

Analisis Pengaruh Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 MVA Unit 1 dan 2 Di GI 150 kV Kalisari

Ali Maruf¹, Yohanes Primadiyono²

^{1,2} Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang
alimaruf10@gmail.com, primasigma@mail.unnes.ac.id

Abstrak- Transformator tenaga merupakan peralatan penting pada gardu induk, karena berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Susut umur transformator dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah pengaruh dari pembebanan, pembebanan pada transformator mengakibatkan meningkatnya temperatur belitan, sehingga berdampak pada naiknya temperatur minyak. Kenaikan temperatur pada transformator juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan sekitar transformator beroperasi. Panas yang berlebihan pada transformator dapat merusak isolasi dan mengubah viskositas dari minyak trafo. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembebanan dan temperatur terhadap susut umur transformator. Berdasarkan data penelitian, diperoleh nilai faktor beban transformator 1 sebesar 0,55 dan transformator 2 sebesar 0,48. Temperatur hotspot transformator 1 sebesar 92,66°C dan transformator 2 sebesar 87,62°C, hasil tersebut tidak melebihi batas suhu yang diizinkan yaitu 98°C. Hasil perhitungan susut umur transformator 1 dan 2 di Gardu Induk Kalisari didapatkan nilai laju penuaan transformator 1 sebesar 0,54 pu dan laju penuaan transformator 2 sebesar 0,31 pu. Sehingga berdasarkan perhitungan, sisa umur transformator 1 yaitu 11,1 tahun dan sisa umur transformator 2 diperkirakan 19,3 tahun.

Kata Kunci: Transformator, Beban, Temperatur, Susut Umur

Abstract - Power transformers are important equipment at substations, because their function is transmitting electrical energy from power plants to consumers. The transformer's loss of life influenced by several factors. One of them is the effect of loading; the loading on the transformer resulting an increase in the winding temperature, and the outcome is increasing the oil temperature. The increasing temperature in the transformer is also influenced by the temperature around the operating transformer environment. Excessive heat in the transformer can damage the insulation and change the viscosity of transformer's oil. This study aims to analyze the effect of the loading and temperature on the transformer's loss of life. Based on the researcher's data, the value of the load factor for transformer 1 is 0.55 and transformer 2 is 0.48. Hotspot temperature for transformer 1 is 92.66 ° C and transformer 2 is 87.62 ° C, these results do not exceed the allowable temperature limit which is 98 ° C. The results of the calculation of the 1 and 2 transformers' loss of life at the Kalisari substation reveal that the average rate of usage span from transformer 1 is 0.54 pu as for the transformer 2 is 0.31 pu. So, based on the calculation, the remaining span of transformer 1 is 11.1 years and transformer 2 is estimated to be 19.3 years.

Keywords: Transformer, Load, Temperature, Loss of life

I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik karena berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit sampai ke konsumen dengan cara menurunkan tegangan beban. Dalam sistem operasi penyaluran energi listrik, transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi sehingga diharapkan dapat bekerja secara terus menerus dan mempunyai masa guna yang sesuai dengan perkiraan masa guna dari transformator tersebut.

Umur transformator dapat berkurang dipengaruhi oleh banyak faktor. Salah satu faktor penyebab dari berkurangnya umur transformator adalah pengaruh dari pembebanan, pembebanan yang berlebih dapat mengakibatkan peningkatan temperatur transformator sehingga dapat

menimbulkan panas dari trafo. Panas mengakibatkan kerusakan pada isolasi transformator sehingga dapat mempercepat proses penuaan umur transformator.

Kenaikan temperatur pada transformator tenaga dipengaruhi oleh temperatur dari dalam transformator itu sendiri dan temperatur dari lingkungan sekitar transformator tersebut beroperasi. Temperatur yang meningkat dari dalam transformator disebabkan oleh besarnya pembebanan yang ditanggung oleh transformator sehingga timbul panas dari belilitan, hal tersebut dapat mengakibatkan temperatur minyak pada transformator juga meningkat. Menurut Krisnadi (2011) bahwa "Temperatur yang sangat tinggi pada belitan akan mengakibatkan kerusakan pada isolasi dan kenaikan temperatur tersebut dapat mengubah sifat isolator minyak trafo yang mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun

dan penurunan kemampuan tingkat isolasi berpengaruh kepada masa guna dari transformator tersebut”.

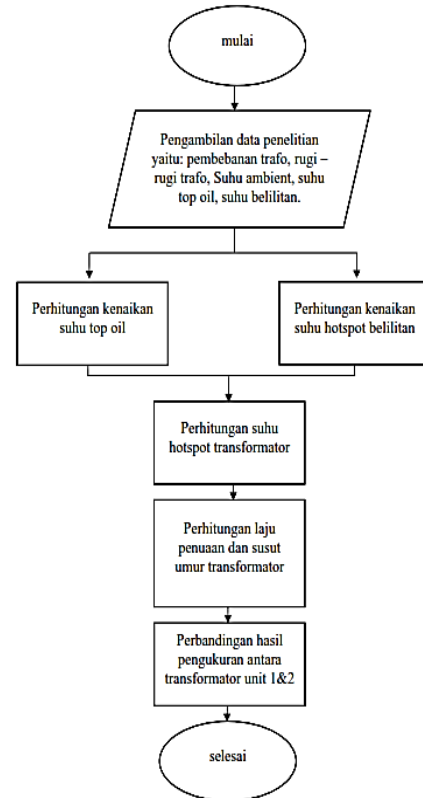
Faktor lain penyebab penuaan pada isolasi transformator atau berkurangnya umur transformator adalah karena pengaruh thermal. Pengaruh thermal dapat dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, temperatur minyak serta pola pembebanan transformator. Dengan kondisi iklim tropis di Indonesia dan adanya perubahan peningkatan beban, hal ini dapat mengakibatkan peningkatan temperatur transformator yang berlebihan bahkan bisa sampai melewati batas toleransi yang ada. Menurut Wuwung (2010) Transformator jenis terendam-minyak yang digunakan di Indonesia, dibuat dan dirancang berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission) yang ditetapkan menjadi standar PLN. (SPLN 17A:1979). Berdasarkan standar IEC, transformator dirancang untuk dibebani sepenuhnya selama 24 jam, dengan batas aman temperatur hot spot transformator sebesar 98°C.

Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia minyak transformator selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terlarut yang berada dalam minyak transformator, serta penurunan kualitas minyak isolasi yang diakibatkan degradasi warna, dan tegangan tembus. 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.

Berdasarkan pernyataan diatas, untuk mengupayakan agar umur dari transformator dapat bekerja secara terus menerus dan mempunyai masa guna yang sesuai dengan perkiraan masa guna dari transformator tersebut, maka sebaiknya perlu adanya studi untuk mengetahui pengaruh pembebanan dan temperatur terhadap nilai akhir temperatur hotspot transformator yang berakibat pada susut umur dari transformator tersebut.

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tipe penelitian kuantitatif. Menurut Sugiyono (2015:8) metode penelitian kuantitatif merupakan “Metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrument penelitian, analisis data bersifat kuantitatif atau statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan”. Dalam penelitian ini banyak menggunakan angka dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data, serta penampilan dari hasilnya.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data langsung yang akan digunakan sebagai proses dasar untuk menentukan penyusutan umur transformator daya akibat pembebanan. Data-data tersebut adalah data pembebanan transformator, suhu kumparan dan minyak transformator, dan suhu lingkungan

Dalam pengambilan data pada penelitian ini dengan beberapa cara, yaitu studi literatur berupa data sheet transformator tenaga unit 1 & 2 di Gardu Induk Kalisari Semarang, data tersebut berupa rugi beban total, rugi tanpa beban serta kenaikan temperatur top oil terhadap temperatur ambient. Selanjutnya yaitu dengan cara pengukuran untuk memperoleh beban harian, faktor beban, suhu ambient, suhu top oil dan suhu belilitan serta data hasil uji kualitas minyak isolasi berupa warna, uji DGA dan tegangan tembus pada transformator. Teknik pengumpulan data ini dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah dalam perhitungan pengaruh pembebanan dan temperatur terhadap susut umur transformator. Data pengukuran diambil setiap jam 10.00. waktu tersebut diambil karena merupakan waktu beban puncak pemakaian listrik.

III. PEMBAHASAN

Berdasarkan Penelitian yang telah dilakukan pada tanggal 1 sd 31 Agustus 2020 di Gardu Induk Kalisari Semarang, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk penyajian data yang sesuai dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya.

A. Analisis Perhitungan Susut Umur Transformator 1

TABEL 1. PEMBEBANAN DAN TEMPERATUR TRANSFORMATOR I

Tanggal	MVA	Temperatur (°C)		
		Minyak	Belilitan	Ambient
1	28,3	53	63	33
2	27,3	54	62	32
3	28,4	54	63	33
4	28,3	55	64	33
5	28,3	53	64	33
6	27,9	53	64	34
7	29,0	53	63	32
8	29,8	52	62	33
9	27,0	52	62	33
10	32,8	54	64	33
11	32,8	54	64	32
12	34,6	55	64	34
13	38,0	54	64	33
14	37,0	53	64	32
15	29,2	53	63	34
16	28,2	52	63	31
17	31,0	52	63	33
18	37,7	55	64	32
19	39,3	55	64	33
20	39,8	54	64	33
21	37,6	55	65	32
22	29,8	53	64	33
23	27,9	53	63	32
24	42,4	52	63	34
25	46,4	53	63	33
26	41,1	55	65	31
27	37,2	55	65	32
28	38,3	54	64	33
29	29,5	53	64	32
30	27,5	52	63	33
31	39,7	55	64	33

Data Transformator 1

Merek	: XIAN
Kapasitas	: 60 MVA
Tegangan	: 150 / 20 kV
Sistem Pendingin	: ONAF
Rugi Tembaga	: 246,75 kW
Rugi Beban Nol	: 44 kW
Temperature Rise Oil	: 53°C
Tahun Operasi	: 1996

Perhitungan Data

Faktor beban merupakan perbandingan antara besarnya rata-rata daya semu untuk selang waktu satu bulan (S) terhadap daya semu rating transformator (Sr).

Faktor beban trafo 1 dapat dicari menggunakan persamaan dibawah ini,

$$K = \frac{S}{S_r} \quad (1)$$

$$K = \frac{33,34}{60} = 0,55$$

Berdasarkan hasil penelitian, nilai rugi-rugi transformator 1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$R = \frac{\text{rugi total}}{\text{rugi tanpa beban}} \quad (2)$$

$$R = \frac{246,75}{44} = 5,6 \text{ kW}$$

Perhitungan data untuk mencari nilai kenaikan suhu minyak top oil transformator 1 pada bulan Agustus, Sebelum

menentukan nilai kenaikan suhu top oil, terlebih dahulu menentukan nilai kenaikan awal suhu top oil ($\Delta\theta_{TO,i}$) dengan menggunakan persamaan 3 dibawah ini,

$$\Delta\theta_{TO,i} = \Delta\theta_{TO,R} \left[\frac{(K^2R+1)}{(R+1)} \right]^n \quad (3)$$

$$\Delta\theta_{TO,i} = 53 \left[\frac{(0,55^2 \cdot 5,6+1)}{(5,6+1)} \right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_{TO,i} = 22,79^\circ\text{C}$$

Berdasarkan perhitungan kenaikan awal suhu top oil ($\Delta\theta_{TO,i}$) diatas, sehingga dengan menggunakan persamaan 4 didapat hasil kenaikan suhu top oil transformator I,

$$\Delta\theta_{TO} = (\Delta\theta_{TO,u} + \theta_A - \Delta\theta_{TO,i}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{TO}}} \right) + \Delta\theta_{TO,i} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{TO} = (54,4 + 32,7 - 22,79) \left(1 - e^{-\frac{1}{2}} \right) + 22,79$$

$$\Delta\theta_{TO} = 48,51^\circ\text{C}$$

Dalam menentukan nilai kenaikan suhu hotspot transformator 1 dengan persamaan 5, maka harus menentukan nilai g, yaitu selisih antara temperatur rata-rata belitan dengan temperatur rata-rata minyak pada rating beban. Berdasarkan hasil pengukuran dideskripsi data, nilai g = 63,19 – 40 = 23,19, sehingga nilai temperatur belilitan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$\Delta\theta_H = H \cdot g \cdot K^{2m} \quad (5)$$

$$\Delta\theta_H = 1,3 \cdot 23,19 \cdot 0,55^{1,6}$$

$$\Delta\theta_H = 11,45$$

Berdasarkan hasil perhitungan kenaikan suhu top oil dan kenaikan suhu hotspot transformator 1, maka total suhu hotspot dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (6)$$

$$\theta_H = 32,7 + 48,51 + 11,45$$

$$\theta_H = 92,66^\circ\text{C}$$

Dalam menentukan susut umur transformator, dengan menghitung laju penuaan thermal relatif dengan rumus pada persamaan

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

$$V = 10^{(95,29 - 98)/19,93}$$

$$V = 0,54$$

Selanjutnya menghitung nilai pengurangan umur transformator (L), Dengan asumsi nilai laju penuaan thermal relatif tidak berubah pada interval waktu, maka dapat disimpulkan V = L. Perhitungan sisa umur transformator 1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur}}$$

$$n = \frac{30 - 24}{0,54}$$

$$n = 11,1 \text{ tahun}$$

B. Analisis Perhitungan Susut Umur Transformator 2

TABEL 2. PEMBEBANAN DAN TEMPERATUR TRANSFORMATOR 2

Tanggal	MVA	Temperatur (°C)		
		Minyak	Belilitan	Ambient
1	27,8	51	59	33
2	24,2	50	59	32
3	31,1	51	60	33
4	31,4	52	61	33
5	32,1	52	61	33
6	33,2	52	61	34
7	26,3	52	60	32
8	24,2	51	59	33
9	30,2	50	60	33
10	31,4	52	61	33
11	31,2	52	61	32
12	30,1	52	61	34
13	29,8	52	61	33
14	25,5	52	60	32
15	25,4	51	60	34
16	30,8	50	59	31
17	28,6	50	60	33
18	28,4	51	61	32
19	29,7	51	61	33
20	30,7	51	61	33
21	26,3	50	60	32
22	25,5	50	60	33
23	25,5	52	60	32
24	28	51	61	34
25	28,1	52	61	33
26	28,7	52	60	31
27	32	52	61	32
28	40,5	52	61	33
29	27,6	51	60	32
30	25,6	50	60	33
31	29,9	51	61	33

Data Transformator 2

Merek : XIAN
 Kapasitas : 60 MVA
 Sistem Pendingin : ONAF
 Rugi Tembaga : 246,75 kW
 Rugi Beban Nol : 44 kW
 Temperature Rise Oil : 53°C
 Tahun Operasi : 1996

Perhitungan Data

Faktor beban transformator 2 pada bulan Agustus dapat dihitung menggunakan persamaan 1

$$K = \frac{S}{S_r}$$

$$K = \frac{29,25}{60} = 0,487$$

Nilai rugi-rugi transformator 2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2

$$R = \frac{\text{rugi total}}{\text{rugi tanpa beban}}$$

$$R = \frac{246,75}{44} = 5,6 \text{ kW}$$

Perhitungan data untuk mencari nilai kenaikan suhu minyak *top oil* transformator 2 pada bulan Agustus, Sebelum menentukan nilai kenaikan suhu *top oil*, terlebih dahulu

menentukan nilai kenaikan awal suhu *top oil* ($\Delta\theta_{TO,i}$) dengan menggunakan persamaan 3 dibawah ini,

$$\Delta\theta_{TO,i} = \Delta\theta_{TO,R} \left[\frac{(K^2 R + 1)}{(R + 1)} \right]^n$$

$$\Delta\theta_{TO,i} = 53 \left[\frac{(0,48^2 \cdot 5,6 + 1)}{(5,6 + 1)} \right]^{0,9}$$

$$\Delta\theta_{TO,i} = 20,77^\circ\text{C}$$

Berdasarkan perhitungan kenaikan awal suhu *top oil* ($\Delta\theta_{TO,i}$) sehingga dengan menggunakan persamaan 4 didapat hasil kenaikan suhu *top oil* transformator 2,

$$\Delta\theta_{TO} = (\Delta\theta_{TO,u} + \theta_A - \Delta\theta_{TO,i}) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau\theta_0}} \right) + \Delta\theta_{TO,i}$$

$$\Delta\theta_{TO} = (52,54 + 32,7 - 20,77) \left(1 - e^{-\frac{1}{2}} \right) + 20,77$$

$$\Delta\theta_{TO} = 46,52^\circ\text{C}$$

Dalam menentukan nilai kenaikan suhu *hotspot* transformator 2 dengan persamaan 5, maka harus menentukan nilai g, yaitu selisih antara temperatur rata-rata belitan dengan temperatur rata-rata minyak pada rating beban. Berdasarkan hasil pengukuran dideskripsi data, nilai g = 61,41 – 40 = 21,41, sehingga nilai temperatur belilitan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$\Delta\theta_H = H \cdot g \cdot K^{2m}$$

$$\Delta\theta_H = 1,3 \cdot 21,41 \cdot 0,48^{1,6}$$

$$\Delta\theta_H = 8,6$$

Berdasarkan hasil perhitungan kenaikan suhu *top oil* dan kenaikan suhu *hotspot* transformator 2, maka total suhu *hotspot* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H$$

$$\theta_H = 32,7 + 46,52 + 8,6$$

$$\theta_H = 87,82$$

Dalam menentukan susut umur transformator, dengan menghitung laju penuaan thermal relatif dengan rumus pada persamaan

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

$$V = 10^{(87,82 - 98)/19,93}$$

$$V = 0,31$$

Selanjutnya menghitung nilai pengurangan umur transformator (L), Dengan asumsi nilai laju penuaan thermal relatif tidak berubah pada interval waktu, maka dapat disimpulkan V = L. Sisa umur transformator 2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$n = \frac{\text{umur dasar} - \text{lama transformator sudah dipakai}}{\text{susut umur}}$$

$$n = \frac{30 - 24}{0,31}$$

$$n = 19,3 \text{ tahun}$$

C. Pengaruh Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator

Penurunan masa guna transformator tidak lepas pengaruhnya dari nilai temperatur akhir dari *hotspot*, karena

nilai akhir dari temperatur *hotspot* akan mempengaruhi daya tahan isolasi dari transformator.

Kenaikan temperatur akhir *hotspot* juga dipengaruhi dari keadaan saat transformator melayani beban. Terdapat keadaan yang sebisa mungkin dihindari dalam pembebanan transformator, yaitu pembebanan dalam keadaan darurat dimana transformator melayani beban melewati batas dari kemampuannya, hal tersebut dapat menyebabkan temperatur akhir dari *hotspot* juga melewati batas normal yang telah ditetapkan dan ini sangat mempengaruhi keadaan dari isolasi transformator. Ketika semakin tinggi nilai teperatur akhir *hotspot* pada transformator, maka akan semakin tinggi juga pengurangan masa guna transformator.

TABEL 3. PERBANDINGAN SUSUT UMUR TRAF0

	Trafo I	Trafo II
Faktor Beban	0,55	0,48
Temperatur Belilitan	63,1°C	61,4°C
Temperatur Minyak	54,4°C	52,5°C
Total <i>Hotspot</i>	92,66°C	87,62°C
Laju Penuaan	0,54 pu	0,31 pu
Sisa Umur	11,1 Tahun	19,3 Tahun

Dari Tabel 3 diatas membuktikan bahwasanya semakin tinggi nilai pembebanan dan temperatur pada transformator, maka dapat semakin tinggi nilai total *hotspot* pada transformator yang dapat menyebabkan semakin cepatnya kerusakan isolasi pada transformator dan mengakibatkan semakin cepatnya penurunan masa guna transformator. Hal itu juga dibuktikan dengan kualistas minyak transformator, dari hasil uji minyak transformator menunjukkan bahwa kualitas minyak pada transformator 2 sedikit lebih baik daripada kualitas minyak transformator 2.

IV. PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui analisis pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan data penelitian diperoleh nilai faktor beban transformator 1 dan 2 di Gardu Induk 150 kV Kalisari pada bulan Agustus tahun 2020 sebesar 0,55 untuk transformtor 1 dan 0,48 untuk transformator 2. Pembebanan pada transformator berpengaruh terhadap susut umur transformator. pembebanan pada transformator dapat menyebabkan timbul panas pada belilitan trafo, semakin meningkatnya pembebanan transformator maka akan semakin meningkat juga temperatur pada kumparan serta minyak trafo.
2. Berdasarkan data penelitian diperoleh nilai akhir temperatur *hotsopt* transformator 1 dan 2 di Gardu Induk 150 kV Kalisari sebesar 92,66°C untuk transformator 1 dan transformator 2 sebesar 87,62°C. nilai temperatur

ambient, top oil, dan belilitan berpengaruh terhadap susut umur transformator. Semakin besar niali temperatur ambient, top oil dan belilitan maka dapat menyebabkan semakin besar juga niali akhir *hotspot* transformator yang dapat mempengaruhi susut umur transformator.

3. Hasil perhitungan susut umur transformator 1 dan 2 di Gardu Induk Kalisari didapatkan nilai laju penuaan transformator 1 sebesar 0,54 pu dan laju penuaan transformator 2 sebesar 0,31 pu. Sehingga sisa umur transformator 1 berdasarkan perhitungan yaitu sekitar 11,1 tahun dan sisa umur transformator 2 bedasarkan perhitungan sebesar 19,3 tahun.

Saran

Pada penulisan skripsi ini terdapat saran untuk memperbaiki penelitian selanjutnya. Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam pengoperasian transformator perlu selalu diperhatikan nilai pembebanan dan temperatur sesuai dengan standar yang ditentukan, sehingga transformator dapat terjaga dan bertahan lama dalam pengopersian.
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya, agar penelitian atau pengembangan selanjutnya dapat mengambil data setiap jam sekali, agar dapat dilihat berapa lama umur transformator bertahan saat pemakaian beban yang paling tinggi.
3. Pada penelitian selanjutnya agar didapatkan hasil yang lebih akurat dalam menganalisa nilai total temperatur *hotspot* terhadap susut umur transformator maka dapat menggunakan sistem pemodelan pada *software Matlab*

REFERENSI

- IEC, Loading Guide For Oil Immersed Transformer, IEC Publication, 1972.
- IEEE Std C57.91. 1995. IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers.
- H. Harlow James: Electric Power Transformer Engineering Second Edition. 2004
- Kadir, Abdul. Transformator edisi ketiga. 2010. Jakarta: UI-Press
- Krisnadi, D.I. 2011. Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Masa Guna Dan Pembebanan Darurat Transformator Daya. Tesis. Program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok
- 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.
- Rahmat, M. 2011. Remaining Life Assessment Transformator 150 / 20kv dengan Metode Degradasi Isolasi (Aplikasi Gardu Induk Titi Kuning). Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Rizki, & Sartoni. 2014. Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150/20KV di Gardu Induk

- Ungaran. Skripsi. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Sigid, Purnama. 2011. Analisa Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Transformator Tenaga. Semarang. Skripsi. Universitas Diponegoro.
- Singgih, & Berahim. 2009. Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC Pada Minyak Transformator. Skripsi. Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- SPLN No 17 Tahun 1979 Standart Perusahaan Umum Listrik Negara, 3 Desember 1979. Departemen Pertambangan dan Energi. Jakarta.
- Sugiyono. (2015). Metode Penelitian Pendidikan. Bandung: Alfabeta.
- Tambunan, J. M. 2015. Kerja Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur. Sekolah Tinggi Teknik-PLN.
- Wuwung, J. O. 2010. Pengaruh pembebanan terhadap kenaikan suhu pada belitan transformator daya jenis terendam minyak. 07(52), 29–39.