

PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR BERDASARKAN PENGARUH PEMBEBANAN DAN TEMPERATUR LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE TREND LINEAR

Yolla Yaumil Rizki¹⁾, Edy Ervianto²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: yolla.yaumilrizki@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Base on overloading conditions and the exposure of ambient temperatures that exceed the standard level, will causes thermal aging of the insulation on the transformer, which can causes "shrinkage" the age of it. Sampling of the transformer that used in this research, is the power transformer. Both of it, have been installed from 2010 (transformator 3) and 2015 (transformator 4) at major sub-station in Garuda Sakti-Pekanbaru. These transformers are operated at maksimum ambient temperature 33°C. To estimate the remaining transformers lifespan, can be evaluated by using a hot spot temperature. In this article, estimating the lifetime of the transformers are calculated by using linear trend analysis method, for load escalation of these transformer. The results showed that, all of the transformer have a safe value limit of 91.38% of the transformers power rating level. From the calculation of power transformer 3 has an estimation remaining age around 26 years with the value of forecasting load in 2019 reaching 80.27% until 2024 reaching 113.61% of the power rating. And another transformer (4) has an estimation remaining age around 21 years with the value of forecasting load in 2019 reaching 75,89% until 2031 reaching 113,09% of the power rating.

Keywords : Transformer Lifespan, Trend Linear Method, Load Escalation, Ambient Temperature.

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu peralatan penting dalam penyaluran energi listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Karena peralatan ini penting perlu usaha agar berumur panjang dan dapat lebih lama digunakan.

Isolasi transformator dirancang dan dikembangkan agar kinerja transformator menjadi andal dan hemat. Penuaan transformator dievaluasi dengan menggunakan suhu titik panas, *hot spot temperature* (HST). Peningkatan suhu minyak bagian atas, *top oil temperature* (TOT) seiring dengan peningkatan HST memiliki efek mengurangi umur isolasi.

Berdasarkan dari data Badan Meterologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, suhu rata-rata tahunan di Indonesia adalah 30°C dan tingkat suhu rata-rata harian 33°C dimana

transformator dioperasikan. Transformator-transformator digunakan di Indonesia di desain berdasarkan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*). IEC menetapkan umur transformator 30 tahun apabila dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20 s/d 22°C dengan titik suhu panas (*hot spot*) pada belitan mencapai 98°C. (Najdenkoski, 2007)

Kondisi tidak normal, seperti pembebanan lebih atau paparan suhu lingkungan yang lebih tinggi menyebabkan laju penuaan relatif pemburukan termis isolasi transformator yang beroperasi di Indonesia lebih cepat disebabkan kegagalan isolasi transformator dan dengan demikian mempercepat umur harap.

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk mengetahui susut umur pada transformator untuk periode waktu tertentu, pembebanan dapat diramalkan menggunakan metode *trend linear*. Transformator yang akan digunakan

penulis sebagai lokasi penelitian adalah transformator daya di Gardu Induk Garuda Sakti.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Transformator Daya

Transformator daya listrik memainkan peran penting dalam transmisi daya yaitu untuk menyalurkan daya listrik dari generator bertegangan menengah ke transmisi bertegangan tinggi dan untuk menyalurkan daya dari transmisi bertegangan tinggi ke jaringan distribusi bertegangan rendah.

Pada penyaluran energi listrik terjadi kerugian energi sebesar $I^2.R$ watt karena tegangan daya meningkat dan arus daya berkurang. Kerugian ini banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga senantiasa mempergunakan tegangan tinggi. Dengan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6 sampai 20 kV pada awal saluran transmisi, kemudian menurunkannya lagi di ujung akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, dilakukan dengan transformator daya.

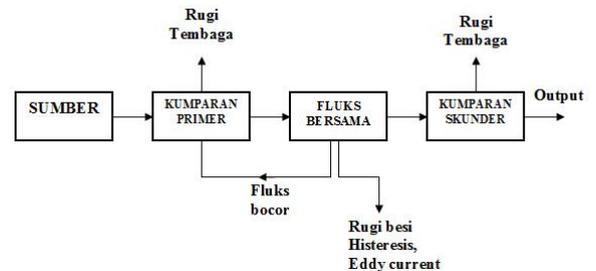


Gambar 1. Transformator Daya di GI Garuda Sakti

2.2. Rugi-Rugi pada Transformator

Rugi-rugi terdiri dari rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun kumparan sekunder. Untuk mengurangi rugi-rugi besi diambil penampang yang cukup besar agar fluks magnet agar mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi-rugi tembaga, harus diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang

diperlukan. (Kurniawan, 2016). Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histeris. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti yang menghasilkan panas. (Wuwung, 2010). Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan fluks magnet.



Gambar 2. Rugi-rugi pada Transformator

2.3. Analisa Trend Linear

Analisa deret waktu yang hasilnya berupa persamaan *trend* yang dapat digunakan untuk peramalan kedepan (*forecasting*). (Azhar, 2019). Metode *trend* yaitu metode yang dibuat berdasarkan kecenderungan hubungan masa lalu tanpa memperhatikan penyebab atau hal-hal yang mempengaruhinya (pengaruh ekonomi, iklim, teknologi, dan lain-lain).

Berikut persamaan *trend linear* yang digunakan untuk peramalan beban transformator pada tugas akhir ini sebagai berikut:

$$Y_t = a + bX_t \quad (1)$$

Dimana:

Y_t = Pembebanan pada waktu t

X_t = Periodewaktu t (hari, minggu, bulan, tahun)

a = nilai tetap (konstanta) atau nilai Y_t pada X_t sama dengan nol

b = kemiringan (*slope*) atau perubahan nilai Y dari waktu ke waktu.

Untuk menentukan nilai konstanta a dan b sebagai berikut:

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2)$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} - b \left(\frac{\sum X}{n} \right) \quad (3)$$

Dimana:

n = jumlah data

$\sum X$ = jumlah periode waktu t

$\sum Y$ = jumlah pembebanan pada waktu t

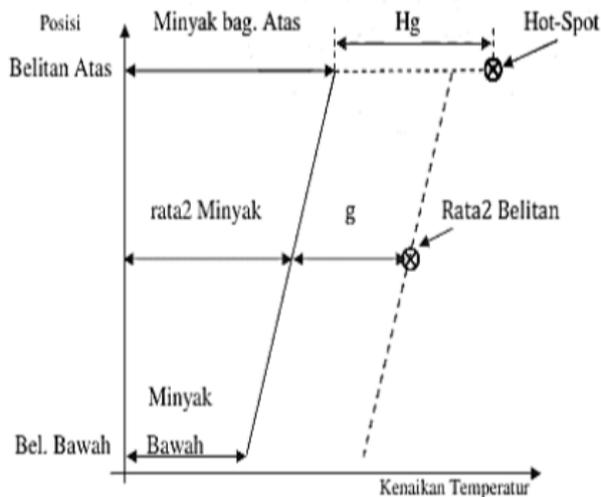
ΣXY = jumlah periode waktu t dikali jumlah pembebanan pada waktu t

2.4. Pengaruh Pembebanan Pada Transformator

Transformator dalam keadaan bertegangan dan belum dibebani akan timbul rugi-rugi yang dapat menimbulkan kondisi trafo tersebut panas, namun panas yang timbul kecil. Apabila transformator tersebut dibebani maka kumparan dan minyak di dalam trafo akan bertambah panas sesuai dengan kenaikan bebannya atau sebesar I^2R . Transformator dalam keadaan bertegangan dan belum dibebani akan timbul rugi-rugi yang dapat menimbulkan kondisi trafo tersebut panas, namun panas yang timbul kecil. Apabila transformator tersebut dibebani maka kumparan dan minyak di dalam trafo akan bertambah panas sesuai dengan kenaikan bebannya atau sebesar I^2R . (Harsono, 2013)

2.5. Pengaruh Thermal Pada Transformator

Kenaikan temperatur dapat diasumsikan seperti ditunjukkan gambar 3. Gambar ini dapat dipahami karena merupakan diagram penyederhanaan dari distribusi yang lebih rumit.



Gambar 3. Diagram Thermal Transformator
Kenaikan temperatur hot spot dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta\theta_H = H \cdot g \cdot K^{2m} \quad (4)$$

Dimana:

H = Faktor hot-spot yang disebabkan akibat rugi eddy pada belitan akhir

g = Selisih antara temperatur rata-rata belitan

dengan temperatur rata-rata minyak pada rating beban

K = Faktor beban (suplai beban / rating beban)

m = Konstanta yang tergantung dari metode Pendinginan

Faktor H dari hot spot untuk transformator daya nilai $H=1,3$. (IEC, 2006)

Tabel 1. Penentuan Konstanta n dan m

Tipe Pendingin	IEC		IEEE	
	n	m	n	m
OA/ONAN	0,9	0,8	0,8	0,8
FA/ONAF	0,9	0,8	0,9	0,8
NDFOA/OFAF	1	0,8	0,9	0,8
DFOA/ODAF	1	1	1	1

Dari diagram thermal transformator untuk menghitung nilai akhir temperatur hot spot menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{OU} + \Delta\theta_H \quad (5)$$

Dimana:

θ_H = Nilai akhir temperatur hot spot ($^{\circ}C$)

θ_A = Temperatur Ambient ($^{\circ}C$)

$\Delta\theta_{OU}$ = Kenaikan temperatur minyak atas ($^{\circ}C$)

$\Delta\theta_H$ = Kenaikan temperatur hotspot ($^{\circ}C$)

Untuk menghitung kenaikan temperatur minyak bagian atas menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta\theta_{OU} = \Delta\theta_{OR} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^n \quad (6)$$

Dimana:

$\Delta\theta_{OR}$ = Kenaikan temperatur minyak bagian atas pada rating beban ($^{\circ}C$)

K = Faktor beban (suplai beban/rating beban)

R = Rasio dari rugi tembaga pada beban penuh dibandingkan rugi tanpa beban

n = Konstanta

2.6. Penuaan Relatif Isolasi Belitan

Penurunan kemampuan suatu bahan isolasi akibat panas disebut penuaan (aging). Faktor utama yang membatasi kemampuan mempertahankan umur transformator adalah akibat adanya pembebanan lebih. (Gultom, 2017). Pembebanan lebih yang dipikul transformator akan mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator. Panas yang timbul mengakibatkan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penuaan suatu transformator.

Standar IEC 60076-7 tahun 2005 menetapkan umur normal transformator adalah 30 tahun (Herawati, 2014) ketika dibebani 100% dari nilai rating daya transformator pada suhu sekitar 20 °C dengan suhu titik panas atau hot spot mencapai 98 °C.

Faktor penuaan umur transformator pada setiap kenaikan suhu titik panas diatas suhu normal (98 °C) dapat dihitung menggunakan rumus Monstinger seperti pada persamaan 7:

$$V = 2^{(\theta_H - 98)/6} \quad (7)$$

Dimana:

V = Faktor penuaan thermal relatif ($p.u$)

θ_H = temperature hot-spot (°C)

Susut umur dapat dinyatakan dalam satuan bulanan, harian atau jam jika beban dan suhu sekitar konstan selama satu periode. (Najdenkoski et al., 2007). Susut umur transformator selama satu periode dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N V_n \quad (8)$$

Dimana:

L = Susut umur ($p.u$)

N = Periode waktu

V_t = Laju penuaan relatif pada waktu ke t ($p.u$)

t = waktu

Kemudian untuk menghitung perkiraan sisa umur transformator dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Perkiraan umur} = \frac{\text{Umur dasar} - n}{L} \quad (9)$$

Dimana:

Umur dasar transformator = 30 tahun (standar IEC)

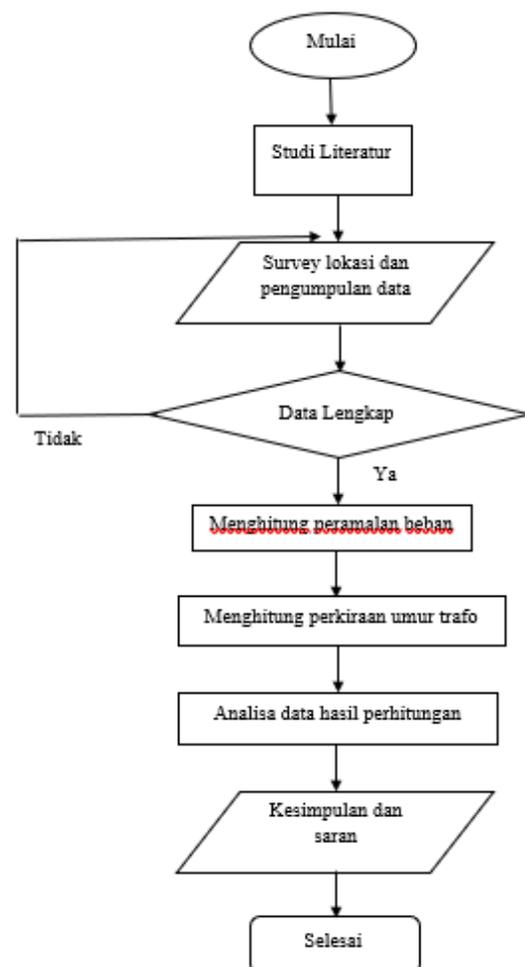
n = waktu transformator telah beroperasi (tahun)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, transformator yang digunakan trafo berkapasitas 2×60 MVA, data pembebanan trafo diambil dari data histori beban puncak tahun 2016-2018 di Gardu Induk Garuda Sakti dengan metode pengambilan data per 3 bulan (satu periode).

Perhitungan perkiraan sisa umur transformator dihitung menggunakan metode perhitungan berdasarkan pembebanan harian dan metode perhitungan berdasarkan peramalan beban transformator menggunakan metode trend linier.

Prosedur yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini :



Gambar 4. Flowchart penelitian

	4	78
--	---	----

Pada Gambar 4 diatas menunjukkan proses perhitungan perkiraan sisa umur transformator yang dimulai dari studi literatur kemudian dilanjutkan survey lokasi, setelah itu mengumpulkan data yaitu data spesifikasi transformator, data histori beban puncak transformator dari tahun 2016-2018, dan data suhu lingkungan Kota Pekanbaru. Setelah data lengkap mulai perhitungan peramalan beban menggunakan metode trend linear berdasarkan persamaan 1-3. Setelah didapatkan hasil peramalan beban periode berikutnya baru menghitung perkiraan umur transformator berdasarkan peramaan 4-9.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perkiraan sisa umur transformator yang dievaluasi dengan suhu titik panas (*hot spot temperature*) yang mempengaruhi laju penuaan relatif isolasi mengacu pada standar IEC 60354.

4.1. Transformator Daya 3 Tahun Pemasangan 2010

Dari hasil analisa data historis pembebanan per 3 bulan pada tabel 1, menunjukkan bahwa transformator mengalami kenaikan yang tidak merata. Hasil analisa korelasi pengaruh variabel waktu terhadap pembebanan didapat sebesar 80%, oleh karena itu dilakukan perhitungan menggunakan metode trend linear.

Tabel 2. Data Pembebanan Transformator Daya 3

Tahun	Periode	Beban Transformator (%)
2016	1	58,4
	2	66
	3	65
	4	66,2
2017	1	69
	2	75
	3	75,6
	4	73,4
2018	1	74
	2	75,6
	3	74

Untuk mengetahui hasil peramalan beban terlebih dahulu kita mencari nilai konstanta dan koefisien menggunakan persamaan 2 dan 3. Didapatkan persamaan trend untuk peramalan yaitu $Y = 61,43 + 1,45X$. Setelah nilai konstanta dan koefisien diperoleh secara manual, selanjutnya dilakukan uji kebenaran menggunakan *software* minitab. Berikut hasil peramalan beban menggunakan *software* minitab dan hasil perkiraan sisa umur transformator 3 menggunakan persamaan 3-9. Dengan data karakteristik suhu transformator:
 $\Delta\theta_{OU} = 52^{\circ}\text{C}$
 $\theta_a = 33^{\circ}\text{C}$
 $R = 5,5$
 $H = 1,3$
 $g = 22,62$

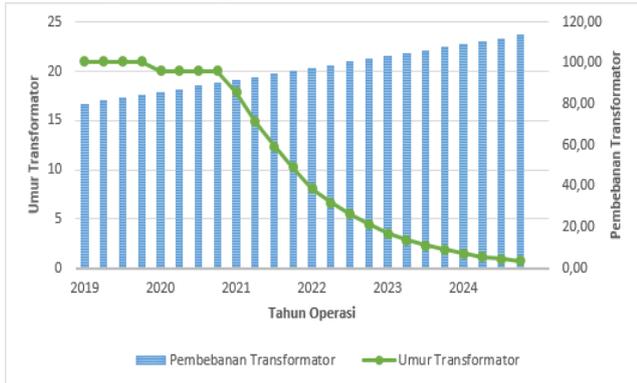
Tabel 3. Hasil Perkiraan Umur Transformator Daya 3

Tahun	X	Beban %	θ_H (°C)	Susut umur (p.u)	Sisa Umur
2019	13	80,27	86,6	0,27	≥ 21
	14	81,72	88	0,32	≥ 21
	15	83,17	89,5	0,37	≥ 21
	16	84,62	90,9	0,44	≥ 21
2020	17	86,62	92,4	0,52	≥ 20
	18	87,52	93,9	0,62	≥ 20
	19	88,97	95,4	0,74	≥ 20
	20	90,42	97	0,89	≥ 201
2021	21	91,87	98,5	1,06	8
	22	93,32	100,1	1,28	15
	23	94,47	101,7	1,53	12
	24	96,22	103,3	1,85	10
2022	25	97,67	105	2,23	8
	26	99,12	106,6	2,70	7
	27	100,57	108,3	3,28	5
	28	102,02	110	3,98	5
2023	28	103,47	111,7	4,85	4
	30	104,92	113,4	5,92	3
	31	106,37	115,1	7,25	2
2024	32	107,82	116,9	8,88	2
	33	109,27	118,7	10,91	1,5
	34	110,72	120,5	13,43	1,2
	35	112,17	122,3	16,56	1,0
	36	113,61	124,1	20,47	<1

Dari hasil perhitungan tabel 2 di atas menunjukkan bahwa temperatur hot spot

meningkat seiring dengan kenaikan beban yang menyebabkan semakin besarnya penyusutan umur transformator.

Transformator yang sudah beroperasi selama 9 tahun, memiliki sisa umur normal 21 tahun mengacu dari standar IEC 60076-7. Dari hasil perhitungan suhu hot spot mencapai batas aman (98°C) pada pembebanan 91,87% dari rating daya transformator. Gambar 5 adalah grafik perkiraan sisa umur transformator daya 3 tahun pemasangan 2010 GI Garuda Sakti.



Gambar 5. Grafik Perkiraan Beban dan Sisa Umur Transformator Daya 3

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa umur transformator paling lama hingga tahun 2024 dengan periode kurang 1 tahun pemakaian.

4.2. Transformator Daya 4 Tahun Pemasangan 2015

Dari hasil analisa data historis pembebanan per 4 bulan pada tabel 1, menunjukkan bahwa transformator mengalami kenaikan yang tidak merata. Hasil analisa korelasi pengaruh variabel waktu terhadap pembebanan didapat sebesar 62%, oleh karena itu dilakukan perhitungan menggunakan metode trend linear.

Tabel 4. Data Pembebanan Transformator Daya 4

Tahun	Periode	Beban Transformator (%)
2016	1	63
	2	68
	3	69,5
	4	72,2
2017	1	72,1
	2	70
	3	70

	4	69
2018	1	72,51
	2	72
	3	77
	4	74,9

Untuk mengetahui hasil peramalan beban terlebih dahulu kita mencari nilai konstanta dan koefisien menggunakan persamaan 2 dan 3. Didapatkan persamaan trend untuk peramalan yaitu $Y = 65,81 + 0,78X$. Setelah nilai konstanta dan koefisien diperoleh secara manual, selanjutnya dilakukan uji kebenaran menggunakan *software* minitab. Berikut hasil peramalan beban menggunakan *software* minitab dan hasil perkiraan sisa umur transformator daya 4 menggunakan persamaan 3-9.

Dengan data karakteristik suhu transformator:

$$\Delta\theta_{OU} = 52^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_a = 33^{\circ}\text{C}$$

$$R = 5,5$$

$$H = 1,3$$

$$g = 22,62$$

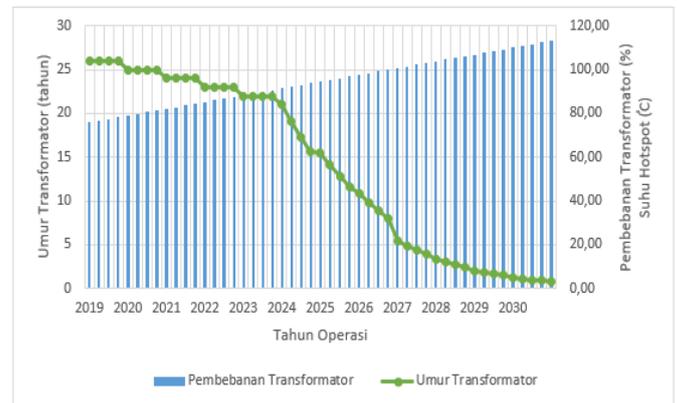
Tabel 5. Hasil Perkiraan Umur Transformator Daya 4

Tahun	X	Beban %	θ_H (°C)	Susut umur (p.u)	Sisa Umur
2019	13	75,89	82,40	0,16	≥ 26
	14	76,66	83,13	0,18	≥ 26
	15	77,44	83,86	0,20	≥ 26
	16	78,21	84,60	0,21	≥ 26
2020	17	78,99	83,35	0,23	≥ 25
	18	79,76	86,10	0,25	≥ 25
	19	80,54	86,85	0,28	≥ 25
	20	81,31	87,61	0,30	≥ 25
2021	21	82,09	88,38	0,33	≥ 24
	22	82,86	89,15	0,36	≥ 24
	23	83,64	89,93	0,39	≥ 24
	24	84,41	90,71	0,43	≥ 24
2022	25	85,19	91,50	0,47	≥ 23
	26	85,96	92,30	0,52	≥ 23
	27	86,74	93,10	0,57	≥ 23
	28	87,51	93,90	0,62	≥ 23
2023	28	88,29	94,71	0,68	≥ 22
	30	89,06	95,53	0,75	≥ 22
	31	89,84	96,35	0,83	≥ 22
2023	32	90,61	97,18	0,91	≥ 22
	33	91,39	98,01	1,00	21

	34	92,16	98,85	1,10	19
	35	92,94	99,69	1,22	17
	36	93,71	100,54	1,34	16
2025	37	94,49	101,39	1,48	15,5
	38	95,26	102,25	1,63	14,1
	39	96,04	103,12	1,81	13
	40	96,81	103,99	2,00	11,5
2026	41	97,59	104,86	2,21	11
	42	98,36	105,74	2,45	9,8
	43	99,14	106,63	2,71	8,9
	44	99,91	107,52	3,00	8,0
2027	45	100,69	108,42	3,33	5,4
	46	101,46	109,32	3,70	4,9
	47	102,24	110,22	4,11	4,4
	48	103,01	111,14	4,56	3,9
2028	49	103,79	112,05	5,07	3,4
	50	104,56	112,98	5,64	3,0
	51	105,34	113,98	6,28	2,7
	52	106,11	113,90	6,99	2,4
2029	53	106,89	114,84	7,79	2,1
	54	107,66	115,77	8,69	1,8
	55	108,44	116,7	9,70	1,6
	56	109,21	117,67	10,83	1,5
2030	57	109,99	118,62	12,10	1,2
	58	110,76	119,58	13,52	1,1
	59	111,54	109,99	15,12	1,0
	60	112,31	110,76	16,92	1,0
2031	61	113,09	111,54	18,95	<1

Dari hasil perhitungan tabel 3 di atas menunjukkan bahwa temperatur hot spot meningkat seiring dengan kenaikan beban yang menyebabkan semakin besarnya penyusutan umur transformator.

Transformator yang sudah beroperasi selama 5 tahun, memiliki sisa umur normal 26 tahun mengacu dari standar IEC 60076-7. Dari hasil perhitungan suhu hot spot mencapai batas aman (98°C) pada pembebanan 91,39% dari rating daya transformator. Gambar 5 adalah grafik perkiraan sisa umur transformator daya 5 tahun pemasangan 2015 GI Garuda Sakti.



Gambar 6. Grafik Perkiraan Beban dan Sisa Umur Transformator Daya 4

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa umur transformator paling lama hingga tahun 2031 dengan periode kurang 1 tahun pemakaian.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan, maka didapat kesimpulan bahwa transformator daya 3 pemasangan tahun 2010 mengalami penyusutan umur pada pembebanan sebesar 91,87% yang melewati batas aman pemakaian beban dan perkiraan usia paling lama hingga tahun 2024. Sedangkan transformator daya 4 pemasangan tahun 2015 mengalami penyusutan umur pada pembebanan sebesar 91,39% dan perkiraan usia paling lama beroperasi hingga tahun 2031.

Daftar Pustaka

- 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*. 2018, 43–49.
- Gultom, P., Danial, & Rajagukguk, M. (2017). *Studi Susut Umur Transformator Distribusi 20 Kv Akibat Pembebanan Lebih Di PT.PLN (Persero) Kota Pontianak*. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2, 1–7.
- Harsono, A. (2013). *Analisis pengaruh pembebanan transformator terhadap kandungan gas terlarut minyak isolasi*. 1–9.
- Herawati, A., & Sofyan. (2014). *Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus*

Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7. 76–81.

- IEC. (2006). International Standard Time. *Science, ns-1(6)*, 159–160. 9
- Kurniawan, & Firdaus. (2016). *Studi Analisa Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Lingkungan Terhadap Susut Umur Tranformator Daya Pada Gardu Induk Garuda Sakti. Jom FTEKNIK, 3*, 1–6.
- Najdenkoski, K., Rafajlovski, G., & Dimcev, V. (2007). Thermal aging of distribution transformers according to IEEE and IEC standards. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, (January 2007), 25–30.
- Wuwung, J. O. (2010). *Pengaruh pembebanan terhadap kenaikan suhu pada belitan transformator daya jenisterendam minyak. 07(52)*, 29–39.