

Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Daya #1 150/20 kV Pada Gardu Induk Teluk Lembu PT. PLN (Persero) UPT Pekanbaru

Dwi Ramona Diningsih¹, Usaha Situmeang², Zulfahri³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning
email : dwisaragih600@gmail.com¹, usaha@unilak.ac.id², zulfahri@unilak.ac.id³

Submitted : 22 Februari 2021

Accepted: 15 Desember 2022*

DOI: 10.31849/sainetin.v7i1.6223

ABSTRAK

Salah satu faktor yang mempengaruhi umur pemakaian transformator adalah pembebanan yang dilayani oleh transformator tersebut dan suhu sekitar. Suhu rendah terlihat pada beban 70% dengan standar IEC No. 60076 (20°C) keadaan siang sebesar 72,724 °C dan keadaan malam sebesar 71,032 °C dan suhu tinggi terlihat pada beban 100% dengan standar rata-rata suhu Indonesia (33°C) dalam keadaan siang sebesar 94,024°C. Suhu Indonesia cukup ekstrim harus diseimbangi dengan pembebanan yang rendah agar transformator dapat bertahan lebih lama atau memiliki umur yang lebih panjang. Pembebanan transformator berpengaruh terhadap temperatur minyaknya. Semakin besar bebannya maka semakin tinggi temperaturnya dan semakin rendah kecil bebannya maka semakin rendah temperaturnya. Pembebanan oleh transformator dan suhu sekitar berpengaruh terhadap temperatur, semakin besar beban dan suhu sekitar maka semakin tinggi temperatur pada transformator tersebut. Perkiraan umur transformator paling lama pada beban 70 % dengan standar IEC No. 60076 (20°C) keadaan siang lama pemakaian 8,3 tahun dan keadaan malam 11,7 tahun. Apabila ternyata transformator tidak bisa bekerja dengan beban 70% maka dari itu bisa menerima beban 80% agar menjaga transformator memiliki umur yang lebih panjang. Berdasarkan validasi menggunakan metoda *Fuzzy Logic* Pada beban 70% prediksi umur 8,3 tahun sedangkan untuk prediksi umur paling buruk pada beban 100% sebesar 4,8 tahun.

Kata Kunci : Perubahan Beban, *Life Time Transformer*, Suhu Sekitar

ABSTRACT

One of the factors affecting the service life of the transformer is the loading served by the transformer and the ambient temperature. Low temperature is seen at 70% load with IEC No. 60076 (20 °C), at day the temperature condition is 72.724 °C and at night the condition is 71.032 °C, and the high temperature is seen at 100% load with the average Indonesian temperature standard (33 °C) in the daytime with the state of 94.024°C. Indonesia's temperature is extreme enough to be balanced with low loading so that the transformer can last longer or have a longer life. Transformer loading affects the temperature of the oil. The greater the load, the higher the temperature while the lesser the load, the lower the temperature is. The transformer's temperature is affected by the transformer's load and the ambient temperature, so the greater the transformer's load and the ambient temperature, the higher the transformer's temperature. The longest life expectancy of the transformer at 70% load with IEC standard No. 60076 (20 °C) during the day conditions can last up to 8.3 years and at night conditions can reach 11.7 years. If it turns out that the transformer cannot work with 70% load then it can receive 80% load in order to keep the transformer have a longer life. Based on the validation using the Fuzzy Logic method, at 70% load the prediction age is 8.3 years, while for the worst age prediction at 100% load is 4.8 years.

Keywords: Load Changes, *Life Time Transformer*, Ambient Temperature

PENDAHULUAN

Transformator merupakan sebuah mesin untuk mengkonversikan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lain / sistem lainnya

dengan tegangan yang berbeda-beda tanpa ada perubahan frekuensi melalui medan magnet [1], [2]. Hampir semua sistem yang berkaitan dengan tenaga listrik menggunakan transformator, mulai

dari jaringan yang besar dan kompleks sampai yang kecil dan sederhana, sehingga dalam keadaan sesungguhnya tidak akan dijumpai transformator yang ideal [3]–[6].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penyusutan umur transformator yang dapat dibagi seperti bawah ini: 1). Analisa pengaruh suhu sekitar terhadap susut umur transformator daya 150/20 kV Gardu Induk Teluk Lembu. 2). Analisa usia pakai transformator daya 150/20 kV Gardu Induk Teluk Lembu

METODE PENELITIAN

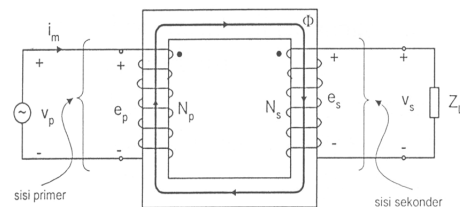
Gardu Induk adalah suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat yang terjadi perubahan dari saluran transmisi ke jaringan distribusi melalui transformator tenaga. Hampir semua sistem yang berkaitan dengan tenaga listrik menggunakan transformator, mulai dari jaringan yang besar dan kompleks sampai yang kecil dan sederhana, sehingga dalam keadaan sesungguhnya tidak akan dijumpai transformator yang ideal [7]–[9].

International Electrotechnical Commission (IEC) dalam bahasa pperancis menjadi *Commission élektrotechnique internationale* (CIE) adalah organisasi standarisasi internasional yang menyusun dan menerbitkan standar-standar internasional untuk seluruh bidang elektrik, elektronik dan teknologi yang terkait atau bidang teknologi elektro (*Electrotechnology*). Semboyan dari organisasi IEC adalah : “*Making Electrotechnology Work For You*”. Tujuan dari didirikannya IEC adalah standarisasi untuk teknologi elektrik, elektronik dan yang terkait dengannya. Lokasi kantor pusat IEC adalah di Genewa, Swiss sedangkan kantor perwakilannya berada di berbagai belahan dunia [10], [11].

Logika *fuzzy* ini didasarkan pada teori himpunan *fuzzy* yang merupakan pengembangan dari teori himpunan klasik. Logika *fuzzy* adalah metode pemetaan ruang masukan ke ruang keluaran. Ini juga disebut menyebarkan ambiguitas, kabur, atau ketidakjelasan. Dalam logika *fuzzy*, sesuatu dapat memenuhi satu atau lebih kategori dengan tingkat keanggotaan tertentu. Anda membutuhkan saluran tertentu yang harus dipenuhi saat mengambil keputusan. Dalam teori logika *fuzzy*, terdapat himpunan *fuzzy* dimana sesuatu dikelompokkan berdasarkan variabel linguistik yang dinyatakan sebagai fungsi keanggotaan. Dalam *Universe Of Discourse U*,

fungsi anggota himpunan *fuzzy* memiliki nilai antara 0 dan 1 [12]–[15]

Ketika kumparan primer diberi energi oleh arus bolak-balik (AC) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnet disekitarnya. Kekuatan medan magnet (*magnetic flux density*) dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang mengalir. Semakin besar arus listrik, semakin besar medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi disekitar kumparan pertama (primer) akan menginduks Gerak Gerak Listrik (GGL) pada kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi luapan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian terjadi perubahan level tegangan listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi dan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah [16]–[19].



Gambar 1. Rangkaian transformator sederhana

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Beban (Fb) dan rugi tembaga (Pcu) diperoleh dari persamaan :

$$F_b = \frac{p_r}{p_p}$$

$$P_{cu} = I^2 R$$

Dari persamaan diatas, maka diperoleh nilai rugi tembaga pada transformator sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rugi Tembaga Transformator

Bulan	Rugi Tembaga Transformator (Watt)	
	Siang	Malam
Januari	1.537,6	1.664,1
Februari	1.537,6	1.664,1
Maret	1.392,4	1.440,0
April	1.322,5	1.416,1
Mei	1.512,9	1.638,4
Juni	1.322,5	1.587,6
Juli	1.368,9	1.322,5
Jumlah	9.994,4	10.732,8

Perbandingan Rugi Transformator diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$d = \frac{9,9944 \text{ kW}}{100 \text{ kW}} = 0,010 \text{ (siang)}$$

$$d = \frac{10,7328 \text{ kW}}{100 \text{ kW}} = 0,107 \text{ (malam)}$$

Sementara kenaikan *Top Oil* didapat dengan cara:

$$\begin{aligned} \Delta\phi_b &= \Delta\phi_{br} \left[\frac{1+dK^2}{1+d} \right] \\ &= 40 \left[\frac{1+0,010(0,9)^2}{1+0,010} \right] \\ &= 40 \left[\frac{1,0081}{1,01} \right] \\ &= 39,924^\circ\text{C} \text{ (siang)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\phi_b &= \Delta\phi_{br} \left[\frac{1+dK^2}{1+d} \right] \\ &= 40 \left[\frac{1+0,107(0,9)^2}{1+0,107} \right] \\ &= 40 \left[\frac{1,0866}{1,107} \right] \\ &= 39,262^\circ\text{C} \text{ (malam)} \end{aligned}$$

Selanjutnya kenaikan temperatur *Hotspot* ($\Delta\phi_{cr}$) dengan siklus minyak alami:

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{cr} \text{ (alami)} &= \Delta\phi_{br} + 1.1 \Delta\phi_{wo} \\ &= 55 + 1.1 \times 6 \\ &= 61,6^\circ\text{C} \text{ (siang)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{cr} \text{ (alami)} &= \Delta\phi_{br} + 1.1 \Delta\phi_{wo} \\ &= 55 + 1.1 \times 4 \\ &= 59,4^\circ\text{C} \text{ (malam)} \end{aligned}$$

Kenaikan temperatur *hotspot* dengan siklus minyak paksaan

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{cr} \text{ (paksaan)} &= \Delta\phi_b + (\Delta\phi_{cr} \text{ (alami)} \\ &\quad - \Delta\phi_b) \\ &= 40 + (61,6 - 40) \\ &= 61,1 \text{ (siang)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{cr} \text{ (paksaan)} &= \Delta\phi_b + (\Delta\phi_{cr} \text{ (alami)} \\ &\quad - \Delta\phi_b) \\ &= 40 + (59,4 - 40) \\ &= 59,4 \text{ (malam)} \end{aligned}$$

Menentukan Perbandingan Suhu *Hotspot* dan *Top Oil* ($\Delta\phi_{td}$)

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{td} &= (\Delta\phi_{cr} - \Delta\phi_b) K^{2y} \\ &= (61,1 - 40)(0,7)^{2(0,7)} \\ &= (21,1) \times (0,60) \\ &= 12,80^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Suhu *hotspot* dan *top oil*

Waktu	Perbandingan suhu <i>hotspot</i> dan <i>Top Oil</i> ($^\circ\text{C}$)			
	70 %	80 %	90 %	100 %
Siang	12,80	14,76	17,45	21,1
Malam	11,77	13,57	16,04	19,4

Menentukan temperatur *Hotspot*

$$\begin{aligned} \phi_h &= \phi_a + \Delta\phi_{on} + \Delta\phi_{td} \\ &= 20 + 39,924 + 12,80 \\ &= 72,724^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Temperature *hotspot* ($^\circ\text{C}$)

	Temperatur ($^\circ\text{C}$)			
	70 %	80 %	90 %	100 %
Standar IEC-76	Siang			
	72,724	74,684	77,374	81,024
Rata-rata Suhu Indonesia	Siang 33 $^\circ\text{C}$			
	85,724	87,689	90,374	94,024
Standar IEC-76	Malam			
	71,032	71,032	71,032	71,032
Rata-rata Suhu Indonesia	Malam 29 $^\circ\text{C}$			
	80,032	80,032	80,032	80,032

Faktor Laju Penuan Isolasi (F_{AA}) diperoleh dengan persamaan

$$\begin{aligned} F_{AA} &= e^{\left[\frac{1500}{110+273} - \frac{1500}{\phi_h+273} \right]} \\ &= e^{\left[\frac{1500}{110+273} - \frac{1500}{72,724+273} \right]} \\ &= e^{[3,91-4,33]} \\ &= 0,657 \text{ (siang)} \end{aligned}$$

Susut umur transformator diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$t = \frac{V.T}{\text{Priode Waktu}} \quad (1)$$

Prediksi usia (umur) transformator yang diharapkan dapat bertahan 20 tahun oleh karena itu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L = \frac{1}{t} \times 20 \text{ tahun} \quad (2)$$

Perkiraan usia transformator menggunakan perhitungan persamaan berikut :

$$V = (2^{\phi_h - 98}) / 6$$

dengan asumsi $\phi_a = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ (3)

$$t = \frac{V.T}{\text{periode waktu}} = \frac{3,073 \times 24}{24} = 3,073$$

$$L = \frac{1}{t} \times 20 = \frac{1}{3,073} \times 20 = 6,5 \text{ Tahun}$$

Berdasarkan persamaan (1), (2), (3) maka untuk menentukan perkiraan umur transformator dapat menggunakan persamaan berikut :

Hasilnya sebagaimana terlihat pada Tabel 4 – 6, maupun Gambar 2 – 4.

$$V = 2^{\frac{(107,724 - 98)}{6}} = 3,073$$

Tabel 4. F_{AA} terhadap masing-masing Beban

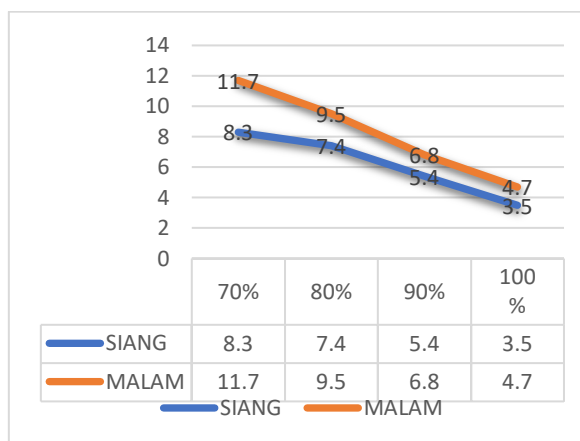
Suhu sekitar ($^\circ\text{C}$)	Nilai Faktor Laju Penuan Isolasi (pU)							
	Siang				Malam			
	70 %	80 %	90%	100%	70%	80%	90%	100%
Standar IEC-76	0,657	0,670	0,700	0,726	0,637	0,657	0,677	0,704
Rata-rata suhu	Siang 33 $^\circ\text{C}$				Malam 29 $^\circ\text{C}$			
Indonesia	0,763	0,786	0,810	0,843	0,718	0,733	0,755	0,786

Tabel 5. Hasil Perhitungan Umur Transformator

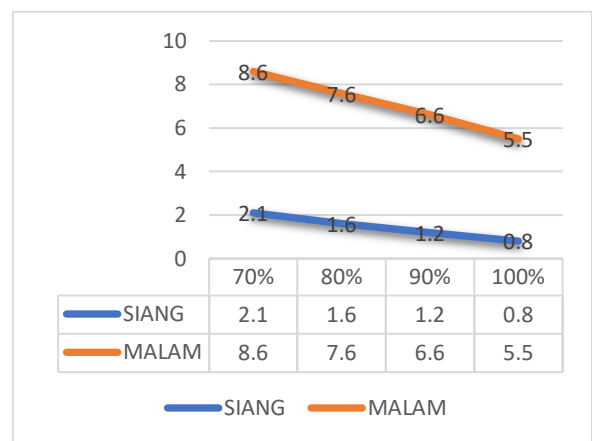
Suhu Sekitar ($^\circ\text{C}$)	Perkiraan Umur Transformator (Tahun)							
	Siang				Malam			
	70,00%	80,00%	90,00%	100%	70,00%	80,00%	90,00%	100%
Standar IEC-76 (20 $^\circ\text{C}$)	8,3	7,4	5,4	3,5	11,7	9,5	6,8	4,7
Rata-rata Suhu	Siang 33 $^\circ\text{C}$				Malam 29 $^\circ\text{C}$			
Indonesia	2,1	1,6	1,2	8 (bulan)	8,6	7,6	6,6	5,5

Tabel 6. Hasil Logika *Fuzzy Logic*

Suhu sekitar ($^\circ\text{C}$)	Perkiraan Umur Transformator dengan Waktu Dan Pembebanan (Tahun) Dengan Metoda <i>Fuzzy Logic</i>							
	Siang				Malam			
	70,00%	80,00%	90,00%	100%	70,00 %	80,00%	90,00%	100%
Standar IEC-76 (20 $^\circ\text{C}$)	8,3	7,4	5,4	3,5	11,7	9,5	6,8	4,7
Perkiraan logika fuzzy logic	8,3	7,3	5,6	3,8	11,6	9,6	6,9	4,8

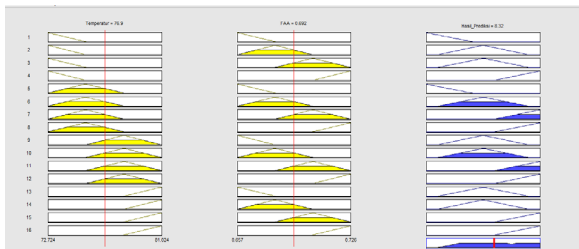


Gambar 2. Grafik hasil perhitungan standar IEC



Gambar 3. Grafik hasil perhitungan rata-rata suhu Indonesia

Validasi Perhitungan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*



Gambar 4. Hasil prediksi umur transformator dengan metoda fuzzy logic

KESIMPULAN

Saat suhu rendah pada beban 70% dengan standar IEC No. 60076 (20°C) keadaan siang sebesar 72,724°C dan keadaan malam sebesar 71,032°C dan suhu tinggi terlihat pada beban 100% dengan standar rata-rata suhu Indonesia (33°C) dalam keadaan siang sebesar 94,024 °C. Pembebanan transformator berpengaruh terhadap temperatur minyaknya. Semakin besar bebannya maka semakin tinggi temperaturnya dan semakin rendah bebannya maka semakin rendah temperaturnya. Pada beban 70 % dengan standar IEC No. 60076 (20°C) keadaan siang lama pemakaian 8,3 tahun dan keadaan malam hari 11,7 tahun.

Dengan menggunakan metoda *Fuzzy Logic* perkiraan umur transformator tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan. Pada beban 70% prediksi umur 8,3 tahun sedangkan untuk prediksi umur paling buruk pada beban 100% sebesar 4,8. Apabila transformator tidak bisa bekerja dengan beban 70% maka dari itu bisa menerima beban 80% agar menjaga transformator memiliki umur yang lebih panjang. Suhu di Indonesia yang kadang ekstrim harus pula diseimbangi dengan pembebanan yang rendah agar transformator berumur panjang. Usia pakai transformator sangat dipengaruhi oleh pembebanan dan suhu atau temperatur maka dari itu agar transformator dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang maka beban yang diterima harus dibatasi. Namun Karena beban yang meningkat penambahan kapasitas transformator perlu dilakukan agar memenuhi kebutuhan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. A. Y. Andika and A. Supardi, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Tenaga di Gardu Induk Palur 150 kV," Skripsi Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.

- [2] H. Eteruddin, Arlenny, H. Siswanto, Y. Z. Arief, and F. Hasanti, "Resetting the ground fault relay on a 28 MVA power transformer due to grounding method retrofit," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1041, no. 1, p. 12021, 2022.
- [3] IEC 60076-1, "IEC 60076 Power Transformer - Part 1: General," 2000.
- [4] IEC 60076-3, "IEC 60076 Power Transformer - Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air," 2000.
- [5] IEC 60076-4, "IEC 60076 Power Transformer - Part 4: Guide to the Lightning Impulse and Switching Impulse Testing," 2004.
- [6] IEC 60076-10, "IEC 60076-10 Power Transformers - Determination of Sound Levels," 2003.
- [7] S. Chakravorti, D. Dey, and B. Chatterjee, *Recent Trends in the Condition Monitoring of Transformers, Theory, Implementation and Analysis*. New York: Springer, 2013.
- [8] Pujiono, P. E. Pambudi, and Mujiman, "Analisis Pembebanan Terhadap Usia Pakai Transformator Tenaga Di Gardu Induk 150 kV," *Elektrikal*, vol. 3, no. 1, pp. 11–20, 2016.
- [9] S. Purnama, "Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga (Studi Kasus Transformator GTG 1.3 PLTGU Tambak Lorok Semarang). 1–8," 2011.
- [10] A. S. Gianto, C. G. Irianto, and D. Gianto, "Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 15–36, 2015.
- [11] Sofyan and A. Herawati, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7," *Amplifier*, vol. 5, no. 2, pp. 76–81, 2015.
- [12] IEC 60076-8, "IEC 60076-8 Power transformers - Application Guide," 2004.
- [13] M. R. Meshkatoddini, "Aging Study and Lifetime Estimation of Transformer Mineral Oil," *Am. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 384–388, 2008.
- [14] R. Jefysa, H. Eteruddin, and D. Setiawan,

- “Otomasi Pemakaian Energi Listrik Pada Ruang Perkuliahan Akademi Komunitas Negeri Pelalawan Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler,” in *Seminar Nasional Cendekiawan*, 2019, pp. 1–11.
- [15] C. R. Aritonang, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Putaran Motor Pada Electrical Submersible Pump (ESP) Menggunakan Fuzzy Logic Controler Berbasis Python,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [16] S. A. Nugroho, A. J. Taufiq, and D. N. K. Hardani, “Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Daya (Studi Kasus Pada PT. Sumber Segara Primadaya, Cilacap),” in *Seminar Nasioal Teknologi Terapan*, 2018, pp. 54–58.
- [17] IEC 60076-2, “IEC 60076-2 Power Transformers - Temperature Rise,” 1997.
- [18] O. D. E. Satriawan, “Analisa Pengujian Perbandingan Belitan Menggunakan Alat Transformer Turn Ratio Tester Pada Transformator Dengan Daya 1250 kVA,” Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2015.
- [19] R. Ondrialdi, U. Situmeang, and Zulfahri, “Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang,” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 72–81, 2022.