformator dengan beban di atas 100% sudah seharusnya segera di ganti dengan rating daya yang besar atau juga bisa dilakukan penambahan sisip transformator untuk transformator yang berbeban lebih/over load.

Transformator distribusi P0485 didapat suhu belitan pada siang hari sebesar 52,28° C dan suhu belitan pada malam hari sebesar 53,05° C. Transformator distribusi P0290 dengan suhu belitan pada siang hari sebesar 54,04° C dan suhu belitan pada malam hari sebesar 57,37° C. Transformator distribusi P1384 dengan suhu belitan pada siang hari sebesar 47,53°C dan suhu belitan pada malam hari sebesar 48,64°C. Dan transformator distribusi P0527 dengan suhu belitan pada siang hari sebesar

40,43°C dan suhu belitan pada malam hari sebesar 52,75°C.

Pembebanan yang berkisar 40% - 80% didapat suhu belitan dalam kondisi aman untuk beroperasi karena masih berada di bawah batas nilai maksimum yang ditetapkan di PLN yaitu sebesar 98°C. Apabila keadaan suhu belitan tetap terus dipertahankan berada di bawah standar PLN yaitu 98°C , maka usia pakai dari transformator akan tetap optimal dan bisa bertahan lama. Susut umur harian pada transformator yang memiliki suhu belitan dibawah 98°C untuk perkiraan sisa umur transformator bisa lebih dari 20,55 tahun. Sehingga dapat dikatakan transformator dalam keadaan baik karena tidak menimbulkan masalah pada susut umur transformatornya.

2) Analisa Khusus Hasil Perhitungan Susut Umur Transformator Distribusi Penyulang Lowokwaru

Suhu rata-rata sekitar Kota Malang adalah 30° C - 32° C, transformator distribusi Penyulang Lowokwaru menggunakan jenis pendingin ONAN. Nilai suhu lilitan WBP lebih besar dibandingkan dengan nilai suhu lilitan LWBP. Umur tranformator dipengaruhi oleh pembenanan. Ketika pembebanan yang terlalu berat dapat menyebabkan perubahan temperature pada titik hot spot [9]. Hal ini dibuktikan, peningkatan pembebanan dapat mempengaruhi besarnya kenaikan suhu lilitan. Suhu lilitan berbanding lurus dengan pembebanan transformator distribusi Semakin tinggi nilai pembebanan transformator distribusi maka suhu lilitan semakin tinggi juga begitupun sebaliknya. Semakin tinggi nilai temperatur suhu belitan maka akan semakin tinggi pula susut umur pada transformator.

Dari hasil perhitungan yang dilakukan pada transformator distribusi P527 dengan pembebanan 40% - 80% didapat suhu lilitan pada siang hari (LWBP) sebesar 40,43°C dan suhu belitan pada malam hari (WBP) sebesar 52,75°C, dimana kondisi ini aman untuk beroperasi karena masih berada di bawah batas nilai maksimum yang ditetapkan di PLN yaitu 98°C. Apabila keadaan pembebanan dilakukan secara terus – menerus dapat terus dipertahankan masa kinerja dari transformator pum akan tetap optimal. Sehingga perkiraan umur dari transformator distribusi P0527 diharapkan dapat berumur lebih dari 20,55 tahun sesuai standar IEC 60354-1, 1991. Dibandingkan dengan pembebanan tertinggi yang terjadi pada transformator distribusi P0032 tercatat dengan pembebanan 60 % - lebih dari 100 % didapat suhu lilitan pada siang hari (LWBP) sebesar 60,88° C dan suhu lilitan pada malam hari (WBP) sebesar 119,51° C. Pada transformator P0032 dari perhitungan suhu belitan dan perhitungan susut umur didapat pembebanan lebih berpengaruh karena susut umur trafo jauh lebih besar dibanding dengan keadaan pembebanan normal. Saat pembebanan lebih didapat susut umur mengalami 50,501 jam/hari. Sehingga perkiraan umur dari transformator distribusi P0032 kurang dari dari 20,55 tahun dan tidak sesuai standar IEC 60354-1, 1991 yang digunakan.

4.1 Penutup

- 1) Transformator distribusi Penyulang Lowokwaru yang dianalisis sebanyak 11.Masing-masing transformator distribusi tersebut memiliki daya terpasang 100 kVA-250 kVA.
- 2) Rating pembebanan transformator terbagi menjadi 3 bagian, yaitu normal (40% - 80%), tinggi (>80% - 100%) dan pembebanan lebih (overload) dengan rating pembebanan diatas 100% dari kapasitas daya transformator.

- 3) Saat waktu beban puncak (WBP) dengan lama waktu dimulai pukul 18.00 s/d 22.00 WIB terdapat 5 transformator yang memiliki pembebanan >80%. Adapun kondisi pembebanan tinggi terjadi pada trafo P0192 (81,96 %), P0153 (82,002 %), dan P0284 (80,01 %). Lalu kondisi pembebanan lebih (*overload*) terjadi pada transformator P0032 (120,91 %) dan P1326 (119,76 %).
 - 4) Pada trafo kondisi normal P1385 dengan pembebanan 68,66 % maka suhu belitannya pada saat LWBP sebesar 67,47° dan saat WBP sebesar 69,45°C Dibandingkan dengan trafo P0032 kondisi beban lebih (*overload*) dengan besar pembebanan 120,91 % maka suhu belitannya pada saat LWBP sebesar 60,88°C dan saat WBP sebesar 119,51°C.
 - 5) Besaran nilai suhu lilitan LWBP dan WBP bisa digunakan sebagai salah satu indikator yang harus diperhatikan untuk mengetahui perkiraan umur transformator. Karena semakin tinggi suhu belitannya juga semakin berpengaruh besar kecilnya susut umur dari transformator.
 - 6) Semakin tinggi persentase pembebanan semakin tinggi juga nilai susut umur transformator. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah persentase pembebanan maka semakin kecil juga nilai p-u nya.
 - 7) Pembebanan terendah yaitu trafo P0527 (41,69 %) dengan nilai *realative aging age* nya sebesar 0,125 dan perkiraan umur pada trafo P0527 >20 tahun. Dibandingkan trafo P0032 (120,91 %) dengan nilai *realative aging age* nya sebesar 12,0003 p-u dan perkiraan umurnya 9,5 tahun saja.
 - 8) Terdapat 2 transformator mengalami susut umur yang tidak sesuai dengan standar perkiraan umur transformator. Berdasarkan standar IEC 60354-1, 1991 yang kurang dari 20,55 tahun yaitu transformator distribusi P0032 sebesar 9,5 tahun dan P1386 sebesar 11,563 tahun.
 - 9) Salah satu penyebab berkurangnya umur penggunaan transformator adalah akibat pembebanan.
- 2) Karena pembebanan transformator diasumsikan pola pembebanan hariannya adalah sama. Maka disarankan untuk penelitian selanjutnya asumsi pembebanan diukur setiap jam sehingga akumulasi perhitungan susut umur lebih akurat dan detail.
 - 3) Gunakanlah transformator yang kapasitasnya sesuai dengan beban yang ditampung oleh suatu transformator. Jika tidak, maka transformator akan mengalami *over load*.
 - 4) Tetap dilakukan pemeliharaan rutin untuk menjaga kehandalan transformator.

Daftar Pustaka

- [1] IEC (1991). 60354 *Second editin*. "Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers". Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- [2] SPLN 17 (1979). "Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak". Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara.
- [3] Edaran Direksi PT PLN (PERSERO) (2014) NOMOR : 0017.EIDISI 2014 TENTANG METODE PEMELIHARAAN TRAF0 DISTRIBUSI BERBASIS KAJDAH MANAJEMEN ASET
- [4] Latupeirissa, H. L. (2018). Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 kV. JURNAL SIMETRIK, vol 8, 126-132.
- [5] Manullang, S. (2020). Analisis Pengaruh Temperature Terhadap Kinerja Transformator Pada PLTD Titi Kuning. JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA , Nomor 2, Volume 9, 105-115.
- [6] Setyo Adi Nugroho, A. J. (2019). Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh. JURNAL RISET REKAYASA ELEKTRO, Vol.1, 11-16.
- [7] Gultom, P., MT, Danial., Rajagukguk, M. (2017). Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 KV Akibat Pembebanan Lebih Di PT. PLN (Persero) Kota Pontianak, Jurnal UNTAN, Vol 2(1), 2-5.
- [8] IEEE. (2011). Std C57.91. In S. Association, Guide for Loading Mineral-OilImmersed Transformers and Step-Voltage Regulators (pp. H.1-H.4). New York: Institute of Electrical and Electronic Engineering.
- [9] Yahja Igirisa, Y. M. (2021). Analisis Perkiraan Umur Trafo Tenaga 150kV di GI Isimu. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol 3, 101-108.
- [10] Shafira Irmadhani Hidayat, (2020). Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing. Jurnal Sistem Kelistrikan, Vol. 7 Nomor 3.

4.2 Saran

- 1) Pembebanan lebih (*overload*) pada transformator distribusi sebaiknya lebih diperhatikan lagi, yang seharusnya dilakukan adalah dengan meningkatkan pemeliharaan rutin yang dilakukan agar umur dari transformator tersebut dapat memenuhi usia yang sebagai mana mestinya. Apabila transformator sudah tidak bisa terkontrol maka disarankan untuk dilakukan tindakan *maintenace* lebih lanjut. Melakukan penggantian atau penambahan sisip transformator untuk transformator yang berbeban *overload* yaitu transformator yang berbeban diatas 100 %.