



Analisis Perubahan Temperatur Lilitan terhadap Daya Keluaran Transfomator Unit 2 DI PLTP Kamojang

SEKAR KINASHI , TEGUH ARFIANTO

Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email : sekarkinash66@gmail.com

ABSTRAK

Kenaikan temperatur lilitan mengakibatkan adanya rugi daya atau kehilangan daya pada lilitan. Jika kenaikan temperatur berada diatas standar isolasi, maka akan menyebabkan kerusakan pada lilitan dan memperpendek umur transformator. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil dan menganalisis besar rugi daya pada lilitan akibat temperatur lilitan transformator. Metode pengukuran temperatur lilitan dan temperatur minyak dibutuhkan sensor suhu (termokopel) yang dipasang pada lilitan dan minyak transformator. Untuk pengukuran beban dibutuhkan trafo arus dan trafo tegangan. Hasil yang didapat berdasarkan hasil dari penelitian ini rugi daya terbesar yaitu 184,786 kW pada temperatur lilitan 74,04 °C dan rugi daya terkecil yaitu 181,317 kW pada temperatur lilitan 68,25°C. Hasil pengukuran lilitan transformator berada dibawah standar kelas isolasi yaitu 80°C menurut standar IEC 1.0 Perkiraan sisa umur transformator akibat perubahan temperatur transformator yaitu 23 tahun.

Kata kunci: *Transformator, temperatur, beban, rugi daya, umur*

ABSTRACT

If the temperature rise is above the insulation standard, it will cause damage to the windings and shorten the life of the transformator. This research aims to obtain results and analyze the amount of power loss in the windings due to the temperature of the transformer winding. The method of measuring winding temperature and oil temperature requires a temperature sensor (thermocouple) mounted on the winding and transformer oil. For load measurement, current and voltage transformers are needed. Based on the results of this study, the largest power loss is 184.786 kW at a winding temperature of 74.04°C and the smallest power loss is 181.317 kW at a winding temperature of 68.25°C. The measurement results of the transformator winding were below the standard of the isolation class, namely 80°C according to the IEC 1.0 standard. The estimated remaining life of the transformator due to changes in transformator temperature was 23 years.

Keywords: *Transformer, temperature, load, power loss, life times*

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor utama dari pemantauan kondisi operasi transformator adalah temperatur internal, khususnya temperatur pada kumparan dan temperatur minyak atas. Temperatur yang tinggi dapat berakibat mempengaruhi penuaan isolasi dan masa guna transformator tersebut. Nilai-nilai pada temperatur kumparan dan minyak dapat memberikan diagnosa pada kondisi transformator dan untuk indikasi adanya kemungkinan kelainan, mengurangi resiko kerusakan yang fatal dan menghindari masalah operasi darurat .

Menurut **(Soewono, 2017)** dan buku rujukan dari **(Wildi, 2002)**, temperatur kumparan dan minyak di dalam transformator akan terpengaruh, berbanding lurus dengan naik turunnya beban dan heat losses transformator akan terpengaruh, berbanding lurus dengan naik turunnya temperature kumparan. Referensi tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan temperatur lilitan terhadap daya keluaran (beban) dan hubungan rugi daya lilitan terhadap temperatur lilitan. Besar temperatur lilitan akan mempengaruhi besar susut umur transformator **(Nugroho, 2019)**. Menurut **(Srinivasan, 2012)** yang membahas resistansi pada posisi tap changer akan mempengaruhi kenaikan temperatur lilitan, semakin tinggi resistansi pada tap changer maka semakin tinggi temperatur lilitan transformator. Dan menurut **(Grady, 1988)** menjelaskan cara menghitung rugi daya lilitan terhadap temperatur lilitan kenaikan temperature lilitan (winding) sebanding dengan besar rugi daya belitan.

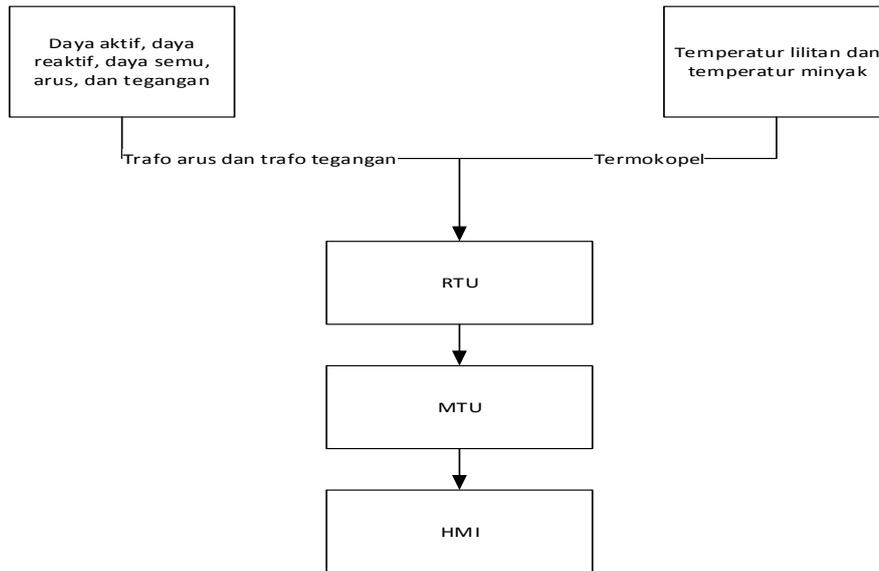
Menurut **IEC International Standard 60044-1** membahas batasan kenaikan temperature lilitan transformator berdasarkan kelas isolasi. Pada laporan ini menggunakan transformator dengan kelas isolasi lilitan B dan batasan kenaikan temperaturnya 85°C.

Berdasarkan uraian diatas, tujuan penulis melakukan penelitian di PT Indonesia Power PLTP Kamojang yaitu untuk memperoleh hasil dan menganalisis pengaruh temperature lilitan transformator terhadap perubahan daya keluaran transformator, pengaruh minyak transformator terhadap daya keluaran transformator, dan pengaruh rugi daya lilitan terhadap temperatur, serta cara mengatasi kenaikan temperatur lilitan stator sehingga dapat menjaga kehandalan transformator unit 2 di PLTP Kamojang.

2. METODOLOGI

2.1. Pengukuran Data

Gambar 1 menunjukkan cara pengukuran pada generator unit 2 di PLTP Kamojang. Pada pengukuran beban dibutuhkan input data arus dan tegangan yang berasal dari trafo arus dan trafo tegangan pada sisi sekunder yang besarnya telah diperkecil. Besar tegangan dan arus akan diteruskan ke Remote Terminal Unit (RTU). Pada proses RTU, besaran tegangan dan arus akan dikonversi dari analog menjadi digital dan data-data tersebut akan diolah menjadi besaran beban. Hasil dari pengolahan data dari RTU dikirimkan ke Master Terminal Unit (MTU) untuk diterjemahkan dan akan ditampilkan dengan menggunakan Human Machine Interface (HMI). Pada pengukuran temperatur lilitan dan temperatur minyak dibutuhkan sensor suhu (termokopel) yang dipasang pada lilitan trafo dan minyak trafo. Besar temperatur lilitan dan temperatur minyak akan diteruskan ke Remote Terminal Unit (RTU). Pada proses RTU, besaran temperatur lilitan dan temperatur minyak akan dikonversi dari analog menjadi digital dan data-data tersebut akan diolah. Hasil dari pengolahan data dari RTU dikirimkan ke Master Terminal Unit (MTU) untuk diterjemahkan dan akan ditampilkan dengan menggunakan Human Machine Interface (HMI).



Gambar 1. Pengukuran pada transformator unit 2 di PLTP Kamojang

Tabel 1. Data transformator unit 2 pada tanggal 15-21 Februari 2020

Tanggal	Beban (MW)	Arus (A)			Posisi Tap	Temperature Lilitan (°C)	Temperature Minyak (°C)
		R	S	T			
15	52,83	208,75	209,71	212,63	3	73,83	45,60
16	52,60	211,25	211,63	216,79	1	74,04	47,96
17	53,24	213,54	213,96	219,50	2	72,44	45,92
18	53,08	213,00	213,71	219,00	2	70,33	43,92
19	52,78	211,54	212,25	217,33	2	68,25	43,71
20	52,85	210,25	210,83	216,38	2	72,54	45,81
21	52,89	208,96	201,21	214,50	5	70,48	43,85

(Tim Instrumentasi PLTP Kamojang, 2020)

Dari Tabel 1 diperoleh hasil pengukuran transformator unit 2 PLTP Kamojang disajikan dalam bentuk tabel setiap jam untuk mengamati kinerja pada transformator unit 2. Untuk pengambilan data pada laporan penulis, logsheet pada tanggal 15-21 Februari 2020 yang setiap tanggalnya dirata-ratakan data-data yang diperlukan menjadi data satu tanggal.

2.2. Pengolahan Data

2.2.1. Rugi Tembaga

Untuk menghitung besar rugi daya belitan sebanding kenaikan temperature lilitan (winding) dengan menggunakan persamaan (Grady, 1988).

$$P_{cu} = P_{dc} \left[\frac{234.5 + T}{234.5 + T_0} \right] \tag{1}$$

Dimana:

- P_{cu} : Rugi daya lilitan pada temperature (kW)
- P_{dc} : Rugi daya pada temperature (kW)

T : Temperature lilitan (°C)
 T_o : Temperature referensi (°C)

2.2.2. Susut umur dan prediksi sisa umur transformator

Berikut cara menghitung susut umur dan prediksi sisa umur transformator di PLTP Kamojang sebagai berikut (Soewono, 2017).

- **Rasio Pembebanan**

$$K = \frac{S}{S_r} \quad (2)$$

S = beban transformator (VA)
 S_r = kapasitas beban transformator (VA)

- **Menghitung Kenaikan Temperatur Hotspot**

- **Sirkulasi Minyak Alami**

$$\Delta\theta_{cr} \text{ (alami)} = \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{WO} \quad (3)$$

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

- **Menghitung Kenaikan Temperatur Top Oil**

- **Beban Stabil**

$$\Delta\theta_{b(\text{stabil})} = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+d \cdot K^2}{1+d} \right)^x \quad (5)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{b}$ (stabil) : Kenaikan temperatur top oil (°C)
 d : (Rugi - rugi daya pada pengenalan)/(Rugi beban nol)
 x : Konstanta 0,9 (ONAN & ONAF) 1,0 (OFAF & OFWF)

- **Beban Berubah**

$$\Delta\theta_{b(\text{berubah})} = \Delta\theta_{on(n-1)} + (\Delta\theta_{b(\text{stabil})} - \Delta\theta_{on(n-1)}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (6)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{b(\text{berubah})}$: Kenaikan temperatur top oil (°C)
 $\Delta\theta_{on(n-1)}$: Kenaikan temperatur awal minyak (°C)
 t : Waktu dalam jam
 τ : Konstanta waktu minyak dalam jam (3 (ONAN & ONAF) 2 (OFAF & OFWF))

- **Menghitung Temperatur Hotspot**

$$\theta_c \text{ (berubah)} = \theta_a + \Delta\theta_b \text{ (berubah)} + \Delta\theta_{td} \quad (7)$$

Keterangan :

θ_c (berubah) : Kenaikan temperatur hotspot (°C)
 θ_a : Temperatur ambient (suhu lingkungan sekitar) (°C)

- **Selisih Temperatur antara Hotspot dengan Top Oil**

$$\Delta\theta_{td} = \Delta\theta_{cr} \text{ (alami/paksaan)} - \Delta\theta_{br})K^{2 \cdot y} \quad (8)$$

Keterangan :

$\Delta\theta_{td}$: Selisih temperatur antara hotspot dengan top oil (°C)
 Y : Konstanta 0,9 (ONAN & ONAF) 1,0 (OFAF & OFWF)

- **Menghitung Laju Penuaan Termal Relatif**

$$V = 10^{(\theta_c - 98)/19.93} \quad (9)$$

Keterangan :

V : Nilai relatif dari umur pemakaian

- **Merhitung Pengurangan Umur Transformator**

$$L = \frac{1}{3T} (V_o + \sum 4V_{odd} + \sum 2V_{even} + Vn) \quad (10)$$

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.

- **Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Transformator**

$$n = \frac{\text{umur dasar (tahun)} - \text{lama transformator dipakai (tahun)}}{\text{susut umur transformator (p.u)}} \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN.

3.2 Analisis Perubahan Temperatur Lilitan Akibat Daya Keluaran, Temperatur Minyak, dan Tap Changer

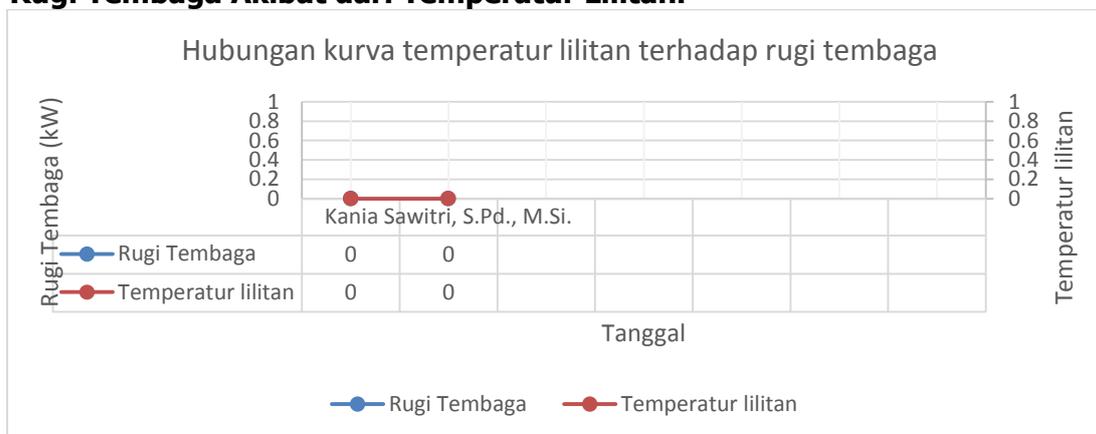
Tabel 2 menjelaskan bahwa semakin besar beban, semakin tinggi temperatur lilitannya dan temperatur minyak. Pada tanggal 17-19 Februari 2020 saat beban berada di 53,24 MW turun menjadi 52,78 MW, tetapi temperatur lilitannya turun dari 72,44°C menjadi 68,25°C dan temperature minyaknya turun dari 45,92°C menjadi 43,71°C. Kemudian pada tanggal 20 Februari 2020 terjadi kenaikan beban menjadi 52,85 MW, diikuti kenaikan temperature lilitan sebesar 72,54°C dan temperature minyak sebesar 45,81°C. Berdasarkan referensi dari **(Srinivasan, 2012)**, semakin besar resistansi maka, semakin tinggi temperature lilitan dan temperature minyak pada transformator. Pada tanggal 15-16 Februari 2020 terjadi penurunan beban dari 52,83 MW ke 52,60 MW tetapi terjadi kenaikan temperature lilitan

sebesar 73,83°C ke 74,04°C dan temperatur minyak sebesar 45,60°C ke 47,96°C. Hal ini dikarenakan resistansi pada tap changer yang mengalami kenaikan sebesar 0,3608Ω ke 0,3713Ω. Pada tanggal 16-17 Februari 2020 terjadi kenaikan beban dari 52,60 MW ke 53,24 MW, tetapi terjadi penurunan temperature lilitan sebesar 74,04°C ke 72,44°C dan temperatur minyak sebesar 47,96°C ke 45,92°C. Hal ini dikarenakan resistansi pada tap changer yang mengalami penurunan sebesar 0,3713Ω ke 0,3659Ω. Sama halnya pada tanggal 20-21 Februari 2020. berdasarkan standar **(IEC 60044-1 ,2003)**, temperatur lilitan transformator masih berada di bawah standar temperatur maksimum kelas isolasi B sehingga dikategorikan dalam kondisi yang baik.

Tabel 2. Perubahan Temperatur Lilitan Akibat Daya Keluaran, Temperatur Minyak, dan Tap Changer

Tanggal	Beban (MW)	Temperature Lilitan (°C)	Temperature Minyak (°C)	Posisi Tap	Resistansi Tap Changer (Ω)
15	52,83	73,83	45,60	3	0,3608
16	52,60	74,04	47,96	1	0,3713
17	53,24	72,44	45,92	2	0,3659
18	53,08	70,33	43,92	2	0,3659
19	52,78	68,25	43,71	2	0,3659
20	52,85	72,54	45,81	2	0,3659
21	52,89	70,48	43,85	5	0,3506

3.3 Rugi Tembaga Akibat dari Temperatur Lilitan.



Gambar 2. Kurva Hubungan kurva temperatur lilitan terhadap rugi tembaga

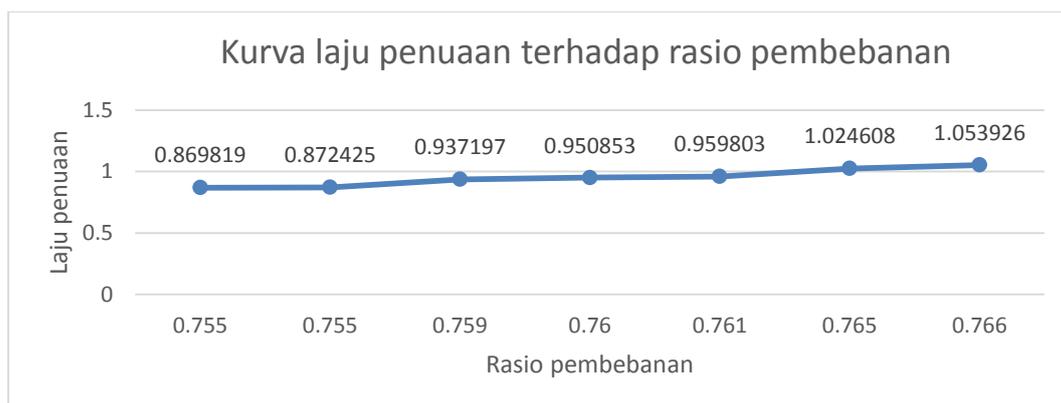
Gambar 2 menunjukkan hasil perhitungan pada tanggal 16-19 Februari 2020 terjadi penurunan temperature lilitan sebesar 74,04°C ke 68,25°C yang diikuti rugi tembaga sebesar 184,786 kW ke 181,317 kW. Kemudian pada tanggal 20 Februari 2020 terjadi kenaikan temperature lilitan sebesar 72,54°C dan rugi tembaga sebesar 183,888 kW.

3.4. Analisis Susut Umur Akibat dari Pembebanan, Temperatur Minyak, dan Temperatur Lilitan serta Prediksi Umur.

Tabel 3. Susut Umur Akibat dari Pembebanan, Temperatur Minyak, dan Temperatur Lilitan

Tanggal	S (MVA)	K	d	$\Delta\theta_b(\text{stabil})$ (°C)	$\Delta\theta_b(\text{berubah})$ (°C)	$\Delta\theta_c(\text{stabil})$ (°C)	$\Delta\theta_{td}$ (°C)	θ_c (°C)	V
15	52,866	0,755	6,799	36,053	36,068	39,069	33,725	96,793	0,869819
16	52,879	0,755	6,804	36,064	36,079	39,082	33,740	96,819	0,872425
17	53,638	0,766	6,768	36,822	36,838	39,918	34,617	98,455	1,053926
18	53,517	0,765	6,722	36,719	36,734	39,803	34,476	98,210	1,024608
19	53,148	0,759	6,676	36,374	36,389	39,420	34,050	97,439	0,937197
20	53,223	0,760	6,771	36,413	36,427	39,466	34,136	97,564	0,950853
21	53,253	0,761	6,725	36,459	36,474	39,515	34,171	97,645	0,959803

Tabel 3 merupakan hasil perhitungan susut umur akibat perubahan temperatur lilitan transformator. Disajikan dalam bentuk tabel pada tanggal 15-21 februari untuk mengamati kinerja pada transformator unit 2.



Gambar 3. Kurva laju penuaan terhadap rasio pembebanan

Berdasarkan Gambar 3 pada tanggal 17-19 Februari 2020 terjadi penurunan rasio pembebanan sebesar 0,766 ke 0,759 yang diikuti dengan penurunan laju penuaan sebesar 1,053926 ke 0,937197. Kemudian pada tanggal 16-17 Februari 2020 terjadi kenaikan rasio pembebanan sebesar 0,755 ke 0,766 yang diikuti dengan penurunan laju penuaan sebesar 0,872425 ke 1,053926. Sehingga besar rasio pembebanan berbanding lurus dengan besar laju penuaan. Diperkirakan sisa umur transformator unit 2 di PLTP Kamojang yaitu 23 tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini temperatur terbesar akibat dari beban trafo pada temperatur lilitan yaitu 72,44°C dan temperatur minyak 45,92°C dengan beban trafo yaitu 53,24 MW dan temperatur terkecil akibat dari beban yaitu 68,25°C dan temperatur minyak 43,71°C dengan beban trafo yaitu 52,78 MW. Kemudian hasil dari penelitian ini temperatur terbesar akibat dari resistansi tap changer trafo pada temperatur lilitan yaitu 74,04°C dan temperatur minyak 47,96°C dengan resistansi tap changer trafo yaitu 0,3713 Ω dan

temperatur terkecil akibat dari beban yaitu 70,48°C dan temperatur minyak 43,85°C dengan beban trafo 0,3506 Ω.

Hasil dari rugi daya terbesar yaitu 184,786 KW pada temperatur lilitan 74,04 °C dan rugi daya terkecil yaitu 181,317 KW pada temperatur lilitan 68,25°C. Hasil pengukuran lilitan transformator berada dibawah standar kelas isolasi yaitu 80°C menurut standar **(IEC 60044-1 ,2003)**. Perkiraan sisa umur transformator akibat perubahan temperatur transformator yaitu 23 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak PT Indonesia Power PLTP Kamojang yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian dan memberikan sampel data.

DAFTAR RUJUKAN

- Grady, W. (1988). *Calculation of Winding Temperatures in Distribution Transformers Subjected to Harmonic Currents*. Texas: IEEE.
- International Electrotechnical Commission. (2003). *International Standard, IEC 60044-1*.
- Nugroho, Setyo A. (2019). *Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan Dan Suhu Lingkungan*. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Soewono, S. (2017). *Pengaruh Penambahan Pendingin Air pada Transformator Daya untuk Pembebanan*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- Srinivasan, M. (2012). *Hot Resistance Estimation for Dry Type Transformer Using Multiple Variable Regression, Multiple Polynomial Regression and Soft Computing Techniques*. Tamilnadu: IEEE.
- Tim Instrumentasi PLTP Kamojang. (2020). *Hasil Pengukuran Transformator Unit 2 di PLTP Kamojang*. Kamojang: PLTP Kamojang
- Wildi, T. (2002). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth Edition*. New Jersey: Prentice hall.

Pertanyaan :

Apakah yang bisa dilakukan untuk meminimalisir kenaikan temperature lilitan?

Jawaban :

Menggunakan pendingin trafo, karena Gardu Induk berada di daerah yang cukup dingin, sehingga pendinginnya menggunakan sistem ONAN

Pertanyaan:

Apakah kenaikan temperature dapat mempengaruhi sisa umur trafo?

Jawaban :

ya, apabila tidak dilakukan pemeliharaan dan monitoring