

PENGARUH FILTERISASI MINYAK TRAFU TERHADAP KINERJA TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA DI GARDU INDUK SENGKALING

Rendy Hari Widodo¹, Soemarwanto, Ir., MT², Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: rendyhariwido89@gmail.com

Abstrak - Transformator daya dilakukan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator daya agar dapat bekerja sebagaimana mestinya sehingga kontinuitas penyaluran tetap terjaga dengan baik.

Proses filterisasi dilakukan untuk mengurangi kandungan gas - gas yang dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator. Dari hasil perhitungan kinerja transformator diketahui kandungan TDCG pada kondisi III dan setelah dilakukan filterisasi kandungan TDCG berada pada kondisi I. Dalam kaitannya umur minyak trafo hasil perhitungan menunjukkan sisa usia efektif minyak sebelum filterisasi sebesar 2 tahun 2 bulan 12 hari, sedangkan pada minyak sesudah filterisasi sebesar 39 tahun 7 bulan 21 hari.

Rekomendasi dilakukan penggantian minyak trafo dan dilakukan perhitungan menggunakan metode markov untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Kata kunci-filterisasi, minyak trafo, TDCG.

I. PENDAHULUAN

Pemeliharaan transformator daya dilakukan untuk menjaga efektivitas dan daya tahan peralatan sistem tenaga listrik, khususnya transformator daya agar dapat bekerja sebagaimana mestinya sehingga kontinuitas penyaluran tetap terjaga dengan baik. Oleh karena itu diperlukan pemeliharaan secara terjadwal sesuai dengan buku panduan dari pabrik. Jika terjadi ketidaknormalan dari suatu hasil pemeliharaan transformator maka perlu dilakukan investigasi lebih lanjut agar tidak terjadi gangguan pada saat transformator beroperasi.

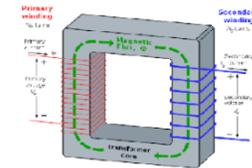
Tujuan skripsi ini adalah menunjukkan pengaruh kinerja transformator sebelum dan sesudah dilakukan filterisasi pada minyak trafo dan kaitannya dengan umur minyak trafo tersebut.

Dalam skripsi ini hanya akan membahas tentang transformator 30 MVA pada Gardu Induk Sengkaling yang meliputi masalah aspek teknis saja seperti pengaruh kinerja transformator sebelum dan sesudah filterisasi dan pengaruh terhadap umur minyak trafo dan parameter-parameter yang menunjang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Prinsip Kerja Transformator

Sisi primer dicatu tegangan bolak-balik (AC) sehingga timbul arus yang mengalir. Dengan adanya arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial sesuai dengan hukum faraday.



Gambar 1. Bagan Transformator

Sumber : TRANSFORMER 2011.htm

B. Minyak Transformator

Minyak Transformator adalah merupakan bahan isolasi cair (isolator) yang dipergunakan sebagai bahan isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator harus memiliki kemampuan diantaranya adalah sebagai berikut [1]:

- Menahan terhadap tegangan tembus (semakin tinggi nilai tegangan tembusnya maka kualitas isolasinya akan semakin baik).
- Sebagai bahan pendingin yang harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih perlu dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk menyalurkan panas dari transformator.
- Sebagai media untuk memadamkan busur api karena pada saat beroperasi transformator dapat menghasilkan senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan adanya dampak gangguan, kenaikan suhu yang berlebih akan memungkinkan terjadinya loncatan bunga api didalam belitan transformator tersebut.
- Melindungi belitan dan body transformator dari terjadinya oksidasi dan korosi. Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah.

Selain itu minyak juga berasal dari bahan organik seperti piranol dan silikon.

C. Gas Terlarut Pada Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan sebuah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linier atau siklus, yang mengandung kelompok molekul CH₃, CH₂, dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun elektrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H, CH₃, CH₂, CH, dan C yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hydrogen (H-H), metana (CH₃-H), etana (CH₃-CH₃), etilen (CH₂=CH₂) ataupun asetilen (CH≡CH). Gas-gas ini dikenal dengan istilah *fault gas*[2].

III. METODE PENELITIAN

A. Objek Penelitian

Objek yang dianalisis merupakan satu unit transformator daya pada Gardu Induk (GI) Sengkaling yang berlokasi di Malang, Jawa Timur. Unit yang dianalisis merupakan transformator yang kandungan air terkoreksinya sudah melebihi batas aman yang dapat mengakibatkan transformator mengalami kegagalan. Transformator tersebut merupakan jenis transformator dengan pendingin minyak, dengan tipe sistem pendingin ONAN. Spesifikasi dari transformator tersebut adalah sebagai berikut :

1. No.Seri : A 95013 - 2
2. Pembuat :XIAN TRANSFORMER WORKS CHINA
3. Tahun Pembuatan : 1995
4. Tegangan nominal: 150/70 kV
5. Kapasitas : 30 MVA
6. Kapasitas Tangki : 16460 L
7. Berat : 60000 kg

B. Filterisasi Minyak Transformator

Filterisasi minyak transformator dilakukan dalam kondisi transformator tersebut sedang bekerja (*on line*), sehingga cara ini sangat efektif. Secara sederhana, prinsip kerja filterisasi ini yaitu mensirkulasikan minyak transformator yang akan dipurifikasi. Minyak disedot masuk ke dalam alat filterisasi untuk dimurnikan, kemudian dipompa kembali dimasukkan ke dalam transformator. Proses sirkulasi minyak transformator dilakukan secara berulang – ulang. Menurut standar PLN (*Manual BOOK Product Trafo*) untuk minyak lama dibutuhkan 4–6 sirkulasi sedangkan minyak lama membutuhkan 2–3 sirkulasi.

C. Metode Analisis Data

1. Perhitungan Arus Line Primer dan Sekunder Transformator

Besarnya arus yang mengalir melalui kumparan disisi sekunder pada transformator dapat dihitung[3].

$$I_{Ls} = \frac{P_{out\ trafo}}{\sqrt{3} V_{Ls} \cos \varphi} \quad (1)$$

dimana : I_{Ls} = Arus line sekunder (A)

P_{out} = Daya keluaran transformator (W)

V_{Ls} = Tegangan line sekunder (V)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

Pada kumparan transformator terdapat luas penampang yang dapat mempengaruhi nilai dari kerapatan arus. Dimana kerapatan arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[4].

$$\delta = \frac{I}{A} \quad (2)$$

dimana : δ = Rapat arus (A/mm²)

I = Besarnya arus (A)

A = Luas penampang (mm²)

Kenaikan temperatur yang terjadi pada transformator dapat dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada transformator, dimana kinerja transformator dapat dipengaruhi oleh temperatur. Kenaikan temperatur yang berpengaruh oleh arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan[4].

$$\theta = \frac{I_s^2 \rho_s}{\alpha_s g_s h} \quad ^\circ\text{C} \quad (3)$$

dimana: θ = kenaikan temperatur (°C)

I_s = arus yang mengalir (A)

P = resistivitas (Ωm)

α_s = luas penampang konduktor (mm²)

t = waktu (s)

g = rapat material konduktor (kg/m³)

h = panas material konduktor (J/kg-°C)

D. Metode Interpretasi Data Uji DGA

Terdapat beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE std.C57 – 104.1991 dan IEC 60599, yaitu [5]:

1. Standar IEEE

IEEE menetapkan standarisasi untuk melakukan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut pada sampel minyak. Jumlah gas terlarut yang mudah terbakar atau TDCG (*total dissolved combustible gas*) akan menunjukkan apakah transformator yang diujikan masih berada pada kondisi operasi normal, waspada, peringatan atau kondisi kritis. Hanya gas karbon dioksida (CO₂) saja yang tidak termasuk kategori TDCG.

Pada kondisi 1, transformator beroperasi normal. Namun, tetap perlu dilakukan pemantauan kondisi gas-gas tersebut.

Pada kondisi 2, tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala kegagalan yang harus mulai diwaspadai, perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering.

Pada kondisi 3, TDCG menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas minyak transformator. Berbagai kegagalan pada kondisi ini mungkin sudah terjadi dan transformator harus sudah diwaspadai dan diperlukan perawatan yang lebih lanjut.

Pada kondisi 4, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya kerusakan pada isolator kertas dan kerusakan minyak trafo pada kondisi ini sudah meluas.

2. Roger's Ratio

Magnitude ratio empat jenis fault gas digunakan untuk menciptakan empat digit kode. Kode-kode tersebut akan menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya fault gas. Beberapa catatan mengenai interpretasi dari table roger's ratio :

- Ada kecenderungan rasio C_2H_2/C_2H_4 . naik dari 0.1 s.d > 3 dan rasio C_2H_4/C_2H_6 untuk naik dari 1-3 s.d > 3 karena meningkatnya intensitas percikan (*spark*). Sehingga kode awalnya bukan lagi 0 0 0 melainkan 1 0 1.
- Gas-gas yang timbul mayoritas dihasilkan oleh proses dekomposisi kertas, sehingga muncul angka 0 pada kode ratio roger.
- Kondisi kegagalan ini terindikasi dari naiknya konsentrasi fault gas. CH_4/H_2 normalnya bernilai 1, namun nilai ini tergantung dari berbagai faktor seperti kondisi konservator, selimut N_2 , temperature minyak dan kualitas minyak.
- Naiknya nilai C_2H_2 (lebih dari nilai yang terdeteksi), pada umumnya menunjukkan adanya *hot-spot* dengan temperatur lebih dari $700^\circ C$, sehingga timbul arching pada transformator. Jika konsentrasi dan rata-rata pembentukan gas asetilen naik, maka transformator harus segera diperbaiki. Jika dioperasikan lebih lanjut, kondisinya akan sangat berbahaya.
- Transformator dengan OLTC (*on-load tap changer*) bisa saja menunjukkan kode 2 0 2 ataupun 1 0 2 tergantung jumlah dari pertukaran minyak antara tangki tap changer dan tangki utama.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

A. Proses Filterisasi Minyak

Ada 2 macam posisi memfilter minyak trafo yaitu [1]:

a. Posisi *Off Line*

Artinya pekerjaan ini dilakukan dalam keadaan trafo tidak beroperasi disamping itu juga tidak diperlukan penambahan *valve*.

b. Posisi *On Line*

Artinya pekerjaan ini dilakukan dalam keadaan trafo beroperasi disamping itu juga dibutuhkan

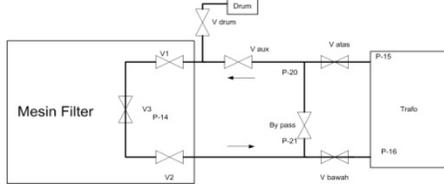
penambahan *valve*. Dalam posisi *on line* juga perlu ditambahkan *valve* ke drum dengan tujuan untuk menghilangkan gelembung-gelembung minyak dalam selang, sebab jika sampai trafo gelembung-gelembung tersebut dapat mengerjakan rele bucholz.

Prosedur memfilter minyak secara *on line* antara lain:

- Dekatkan mobil/truk sedekat mungkin dengan trafo atau objek yang akan ; difilter dengan jarak aman dari tegangan.
 - Buka tali selang mesin filter.
 - Buka bak truk.
 - Buka pintu mesin filter dari bawah.
 - Ambil dan keluarkan selang dari dalam truk, kemudian pasang selang tersebut pada mesin difilter untuk dihubungkan ke katup trafo atau drum.
 - Gelar kabel *source* dari mesin filter ke sumber tegangan AC 380 Volt, 100 A dan pasang sesuai fasanya (RST).
 - Lihat level minyak di *vacuum pump* atau gelas penduga pada titik merah, apabila kurang harap di tambah.
 - On kan *power supply* atau *source* kemudian lampu putih akan menyala, setelah itu tegangan pada voltmeter akan menunjuk 380 V, pada inverter menyala kedip, tekan run agar posisi *inlet/outlet pump* siap operasi.
 - Switch vacuum pump* di hidupkan maka motor *vacuum pump* menyala dan putaran akan kearah atas (berarti pemasangan urutan kabel *source* sudah benar sesuai dengan urutan fasanya). Apabila arah putaran motornya kearah bawah maka tukar salah 2 fasa.
 - Indicator *vacuum gauge* menunjuk kearah 76 cm/hg, ke warna merah.
 - Tunggu mesin untuk beroperasi sekitar ± 10 s/d 15 menit.
 - Hidupkan *switch inlet/outlet* maka *inlet/outlet* siap operasi.
- Setelah hal tersebut dilakukan maka laksanakan sirkulasi internal mesin sebagai berikut:
- Buka *valve* drum
 - Buka *valve* minyak pengisian awal (v1 dan v3) maka minyak masuk ke mesin filter secara otomatis dengan kekuatan tarikan *vacuum*, maka minyak mengisi selang dan *vacuum chamber* sampai permukaan minyak pada garis kuning normal di gelas penduga pada *vacuum chamber*.
 - Tutup *valve* by pass mesin (v3)
 - Buka *valve* keluaran minyak (v2) lalu atur *inlet/outlet* sampai kurang lebih garis tengah (garis kuning normal) pada *vacuum chamber*.
 - Apabila angka *counter digital inverter* sudah menunjuk ± 23 maka *heater* akan posisi *ON* (*heater*

hidup secara otomatis apabila switch heater sudah di ON kan)

- f. Setelah selang terisi dengan minyak tutup valve drum.
- g. Minyak trafo siap untuk difilter.



Gambar 2. Proses Filterisasi Internal
Sumber: PT. PLN (PERSERO) P3B APP MALANG

B. Perhitungan dan Analisis

Tabel 1. Data Hasil Minyak Transformator Sebelum Filterisasi (12 Juli 2013)

SAMPel MINYAK UNTUK DI UJI	ACUAN				NILAI AKHIR
	Metode	Bagus	Kurang	Tidak Layak	
1. Karakteristik minyak					
1. Warna	ASTM D1500	<3,5	-	-	1,7
2. Keasaman	IEC 296	<0,10	0,1-0,15	>0,15	0,02
3. Tegangan Tembus	IEC 156	>50	40-50	<40	94,1
4. Tegangan Permukaan	ISO 6293	>28	22-28	<22	33,2
5. Kadar air	IEC 60422-2005	<5	5-15	>15	5,11
6. DGA		IEEE Limit (Kondisi Level)			
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
TDGC	<720	<1920	<4630	>4630	2238
H ₂	<100	<700	<1800	>1800	20
C ₂ H ₂	<35	<50	<80	>80	0
C ₂ H ₄	<120	<400	<1000	>1000	1,891
C ₂ H ₆	<50	<100	<200	>200	62
C ₃ H ₈	<65	<100	<150	>150	255
CO	<350	<570	<1400	>1400	0
CO ₂	<2500	<40000	<100000	>100000	1,401

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kode Digit Rasio Roger's

Fault Gas	Kondisi Normal	Nilai Akhir Minyak	Perbandingan Fault Gas	Digit Kode
H ₂	<100 ppm	20	C ₂ H ₄ : H ₂ = 1891 : 20 =	2
C ₂ H ₂	<35	0	94.55	
C ₂ H ₄	<120	1891	C ₂ H ₄ : C ₂ H ₆ = 255 : 1891 =	0
C ₂ H ₆	<50	62	0,13	
C ₃ H ₈	<65	255		
CO	<350	0	C ₂ H ₄ : C ₃ H ₈ = 62 : 255 = 0,24	0
CO ₂	<10000	1401		
N ₂	<1-10%	-	C ₂ H ₄ : C ₃ H ₈ = 0 : 62 = 0	0
O ₂	<0,2-0,35%	-		

Dari tabel hasil perhitungan diatas, diagnosis yang dapat diambil dari kode digit 2 0 0 0 adalah minyak transformator mengalami *overheating* ringan (150°C-200°C) yang dapat menyebabkan meningkatnya produksi CO dan CO₂.

Tabel 3. Data Hasil Minyak Transformator Sesudah Filterisasi (21 September 2013)

SAMPel MINYAK UNTUK DI UJI	ACUAN				NILAI AKHIR
	Metode	Bagus	Kurang	Tidak Layak	
1. Karakteristik minyak					
1. Warna	ASTM D1500	<3,5	-	-	1,7
2. Keasaman	IEC 296	<0,10	0,1-0,15	>0,15	0,02
3. Tegangan Tembus	IEC 156	>50	40-50	<40	62,5
4. Tegangan Permukaan	ISO 6293	>28	22-28	<22	31,8
5. Kadar air	IEC 60422-2005	<5	5-15	>15	3,03
6. DGA		IEEE Limit (Kondisi Level)			
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
TDGC	<720	<1920	<4630	>4630	178,91
H ₂	<100	<700	<1800	>1800	148,15
C ₂ H ₂	<35	<50	<80	>80	0
C ₂ H ₄	<120	<400	<1000	>1000	9,75
C ₂ H ₆	<50	<100	<200	>200	14,06
C ₃ H ₈	<65	<100	<150	>150	6,95
CO	<350	<570	<1400	>1400	0
CO ₂	<2500	<40000	<100000	>100000	199,42

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kode Digit Rasio Roger's

Fault Gas	Kondisi Normal	Nilai Akhir Minyak	Perbandingan Fault Gas	Digit Kode
H ₂	<100 ppm	148,15	C ₂ H ₄ : H ₂ = 9,75 : 148,15 =	5
C ₂ H ₂	<35	0	0,06	
C ₂ H ₄	<120	9,75	C ₂ H ₄ : C ₂ H ₆ = 6,95 : 9,75 =	0
C ₂ H ₆	<50	14,06	0,7	
C ₃ H ₈	<65	6,95		
CO	<350	0	C ₂ H ₄ : C ₃ H ₈ = 14,06 : 6,95 =	1
CO ₂	<10000	199,42	2,02	
N ₂	<1-10%	-	C ₂ H ₄ : C ₃ H ₈ = 0 : 14,06 = 0	0
O ₂	<0,2-0,35%	-		

Dari tabel hasil perhitungan diatas, diagnosis yang dapat diambil dari kode digit 5 0 1 0 adalah transformator mengalami *overheating* pada konduktor dan terjadi *partial discharge* yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan isolasi pada minyak transformator.

1. Perhitungan Arus Line Sekunder terhadap Daya Transformator Keadaan Berbeban

Dengan diketahui data yang ada pada Gardu Induk Sengkaling, maka akan didapatkan perhitungan untuk menghitung arus yang mengalir pada beban.

Data teknis trafo :

- $P_{out\ trafo} = 30\ MVA$
- $V_{Lp} = 140\ kV$
- $V_{Ls} = 70\ kV$
- $\cos\theta = 0,97$
- $f = 50\ Hz$
- $\eta = 99,69\ \%$
- $I_{nominal\ primer} = 123,7\ A$
- $I_{nominal\ sekunder} = 247,4\ A$
- $s_p = 2,9622\ A/mm^2$
- $s_s = 3,5383\ A/mm^2$
- $\rho = 5,61 \times 10^{-5}\ \Omega m$
- $g = 8000\ kg/m^2$
- $h = 314\ J/kg \cdot ^\circ C$

Besar arus line sekunder transformator pada keadaan berbeban dihitung dengan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$I_{LS} = \frac{P_{out\ Trafo}}{\sqrt{3} \cdot V_{LS} \cdot \cos\theta} \cdot \Delta$$

Dimana diketahui pada keadaan berbeban:

$$P_{out\ trafo} = 12,8\ MW$$

$$P_{out\ trafo} = 6,7\ MVAR$$

$$V_{Ls} = 70\ kV$$

$$\cos\theta = \tan^{-1} \frac{MVAR}{MW}$$

$$= 0,886$$

Sehingga,

$$I_{LS} = \frac{12,8 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 70 \times 10^3 \cdot 0,886} \cdot \Delta$$

$$I_{LS} = 119,16 \times 10^3\ A$$

2. Perhitungan Arus Line Sekunder dan Primer terhadap Daya Transformator Beban Penuh

Besar arus line sekunder transformator pada keadaan beban penuh dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{Ls} = \frac{P_{sub\ trafo}}{\sqrt{3} \cdot V_{Ls}} \text{ A}$$

$$I_{Ls} = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 70 \times 10^3} \text{ A}$$

$$= \frac{30 \times 10^6}{121,2 \times 10^3} \text{ A}$$

$$= 247,5 \text{ A}$$

Besar arus line primer transformator pada keadaan beban penuh dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out\ trafo}}{P_{in\ trafo}}$$

$$P_{in\ trafo} = \frac{P_{out\ trafo}}{\eta}$$

$$P_{in\ trafo} = \frac{29,1 \text{ MW}}{99,69\%}$$

$$P_{in\ trafo} = 29,19 \times 10^6 \text{ W}$$

sehingga,

$$I_{Lp} = \frac{P_{in\ trafo}}{\sqrt{3} \cdot V_{Lp} \cdot \cos \phi} \text{ A}$$

$$I_{Lp} = \frac{29,190 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 140 \times 10^3 \cdot 0,97} \text{ A}$$

$$= \frac{29,190.000}{235,217} \text{ A}$$

$$I_{Lp} = 124 \text{ A}$$

Besar luas penampang yang terdapat pada sisi primer dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\delta = \frac{I}{A}$$

$$= 41,86 \text{ mm}^2$$

Besar luas penampang yang terdapat pada sisi sekunder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\delta = \frac{I}{A}$$

$$= 69,92 \text{ mm}^2$$

3. Perhitungan Hubungan Arus dan Temperatur Transformator

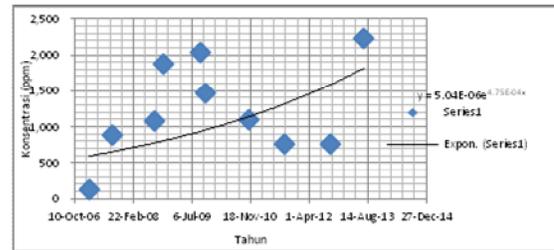
Dengan menggunakan persamaan 3.2 dapat dibuktikan bahwa dengan meningkatnya nilai arus yang ada pada transformator, maka akan mempengaruhi nilai dari temperatur, yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\theta = \frac{I_s^2 \cdot \rho \cdot L}{\alpha_s^2 \cdot \rho \cdot h}$$

$$\theta = \frac{(119,2)^2 \cdot 5,61 \times 10^{-5} \text{ } \Omega \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{(69,92 \text{ mm}^2)^2 \cdot 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 314 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

$$\theta = 64,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. Perhitungan Umur Minyak Trafo



Gambar 3. Grafik TDCG Sebelum Filterisasi
Sumber: Penulis

$$y = 5,04 \times 10^{-6} e^{4,75 \times 10^{-4} x}$$

$$2500 = 5,04 \times 10^{-6} e^{4,75 \times 10^{-4} x}$$

$$\frac{2500}{5,04 \times 10^{-6}} = e^{4,75 \times 10^{-4} x}$$

$$496031746 = e^{4,75 \times 10^{-4} x}$$

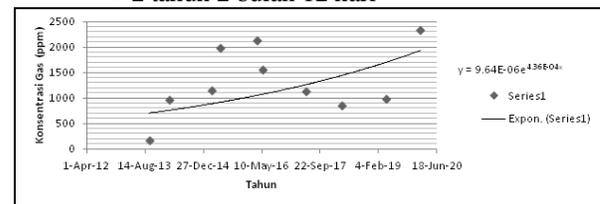
$$\ln 496031746 = 4,75 \times 10^{-4} x$$

$$20,02215049 = 4,74 \times 10^{-4} x$$

$$x = \frac{20,02215049}{4,74 \times 10^{-4}}$$

$$x = 42240,62381 \text{ (24 Agustus 2015)}$$

Sisa usia efektif minyak sebelum filterisasi berdasarkan laju degradasi DGA dengan metode TDCG secara eksponensial (24 Agustus 2015):
= 24/08/2015 – 12/06/2013
= 2 tahun 2 bulan 12 hari



Gambar 4. Grafik TDCG Sesudah Filterisasi
Sumber: Penulis

$$y = 9,64 \times 10^{-6} e^{4,36 \times 10^{-4} x}$$

$$2500 = 9,64 \times 10^{-6} e^{4,36 \times 10^{-4} x}$$

$$\frac{2500}{9,64 \times 10^{-6}} = e^{4,36 \times 10^{-4} x}$$

$$259336099,6 = e^{4,36 \times 10^{-4} x}$$

$$\ln 259336099,6 = 4,36 \times 10^{-4} x$$

$$19,37363646 = 4,36 \times 10^{-4} x$$

$$x = \frac{19,37363646}{4,36 \times 10^{-4}}$$

$$x = 44434,94372 \text{ (26 Agustus 2021)}$$

Sisa usia efektif minyak sebelum filterisasi berdasarkan laju degradasi DGA dengan metode TDCG secara eksponensial (20 September 2013):
= 26/08/2021 – 20/09/2013
= 7 tahun 11 bulan 6 hari

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Proses filterisasi dilakukan karena kandungan minyak transformator berada pada kondisi yang dapat mengakibatkan kerusakan transformator. Proses filterisasi ini bertujuan mengurangi kandungan gas yang berbahaya dengan cara minyak transformator di panaskan sampai titik didih air. Setelah proses filterisasi selesai barulah dilakukan pengecekan kandungan gas pada transformator.
2. Pada minyak transformator sebelum di filterisasi memiliki kandungan TDCG sebesar 2.238 yang mana sesuai IEEE berada pada kondisi III. Kondisi ini dapat menyebabkan transformator mengalami kerusakan sehingga dibutuhkan sebuah pemeliharaan pada minyak transformator. Setelah dilakukan filterisasi kandungan TDCG pada minyak trafo sebesar 178,91. Sesuai IEEE kandungan TDCG berada pada kondisi 1 yang mana transformator berada pada kondisi normal.
3. Hasil perhitungan umur minyak trafo menunjukkan selisih sisa usia efektif pada minyak sebelum di lakukan filterisasi sebesar 2 tahun 2 bulan 12 hari, sedangkan pada minyak sesudah filterisasi sebesar 7 tahun 6 bulan 11 hari. Hal ini di dasarkan pada kondisi minyak trafo sesudah di lakukan filterisasi yang sudah berada pada batas kondisi aman sesuai IEEE.

B. SARAN

Dalam menganalisis studi kasus transformator di PT. PLN (PERSERO) P3B APP Malang Gardu Induk Sengkaling ini masih terdapat kelemahan dan kekurangan. Untuk itu terdapat saran agar kelemahan dan kekurangan dapat diminimalisir.

1. Untuk penelitian lebih lanjut di sarankan lebih pada pengaruh isolasi dari kawat lilit transformator. Karena kerusakan pada isolasi kawat lilit dapat mempengaruhi dari kandungan gas pada minyak transformator.
2. Berdasarkan analisis pada skripsi ini perlu dipertimbangkan untuk mengganti minyak trafo yang ada sekarang dengan minyak trafo yang baru. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya partial discharge pada kandungan minyak trafo setelah di filterisasi.
3. Untuk penelitian yang lebih lanjut disarankan menggunakan metode markov. Dengan metode ini dapat diketahui umur minyak yang lebih jelas dan lebih rinci.

C. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. P3B. 2003. "*Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*". PT PLN : Jakarta
- [2]. Hardityo Rahmat. 2008. *Tugas Akhir : Deteksi dan Analisis Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut*. Jakarta : FT UI
- [3]. Mismail Budiono. 1995. *Rangkaian Listrik Jilid 1*. Penerbit ITB, Bandung.
- [4]. Sawhne, A.K. 1990. *Electrical Machine Design*. Thapar Institute of Engineering and Technology.
- [5]. Herliana Yanti. 2009. *Studi Perawatan Minyak Transformator Tenaga*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.