

ANALISIS PEMBEBANAN TERHADAP USIA PAKAI TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK 150 KV

Pujiono¹, Prastyono Eko Pambudi², Mujiman³

¹Mahasiswa, ²Pembimbing 1, ³Pembimbing 2

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi Akprind
Yogyakarta*

Jl. Kalisahak 28 Komplek Balapan, Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 563029 E-mail: pujiono1950@gmail.com

INTISARI

Pembebanan transformator dan suhu sekitar berpengaruh terhadap temperatur minyaknya, semakin besar beban dan suhu sekitar maka semakin tinggi temperatur pada transformator tersebut. Penurunan kemampuan isolasi pada belitan transformator diakibatkan oleh pemanasan dari pembebanan dan suhu sekitar yang mengakibatkan menyusutnya usia pakai transformator.

Setelah melakukan analisis di Gardu Induk Purworejo pada bulan Februari 2016 transformator tenaga 60 MVA menunjukkan susut umur 1.213 p.u/hari pada sistem pendingin ONAN dan 0.012 p.u/hari pada sistem pendingin ONAF. Sistem pendingin ONAN/ONAF memberikan keuntungan menjaga suhu transformator tetap rendah dan lebih hemat dalam pemakaian energi listrik karena dalam menggerakkan kipas dan pompa minyak tidak terus menerus.

Kata kunci: transformator tenaga, pembebanan, suhu sekitar, susut umur.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sejalan dengan berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan tentu membuat kebutuhan terhadap listrik juga semakin meningkat, dengan perkembangan yang pesat ini sudah semestinya diikuti dengan perbaikan kualitas dan keandalan energi listrik yang dihasilkan.

Dalam penyaluran tenaga listrik salah satu peralatan yang memiliki peran vital adalah transformator tenaga. Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan yang lebih tinggi ke

tegangan rendah atau sebaliknya. Karena fungsi transformator yang begitu penting maka peralatan ini diusahakan agar tidak terjadi gangguan dan memiliki usia pakai yang panjang agar dapat lebih lama digunakan. Beberapa faktor penyebab berkurangnya usia pakai atau kerusakan transformator pada isolasinya antara lain adalah suhu sekitar, suhu minyak tranformator dan pola pembebanan.

Tujuan

Tugas akhir ini memiliki tujuan untuk menganalisis penyusutan umur pada isolasi belitan transformator yang dapat dibagi seperti dibawah ini:

1. Untuk menganalisis pengaruh pembebanan terhadap penyusutan umur

- transformator tenaga Gardu Induk 150 Kv Purworejo.
2. Mengetahui pengaruh suhu sekitar terhadap susut umur transformator tenaga Gardu Induk 150 Kv Purworejo.
 3. Mengetahui susut umur transformator tenaga 60 MVA Gardu Induk 150 Kv Purworejo.
 4. Menentukan usia pakai transformator tenaga Gardu Induk 150 Kv Purworejo.

Batasan Masalah

Batasan masalah dalam menganalisis pengaruh pembebanan terhadap usia pakai transformator tenaga adalah sebagai berikut:

1. Transformator tenaga merupakan transformator jenis terendam minyak.
2. Kualitas minyak transformator tidak dibahas dalam tugas akhir ini.
3. Penyusutan umur dilihat dari isolasi pada kumparan transformator saja.
4. Tugas akhir ini hanya menganalisis pembebanan transformator tenaga dan pengaruh suhu sekitar terhadap usia pakai transformator.
5. Penelitian dilaksanakan pada transformator tipe pasang luar Gardu induk 150 Kv Purworejo.

Tinjauan Pustaka

Pemanasan pada belitan transformator dapat mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat serta komposisi minyak transformator. Apabila perubahan perubahan tersebut dibiarkan akan mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun, maka suhu minyak transformator baik yang memasuki ataupun meninggalkan radiator perlu dicatat setiap hari agar apabila terjadi gangguan harus diketahui sedini mungkin karena transformator tenaga merupakan bagian yang vital dalam sistem tenaga listrik, seperti dikatakan oleh Syafriyudin (2011:89) bahwa transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik, transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi.

Susut umur transformator dipengaruhi oleh isolasi belitan transformator dan minyak transformator. Salah satu kerusakan atau kegagalan isolasi dari minyak transformator diakibatkan dari perubahan suhu dan pembebanan pada transformator tenaga terendam minyak tersebut. Abdul Kadir (2000:174) mengatakan, “karena beban itu berlangsung lama, suhu transformator akan secara berangsur-angsur naik. Dan kenaikan suhu itu secara lambat laun akan dapat merusak keadaan isolasi transformator”.

Pertumbuhan beban yang terus meningkat akan menimbulkan masalah pada sistem yang beroperasi, baik pada keandalannya maupun pada kualitas penyaluran daya dari sistem tersebut. Untuk mengevaluasi sistem yang terpasang sehingga sistem akan tetap dapat beroperasi dalam batas-batas yang telah ditentukan maka diperlukan suatu analisa aliran beban yang juga berpengaruh terhadap keseimbangan beban yang terpasang pada jaringan listrik. (Rishal Asri, 2013)

LANDASAN TEORI

Pengertian Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan daya atau tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator dalam menyalurkan daya menggunakan prinsip hukum Faraday dan hukum Lorentz, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi tersebut akan menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan akan terjadi beda potensial. Dalam transformator arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi sehingga pada inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga

pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial.

Bagian-Bagian Transformator Tenaga

Transformator terdiri dari :

- a. Bagian Utama.
 - Inti besi
 - Kumparan Transformator
 - Bushing
 - Tangki Konservator
- b. Peralatan Bantu.
 - Pendingin
 - Tap Changer
 - Alat pernapasan
 - Indikator: Thermometer, permukaan minyak
- c. Peralatan Proteksi.
 - Rele Bucholz
 - Rele tekanan lebih (*Sudden Pressure Relay*)
 - Rele Differensial (*Differential Relay*)
 - Rele arus lebih (*Over current Relay*)
 - Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)
 - Rele thermis (*Thermal Relay*)
 - Arrester

Minyak Transformator

Minyak transformator selain berfungsi sebagai media isolasi juga memiliki fungsi sebagai media pendingin serta pelindung belitan dari korosi dan oksidasi. Beberapa minyak transformator yang sering dijumpai di lapangan adalah minyak transformator jenis diala A, diala B dan Mectrans.

Untuk menjalankan fungsinya sebagai isolasi, pendingin dan pelindung belitan maka minyak transformator yang baik harus memenuhi persyaratan berikut:

- Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak transformator harus *Class 1 & 2* yaitu untuk minyak baru dan belum difilter > 30 kV/2,5 mm dan setelah difilter yaitu > 50 kV/2,5 mm.
- Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.

- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak *class 1* saat suhu 40° C adalah < 16,5 cSt.
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 *Flash point* (titik nyala) minyak transformator di atas 163°C dan *Pour point* (titik tuang) adalah di bawah - 30°C.
- Tidak merusak bahan isolasi padat.

Pendingin Transformator

Suhu transformator ketika beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada transformator, dan suhu lingkungan sekitar. Suhu operasi yang tinggi dapat merusak isolasi pada transformator maka dari itu pendingin sangat diperlukan.

Tabel 1. Sistem Pendingin Transformator

No	Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi paksa	Sirkulasi alamiah	Sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Pengaruh Pembebanan Terhadap Transformator Tenaga

1. Kondisi Untuk Nilai Daya Tertentu

a. Sirkulasi Minyak Alami

Kenaikan temperatur rata-rata kumparan (diukur dengan tahanan) = 65 °C
 Kenaikan temperatur top oil ($\Delta\theta_{br}$) = 55 °C
 Kenaikan temperatur rata-rata minyak = 44 °C

Perbedaan antara kenaikan temperatur rata-rata kumparan dan kenaikan rata-rata temperatur minyak ($\Delta\theta_{wo}$) = 21 °C

Kenaikan temperatur hotspot ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr} &= \Delta\theta_{br} + 1,1 \Delta\theta_{wo} \dots\dots\dots 1 \\ &= 55 + 23 \\ &= 78 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

b. Sirkulasi Minyak Paksaan

Kenaikan temperatur hot spot ($\Delta\theta_{cr}$) disusun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{cr} &= \Delta\theta_b + (\theta_{cr} - \theta_b) \dots\dots\dots 2 \\ &= 40 + 38 \\ &= 78 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

2. Kondisi Untuk Beban Stabil

a. Kenaikan temperatur top oil

Kenaikan temperatur ini sepadan dengan kenaikan temperatur top oil pada nilai daya yang dikalikan ratio dari total kerugian dengan eksponen x .

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right)^x \dots\dots\dots 3$$

Keterangan

$$d = 5$$

x = konstanta (sesuai IEC 76)

$$x = 0,9 \text{ (ONAN dan ONAF)}$$

$$x = 1,0 \text{ (OF AF dan OFWF)}$$

b. Kenaikan temperatur hotspot

Kenaikan temperatur hotspot $\Delta\theta_{cr}$ untuk beban yang stabil dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \dots\dots\dots 4$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Keterangan:

$$\Delta\theta_{cr} = 78 \text{ }^\circ\text{C}$$

y = konstanta

$$y = 0,8 \text{ (ONAN dan ONAF)}$$

$$y = 0,9 \text{ (OF AF dan OFWF)}$$

3. Kondisi Untuk Beban Berubah-Ubah

a. Kenaikan temperatur top oil

Kenaikan temperatur top oil $\Delta\theta_{on}$ pada waktu t setelah pemberian beban adalah

sangat mendekati untuk kenaikan eksponensial sebagai berikut:

$$\Delta\theta_{on} = \Delta_{(n-1)} + (\Delta\theta_b - \Delta\theta_{o(n-1)}) (1 - e^{-t/\tau}) \dots\dots\dots 5$$

Keterangan:

$\Delta_{(n-1)}$ = kenaikan temperatur awal minyak

$\Delta\theta_b$ = kenaikan temperatur akhir minyak

τ = konstanta waktu minyak dalam jam

$\tau = 3$ (ONAN dan ONAF)

$\tau = 2$ (OF AF dan OFWF)

t = waktu dalam jam

b. Kenaikan temperatur hotspot

Kenaikan temperatur hotspot pada waktu tertentu sebelum kondisi distabilkan adalah mendekati perkiraan dengan asumsi bahwa kenaikan temperatur hotspot diatas adalah kenaikan temperatur top oil yang terbentuk dengan seketika. Kenaikan temperatur hotspot pada waktu tertentu dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_b + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y} \dots\dots\dots 6$$

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_{br} \left(\frac{1+dK^2}{1+d} \right) + (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

Nilai relatif dari umur pemakaian

Dalam menentukan nilai relatif dari umur pemakaian sebuah transformator tenaga dapat menggunakan hubungan Montsinger. Hubungan Montsinger sekarang telah digunakan untuk memperoleh nilai relatif dari umur pemakaian pada temperatur θ_c , dibanding dengan nilai normal dari umur pemakaian pada temperatur θ_{cr} .

$$V = 10^{(\theta_c - \theta_{cr})/19,93} \dots\dots\dots 7$$

dengan:

V = nilai relatif dari umur pemakaian
 $\theta_{cr} = 98 \text{ }^\circ\text{C}$ menurut publikasi IEC 76.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Untuk dapat melakukan perhitungan maka diperlukan sejumlah data masukan sebagai berikut:

Data Transformator

Merk : UNINDO
 Tipe : P060LE673
 Tahun operasi : 2011
 Daya pengenal : 36 / 60 MVA
 Rating tegangan : 150 / 20 kV
 Frekuensi : 50 Hz
 Tipe pendingin : ONAN/ONAF
 Temp. rise winding : 55°C
 Temp. rise oil : 50°C

Data Temperatur

Temperatur rata – rata harian : 27,2 °C
 Temperatur harian maksimum Februari 2016 : 32,1 °C
 Temperatur harian maksimum 2015: 30,6 °C

Data Pembebanan

Untuk data pembebanan diambil setiap beban puncak pada bulan Februari 2016 yang dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Data beban harian pukul 19.00 Februari 2016

TGL	19:00			
	MW	MVAR	Temp (°C)	
			Oil	Wind
1	18	5.7	50	52
2	30.1	9.7	49	51
3	30.9	10.1	52	54
4	31.2	10	48	50
5	18	5.7	47	49
6	32.2	10.7	56	55
7	32.3	10.6	58	57
8	31.2	10.6	55	54
9	31.5	10.1	55	55
10	31.2	10.1	41	45
11	31.3	10.1	40	44
12	31.8	10.4	54	55
13	31.5	10.3	55	55
14	32.1	10.5	58	57
15	31.4	10.4	58	57
16	31.7	10.3	52	54
17	32.2	11	58	57
18	32.9	11.2	60	59
19	33.1	11.3	60	60
20	32.6	11.3	53	55
21	32.4	10.8	56	56
22	32.2	10.5	60	59
23	32.5	10.7	56	56
24	32.8	10.9	57	56
25	30	9.9	60	59
26	30.5	10	58	57
27	29.5	9.7	54	55
28	22.1	6.6	48	49
29	29.1	9.1	46	48

Berdasarkan data tabel 2 diatas maka dapat diperoleh daya semu (S) dengan persamaan $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Beban daya semu bulan Februari 2016

Tgl	P (MW)	Q (MVAR)	S (MVA)
1	18	5.7	18.88
2	30.1	9.7	31.62
3	30.9	10.1	32.51
4	31.2	10	32.76
5	18	5.7	18.88
6	32.2	10.7	33.93
7	32.3	10.6	33.99
8	31.2	10.6	32.95
9	31.5	10.1	33.07
10	31.2	10.1	32.79
11	31.3	10.1	32.88
12	31.8	10.4	33.45
13	31.5	10.3	33.14
14	32.1	10.5	33.77
15	31.4	10.4	32.39
16	31.7	10.3	33.33
17	32.2	11	34.02
18	32.9	11.2	34.75
19	33.1	11.3	34.97
20	32.6	11.3	34.5
21	32.4	10.8	34.15
22	32.2	10.5	33.86
23	32.5	10.7	34.21
24	32.8	10.9	34.56
25	30	9.9	31.59
26	30.5	10	32.09
27	29.5	9.7	31.05
28	22.1	5.7	22.82
29	29.1	9.7	30.67

Setelah diketahui nilai daya semu maka faktor beban (K) dapat dicari dengan persamaan $K = \frac{S}{S_r}$ dimana S_r merupakan daya pengenal sesuai *nameplate* transformator 36 untuk ONAN dan 60 Untuk ONAF.

Tabel 4. Faktor beban bulan Februari 2016

Tgl	S (MVA)	Faktor beban ONAN (p.u)	Faktor beban ONAF (p.u)
1	18.88	0.524	0.314
2	31.62	0.878	0.527
3	32.51	0.903	0.541
4	32.76	0.91	0.546
5	18.88	0.524	0.314
6	33.93	0.942	0.565
7	33.99	0.944	0.566
8	32.95	0.915	0.549
9	33.07	0.918	0.551
10	32.79	0.91	0.546
11	32.88	0.913	0.548
12	33.45	0.929	0.557
13	33.14	0.92	0.552
14	33.77	0.938	0.562
15	32.39	0.899	0.539
16	33.33	0.925	0.555
17	34.02	0.945	0.567
18	34.75	0.965	0.579
19	34.97	0.971	0.582
20	34.5	0.958	0.575
21	34.15	0.948	0.683
22	33.86	0.94	0.564
23	34.21	0.95	0.57
24	34.56	0.96	0.576
25	31.59	0.877	0.526
26	32.09	0.891	0.534
27	31.05	0.862	0.517
28	22.82	0.633	0.38
29	30.67	0.851	0.511

Menentukan temperatur top oil ($\Delta\theta_b$), selisih temperatur antara hotspot dengan top oil (θ_{td}), temperatur hotspot (θ_c) dan laju penuaan thermal (V).

Dalam perhitungan berikut data faktor beban (K) sesuai dengan tabel 4, sedangkan untuk data kenaikan temperatur top oil awal ($\Delta\theta_{br}$) sesuai dengan tabel 2, dengan suhu ambient 32.1°C sesuai

temperatur harian maksimum Februari 2016 di Gardu Induk Purworejo.

Tanggal 1 dengan $K=0.524$ (ONAN)
 $\Delta\theta_{br} = 50^\circ\text{C}$

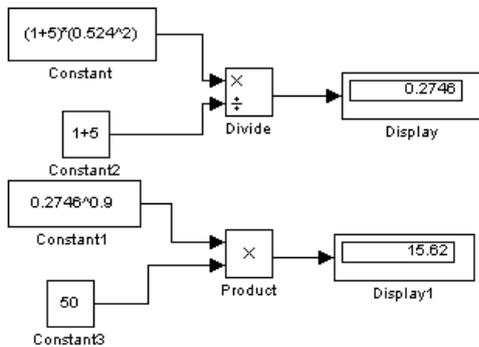
Menentukan Kenaikan Temperatur Top Oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left[\frac{1+dK^2}{1+d} \right]^x$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{1+5(0.524)^2}{1+5} \right]^{0.9}$$

$$\Delta\theta_b = 15.62^\circ\text{C}$$

Apabila dihitung menggunakan model simulink matlab dapat ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Menentukan ($\Delta\theta_b$) ONAN

Menentukan selisih temperatur antara hotspot dengan top oil

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 50) (0,524)^2 (0,8)$$

$$\Delta\theta_{td} = 9.956^\circ\text{C}$$



Gambar 2. Menentukan ($\Delta\theta_{td}$) ONAN

Menentukan temperatur hot spot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_c = 32.1 + 15.62 + 9.956$$

$$\theta_c = 57,32^\circ\text{C}$$



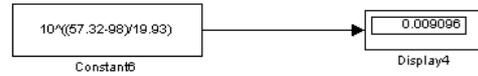
Gambar 3. Menentukan (θ_c) ONAN

Menentukan Laju Penuaan Thermal

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

$$V = 10^{(57,32 - 98)/19.93}$$

$$V = 0.009096$$



Gambar 4. Menentukan (V) ONAN

Tanggal 1 dengan $K=0.314$ (ONAF),
 $\Delta\theta_{br} = 50^\circ\text{C}$

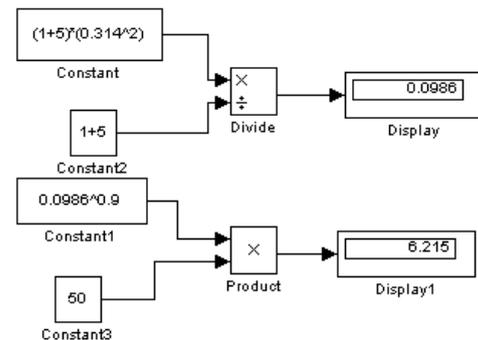
Menentukan Kenaikan Temperatur Top Oil

$$\Delta\theta_b = \Delta\theta_{br} \left[\frac{1+dK^2}{1+d} \right]^x$$

$$\Delta\theta_b = 50 \left[\frac{1+5(0.314)^2}{1+5} \right]^{0.9}$$

$$\Delta\theta_b = 6.215^\circ\text{C}$$

Apabila dihitung menggunakan model simulink matlab dapat ditampilkan pada gambar berikut:



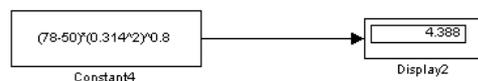
Gambar 5. Menentukan ($\Delta\theta_b$) ONAF

Menentukan selisih temperatur antara hotspot dengan top oil

$$\Delta\theta_{td} = (\Delta\theta_{cr} - \Delta\theta_{br}) K^{2y}$$

$$\Delta\theta_{td} = (78 - 50) (0,314)^2 (0,8)$$

$$\Delta\theta_{td} = 4.388^\circ\text{C}$$



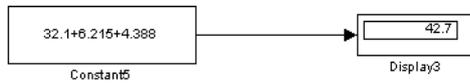
Gambar 6. Menentukan ($\Delta\theta_{td}$) ONAF

Menentukan temperatur hot spot

$$\theta_c = \theta_a + \Delta\theta_b + \Delta\theta_{td}$$

$$\theta_c = 32.1 + 6.215 + 4.388$$

$$\theta_c = 42.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$



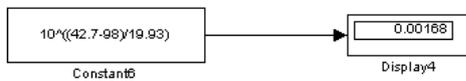
Gambar 7. Menentukan (θ_c) ONAF

Menentukan Laju Penuaan Thermal

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

$$V = 10^{(42.7 - 98)/19.93}$$

$$V = 0,00168$$



Gambar 8. Menentukan (V) ONAF

Dengan cara yang sama seperti diatas untuk menentukan perhitungan-perhitungan pada tanggal lainnya sehingga diperoleh data seperti ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan pada ONAN

K (p.u)	ONAN					
	$\Delta\theta_{br}$ (°C)	$\Delta\theta_b$ (°C)	$\Delta\theta_{td}$ (°C)	θ_c (°C)	V (p.u)	L (%)
0.524	50	15.62	9.956	57.32	0.0090	121.39
0.878	49	38.77	23.55	94.42	0.6613	
0.903	52	43.27	22.08	97.45	0.9384	
0.91	48	40.51	25.8	98.41	1.049	
0.524	47	14.69	11.02	57.81	0.0096	
0.942	56	50.29	19.99	102.4	1.663	
0.944	58	52.28	18.24	102.6	1.701	
0.915	55	46.47	17.35	96.32	0.8236	
0.918	55	47.15	20.06	99.31	1.169	
0.91	41	34.6	31.82	98.52	1.062	
0.913	40	33.96	32.85	98.91	1.111	
0.929	54	47.29	21.33	100.7	1.366	
0.92	55	47.33	20.13	99.56	1.197	
0.938	58	51.69	18.05	101.8	1.551	
0.899	58	47.88	16.87	96.85	0.8726	
0.925	52	45.19	22.95	100.2	1.289	
0.945	58	52.38	18.27	102.8	1.741	
0.965	60	56.27	17	105.4	2.351	
0.971	60	56.9	17.17	106	2.579	
0.958	53	49.06	23.34	104.5	2.119	
0.948	56	50.87	20.2	103.2	1.824	
0.94	60	53.68	16.3	102.1	1.606	
0.95	56	51.06	20.27	103.4	1.866	
0.96	57	52.96	19.67	104.7	2.169	
0.877	60	47.37	14.59	94.06	0.6343	
0.891	58	47.12	16.63	95.85	0.78	
0.862	54	41.33	18.92	92.35	0.5206	
0.633	48	21.08	14.43	67.61	0.0844	
0.851	46	34.41	24.72	91.23	0.4574	

Tabel 6. Hasil perhitungan pada ONAF

K (p.u)	ONAF					L (%)
	$\Delta\theta_{br}$ (°C)	$\Delta\theta_b$ (°C)	$\Delta\theta_{td}$ (°C)	θ_c (°C)	V	
0.314	50	6.215	4.388	42.7	0.0016	1.27
0.527	49	15.47	10.41	57.98	0.0097	
0.541	52	17.21	9.729	59.04	0.0111	
0.546	48	16.15	11.39	59.64	0.0118	
0.314	47	5.842	4.858	42.8	0.0016	
0.565	56	20.04	8.825	60.97	0.0138	
0.566	58	20.82	8.045	60.97	0.0138	
0.549	55	18.69	7.662	58.45	0.0103	
0.551	55	18.81	8.863	59.77	0.0120	
0.546	41	13.79	14.05	54.94	0.0117	
0.548	40	13.55	14.52	61.17	0.0126	
0.557	54	18.83	9.41	60.34	0.0128	
0.552	55	18.87	8.889	59.86	0.0122	
0.562	58	20.55	7.954	60.6	0.0132	
0.539	58	19.07	7.44	58.61	0.0105	
0.555	52	18.02	10.14	60.26	0.0127	
0.567	58	20.89	8.068	61.06	0.0140	
0.579	60	22.43	7.509	62.04	0.0156	
0.582	60	22.65	7.571	62.32	0.0162	
0.575	53	19.57	10.31	61.98	0.0155	
0.683	56	28.19	11.95	72.27	0.0511	
0.564	60	21.4	7.2	60.7	0.0134	
0.57	56	20.36	8.95	61.41	0.0145	
0.576	57	21.12	8.688	61.91	0.0154	
0.526	60	18.88	6.439	57.82	0.0096	
0.534	58	18.75	7.33	58.18	0.0100	
0.517	54	16.47	8.352	56.92	0.0086	
0.38	48	8.411	6.379	46.89	0.0027	
0.511	46	13.74	10.93	56.77	0.0085	

Menentukan Pengurangan Umur

Untuk menghitung pengurangan umur bulan Februari 2016 akibat pembebanan terhadap penurunan isolasi dapat ditentukan dengan mengitung rata-rata laju penuaan thermal bulan Februari dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{1}{29} (0.009096 + 0.6613 + 0.9384 + 1.049 + 0.009626 + 1.663 + 1.701 + 0.8236 + 1.169 + 1.062 + 1.111 + 1.366 + 1.197 + 1.551 + 0.8726 + 1.289 + 1.741 + 2.351 + 2.579 + 2.119 + 1.824 + 1.606 + 1.866 + 2.169 + 0.6343 + 0.78 + 0.5206 + 0.08448 + 0.4574)$$

$$= \frac{1}{29} (35.2044)$$

$$= 1.213945 \text{ atau } 121.3945 \% \text{ ONAN}$$

$$L = \frac{1}{29} (0.00168 + 0.009783 + 0.0111 + 0.01189 + 0.001699 + 0.01384 + 0.01387 + 0.01166 + 0.01207 + 0.01176 + 0.01264 + 0.01289 + 0.0122 + 0.01329 + 0.01056 + 0.01278 + 0.01401 + 0.01569 + 0.01621 + 0.01558 + 0.05117 + 0.01344 + 0.01459 + 0.01546 + 0.009637 + 0.01005 + 0.008685 + 0.002726 + 0.008536)$$

$$= \frac{1}{29} (0.369496)$$

$$= 0.012741 \text{ atau } 1.2741 \% \text{ ONAF}$$

Berdasarkan perhitungan susut umur transformator daya diatas rata-rata pada bulan Februari 2016 menunjukkan susut umur transformator daya sebesar 1.21394 p.u/hari pada sistem ONAN dan 0.012741 p.u/hari pada sistem ONAF.

Menentukan perkiraan umur transformator

Karena beban berubah dan selalu mengalami kenaikan setiap tahunnya sehingga sulit untuk dapat menentukan perkiraan umur yang tepat. Namun untuk mengetahui perkiraan umur pakai suatu transformator dapat dihitung dengan mengasumsikan beban konstan.

Pada Gardu induk Purworejo transformator yang digunakan untuk proses penelitian telah beroperasi dari tahun 2011 atau dengan kata lain sudah terpakai selama 5 tahun sehingga untuk menghitung perkiraan umur transformator dapat ditentukan sebagai berikut:

Lama transformator terpakai = umur dasar
- (n x susut umur)

$$5 = 30 - (n \times 1.213)$$
$$n = \frac{30 - 5}{1.213}$$
$$= 20.6 \text{ tahun (ONAN)}$$

Lama transformator terpakai = umur dasar - (n x susut umur)

$$5 = 30 - (n \times 0.0127)$$
$$n = \frac{30 - 5}{0.0127}$$
$$= > 30 \text{ tahun (ONAF)}$$

Perhitungan usia pakai diatas hanya memperhitungkan pengaruh penurunan isolasi belitan tanpa memperhitungkan pengaruh lainnya yang juga dapat menyebabkan penyusutan usia pakai transformator.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, setelah melakukan perhitungan dan analisis dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Pembebanan transformator berpengaruh terhadap temperatur minyaknya, semakin besar bebannya maka semakin tinggi temperaturnya.
2. Faktor beban dan suhu sekitar adalah penyebab cepat lambatnya laju penuaan thermal, semakin tinggi faktor beban semakin besar laju penuaan thermal.
3. Berdasarkan data pembebanan Gardu Induk Purworejo pada bulan Februari 2016 transformator tenaga dengan kapasitas 60 MVA menunjukkan susut umur 1.213 p.u/hari untuk sistem pendingin ONAN dan 0.012 p.u/hari untuk sistem pendingin ONAF.
4. Sistem pendingin ONAN/ONAF memberikan keuntungan menjaga suhu transformator tetap rendah dan lebih hemat dalam pemakaian energi listrik karena dalam menggerakkan kipas dan pompa minyak tidak terus menerus.
5. Dari kesimpulan diatas penyusutan usia pakai transformator berasal dari pengaruh penurunan kemampuan isolasi yang

diakibatkan oleh pemanasan dari pembebanan serta suhu sekitar.

SARAN

Usia pakai transformator sangat dipengaruhi oleh pembebanan, maka dari itu agar transformator dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang maka beban yang harus dipikul oleh suatu transformator harus dibatasi, namun karena beban yang terus meningkat setiap tahunnya maka penambahan transformator tenaga atau penambahan kapasitas transformator perlu dilakukan agar mampu memenuhi kebutuhan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zaenal. 2012. *Pengaruh Suhu Dingin Terhadap Isolasi Minyak Transformator Pada Tegangan Tinggi*. Skripsi. Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Asri, Rishal. 2013. *Studi Optimasi Aliran Daya Saluran 20 kv pada PT. PLN (Persero) Area Yogyakarta Rayon Sedayu dengan Menggunakan etap 7.0.0*. Skripsi. Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Hutauruk, T.S. 1985. *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga. Jakarta.
- Kadir, Abdul. 2000. *Transformator*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Lister, Eugene C. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik. Edisi Keenam*. Erlangga. Jakarta.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik. Edisi Pertama*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sumanto. 1991. *Teori Transformator*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Syafriyudin. 2011. "Perhitngan lama waktu pakai transformator jaringan distribusi 20 Kv di APJ Yogyakarta". Jurnal Teknologi. IV(1): 88-95
- PT.PLN. 2010. *Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat. Jakarta.