

## **Identifikasi Penurunan Kinerja Pada Minyak Transformator di GI Lagadar Menggunakan *Total Dissolved Combustible Gas*, Rasio Doernenburg, Segitiga Duval, dan *Water Content***

**Giri Angga Setia<sup>1\*</sup>; Salma Najla Atsilah<sup>1</sup>; M Reza Hidayat<sup>1</sup>; Een Taryana<sup>1</sup>**

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani  
Cimahi Sel., Cimahi, Jawa Barat 40531, Indonesia

\*Email: giri.anggaseta@gmail.com

Received: 09 Desember 2022 | Accepted: 28 Desember 2022 | Published: 01 Januari 2023

### **ABSTRACT**

*The power transformer is one of the main of equipment in the electric power system. Among the important parts of the power, the transformer is the transformer oil which is the insulation system. Therefore, it is necessary to carry out a diagnosis to identify the cause of a decrease in performance in transformer oil. The method used to diagnose the transformer oil is Dissolved Gas Analysis (DGA) namely TDCG, Doernenburg's Ratio, Duval Triangle, and Water Content. The diagnosis was made on 4 transformer units at the Lagadar GI. The results of the diagnosis obtained indicate an indication of damage to one of the transformers which have an impact on performance degradation. Oil samples from the four transformer units were tested using a DGA Portable Morgan Schaffer. The results of tests carried out using the Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) method found that the highest concentration of 1105 ppm occurred in the uni 2 transformers. Measurement of water content obtained the highest concentration of 26.71 ppm which occurred in transformer unit 4. It can be seen that disturbances in the form of low-heated cellulose must be handled immediately. The gas content of CO and CO<sub>2</sub> which is dominant indicates an indication of annihilation as a result of the temperature rise in the transformer oil.*

**Keywords:** Dissolved Gas Analysis (DGA), Insulation, Transformer Oil, TDCG, Water Content

### **ABSTRAK**

*Transformator tenaga merupakan salah satu peralatan utama di sistem tenaga listrik. Diantara bagian penting dari transformator tenaga yaitu minyak transformator yang merupakan sistem isolasinya. Maka dari itu perlu dilakukan diagnosis dengan tujuan untuk mengidentifikasi penyebab adanya penurunan kinerja pada minyak transformator. Metode digunakan untuk melakukan diagnosis terhadap minyak transformator tersebut adalah Dissolved Gas Analysis (DGA) yaitu metode TDCG, Rasio Doernenburg, Segitiga Duval, serta Water Content. Diagnosis dilakukan terhadap 4 unit transformator di GI Lagadar. Hasil diagnosis didapat adanya indikasi kerusakan pada salah satu transformator yang berakibat terhadap penurunan kinerja. Sampel minyak dari keempat unit transformator diuji menggunakan DGA Portable Morgan Schaffer. Hasil pengujian yang dilakukan dengan metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) mendapati konsentrasi paling tinggi yaitu sebesar 1105 ppm terjadi di transformator uni 2. Hal tersebut mengindikasikan kegagalan mungkin terjadi walaupun masih dalam batasan normal. Pengukuran water content didapat konsentrasi paling besar yaitu 26,71 ppm terjadi pada transformator unit 4. Hal tersebut mengindikasikan bahwa transformator terkena gangguan berupa lowheated cellulose dan harus segera ditangani. Kandungan gas CO dan CO<sub>2</sub> yang dominan menunjukkan adanya indikasi pemburukan isolasi akibat dari kenaikan suhu panas pada minyak transformator.*

**Kata kunci:** Dissolved Gas Analysis (DGA), Isolasi, Minyak Transformator, TDCG, Water Content

## 1. PENDAHULUAN

Transformator tenaga merupakan *static device* yang bekerja untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari level tegangan tertentu. Pada transformator terdiri dari rangkaian magnetic dan belitan (dua atau lebih belitan), dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik melakukan transformasi arus dan tegangan sistem AC ke level besaran lainnya dengan frekuensi yang sama [1]. Transformator tenaga yang beroperasi secara kontinu melayani beban 24 jam, sehingga harus dijaga tingkat keandalannya dan perlu diperhatikan secara khusus [2]. Keandalan sistem dibutuhkan agar suplai energy listrik ke beban semakin kontinu, sehingga dapat mensuplai kebutuhan jenis beban yang bervariasi di sisi konsumen [3]. Isolasi pada transformator merupakan bagian yang sangat penting karena menjadi indikasi apakah kinerja transformator dalam keadaan optimal atau tidak. Minyak transformator tidak hanya berfungsi sebagai isolator tetapi juga sebagai pendingin transformator [4][5].

Identifikasi permasalahan awal didapat pada unit ke-4 dengan kondisi minyak transformator tidak terjadi kenaikan suhu ketika sedang beroperasi. Sehingga perlu dilakukan diagnosis terhadap kondisi internal transformator unit lainnya juga. Diagnosis transformator dilakukan di Gardu Induk Lagadar yang memiliki 4 unit transformator tenaga. Dilakukannya diagnosis pada minyak transformator dari keempat unit transformator tersebut untuk mengetahui dan mengidentifikasi kondisi internal transformator.

Beberapa penelitian lain terkait seperti yang dilakukan oleh Fauzia Haz, dkk [6] melakukan pengujian pada 3 unit transformator di PLTA Cikalong diakibatkan usia transformator yang sudah lama. Teknik diagnosis menggunakan TDCG dan didapatkan hasil bahwa ketiga unit transformator pada kondisi level 1. Penelitian lain dilakukan oleh A. Syakur, dkk [7], DGA akan mengekstraksi gas-gas terlarut untuk diketahui indikasi gangguan. Berdasarkan hasil interpretasi data gas-gas hidrokarbon terlarut yang dilakukan. Metode DGA juga mampu memprediksi kerusakan jangka panjang, sehingga kerusakan pada transformator dapat dicegah. Hasil analisis DGA pada transformator menghasilkan indikasi berupa *Discharge of thermal fault* yang didapat dari hasil intrepetasi data menggunakan metode Rasio *Roger* dan Segitiga Duval.

Analisis penurunan kinerja di transformator tenaga pada penelitian ini ditinjau juga adanya pengujian kadar/kandungan air (*water content*) yang muncul di minyak transformator karena hal tersebut dapat menyebabkan penurunan tingkat isolasi pada minyak transformator. Kandungan air yang terdapat pada minyak transformator dapat ditangani dengan melakukan teknik filterisasi minyak transformator dalam kondisi transformator sedang bekerja. Cara ini sangat efektif dan sederhana, dengan prinsip kerja dari filterisasi ini adalah melakukan sirkulasi minyak transformator yang akan dipurifikasi [7][8].

Pada transformator terdapat *bushing* yang terdiri dari sebuah konduktor dengan diselubungi oleh isolator. Pada isolator tersebut berfungsi untuk pemisah antara konduktor *bushing* dengan *body main* transformator. Ada juga *bushing non condenser* yang merupakan isolasi padat seperti keramik atau porselen [9].

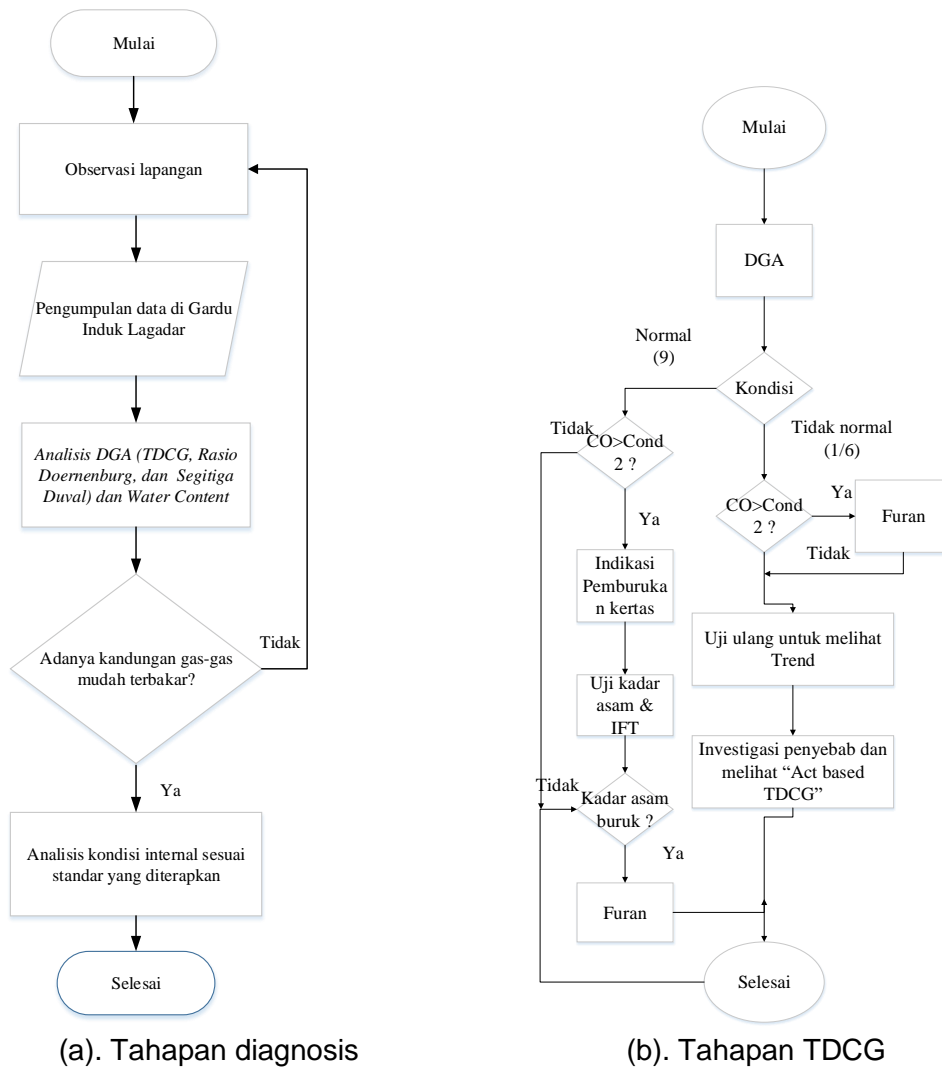
Pada paper ini diuraikan metode diagnosis menggunakan *Dissolved Gas Analysis* (DGA) yaitu metode TDCG, Rasio Doernenburg, Segitiga Duval, serta *Water Content* untuk mengidentifikasi kandungan gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat anomali, selain itu diuji juga *water content* yang muncul pada minyak transformator. Kemudian mengetahui

kondisi 4 unit transformator di GI Lagadar apakah perlu dilakukan tindakan terhadap kondisi yang muncul atau masih dalam batasan normal.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)

Berikut ini merupakan diagram alir langkah demi langkah diagnosis dilakukan dan tahapan dari TDCG:



**Gambar 1.** Diagram alir (a) tahap diagnosis dan (b) tahapan TDCG

Pada gambar di atas dapat dijelaskan bahwa [10]:

- Apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi normal, perlu dilihat kondisi gas CO.
- Perlu dilakukan pengujian kadar asam dan IFT untuk mengetahui pemburukan isolasi kertas akibat hidrolisa isolasi kertas dan oksidasi minyak isolasi.
- Apabila hasil uji DGA (DCG selain CO) menunjukkan kondisi sedang atau buruk, perlu dilakukan tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat trend serta investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai "act based TDCG".

- d) Perlu dilakukan pengujian furan sebelum tindak lanjut berupa pengujian ulang untuk melihat trend maupun investigasi penyebab dan rekomendasi tindak lanjut sesuai "*act based* TDCG".
- e) Apabila nilai salah satu gas ada yang memasuki kondisi 2, maka lakukan pengujian ulang untuk mengetahui peningkatan pembentukan gas. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilakukan investigasi kemungkinan terjadi kelainan dengan rasio (*Roger* dan *Doernenburg*) dan *duval*.

## 2.2. Rasio CO<sub>2</sub>/CO dan Kandungan CO

Nilai CO<sub>2</sub> / CO < 3 merupakan indikasi gangguan di kertas pada temperatur 200 - 300 °C (termasuk *arcing*) dimana kertas terdegradasi sangat cepat bahkan terjadi karbonisasi. Nilai rasio CO<sub>2</sub> / CO > 10 juga merupakan indikasi gangguan termal di kertas pada temperatur < 150 °C, temperatur tersebut berdampak pada penuaan kertas jangka panjang dan mengurangi umur Transformator.

Nilai rasio CO<sub>2</sub> / CO < 3 atau kandungan CO pada kondisi 3 (>571ppm) mengindikasikan perlu tindak lanjut pengujian furan untuk mengetahui kondisi isolasi kertas. Key Gases [10].

### 1) Thermal – Oil:

Dekomposisi produk termasuk *ethylene* dan *methane* dengan sedikit kuantitas hidrogen dan *ethane*. Tanda keberadaan acetylene mungkin terbentuk jika fault yang terjadi parah atau diikuti dengan kontrak elektrik. Gas dominan: *Ethylene*.

### 2) Thermal –Selulosa

Sejumlah karbon dioksida dan karbon monoksida terlibat akibat pemanasan selulosa. Gas hidrokarbon, seperti metana dan *ethylene* akan terbentuk jika fault melibatkan struktur minyak. Gas dominan: Karbon monoksida.

### 3) Electrical – Partial Discharge:

Discharge elektrik tenaga rendah menghasilkan hydrogen dan metana dengan sedikit kuantitas *ethane* dan *ethylene*. Jumlah yang sebanding antara karbon monoksida dan karbon dioksida mungkin dihasilkan dari discharge pada selulosa. Gas dominan: Hidrogen.

### 4) Electrical -Arching

Sejumlah hidrogen dan *acetylene* terproduksi dan sejumlah *methane* dan *ethylene*. Karbon dioksida dan karbon monoksida akan selalu dibentuk jika melibatkan fault selulosa. Minyak mungkin terkarbonisasi. Gas dominan: *Acetylene*.

Berikut merupakan tabel Rasio Doernenburg berdasarkan standar IEEE C57.104-2008:

**Tabel 1.** Rasio Doernenburg (IEEE C57.104-2008)

No	Saran Diagnosa	Rasio 1(R1) $\frac{CH_2}{H_2}$		Rasio 2(R2) $\frac{C^2H^2}{C^2H^2}$		Rasio 3(R2) $\frac{C_2H_2}{CH_4}$		Rasio 4(R2) $\frac{C_2H_4}{C_2H_2}$	
		Minyak	Gas Space	Minyak	Gas Space	Minyak	Gas Space	Minyak	Gas Space
1	Dekomposisi Thermal	> 1.0	> 0,1	> 0,75	> 1,0	> 0,3	> 0,1	> 0,4	> 0,2
2	Partial Discharge (intensitas rendah PD)	> 0,1	> 0,01	Tidak Signifikan		> 0,3	> 0,1	> 0,4	> 0,2
3	Arcing (intenitas rendah PD)	> 0,1 – 1,0	0,01 – 0,1	> 0,7	> 1,0	> 0,3	> 0,1	> 0,4	> 0,2

### 2.3. Segitiga Duval (IEC 60599)

Metode segitiga *duval* menggunakan analisa komposisi gas CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (dalam persen gas). Persentase tersebut diperoleh dari rumusan sebagai berikut:

$$\%C_2H_2 = \frac{100x}{x+y+z} \text{ Untuk } x = C_2H_2 \text{ dalam ml/L}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{100y}{x+y+z} \text{ Untuk } y = C_2H_4 \text{ dalam ml/L}$$

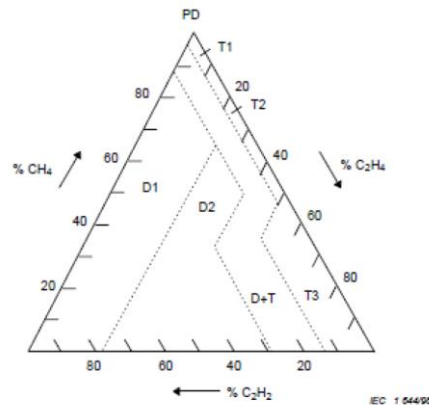
$$\%C_2H_4 = \frac{100z}{x+y+z} \text{ Untuk } z = CH_4 \text{ dalam ml/L}$$

Berikut merupakan tabel Rasio Doernenburg berdasarkan standar IEC 60599:

**Tabel 2.** Segitiga duval terbagi menjadi 6 area yaitu:

Area	Diagnosa Fault
(PD)	Partial Discharge
(D1)	Low Energy Discharge
(D2)	High Energy Discharge
(T1)	Thermal Fault Temperature dibawah 300°C
(T2)	Thermal Fault Temperature antara 300°C dan 700°C
(T3)	Thermal Fault Temperature diatas 700°C

Titik pertemuan dari garis yang merupakan persentase ketiga gas (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) akan berada pada salah satu area, dimana area tersebut merepresentasikan kemungkinan fault yang terjadi.



**Gambar 2.** Segitiga Duval [11]

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA)

Analisis hasil pengujian DGA mengacu pada standar IEEE C57 104 tahun 2008 [10] dan IEC 60599 [11]. Dibawah ini hasil pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada keempat unit Transformator di Gardu Induk Lagadar.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada Transformator Unit Satu

Hasil Pengujian DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> )									
Water Content (ppm)	Hydrogen (H <sub>2</sub> )* ppmv	Methane (CH <sub>4</sub> )* ppmv	Carbon Monoxide (CO)*	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )* ppmv	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )* ppmv	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )* ppmv	TDCG (Total Dissolved combustible Gas)* ppmv	Rasio CO <sub>2</sub> /CO ppmv
(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	
5,89	0	13	85	502	0	26	0	124	5.906

**Tabel 2.** Hasil Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada Transformator Unit Dua

Hasil Pengujian DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> )									
Water Content (ppm)	Hydrogen (H <sub>2</sub> )* ppmv	Methane (CH <sub>4</sub> )* ppmv	Carbon Monoxide (CO)* ppmv	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) ppmv	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )* ppmv	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )* ppmv	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )* ppmv	TDCG (Total Dissolved combustible Gas)*	Rasio CO <sub>2</sub> /CO ppmv
(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	
5,88	39	171	430	2103	7	458	0	1105	4.891

**Tabel 3.** Hasil Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada Transformator Unit Tiga

Hasil Pengujian DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> )									
Water Content (ppm)	Hydrogen (H <sub>2</sub> )* ppmv	Methane (CH <sub>4</sub> )* ppmv	Carbon Monoxide (CO)* ppmv	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) ppmv	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )* ppmv	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )* ppmv	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )* ppmv	TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)* ppmv	Rasio CO <sub>2</sub> /CO ppmv
(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	
7,57	49	75	160	1985	3	246	0	533	12.406

**Tabel 4.** Hasil Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada Transformator Unit Empat

Hasil Pengujian DGA ( <i>Dissolved Gas Analysis</i> )									
Water Content (ppm)	Hydrogen (H <sub>2</sub> )* ppmv	Methane (CH <sub>4</sub> )* ppmv	Carbon Monoxide (CO)* ppmv	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> ) ppmv	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )* ppmv	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )* ppmv	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )* ppmv	TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)* Ppmv	Rasio CO <sub>2</sub> /CO ppmv
(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	(Isian)	
26,71	0	15	43	992	0	50	0	108	23.070

### 3.2. Analisis Hasil Pengujian DGA

Pada sampel minyak transformator pertama di gardu induk Lagadar transformator unit 1 hasil pengujian sampel minyak menggunakan *mykros morgan schaffer* gas terlarut pada minyak transformator yakni *Water Content* 5,89 ppm, (H<sub>2</sub>) 0 ppm, *Methane* (CH<sub>4</sub>) 13 ppm, *Carbon Monoxide* (CO) 85 ppm, *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>) 502 ppm, *Ethylene* (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 0 ppm, *Ethane* (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 26 ppm, *Acetylen* (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 0 ppm, dari keseluruhan gas *combustible* kecuali *Carbon Dioxide*, karena *Carbon Dioxide* bukanlah merupakan gas *combustible*. Maka *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) yakni 124 ppm. Terdapat pula hasil pengukuran Rasio CO<sub>2</sub>/CO yaitu 5.906.

Pada sampel minyak transformator kedua di gardu induk Lagadar transformator unit 2 hasil pengujian sampel minyak menggunakan *mykros morgan schaffer* gas terlarut pada minyak transformator yakni *Water Content* 7,57 ppm, Hidrogen (H<sub>2</sub>) 39 ppm, *Methane* (CH<sub>4</sub>) 171 ppm, *Carbon Monoxide* (CO) 430 ppm, *Carbon Dioxide* (CO<sub>2</sub>) 2103 ppm, *Ethylene* (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 7 ppm, *Ethane* (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 458 ppm, *Acetylen* (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 0 ppm, dari keseluruhan gas *combustible* kecuali *Carbon Dioxide*, karena *Carbon Dioxide* bukanlah merupakan gas *combustible*. Maka *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) yakni 1105 ppm. Terdapat pula hasil pengukuran Rasio CO<sub>2</sub>/CO yaitu 4.891.

Pada sampel minyak transformator ketiga di gardu induk Lagadar transformator unit 3 hasil pengujian sampel minyak menggunakan *mykros morgan schaffer* gas terlarut pada minyak transformator yakni *Water Content* 5,88 ppm, Hidrogen ( $H_2$ ) 49 ppm, *Methane* ( $CH_4$ ) 75 ppm, *Carbon Monoxide* (CO) 160 ppm, *Carbon Dioxide* ( $CO_2$ ) 1985 ppm, *Ethylene* ( $C_2H_4$ ) 3 ppm, *Ethane* ( $C_2H_6$ ) 246 ppm, *Acetylen* ( $C_2H_2$ ) 0 ppm, dari keseluruhan gas *combustible* kecuali *Carbon Dioxide*, karena *Carbon Dioxide* bukanlah merupakan gas *combustible*. Maka *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) yakni 533 ppm. Terdapat pula hasil pengukuran Rasio  $CO_2/CO$  yaitu 12.406.

Pada sampel minyak transformator keempat di gardu induk Lagadar transformator unit 4 hasil pengujian sampel minyak menggunakan *mykros morgan schaffer* gas terlarut pada minyak transformator yakni *Water Content* 26,71 ppm, Hidrogen ( $H_2$ ) 0 ppm, *Methane* ( $CH_4$ ) 15 ppm, *Carbon Monoxide* (CO) 43 ppm, *Carbon Dioxide* ( $CO_2$ ) 992 ppm, *Ethylene* ( $C_2H_4$ ) 0 ppm, *Ethane* ( $C_2H_6$ ) 50 ppm, *Acetylen* ( $C_2H_2$ ) 0 ppm, dari keseluruhan gas *combustible* kecuali *Carbon Dioxide*, karena *Carbon Dioxide* bukanlah merupakan gas *combustible*. Maka *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) yakni 108 ppm. Terdapat pula hasil pengukuran Rasio  $CO_2/CO$  yaitu 23.070.

Dari data tersebut dapat didiagnosis kondisi transformator tenaga menggunakan konsentrasi individual gas dan TDCG (IEEE C57.104-1991) tabel 1 sampai dengan tabel 4 berdasarkan data pengujian yang dilakukan. Gas terlarut dalam minyak transformator mengindikasikan bahwa operasi transformator dalam kondisi normal. Hal tersebut karena dari semua *gas combustible* masih dalam keadaan batasan normal. Pada transformator unit 2 mendapati konsentrasi paling tinggi yaitu sebesar 1105 ppm. Hal tersebut mengindikasikan bahwa TDCG berada di kondisi 2, artinya kegagalan mungkin terjadi walaupun masih dalam batasan normal. Adapun kegagalan terjadi pada pengujian *water content* minyak transformator di unit 4 dengan nilai pengujian yang didapat yaitu 26,71 ppm. Hal ini menunjukkan hasil yang buruk sesuai dengan standar IEC 60422.

Hal tersebut dapat dibuktikan dari pengamatan di lapangan, bahwa penurunan kinerja pada transformator tenaga unit 4 itu dikarenakan minyak yang ada di dalam transformator mengalami pendinginan yang berlebih sehingga terjadilah penurunan kinerja transformator tenaga. Solusi yang dilakukan agar minyak kembali panas yaitu dengan menggunakan teknik filtrasi. Minyak yang ada didalam transformator disambungkan ke rangkaian filter minyak lalu disirkulasikan ke dalam sistem filter minyak menggunakan pompa lalu minyak di filter. Keluaran filternya masuk lagi ke transformator tenaga unit 4 agar membantu menaikkan suhu panas pada minyak, cara ini yang digunakan di lapangan sehingga transformator dalam keadaan baik lagi. Dapat disimpulkan bahwa transformator dapat beroperasi normal kembali dan periode pengambilan sampel dapat dilakukan 1 tahun sekali, jika perlu pada saat pemeliharaan 2 tahunan juga dilakukan pengambilan sample minyak agar membuktikan bahwa transformator masih dalam keadaan baik ini dilakukan di GI Lagadar.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis data terhadap pengujian DGA transformator di GI Lagadar unit 1 sampai unit 4 menunjukkan kondisi sangat baik karena gas terlarut pada minyak menunjukkan hasil yang sangat baik, tidak ada konsentrasi gas yang melampaui batasan kondisi 1. Tetapi kegagalan terjadi pada pengujian *water content* minyak transformator di unit 4, dimana nilai pengujian yang didapat yaitu 26.71 ppm, analisis ini menunjukkan hasil

yang buruk sesuai dengan standar IEC 60422. Berdasarkan analisis pengujian minyak tidak terjadi masalah, tetapi kesalahan terjadi karena minyak yang seharusnya panas dan meningkatkan kinerja trafo justru pada kondisi di transformator unit 4 tidak terjadi reaksi panas pada minyak, maka yang dilakukan di lapangan yaitu dengan menfilterisasi minyak agar membantu menaikkan suhu minyak agar transformator berjalan seperti semula.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] P. T. PLN, "Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga," Jakarta PT PLN, 2014.
- [2] F. Haz and I. Aditya, "Analisis Setting Proteksi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Trafo Daya 60 MVA di Gardu Induk 150 kV Cibatu," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 18, no. 2, pp. 66–73, 2020.
- [3] G. A. Setia, G. H. M. Sianipar, K. Samudra, F. Haz, N. Winanti, and H. R. Iskandar, "Implementation of backward-forward sweep method on load model variation of distribution systems," in 2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), 2019, pp. 1–5.
- [4] D. Arifianto, "Analisis Kegagalan Transformator Di PT Asahimas Chemical Banten Berdasarkan Hasil Uji DGA Dengan Metode Roger's Ratio." Universitas Brawijaya, 2013.
- [5] N. A. Bakar, A. Abu-Siada, and S. Islam, "A review of dissolved gas analysis measurement and interpretation techniques," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 30, no. 3, pp. 39–49, 2014.
- [6] F. Haz, M. R. Akbar, and G. A. Setia, "Diagnosis Kondisi Minyak Tranformator Menggunakan Teknik Dissolved Gas Analysis," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 21, no. 1, pp. 12–21, 2022.
- [7] A. Syakur and W. Lazuardi, "Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator," vol. 40, pp. 63–68.
- [8] C. Widyastuti, T. Darmana, and O. Handayani, "Pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak transformator distribusi," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 10, no. 2, pp. 129–136, 2018.
- [9] M. J. Maulana and S. Jatmiko, "Analisa Pengujian Bushing Pada Transformator Tenaga di Gardu Induk Wonogiri 150 kV." Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [10] "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers," *IEEE Std C57.104-2008 (Revision IEEE Std C57.104-1991)*, pp. 1–36, 2009.
- [11] I. E. Commission, "Mineral oil-filled electrical equipment in service—Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis," *IEC*, vol. 60599, p. 2015, 2015.