

Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan Dan Suhu Lingkungan

Setyo Adi Nugroho¹, Arif Johar Taufiq², Dian Nova Kusuma Hardani³
Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Makalah

Dikirim, 23 Februari 2019
Direvisi, 1 Juli 2019
Diterima,

Kata Kunci:

pembebanan transformator
suhu sekitar (ambient
temperature)
susut umur transformator

Keyword:

transformer load
ambient temperature
transformer shortening age

INTISARI

Transformator daya adalah peralatan penting pada sistem tenaga listrik khususnya pada penyaluran energi listrik. Dalam penyaluran energi listrik keberadaannya sangat berpengaruh terhadap kontinuitas pelayanan. Salah satu faktor yang mempengaruhi umur pemakaian transformator adalah panas yang timbul akibat pembebanan transformator dan suhu sekitar (ambient temperature). Pada penelitian ini dilakukan sebuah perhitungan dan analisis pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator daya pada PT. SUMBER SEGARA PRIMADAYA unit 1. Berdasarkan hasil dari penelitian ini diperoleh penyusutan umur transformator terbesar yaitu 0,197 per unit dengan perkiraan sisa umur sebesar 48,27 tahun dan penyusutan umur transformator terkecil yaitu 0,035 per unit dengan perkiraan sisa umur sebesar 266,89 tahun. Nilai perkiraan sisa umur tersebut masih diatas standarnya yaitu 20,55 tahun berdasarkan standar IEEE C57.91 1999, dengan mengetahui perkiraan sisa umur transformator tersebut maka dapat mencegah kerusakan dengan mengganti transformator sebelum terjadi kerusakan sehingga kontinuitas pelayanan tetap terjaga.

ABSTRACT

Power transformer is essential equipment on power system especially in the distribution of electrical energy. In the distribution of electrical energy, transformer existence is very influential towards the continuity of service. One of the factors that affect the condition of the transformer is the heat caused by transformer load and ambient temperature. In this research, a calculation and analysis of the effect of loading towards the age of transformer power is conducted at PT SUMBER SEGARA unit 1. Based on the results of this study, the largest transformer age shrinkage was 0.197 per unit with an estimated life span of 48.27 years and shrinkage of the smallest transformer age of 0.035 per unit with an estimated life span of 266.89 years. The estimated value of the remaining life is still above the standard of 20.55 years based on the IEEE C57.91 standard 1999, by knowing the estimated remaining life of the transformer it can prevent damage by replacing the transformer before damage occurs so that the continuity of service is maintained.

Korespondensi Penulis:

Setyo Adi Nugroho
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuh Waluh Purwokerto, 53182
Email: setyo0623@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis [1].

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik, transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini diharapkan transformator dapat bekerja secara terus menerus. Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka penggunaannya sangat perlu diperhatikan. Mulai dari pembebanan transformator, suhu minyak transformator, suhu kumparan transformator, posisi tap dan lain sebagainya. Hal ini dimaksudkan agar penggunaannya tidak melebihi parameter yang telah ditentukan, sehingga transformator daya dapat bekerja secara optimal dan mencegah susut umur dari transformator itu sendiri.

Pembebanan pada transformator daya berpengaruh terhadap temperatur dari belitan transformator daya tersebut yang berdampak pada naiknya temperatur top oil transformator. Hal tersebut menyebabkan laju penuaan yang semakin tinggi. Peristiwa tersebut dipengaruhi juga oleh suhu lingkungan (ambient temperature), berdasarkan SPLN : 17 suhu lingkungan (ambient temperature) yang diijinkan tidak boleh lebih dari 30° C [2].

Ada beberapa upaya untuk menjaga suhu transformator tetap stabil yaitu dengan berbagai jenis metode pendinginan antara lain ONAN, ONAF, OFAF, dan ODAF [3].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama tujuh hari mulai tanggal 8 Januari 2018 – 14 Januari 2018 pada transformator daya unit 1 PT. Sumber Segara Primadaya.

2.2. Prosedur Penelitian dan Analisis

a. Teknik Pengambilan Data

Data dari transformator yaitu pembebanan, suhu kumparan, suhu minyak diambil pada pukul 00.00 – 23.00 WIB, sedangkan data dari suhu lingkungan (ambient temperature) diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada waktu yang sama.

b. Analisis Data

Dari data yang sudah diperoleh maka dapat dilakukan perhitungan penurunan umur transformator dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dikeluarkan oleh IEC melalui standar IEC 60076-7 [3]. Adapun langkah dalam menghitung susut umur transformator sebagai berikut.

1. Menghitung Temperatur Hotspot
 - a. Sirkulasi Minyak Alami

$$[(\Delta\theta)]_{cr(alami)} = [(\Delta\theta)]_{br+1,3} \cdot [(\Delta\theta)]_{WO} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{cr(alami)}$ = Temperatur hotspot (°C)

$\Delta\theta_{br}$ = Suhu (55 °C untuk ON, dan 40 °C untuk OF)

$\Delta\theta_{WO}$ = Perbedaan antara kenaikan temperatur rata-rata kumparan dengan kenaikan temperatur rata-rata minyak

b. Sirkulasi Minyak Paksaan

$$[(\Delta\theta)]_{cr(paksaan)} = [(\Delta\theta)]_{br} + ([(\Delta\theta)]_{cr(alami)} - [(\Delta\theta)]_{br}) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- $\Delta\theta_{cr(paksaan)}$ = Temperatur hotspot (°C)
 $\Delta\theta_{br}$ = Suhu (55 °C untuk ON, dan 40 °C untuk OF)
 $\Delta\theta_{cr(alami)}$ = Kenaikan temperatur hotspot (°C)

2. Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil

a. Beban Stabil

$$\Delta\theta_{b(stabil)} = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+d.k^2}{1+d} \right)^x \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- $\Delta\theta_{b(stabil)}$ = Kenaikan temperatur *top oil* (°C)
 K = Ratio pembebanan
 d = (Rugi - rugi daya pada pengenal)/(Rugi beban nol)
 x = Konstanta (0,9 untuk ONAN dan ONAF; 1,0 untuk OFAF dan OFWF)
 $\Delta\theta_{br}$ = Suhu (55 °C untuk ON dan 40 °C untuk OF)

b. Beban Berubah

$$\Delta\theta_{b(berubah)} = \Delta\theta_{on(n-1)} + (\Delta\theta_{b(stabil)} - \Delta\theta_{o(n-1)}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- $\Delta\theta_{b(berubah)}$ = Kenaikan temperatur top oil (°C)
 $\Delta\theta_{on(n-1)}$ = Kenaikan temperatur awal minyak (°C)
 $\Delta\theta_{b(stabil)}$ = Kenaikan temperatur akhir minyak yang telah distabilkan, berhubungan dengan beban seperti dihitung dalam sub bab sebelumnya (°C)
 τ = Konstanta waktu minyak dalam jam (3 untuk ONAN dan ONAF; 2 untuk OFAF dan OFWF)
 t = Waktu dalam jam

3. Menghitung Kenaikan Temperatur Hotspot

a. Beban Stabil

$$\Delta\theta_{c(stabil)} = \Delta\theta_{br} + (\Delta\theta_{cr(alami)} - \Delta\theta_{br})k^{2.y} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- $\Delta\theta_{c(stabil)}$ = Kenaikan temperatur hotspot (°C)
 $\Delta\theta_{cr(alami)}$ = Temperatur hotspot (°C)
 K = Ratio pembebanan
 y = Konstanta (0,8 untuk ONAN dan ONAF; 0,9 untuk OFAF dan OFWF)
 $\Delta\theta_{br}$ = Suhu (55 °C untuk ON dan 40 °C untuk OF)

b. Beban Berubah

$$\theta_{c(berubah)} = \theta_a + \Delta\theta_{b(berubah)} + \Delta\theta_{td} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- $\theta_{c(berubah)}$ = Kenaikan temperatur hotspot (°C)
 θ_a = Temperatur ambient (suhu lingkungan sekitar) (°C)
 $\Delta\theta_{b(berubah)}$ = Kenaikan temperatur top oil (°C)
 $\Delta\theta_{td}$ = Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil (°C)

4. Selisih Temperatur antara *Hotspot* dengan *Top Oil*

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr(alami/paksaan)} - \Delta\theta_{br})k^{2.y} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{td}$ = Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil ($^{\circ}\text{C}$)

$\Delta\theta_{cr(\text{alami/paksaan})}$ = Temperatur hotspot ($^{\circ}\text{C}$)

$\Delta\theta_{br}$ = θ_{br} = Suhu (55°C untuk ON, dan 40°C untuk OF)

k = Ratio pembebanan

y = Konstanta (0,8 untuk ONAN dan ONAF; 0,9 untuk OFAF dan OFWF)

5. Menghitung Laju Penuaan Thermal Relatif

$$V = 10^{(\theta_c - 98)/19,93} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

V = Nilai relatif dari umur pemakaian

$\theta_{cr} = 98^{\circ}\text{C}$ menurut publikasi IEC 76 (1967)

6. Perhitungan Pengurangan Umur Transformator

$$L = \frac{1}{3.T} \cdot \{V_0 + \sum 4V_{odd} + \sum 2V_{even} + V_n\} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

L = Susut umur (per unit)

T = Waktu

V_{odd}, V_{even} = Laju penuaan thermal relatif.

V_{odd} untuk nilai V ganjil, V_{even} untuk nilai V genap.

7. Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Transformator

$$n = \frac{\text{Umur dasar (tahun)} - \text{lama transformator sudah dipakai (tahun)}}{\text{susut umur transformator (per unit)}} \dots\dots\dots (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan selama tujuh hari (8 Januari – 14 Januari 2018) di PT. Sumber Segara Primadaya unit 1 diperoleh data pembebanan transformator serta data suhu transformator. Selain data pembebanan transformator dan data suhu transformator, dibutuhkan juga data suhu lingkungan (*ambient temperature*) di PT. SUMBER SEGARA PRIMADAYA yang di peroleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. Data lengkap ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1. Data Pembebanan Transformator Daya Unit 1 PT. Sumber Segara Primadaya

Hari/Tanggal	Daya Terpasang (MW)	Daya Terpakai (MW)	Persentase Pembebanan (%)
Senin/8 Januari 2018	300	209,66	69,88
Selasa/9 Januari 2018	300	188,86	62,95
Rabu/10 Januari 2018	300	240,20	80,06
Kamis/11 Januari 2018	300	236,46	78,82
Jum'at/12 Januari 2018	300	228,99	76,33
Sabtu/13 Januari 2018	300	174,26	58,08
Minggu/14 Januari 2018	300	171,01	57

Tabel 3.2. Data Suhu Minyak, Suhu Kumparan, dan Suhu Lingkungan

Hari/Tanggal	Suhu Kumparan (°C)	Suhu Minyak (°C)	Suhu Lingkungan (°C)
Senin/8 Januari 2018	48,84	44,41	31,8
Selasa/9 Januari 2018	47,90	43,88	27,1
Rabu/10 Januari 2018	53,76	47,96	30,8
Kamis/11 Januari 2018	53,83	48,05	31,5
Jum'at/12 Januari 2018	53,97	48,12	29
Sabtu/13 Januari 2018	47,54	44,08	33,9
Minggu/14 Januari 2018	45,72	42,59	32,8

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk perhitungan usia transformator digunakan persamaan (1) sampai dengan persamaan (10), sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3. Hasil Perhitungan Susut Umur Transformator

No.	Persentase Pembebanan	K	V	L	Sisa Umur (tahun)
1	69,88	0,69	0,066	0,103	92,41
2	62,95	0,62	0,026	0,061	156,56
3	80,06	0,8	0,121	0,171	55,59
4	78,82	0,78	0,121	0,197	48,27
5	76,33	0,76	0,078	0,135	70,70
6	58,08	0,58	0,044	0,048	198,05
7	57	0,57	0,036	0,035	266,89

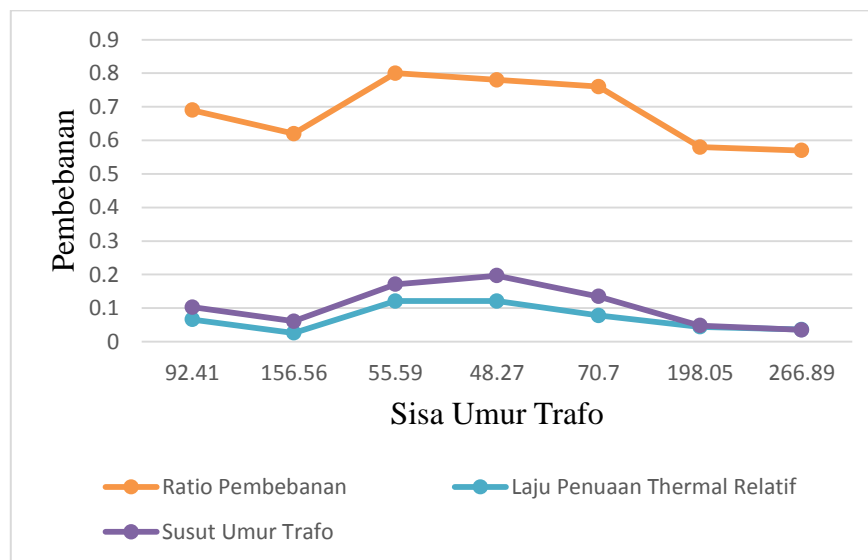
Keterangan :

K = Ratio pembebanan

V = Laju penuaan *thermal* relatif

L = Perkiraan susut umur transformator daya

Jika diubah dalam bentuk grafik, maka diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 3.1. Grafik Susut Umur Trafo

Dari grafik pada Gambar 3.1 di atas dapat diketahui bahwa pembebanan yang lebih rendah dari daya terpasang akan mengakibatkan nilai laju penuaan thermal (V) yang rendah dan nilai susut umur transformator (L) yang rendah. Sedangkan pembebanan yang semakin tinggi akan mengakibatkan nilai laju penuaan thermal (V) dan nilai susut umur transformator (L) yang tinggi pula. Pengaruh suhu sekitar atau *ambient temperature* terhadap susut umur transformator sangat berpengaruh, karena pada umumnya suhu sekitar untuk transformator berkisar 20° C sampai 38° C (IEC 354). Temperatur sekitar atau *ambient temperature* menentukan perubahan temperatur *hotspot*. Semakin besar temperatur sekitar maka semakin besar temperatur *hotspot*, begitu pula sebaliknya.

3.1. Analisis Umur dan Pembebanan Transformator

Pembebanan transformator adalah besar kecilnya beban yang harus dipikul untuk memenuhi kebutuhan konsumen tenaga listrik. Pada Tabel 3.3 dapat dilihat bahwa besarnya faktor pembebanan (K) berbanding lurus dengan sisa umur transformator.

Pembebanan transformator daya 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.

Susut umur transformator (L) paling besar yaitu 0,197 per unit, dengan rasio pembebanan sebesar 78,82. Suhu lingkungan (*ambient temperature*) sebesar 31,5° C dan suhu minyak bagian atas (*temperature top oil*) sebesar 33,56° C. Sedangkan susut umur transformator (L) paling kecil yaitu 0,03 per unit, dengan rasio pembebanan sebesar 57. Suhu lingkungan (*ambient temperature*) sebesar 32,8° C dan suhu minyak bagian atas (*temperature top oil*) sebesar 29,67° C.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Suhu kumparan dan minyak transformator berbanding lurus dengan pembebanan transformator daya. Semakin tinggi nilai pembebanan transformator daya maka suhu kumparan dan minyak semakin tinggi pula juga sebaliknya.
- Nilai kenaikan temperatur hotspot adalah parameter penting untuk memperoleh perkiraan susut umur transformator. Nilai kenaikan temperatur hotspot dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan (*ambient temperature*) dan perubahan suhu minyak bagian atas (*top oil temperature*).
- Susut umur transformator dipengaruhi oleh penuaan isolasi belitan dan minyak transformator yang diakibatkan oleh pembebanan transformator dan juga suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*).
- Semakin tinggi pembebanan maka semakin besar nilai susut umur dari transformator tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zuhail., “*Dasar Tenaga Listrik*”, ITB, 1991.
- [2] Sigid, Purnama., “*Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Transformator Tenaga*”, Universitas Diponegoro, 2011.
- [3] Ishaq M. Taufiq., “*Transformer Hotspot Temperature Calculation Using IEEE Loading Guide*”, Manchester. University of Manchester, 2015.
- [4] IEC 60076., “*Power Transformer*”, IEC Publication, 1976.