

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KINERJA TRANSFORMATOR PADA PLTD TITI KUNING

Oleh:

Subur Manullang¹⁾

Sri Anita²⁾

Universitas Darma Agung, Medan^{1,2)}

E-mail:

subur.simanullang@gmail.com¹⁾

nitaa.stp@gmail.com²⁾

ABSTRACT

To meet the needs of consumers' electrical energy in a sustainable manner, the electrical system equipment must be maintained in order to operate optimally, one of which is a transformer. Continuity of operation of a transformer depends on the age and quality of the insulation, one of which is the quality of transformer oil. As insulation as well as cooling, it is necessary to maintain the transformer so that it can operate normally without any disturbance. One way to determine the condition of the transformer is to observe the condition of the transformer oil. Observation of the condition of the transformer is carried out in one way, namely testing the gas content of the transformer oil which is commonly called Dissolved Gas Analysis and testing the breakdown voltage. From the results of these two tests, it can be seen that the content and strength in the electric transformer oil as an indicator of the transformer condition.

Keywords: *Transformator, Dissolved Gasanalysis, Tegangan Tembus*

ABSTRAK

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik konsumen secara berkelanjutan maka peralatan sistem kelistrikan harus dijaga agar dapat beroperasi secara optimal, salah satunya peralatan kelistrikan adalah trafo. Kelangsungan operasional trafo sangat tergantung dari umur dan kualitas isolasinya, salah satunya kualitas oli trafo. Sebagai insulasi dan juga pendingin, maka perlu dilakukan perawatan trafo agar dapat beroperasi dengan normal tanpa adanya gangguan. Salah satu cara untuk mengetahui kondisi trafo adalah dengan mengamati kondisi oli trafo. Pengamatan kondisi transformator dilakukan dengan salah satu cara yaitu pengujian kandungan gas pada minyak transformator yang biasa disebut Dissolved Gas Analysis dan pengujian tegangan tembus. Dari hasil kedua pengujian tersebut, dapat dilihat kandungan dan kekuatan di elektrik minyak trafo sebagai indikator kondisi trafo.

Kata Kunci: *Transformator, Dissolved Gasanalysis, Tegangan Tembus*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik setiap tahun mengalami peningkatan, seiring dengan perkembangan industri dan teknologi yang sedang berkembang. Oleh karena itu kualitas dan kontinuitas menjadi prioritas melayani konsumen. Trafo merupakan salah satu peralatan penting untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit terhubung ke transmisi, dan sampai ke konsumen. Sehingga pemeliharaan trafo diperlukan agar trafo bisa beroperasi secara baik.

Pemakaian trafo dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas minyak trafo, yang menyebabkan kinerja trafo mengalami penurunan, hingga kemungkinan terjadinya kerusakan yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan penyaluran beban.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis pengujian DGA disini menggunakan Metode TDCG (*total dissolves combustibile gas*) yang berdasarkan standard IEEE C57.104

- 2008. Total jumlah gas terlarut yang mudah terbakar/ TDCG (*total dissolves combustible gas*) dalam minyak menggambarkan kondisi minyak trafo itu Transformator

Transformator merupakan suatu perangkat listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari satuan tegangan rendah melalui rangkaian primer

tegangan dan rasio lilitan harus sama, secara matematis dituliskan:

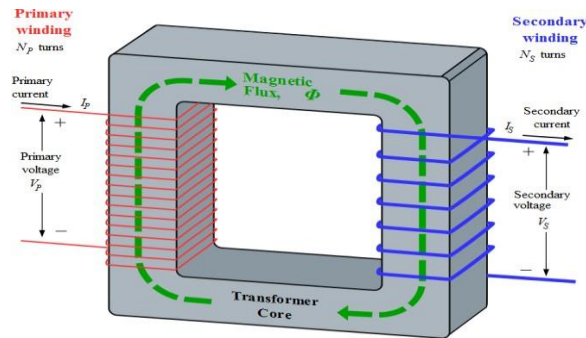
$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \text{rasio lilitan} \dots (2)$$

Perangkat Transformator

Bagian Utama Transformator

1. Inti Besi

Inti besi pada trafo berfungsi untuk



ke tegangan tinggi melalui rangkaian sekunder ataupun sebaliknya dengan frekuensi yang sama sesuai kebutuhan, dengan mengatur tegangan dan arus sistem yang direncanakan.

Gambar 2. 1 Ilustrasi Prinsip Kerja Transformator

Dari gambar diatas menunjukkan prinsip kerja trafo yaitu masing - masing kumparan mengelilingi inti besi dalam bentuk belitan. Bila kumparan pada sisi primer trafo (N_p) diberikan sumber tegangan bolak balik, maka akan mengalir arus bolak balik pada kumparan primer (I_p). Arus bolak balik ini akan menimbulkan flux magnetic di sekeliling kumparan. Dengan adanya inti trafo yang menghubungkan antara belitan disisi primer dan sisi sekunder, maka flux magnetic akan mengalir bersama pada inti trafo dimana arah pergerakannya dari kumparan primer (N_p) menuju kumparan sekunder (N_s) yang menghasilkan aliran arus pada sisi sekunder (I_s). Jika sisi sekunder diberi beban, maka energi listrik ditransfer secara keseluruhan (secara magnetik).

Jumlah belitan pada sisi primer dan sisi sekunder akan menentukan tegangan pada sisi primer (V_p) dan sisi sekunder (V_s). Perbandingan jumlah belitan antara kumparan primer dan kumparan sekunder disebut rasio belitan (n). Sedangkan perbandingan antara tegangan primer (V_p) dengan tegangan sekunder (V_s) disebut rasio tegangan. Dimana besarnya rasio

mempermudah jalannya flux yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui belitan. Inti besi tersusun dari lempengan untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus Eddy (Eddy current). Kerugian karena eddy current disebabkan oleh aliran sirkulasi arus yang menginduksi logam. Hal ini disebabkan oleh aliran flux magnetik disekitar inti besi. Karena inti besi trafo terbuat dari konduktor (umumnya besi lunak), maka arus Eddy yang menginduksi inti besi akan semakin besar. Eddy current dapat menyebabkan kerugian daya pada sebuah trafo karena pada saat terjadi induksi arus listrik pada inti besi, maka sejumlah energi listrik akan diubah menjadi panas. Untuk mengurangi arus Eddy, maka inti besi trafo dibuat berlapis-lapis, tujuannya untuk memecah induksi arus Eddy yang terbentuk di dalam inti besi.

2. Kumparan

Kumparan adalah gulungan kawat berisolasi yang membentuk gulungan. Kumparan tersebut diisolasi terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lainnya. Bila kumparan primer diberikan sumber tegangan bolak balik, dan kumparan sekunder dalam kondisi tidak diberi beban, maka kumparan tersebut mengalir arus beban nol (I₀). Arus ini membangkitkan flux bolak balik pada inti besi. Gaya gerak listrik

yang dibangkitkan pada kumparan akan menimbulkan medan elektrik yang kuat. Arus yang mengalir akan menimbulkan rugi-rugitembaga, sedangkan fluks pada inti besi akan menimbulkan rugi-rugi arus eddy (eddy current) dan rugi rugi histerisis. Semua rugi-rugi yang timbul mengakibatkan suhu yang tinggi pada isolator transformator

3. Minyak Trafo

Minyak trafo merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Minyak trafo berupa jenis mineral dan tidak beracun. Sebagai bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan menahan tegangan tembus. Sedangkan sebagai pendingin, minyak trafo harus mampu meredam panas yang ditimbulkan. Sebagai pendingin, kekentalan minyak trafo tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak trafo yaitu: kejernihan, massa jenis, viskositas, titik nyala, titik tuang, angka kekentalan, korosi, tegangan tembus.

4. Bushing

Bushing yaitu konduktor yang diselubungi oleh isolator. Bushing terdapat antara kumparan trafo dengan jaringan luar. Berfungsi sebagai isolator antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

5. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian trafo yang terendam minyak berada di dalam tangki. Untuk menampung pemuaiannya pada minyak trafo, pada tangki dilengkapi dengan sebuah konservator. Berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo. Saat terjadinya kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak menyusut dan volume minyak akan turun.

b. Bagian peralatan bantu pada transformator

1. Pendingin

Dalam pemakaiannya, trafo akan mengalami rugi - rugi tembaga akibat dari panas yang timbul. Panas

yang dihasilkan akan dapat mengakibatkan kenaikan suhu yang berdampak pada kerusakan isolasi. Untuk mengatasi hal tersebut trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas. Sistem pendingin yang terdapat pada trafo dapat berupa gas/udara, minyak dan air, sedangkan sirkulasinya dapat dilakukan dengan cara alamiah dan paksa.

2. Tap Charger (Perubahan Tap)

Tap Charger merupakan alat penstabil keluaran pada sisi sekunder trafo. Alat ini mengubah jumlah kumparan primer yang memiliki input tegangan yang berubah-ubah untuk mendapatkan nilai tegangan yang konstan. *Tap Charger* dapat dilakukan dalam keadaan berbeban atau tanpa beban dan tergantung jenisnya.

3. Alat Pernapasan (Silica Gel)

Untuk pernapasan Trafo dibutuhkan silicagel, dimana berfungsi agar permukaan minyak pada trafo akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus pada minyak trafo. Untuk mencegahnya maka pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat hygroscopic.

4. Indikator

Trafo dilengkapi dengan alat indikator untuk mengawasi kondisi utama dan alat bantu yang ada dalam trafo saat beroperasi. Indikator yang terdapat pada trafo adalah sebagai berikut : Indikator suhu minyak (temperature Gauge), Indikator permukaan minyak (Level gauge), Indikator sistem pendinginan Indikator Kedudukan Tap.

5. NGR (Neutral Grounding Resistance)

Neutral Grounding Resistance (NGR) merupakan tahanan yang dipasang secara seri dengan neutral dari sisi primer sebuah trafo. Dimana tahanan ini berfungsi

untuk mengontrol besar arus gangguan yang mengalir dari netral ke tanah.

c. Peralatan Proteksi

Sebagai pengaman, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi peralatan relai proteksi, yaitu: sensitifitas (kepekaan), selektifitas, kecepatan, keandalan, ekonomis. Peralatan proteksi yang umumnya digunakan pada trafo sebagai pengaman pada saat terjadi gangguan adalah:

1. Relay Bucholz

Relai Bucholz adalah relai yang mengamankan trafo dari gelembung gas didalam minyak trafo, yang dapat menimbulkan tekanan lebih didalam trafo. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan relay bucholz.

2. Relay Thermal

Relai yang memproteksi trafo dari temperatur minyak trafo, sehingga dapat menjaga isolasi minyak trafo yang dapat menimbulkan *partial discharge* yang menyebabkan umur trafo singkat.

2.2. Pemburukan Minyak Isolasi (*Deterioration*)

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang syarat - syarat yang harus dimiliki oleh minyak isolasi, serta faktor - faktor yang menimbulkan pemburukan pada minyak isolasi

2.3.1. Karakteristik Yang Harus Dimiliki Oleh Minyak Isolasi

Minyak trafo memiliki fungsi utama yaitu sebagai media isolasi dan sebagai pendingin. Untuk itu minyak trafo harus memiliki karakteristik agar dapat dikatakan sebagai isolator dan pendingin. Karakteristik yang harus dipenuhi oleh minyak isolasi adalah sebagai berikut:

- Kejernihan (*Appearance*). Minyak isolasi tidak mengalami endapan.
- Massa Jenis (*Density*). Massa jenis minyak trafo lebih kecil dibandingkan dengan air.
- Kekentalan (*viscosity*). Minyak trafo harus memiliki tingkat kekentalan yang rendah.
- Titik Nyala (*flash point*). Jika titik nyala rendah, maka minyak mudah

menguap, jika minyak menguap volumenya akan berkurang, maka minyak semakin kental dan campuran dengan udara diatas permukaan minyak membentuk bahan yang mudah menimbulkan ledakan.

- Titik Tuang (*Pour Point*). Titik tuang digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.
- Tegangan Tembus. Tegangan tembus yang rendah mengindikasikan adanya kontaminasi pada minyak trafo seperti kotoran atau partikel.
- Faktor Kebocoran Dielektrik. Semakin besar nilai factor kebocoran menunjukkan adanya kontaminasi bahkan kerusakan.
- Tahanan Jenis (*Resistivity*). Nilai tahanan jenis yang rendah enunjukkan kontaminasi yang bersifat konduktif.
- Tegangan Permukaan (*Interfacial Tension*). Penurunan tegangan dapat diakibatkan oleh adanya kontaminasi dengan zat terlarut dan gas bebas (*soluble contamination*) atau hasil dari kerusakan minyak. Hal ini merupakan indikator kerusakan minyak.

2.3. Pemanasan pada Transformator

Faktor temperatur lingkungan, pemberian beban, juga sistem pendingin sangat mempengaruhi kinerja trafo. Faktor-faktor tersebut dapat memicu terjadinya pemanasan pada trafo yang mempengaruhi kondisi penuaan pada isolasi trafo. Saat beroperasi trafo akan mengalami perubahan temperatur, maka bahan isolasi dari peralatan listrik harus memiliki sifat termal sebagai berikut : daya tahan panas yang tinggi, konduktivitas panas tinggi, Koefisien muai panas rendah, tidak mudah terbakar, tahan terhadap busur api.

2.4. Kontaminasi Pada Minyak Transformator

Zat kontaminan seperti gelembung air, udara, gas terlarut, endapan atau kotoran berupa debu yang terdapat pada

minyak isolasi akan mengakibatkan degradasi kekuatan bahan isolasi minyak trafo. Berikut faktor apa saja yang mempengaruhi mekanisme kegagalan pada minyak trafo, yaitu : partikel padat, uap air, gelembung gas.

2.5. Tegangan Tembus (Breakdown Voltage)

Tegangan tembus (*breakdown voltage*) adalah besar tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh isolator (minyak trafo). Tegangan tembus merupakan indikator utama untuk mengetahui kualitas isolasi minyak trafo selain temperatur dan umur minyak trafo. Trafo yang beroperasi dengan beban yang tinggi dan berkelanjutan akan menyebabkan naiknya temperatur pada minyak trafo. Bahan dielektrik sebagai salah satu bahan listrik mempunyai beberapa sifat-sifat kelistrikan

2.6. Kekuatan Dielektrik

Kekuatan bahan dielektrik adalah ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan. Kekuatan bahan dielektrik tergantung pada material elektroda, suhu, tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan beberapa faktor yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Medan elektrik yang timbul akan memberikan gaya pada electron agar terlepas dari ikatannya untuk menjadi elektron bebas. Kondisi tersebut merupakan beban bagi dielektrik yang memaksa atau menekan dielektrik berubah menjadi konduktor. Hubungan antara tegangan tembus dengan jarak sela elektroda adalah linier, jadi nilai kekuatan dielektrik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{V_{bd}}{d} \quad (6)$$

Dimana : E : Kekuatan bahan dielektrik (Kv/cm)
 Vbd : Tegangan tembus bahan isolasi (Kv)
 D : Jarak sela elektroda (mm)

2.7. DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Identifikasi kandungan gas dengan dissolved gas analysis merupakan metode analisa yang mengacu pada standar IEEE C57 104 tahun 2008 dan IEC 60599 tahun 2007. Pengujian ini memungkinkan kita

untuk mengetahui kecacatan awal untuk menghindari kerusakan fatal yang mengakibatkan kerusakan pada trafo. Tujuan utama dari pengujian DGA adalah:

1. Memeriksa kondisi trafo apakah dalam kondisi normal.
2. Mengetahui kondisi operasi trafo (sampai melakukan pemeriksaan lanjutan)
3. Mencegah terjadinya kegagalan

Tahapan awal adalah memisahkan gas yang terlarut dari minyak sehingga semua gas dapat diidentifikasi. Setelah dipisahkan dari minyak, gas akan diurai berdasarkan jenisnya dengan metode yang disebut *chromatography*. Informasi yang bisa kita dapatkan dari pengujian ini adalah:

- Rasio konsentrasi antara gas
- Gas apa saja yang terlarut dan kadarnya

Dari informasi yang didapat dapat diambil kesimpulan pada tingkatan seberapa gas-gas yang terlarut tersebut berpengaruh terhadap gangguan atau kegagalan yang berakibat pada kinerja trafo.

3. METODE PELAKSANAAN

3.1. Metode Ekstraksi Gas

Metode pengujian DGA yang digunakan untuk mengekstrak fault gas yang terlarut pada minyak trafo yaitu metode *Gas Chromatograph* (GC). *Gas chromatograph* merupakan gas pembawa dan gas bakar yang dialirkan secara terus menerus dari sebuah tabung tabung silinder yang bertekanan tinggi. Keadaan minyak isolasi menjelaskan kondisi trafo melalui kandungan zat yang terlarut didalamnya.

3.2. Metode Interpretasi Data Uji DGA

Metode interpretasi data uji DGA yang digunakan adalah dengan menggunakan TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*). Gas – gas yang mudah terbakar menurut IEEE adalah karbon monoksida (CO), metana (CH₄), etana (C₂H₆), etilen (C₂H₄), asetilen (C₂H₂), dan Hidrogen (H₂). IEEE telah menerapkan standarisasi untuk melakukan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut pada sampel minyak, yaitu pada IEEE std. C57 – 104.1991.

Tabel 3. 1 Batas konsentrasi gas individual dan TDCG standart IEEE C57.104-2008

Kondisi	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂ *	TDCG
1	100	120	1	50	65	350	2500	720
2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
4	>1800	>1000	<35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

3.3. Metode Pengujian Tegangan Tembus

Metode pengujian tegangan tembus (breakdown voltage) akan menghasilkan tegangan rata-rata untuk bisa menembus isolasi minyak trafo, sedangkan uji DGA menghasilkan konsentrasi gas yang mudah terbakar yang terlarut pada minyak trafo. Jika nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*) rendah, dapat dipastikan isolasi minyak trafo mudah ditembus tegangan listrik. Kondisi ini dapat menyebabkan percikan listrik di

trafo dan mudah menyebabkan degradasi pada minyak trafo.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil Uji DGA Sebelum Purifikasi

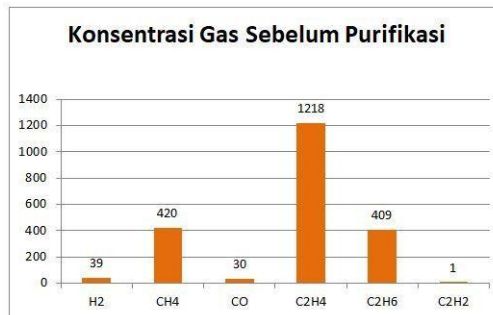
sendiri. Parameter yang harus diperhatikan adalah : standard IEEE C57.104 - 2008, jenis minyak, metode interpretasi data, nilai konsentrasi berbagai jenis *fault gas* (hidrogen, metana, karbon monoksida, etilena, etana, asetilena) dan TDCG.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian DGA

No	PARAMETER GAS	IEEE std. C57-104-2008				HASIL (ppm) Mei 2020
		KONDISI (ppm)				
		1	2	3	4	
1	Hydrogen (H ₂)	100	101-700	701-1800	>1800	39
2	Methane (CH ₄)	120	121-400	401-1000	>1000	420
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	1	2-9	10-35	>35	1
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	50	51-100	101-200	>200	1218
5	Ethane (C ₂ H ₆)	65	66-100	101-150	>150	409
6	Carbon Monoxide (CO)	350	351-570	571-1400	>1400	30
7	Carbon Dioxide (CO ₂)	2500	2501-4000	4001-10000	>10000	3345
TDCG		720	721-1920	1921-4630	>4630	2117

Dari Tabel 4.1. diatas dapat dilihat perbandingan konsentrasi masing-masing gas berada pada beberapa kondisi berbeda.

Perbandingan kondisi masing masing gas ditampilkan oleh grafik berikut ini.



Grafik 4. 1 Konsentrasi masing-masing gas sebelum purifikasi

Dari grafik 4.1. diatas dapat dilihat kemudian dapat kita bandingkan menggunakan standar IEEE C57 104 2008 seperti terlihat pada table 3.3. bahwa kondisi masing-masing gas adalah sebagai berikut:

- Gas Hidrogen (H₂): konsentrasi H₂ muncul dan nilainya masih berada pada rentang kondisi 1 yang berarti

masih berada pada kondisi normal.

- Gas Methana (CH₄): konsentrasi gas methana (CH₄) nilainya berada pada kondisi 3, timbulnya gas methana (CH₄) yang terkandung dalam minyak trafo ini disebabkan oleh adanya kenaikan temperatur.
- Gas karbon monoksida (CO): konsentrasi gas karbon monoksida

(CO) yang terkandung pada minyak trafo ini cenderung berada pada kondisi 1 normal walaupun mengalami kenaikan dengan intensitas yang sangat rendah.

- Gas Etilena (C₂H₄): konsentrasi gas etilena (C₂H₄) pada pengujian minyak trafo ditemukan kenaikan kandungan gas etilena sangat tinggi.
- Gas Ethana (C₂H₆): konsentrasi gas ethana mengalami kenaikan dan berada pada kondisi 4. Munculnya gas ethana (C₂H₆) yang terkandung pada minyak trafo mengindikasikan terjadi kenaikan suhu pada minyak trafo.
- Gas Asetilena (C₂H₂): gas Asetilena cenderung lebih stabil dan tetap normal dibandingkan dengan konsentrasi gas yang lain.

Berdasarkan standard IEEE yang dijadikan pedoman sebagai klasifikasi kondisi operasional trafo, tingginya nilai TDCG menempatkan level kondisi minyak trafo berada kondisi 3 kondisi yang mengindikasikan kemungkinan terjadi gejala kegagalan pada trafo.

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian tegangan tembus

NO	Pengujian (Sebelum Purifikasi)	Tegangan Tembus (KV) (Single Result)	Tegangan Tembus (KV) (Average Value)
1.	Pengujian ke - 1	34	31.3
2.	Pengujian ke - 2	31.2	
3.	Pengujian ke - 3	30	
4.	Pengujian ke - 4	30.6	
5.	Pengujian ke - 5	31.7	
6.	Pengujian ke - 6	30	

Dari tabel 4.2. diatas dapat kita lihat pengujian dilakukan sebanyak enam kali untuk memperoleh nilai rata-rata pengujian. Dari data pengujian diperoleh nilai rata-rata tegangan tembus adalah sebesar 31.3 KV dan dapat diartikan nilai tegangan tembus minyak trafo memenuhi baku mutu karena nilainya lebih besar dari 30 KV sesuai standart SPLN 49-1:1982.

Dari data hasil uji tegangan tembus diatas, maka besarnya kekuatan dielektrik minyak trafo dengan menggunakan persamaan (6). Besarnya nilaikekuatan dielektrik sebelum dilakukan purifikasi adalah :

$$1. F = \frac{Vbd}{d} = \frac{34}{0,25} = 136 \text{ Kv/cm}$$

5.2. Analisis Hasil Uji Tegangan Tembus Sebelum Purifikasi

Untuk mengetahui kekuatan dielektrik minyak trafo maka perlu dilakukan pengujian tegangan tembus. Kekuatan tegangan tembus dari trafo dapat berubah karena beberapa faktor, diantaranya penuaan, pengotoran dan terjadinya reaksi kimia. Untuk itu, maka dilakukan pengujian tegangan tembus terhadap minyak trafo. Pengujian tegangan tembus mengikuti standart SPLN 49-1:1982yaitu:

- $\geq 30 \text{ KV}/2,5 \text{ mm}$ sebelum purifikasi
- $\geq 50 \text{ KV}/2,5 \text{ mm}$ setelah purifikasi

Dari pengujian didapatkan keterangan minyak trafo milik PLTD Titi Kuning adalah sebagaiberikut:

- Jenis minyak : DIALA B
- Jenis elektroda : elektroda bola (*sphere*)
- Jarak gap : 2,5 mm

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapat data pengujian yang ditunjukkan padaTabel 4.2 berikut.

$$2. E = \frac{Voa}{d} = \frac{31,2}{0,25} = 124,8 \text{ Kv/cm}$$

$$3. E = \frac{Voa}{d} = \frac{30}{0,25} = 120 \text{ Kv/cm}$$

$$4. E = \frac{Voa}{d} = \frac{30,6}{0,25} = 122,4 \text{ Kv/cm}$$

$$5. E = \frac{Voa}{d} = \frac{31,7}{0,25} = 126,8 \text{ Kv/cm}$$

$$6. E = \frac{Voa}{d} = \frac{30}{0,25} = 120 \text{ Kv/cm}$$

Maka kekuatan dielektrik rata-rata :

$$E = 125 \text{ Kv/cm}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai kekuatan dielektrik rata-rata dengan menggunakan elektroda bola-bola berjarak 2.5 mm adalah sebesar 125 Kv/cm. Artinya nilai kekuatan dielektrik dikatakan masih

memenuhi baku mutu. Untuk meningkatkan nilai tegangan tembus pada minyak trafo maka dilakukan purifikasi sebagai pentuk perawatan terhadap minyak trafo.

4.3. Analisis Hasil Uji DGA Setelah Purifikasi

Data hasil pengujian setelah dilakukan

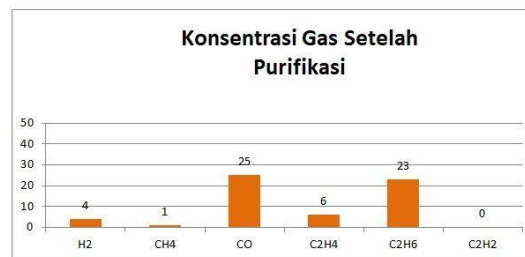
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian DGA minyak trafo setelah purifikasi

No	PARAMETER GAS		IEEE std. C57-104-2008				HASIL (ppm) Mei 2020
			KONDISI (ppm)				
			1	2	3	4	
1	Hydrogen (H ₂)	700	101-700	701-1800	>1800	4	
2	Methane (CH ₄)	120	121-400	401-1000	>1000	1	
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	1	2-9	10-35	>35	0	
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	50	51-100	101-200	>200	6	
5	Ethane (C ₂ H ₆)	95	66-100	101-150	>150	23	
6	Carbon Monoxide (CO)	350	351-570	571-1400	>1400	25	
7	Carbon Dioxide (CO ₂)	3500	2501-4000	4001-10000	>10000	618	
TDCG		2%	721-1920	1921-4630	>4630	59	

Dari tabel 4. 3. diatas hasil pengujian DGA minyak trafo diatas konsentrasi masing-masing gas setelah dilakukan purifikasi mengalami perubahan. Nilai

purifikasi pada minyak trafo adalah seperti pada tabel 4.3 berikut. Dapat terlihat dari data hasil pengujian, nilai dari konsentrsi masing-masing gas terlarut yang mudah terbakar menurun.

dari konsentrasi masing-masing gas menjadi kecil dari semula. Grafik 4.2 berikut menampilkan konsentrasi gas setelah dilakukan purifikasi.



Grafik 4. 2 Konsentrasi masing-masing gas setelah purifikasi

Dari grafik 4.1. diatas dapat dilihat kemudian dapat kita bandingkan menggunakan standar IEEE C57 104 2008 seperti terlihat pada table 3.3. bahwa kondisi masing-masing gas setelah dilakukan purifikasi pada minyak trafo adalah sebagai berikut:

- Gas Hidrogen (H₂): konsentrasi H₂ muncul dan nilainya masih berada pada rentang kondisi 1 yang berarti masih berada pada kondisi normal.
- Gas Methana (CH₄): konsentrasi gas methana (CH₄) nilainya kembali pada kondisi 1 setelah dilakukan purifikasi.
- Gas karbon monoksida (CO): konsentrasi gas karbon monoksida (CO) yang terkandung pada minyak trafo ini cenderung berada pada kondisi 1 normal akan tetapi setelah dikalukan *purifikasi* nilainya juga mengalami penurunan.
- Gas Etilena (C₂H₄): konsentrasi gas etilena (C₂H₄) pada pengujian minyak trafo ditemukan kenaikan kandungan gas etilena sangat tinggi diantara

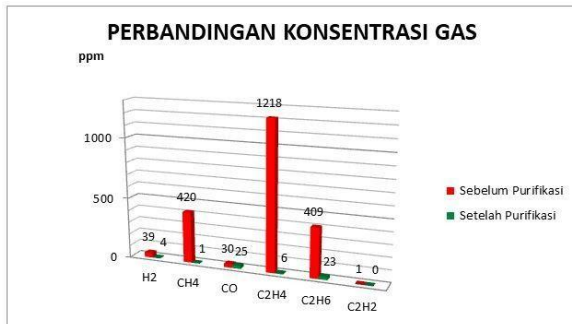
kandungan gas lainnya, setelah dilakukan *purifikasi* nilainya turun dan berada pada kondisi 1.

- Gas Ethana (C₂H₆): konsentrasi gas ethana yang berada pada kondisi 4 mengalami penurunan kini berada pada kondisi 1.
- Gas Asetilena (C₂H₂): gas Asetilena cenderung lebih stabil dan tetap normal dibandingkan dengan konsentrasi gas yang lain akan tetapi nilainya cenderung menurun walaupun pada nilai yang sangat kecil setelah dilakukan purifikasi.

Dari grafik 4.2. diatas dapat dilihat batasan hasil pengujian DGA dengan menggunakan standar IEEE C57 - 104 2008 seperti terlihat pada table 3.3. bahwa konsentrasi masing-masing gas terlarut yang mudah terbakar pada minyak trafo berada pada kondisi 1.

Dari grafik 4.1 dan grafik 4.2 diperoleh perbandingan kondisi konsentrasi masing-masing gas terlarut

yang mudah terbakar pada minyak trafo mengalami penurunan seperti terlihat pada grafik 4.3 berikut ini.



Grafik 4. 3 Perbandingan Konsentrasi Gas Sebelum dan Sesudah purifikasi

Dari grafik 4.3 diatas menyatakan bahwa setelah dilakukan purifikasi pada minyak trafo, nilai dari konsentrasi masing masing gas yang mudah terbakar menurun sekitar 97%. Dimana kondisi sebelum dilakukan purifikasi, minyak trafo berada pada kondisi 3 menurut standar IEEE C57 104 2008.

Setelah dilakukan purifikasi pada minyak trafo, nilai konsentrasi masing masing gas yang mudah terbakar yang terlarut pada minyak trafo berkurang, ini merubah kondisi minyak trafo yang awalnya berada pada kondisi 3 dengan indikasi kemungkinan terjadi kegagalan pada trafo, berubah menjadi kondisi 1 dimana kondisi ini merupakan kondisi trafo normal beroperasi sesuai standar IEEE C57 104 2008.

4.4. Analisis Hasil Uji Tegangan Tembus Setelah Purifikasi

Hasil pengujian DGA diperkuat dengan hasil pengujian tegangan tembus. Pada table 4.4 berikut merupakan tabel hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo setelah purifikasi.

Tabel 4. 4 Data hasil pengujian tegangan tembus minyak trafo setelah Purifikasi

NO	Pengujian (Setelah Purifying)	Tegangan Tembus (KV) (Single Result)	Tegangan Tembus (KV) (Average Value)
1.	Pengujian ke - 1	55.4	50.4
2.	Pengujian ke - 2	60.1	
3.	Pengujian ke - 3	57.8	
4.	Pengujian ke - 4	41.3	
5.	Pengujian ke - 5	44.1	
6.	Pengujian ke - 6	43.4	

Dari table 4.4 diatas, dapat kita lihat dari enam kali pengujian menghasilkan

besaran rata-rata hasil pengujian sebesar 50.4 KV. Nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran menyatakan bahwa minyak trafo dalam kondisi memenuhi baku mutu. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran sebelumnya sebesar 31.2 KV, setelah dilakukan Purifikasi terdapat peningkatan nilai dari tegangan tembus sebesar 19,2 KV atau sebesar 61.5% dari nilai sebelum dilakukan Purifikasi. Dari data hasil uji tegangan tembus diatas, besarnya kekuatan dielektrik minyak trafo dengan menggunakan persamaan (6). Besarnya nilai kekuatan dielektrik setelah purifikasi adalah :

- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{55.4}{0.25} = 221.6 \text{ Kv/cm}$
- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{60.1}{0.25} = 240.4 \text{ Kv/cm}$
- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{57.8}{0.25} = 231.2 \text{ Kv/cm}$
- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{41.3}{0.25} = 165.2 \text{ Kv/cm}$
- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{44.1}{0.25} = 176.4 \text{ Kv/cm}$
- $E = \frac{V_{bd}}{d} = \frac{43.4}{0.25} = 173.6 \text{ Kv/cm}$

Kekuatan dielektrik rata-rata :
 $E = 201.4 \text{ Kv/cm}$

Dari hasil perhitungan nilai kekuatan dielektrik rata-rata minyak trafo dengan menggunakan elektroda bola-bola berjarak 2.5 mm adalah sebesar 201.4 Kv/cm. Artinya nilai kekuatan dielektrik minyak trafo memenuhi baku mutu.

5. Simpulan

Dari analisa pengujian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Semakin besar nilai konsentrasi gas yang mudah terbakar yang terlarut pada minyak trafo mengakibatkan penyusutan kualitas minyak trafo serta penurunan nilai tegangan tembus yang berdampak pada kinerja trafo.
- Setelah dilakukan purifikasi pada minyak trafo, nilai dari konsentrasi masing masing gas terlarut yang mudah terbakar mengalami penurunan sebesar 97% ke batas normal pada kondisi 1 dimana sebelumnya pada kondisi 3. Kondisi ini diikuti oleh

peningkatan nilai tegangan tembus dan kekuatan bahan dielektrik sebesar 61%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Chumaidy, Adib. Analisis Kegagalan Minyak Isolasi Pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut. Jakarta Selatan : ISTN
- Nugroho, Dedi. 2010. Kegagalan Isolasi Minyak Trafo. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung
- Panggabean, Samuel. 2008 Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Berbagai Minyak Isolasi Transformator (Gulf, Nynas, Shell Diala B dan Total). Medan : Universitas Sumatera Utara
- Napitupulu, Janter. 2019. Kendala Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi pada PT PLN Rayon Medan Timur. Medan: Universitas Darma Agung
- PT.PLN (Persero). 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Jakarta Selatan
- Siburian, Jhonson. 2019. Karakteristik Trasformator. Medan: Universitas Darma Agung
- Sigid, Purnama. 2010. Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Tenga. Semarang : Universitas Diponegoro
- Sutrisno. 2000. Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Bandung : Institut Teknologi
- T. Committee, I. Power, and E. Society, IEEE Std C57.104TM-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991), IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, vol. 2008, no. February. 2009.
- Wibowo, K.W., Yuningtyastuti, dan Abdul Syakur. Analisis Karakteristik Breakdown Voltage pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C. Semarang: Universitas Diponegoro