

# UJI KEMAMPUAN MINYAK ISOLASI MENGUNAKAN DISSOLVED GAS ANALYSIS PADA TRANSFORMATOR

Samsurizal<sup>1</sup>, Nanda Febby Yuliantina<sup>2</sup>, Miftahul Fikri<sup>3</sup>, Andi Makkulau<sup>4</sup>, Nurmiati Pasra<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup> Jurusan Teknik Elektro FKET ITPLN

Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat 11750 INDONESIA

<sup>4,5</sup> Jurusan Teknologi Listrik FKET ITPLN

Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat 11750 INDONESIA

samsurizal@itpln.ac.id<sup>1</sup>, nandal811076@itpln.ac.id<sup>2</sup>, andi.mk@itpln.ac.id<sup>3</sup>,  
miftahul@itpln.ac.id<sup>4</sup>, nurmiati@itpln.ac.id<sup>5</sup>

**Intisari**— Minyak isolasi pada transformator memiliki peranan penting karena selain berfungsi sebagai isolasi juga berfungsi sebagai pendingin pada transformator. Sebagai isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus dan sebagai pendingin minyak harus memiliki kemampuan untuk meredam panas yang ditimbulkan pada transformator. Oleh sebab itu pemeliharaan rutin penting untuk dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan. Dalam penelitian ini metode yang digunakan dengan melakukan pengujian isolasi transformator, dengan pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Hasil yang diperoleh pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) sebanyak dua kali, ternyata kondisi transformator unit 6 masih dalam keadaan baik atau masih dapat beroperasi secara normal. Hal ini karena transformator memiliki nilai TDCG yang masih dalam kondisi 1.

**Keywords**— Minyak Isolasi, Transformator, Dissolved Gas Analysis

## I. PENDAHULUAN

Listrik berasal dari pembangkit listrik dan kemudian didistribusikan jarak jauh melalui saluran transmisi. Sebelum dibagi, tegangan terlebih dahulu dikuatkan oleh transformator *step-up* [1]. Tujuannya agar kekuatan yang akan dibagi tidak terlalu banyak hilang di saluran [2]. Setelah itu, energi listrik dialirkan dari saluran transmisi ke gardu induk (GI), dimana pada GI tersebut tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah primer/tegangan distribusi primer dengan menggunakan transformator *step down*. Tegangan bervariasi antara 6 kV dan 20 kV [3]. Setelah melewati jaringan distribusi primer, tegangan diubah menjadi rendah 380/220 Volt atau menjadi 220/127 Volt di gardu distribusi. Kemudian dikirim ke konsumen melalui jaringan tegangan rendah untuk distribusi lebih lanjut.

Perangkat listrik yang paling penting dalam distribusi daya adalah transformator [4]. Pada umumnya transformator lebih banyak digunakan pada transmisi dan distribusi. Salah satu komponen terpenting dari sebuah transformator adalah oli transformator [5]. Karena oli ini tidak hanya berfungsi sebagai

media pendingin saja, tetapi juga sebagai isolator. Sebagai media isolasi, oli harus mampu menahan tegangan tembus. Jadi jika nilai tegangan tembus oli rendah, berarti ada kotoran di dalam oli transformator. Karena kelangsungan operasi transformator sangat bergantung pada sistem isolasi, terutama pada kualitas isolasi oli transformator. Dan jika ada cacat isolasi pada minyak transformator, hal ini mempengaruhi kualitas penyaluran tenaga. Sedangkan sebagai pendingin, oli harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga berkat kedua sifat tersebut oli transformator harus melindungi transformator dari malfungsi [6]. Beberapa gangguan yang dapat terjadi pada minyak transformator adalah gangguan kelistrikan (*corona, sparking dan arcing*) dan gangguan *thermal*. Gangguan tersebut memperpendek umur transformator dan dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Oleh karena itu, pengujian minyak isolasi transformator secara berkala diperlukan untuk memprediksi pengaruh *drift* transformator dan menjaga kehandalan transformator agar dapat beroperasi secara efisien dan maksimal [7]. Pada penelitian ini, analisis minyak transformator didasarkan pada hasil uji *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan *Breakdown Voltage* (BDV). Di sini, DGA merupakan proses yang digunakan untuk menghitung konsentrasi gas hidrokarbon yang terbentuk akibat anomali. Hasil pengujian DGA kemudian dianalisis kembali menggunakan metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) yang merupakan metode pertama yang digunakan untuk mengetahui kondisi transformator.

Beberapa penelitian yang dijadikan sebagai referensi pada penelitian ini diantaranya, Dongjin Kweon, Yonghyun Kim Berdasarkan hasil pengujian dengan pengujian DGA ini dapat menentukan apakah transformator dapat dioperasikan tanpa inspeksi internal, diperiksa dengan internal atau harus diganti. Dimana berdasarkan pengujian ini didapatkan sejumlah 338 transformator gagal dan 141 transformator internal yang diperiksa [8]. Ary Alfanto Nugroho, berdasarkan hasil penelitian, pada transformator unit 6 dan 6A diperkirakan akan mengalami gangguan *overheating* di sisi *hotspot* minyak

dimana suhunya mencapai 300°C sampai lebih dari 700°C yang diikuti gangguan partial discharge low energy. Sedangkan pada transformator unit 6B diperkirakan akan mengalami *partial discharge low energy* dan *arcing*. Dan untuk nilai tahanan isolasi minyak yang diuji dengan pengujian *Breakdown Voltage* dalam kondisi normal, sesuai dengan standar IEC 60422 [9]. Sedangkan Handoko Rusiana, dkk Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, laju kenaikan gas pada transformator 1 adalah -1,36 ppm/hari, pada transformator 2 sebesar -1,03 ppm/hari dan pada transformator 3 sebesar 0,95 ppm/hari. Menurut standar IEEE C57.104 Tahun 2008 [10], untuk transformator 2 pengujian sampel minyak harus dilakukan 4 sampai 12 bulan, sedangkan untuk transformator 1 dan 3, pengujian sampel minyak harus dilakukan setiap 4 bulan.

## II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan pada transformator daya 150 kV unit 6 sebagai objek penelitian. Transformator daya unit 6 150 kV ini terdapat di Gardu Induk 150 kV Bogor Baru yang terletak di Kelurahan Tegal Gundil Kecamatan Bogor Utara Kota Bogor. Pengambilan data ini dilakukan pada bulan Januari sampai dengan bulan April 2022. Metode yang digunakan untuk mengolah data yang didapatkan adalah metode penelitian kuantitatif.

### 2.1. Menghitung Nilai Total *Dissolved Combustible Gas*

Kegagalan pada minyak isolasi transformator pada dasarnya bisa dicegah dengan mengetahui keadaan internal yang terdapat pada transformator. Salah satunya yaitu dengan mengetahui jenis gas-gas terlarut yang mudah terbakar yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen transformator. Jumlah gas dikalkulasikan dalam bentuk ppm (*part per million*). Di bawah ini adalah perhitungan yang bisa kita uji:

$$TDCG = CO + H_2 + CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4 + C_2H_6 \quad (1)$$

Dimana:

TDCG= Total Dissolved Combustible Gas (ppm)

CO = Carbon Monoxide

H<sub>2</sub> = Hidrogen

CH<sub>4</sub> = Methane

C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = Acetylene

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = Ethylene

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = Ethane

Berdasarkan konsentrasi gas individual, transformator dapat dikelompokkan menjadi empat kondisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. IEEE telah menetapkan standar untuk melakukan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut yang mudah terbakar pada minyak isolasi transformator, yaitu pada IEEE Std C57.104-2008.

TABEL I  
BATAS KONSENTRASI FAULT GAS KUNCI

Kondisi	Dissolved Key Gas concentration limits [ $\mu$ L/L (ppm) <sup>a</sup> ]							
	Hydrogen (H <sub>2</sub> )	Methane (CH <sub>4</sub> )	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Carbon Monoxide (CO)	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	TD CG <sup>b</sup>
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	4000-10000	1920-4630
4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

\*Nilai TDCG tidak termasuk gas CO<sub>2</sub> karena bukan merupakan jenis gas yang *combustible* yang bisa menyebabkan kebakaran pada transformator.

TDCG adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan jenis gas mudah terbakar yang dihasilkan, semakin tinggi kandungan gas mudah terbakar yang diperoleh dijelaskan pada Tabel 2.

TABEL 2  
INFORMASI STANDAR TDCG

Level	Konsentrasi (ppm)	Deskripsi TDCG
1	$\leq 720$	TDCG di bawah level ini menandakan bahwa transformator beroperasi dengan baik.
2	721 – 1,920	Pada level ini menandakan bahwa TDCG mulai tinggi, terdapat kemungkinan muncul gejala-gejala kegagalan yang perlu diwaspadai.
3	1,921 – 4,630	Pada level ini menandakan bahwa telah terjadi dekomposisi tingkat tinggi. Kegagalan mungkin sudah terjadi. Buat pencegahan gangguan supaya tidak berlanjut.
4	>4630	TDCG pada level ini menandakan bahwa terjadi pemburukan yang sangat tinggi. Melanjutkan operasi transformator dapat mengakibatkan kerusakan transformator.

Tujuan dari pengelompokkan ini yaitu untuk menentukan prosedur operasi dan interval sampling yang disarankan berikutnya. Rekomendasi awal interval sampling dan prosedur operasi ada baiknya dilakukan untuk berbagai level TDCG. Apabila terjadi kenaikan laju pembentukan gas berarti menandakan terdapat kerusakan yang makin parah, yang berarti interval sampling harus dipersingkat. Tabel 3. dibawah memberikan rekomendasi awal untuk setiap level TDCG.

TABEL 3  
ACTION BASED TDCG

Kondisi	TDCG Levels ( $\mu\text{L/L}$ ) Atau (ppm)	TDCG Rates ( $\mu\text{L/L/day}$ ) Atau (ppm)	Interval sampling dan prosedur operasi untuk kadar gas yang dibangkitkan	
			Sampling Interval	Prosedur Operasi
4	>4630	>30	Harian	Pertimbangkan untuk tidak mengoperasikan trafo tersebut
		10-30	Harian	Minta rekomendasi dari pabrikan
		<10	Mingguan	Perlu Perlakuan ekstra hati-hati  Lakukan analisa untuk setiap gas  Rencanakan pengeluaran trafo dari sistem untuk melakukan investigasi lanjut (pengujian shutdown dan/atau investigasi internal)  Minta rekomendasi dari pabrikan
3	1921 - 4630	>30	Mingguan	Perlu Perlakuan ekstra hati-hati  Lakukan analisa untuk setiap gas  Rencanakan pengeluaran trafo dari sistem untuk melakukan investigasi lanjut (pengujian shutdown dan/atau investigasi internal)  Minta rekomendasi dari pabrikan
		10-30	Mingguan	
		<10	Bulanan	
2	721 - 1920	>30	Bulanan	Perlu perlakuan hati-hati  Lakukan analisa untuk setiap gas  Tentukan pembebanan yang diijinkan pada trafo
		10-30	Bulanan	
		<10	Triwulan	
1	<720	>30	Bulanan	Perlu perlakuan hati-hati  Lakukan analisa untuk setiap gas

Kondisi	TDCG Levels ( $\mu\text{L/L}$ ) Atau (ppm)	TDCG Rates ( $\mu\text{L/L/day}$ ) Atau (ppm)	Interval sampling dan prosedur operasi untuk kadar gas yang dibangkitkan	
			Sampling Interval	Prosedur Operasi
				Tentukan pembebanan yang diijinkan pada trafo
		10-30	Triwulan	Lanjutkan pengoperasian normal
		<10	Tahunan	

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Objek yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebuah transformator daya yang berada di Gardu Induk 150 kV Di Gardu Induk 150 kV terdapat 4-unit transformator daya yaitu transformator unit 3, 4, 5 dan 6. Transformator yang akan dianalisis hasil pengujiannya merupakan transformator unit 6. Spesifikasi dari transformator unit 6 dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4  
DATA SPESIFIKASI TRANSFORMATOR UNIT 6

Unit Transformator	Transformator #6
Merek	PT. CG Power Sitems Indonesia (Pauwels Trafo)
No. Seri	3011100074
Standar	IEC 60076
Daya Pengenal	36/60 MVA
Tegangan	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Pendingin	ONAN/ONAF
Temp. Rise Oil	50°C
Temp. Wind	55°C
Tipe Minyak	Nynas Nitro Libra
Tahun Buat	2011
Berat Minyak	20.700 kg
Berat Total	116.200 kg

Data hasil pengujian minyak transformator unit 6 yang akan dianalisa merupakan data yang diperoleh dari hasil 3 kali pengujian pada waktu yang berbeda. Ketiga pengujian ini digunakan sebagai pembandingan kondisi minyak isolasi transformator. Pengujian yang pertama dilakukan pada tanggal 20 Juni 2020 yang ditunjukkan pada tabel 5.

TABEL 5  
HASIL PENGUJIAN MINYAK TRANSFORMATOR YANG PERTAMA

No.	Parameter	Hasil Pengujian Pertama (ppm)
1.	Hidrogen ( $\text{H}_2$ )	0
2.	Metana ( $\text{CH}_4$ )	111
3.	Karbon Monoksida ( $\text{CO}$ )	249
4.	Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )	4651
5.	Etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )	3
6.	Etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	237
7.	Asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )	0
TDCG		600

Selanjutnya pada tabel 6 merupakan hasil dari pengujian kedua dari minyak isolasi transformator yang dilakukan pada tanggal 28 April 2021. Hasil pengujian dari minyak transformator unit 6 ditunjukkan pada tabel 6.

TABEL 6  
HASIL PENGUJIAN MINYAK TRANSFORMATOR YANG KEDUA

No.	Parameter	Hasil Pengujian Pertama (ppm)
1.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0
2.	Metana (CH <sub>4</sub> )	119
3.	Karbon Monoksida (CO)	194
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	4149
5.	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3
6.	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	241
7.	Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0
TDCG		557

Pada tabel 7 merupakan hasil pengujian ketiga dari minyak isolasi transformator yang dilakukan pada tanggal 30 November 2021.

TABEL 7  
HASIL PENGUJIAN MINYAK TRANSFORMATOR YANG KETIGA

No.	Parameter	Hasil Pengujian Kedua (ppm)
1.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0
2.	Metana (CH <sub>4</sub> )	120
3.	Karbon Monoksida (CO)	217
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	4673
5.	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3
6.	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	263
7.	Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0
TDCG		603

#### Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)

Parameter - parameter yang perlu diperhatikan dari data merupakan jenis – jenis gas yang terdiri dari gas yang mudah terbakar dan gas yang tidak mudah terbakar. Jenis gas yang mudah terbakar bisa merusak komponen yang terdapat pada transformator. Hal pertama yang bisa dilakukan untuk menentukan kondisi transformator adalah dengan menganalisa mengapa bisa didapatkan jumlah kandungan gas terlarut yang terdapat pada hasil pengujian minyak transformator. Kemudian jumlah gas tersebut akan dikalkulasikan kacuali gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), karena gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) bukan termasuk jenis gas yang mudah terbakar yang dapat menyebabkan kebakaran pada transformator. Tabel 8

merupakan diagnosa kondisi pada transformator menurut TDCG yang sesuai dengan standar IEEE Std C57.104-2008.

TABEL 8  
DIAGNOSA KONDISI MENURUT TDCG

Kondisi	Dissolved Key Gas concentration limits [ $\mu$ L/L (ppm) <sup>a</sup> ]							
	Hydrogen (H <sub>2</sub> )	Methane (CH <sub>4</sub> )	Acetylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	Carbon Monoxide (CO)	Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	TD CG <sup>b</sup>
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	4000-10000	1921-4630
4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Tabel 9 berikut ini menunjukkan kondisi dari masing-masing gas individu yang terlarut pada minyak isolasi transformator unit 6 dari hasil pengujian yang pertama.

TABEL 9  
HASIL DIAGNOSA PENGUJIAN PERTAMA KONDISI TRANSFORMATOR MENURUT TDCG

No.	Parameter	Hasil Pengujian (Ppm)	Kondisi Transformator Standard Ieee C57.104-2008
1.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
2.	Metana (CH <sub>4</sub> )	111	Kondisi 1
3.	Karbon Monoksida (CO)	249	Kondisi 1
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	4651	Kondisi 3
5.	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3	Kondisi 1
6.	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	237	Kondisi 4
7.	Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
TDCG		600	Kondisi 1

Untuk mendapatkan total hasil TDCG diperoleh dengan persamaan (1):

Pengujian DGA yang Pertama

$$\begin{aligned} \text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 \\ &= 0 + 249 + 111 + 0 + 3 + 237 \\ &= 600 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian yang pertama DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada transformator unit 6 di Gardu Induk 150 kV Bogor Baru, dapat dianalisa terdapat 6 jenis combustible gas

dan 1 jenis *uncombustible gas*. Dimana gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) 0 ppm, Metana (CH<sub>4</sub>) 111 ppm, Karbon Monoksida (CO) 249 ppm, Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 3 ppm, Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 237 ppm, Asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 0 ppm dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) 4651 ppm. Total dari gas mudah terbakar atau TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) apabila dijumlahkan totalnya yaitu sebesar 600 ppm. Berdasarkan standar acuan IEEE C57. 104 2008 total gas mudah terbakar menunjukkan kondisi 1, yang berarti bahwa transformator dapat beroperasi dengan baik. Tetapi perlu diwaspadai karena terdapat banyak kontaminasi gas-gas pada isolasi minyak transformator.

Seperti gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) yang berada dalam kondisi 3, hal ini biasanya karena terjadi oksidasi pada kertas selulosa yang diakibatkan oleh pemanasan berlebih pada isolasi kertas selulosa hal ini sesuai dengan yang dijelaskan di IEEE Std C57.104-2008. Lalu gas Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) yang berada pada kondisi 4 yang berarti kondisi ini berada pada kondisi yang kritis. Kondisi ini diakibatkan karena peningkatan suhu dan terjadi oksidasi pada minyak isolasi transformator. Berdasarkan nilai TDCG yang didapatkan kegiatan yang direkomendasikan adalah harus dilakukan pengujian atau pengecekan minyak isolasi transformator secara berkala untuk membuat kondisi minyak selalu dalam pengawasan dan selalu terjaga.

TABEL 10  
HASIL DIAGNOSA PENGUJIAN KEDUA KONDISI TRANSFORMATOR MENURUT TDCG

No.	Parameter	Hasil Pengujian (Ppm)	Kondisi Transformator Standard IEEE C57.104-2008
1.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
2.	Metana (CH <sub>4</sub> )	119	Kondisi 1
3.	Karbon Monoksida (CO)	194	Kondisi 1
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	4149	Kondisi 3
5.	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3	Kondisi 1
6.	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	241	Kondisi 4
7.	Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
TDCG		557	Kondisi 1

Untuk mendapatkan total hasil TDCG diperoleh dengan persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 \text{Pengujian DGA yang Pertama} \\
 \text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 \\
 &= 0 + 194 + 119 + 0 + 3 + 241 \\
 &= 557 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan dari hasil pengujian yang kedua DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada transformator unit 6 di Gardu Induk 150 kV Bogor Baru, dapat dianalisa terdapat 6 jenis *combustible gas* dan 1 jenis *uncombustible gas*. Dimana gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) 0 ppm, Metana (CH<sub>4</sub>) 119 ppm, Karbon Monoksida (CO) 194 ppm, Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 3 ppm, Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 241 ppm, Asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 0 ppm

dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) 4149 ppm. Total dari gas mudah terbakar atau TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) apabila dijumlahkan totalnya yaitu sebesar 557 ppm. Dimana menurut standar IEEE C57. 104 2008 total gas mudah terbakar menunjukkan kondisi 1, yang berarti bahwa transformator dapat beroperasi dengan baik. Tetapi perlu diwaspadai karena terdapat banyak kontaminasi gas-gas pada isolasi minyak transformator yang mana hal tersebut dapat merusak kinerja dari transformator itu sendiri. Seperti gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) yang berada dalam kondisi 3, hal ini biasanya karena terjadi oksidasi pada kertas selulosa yang diakibatkan oleh pemanasan berlebih pada isolasi kertas selulosa hal ini sesuai dengan yang dijelaskan di IEEE Std C57.104-2008. Lalu gas Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) yang berada pada kondisi 4 yang berarti kondisi ini berada pada kondisi yang kritis. Kondisi ini diakibatkan karena peningkatan suhu dan terjadi oksidasi pada minyak isolasi transformator. Berdasarkan nilai TDCG yang didapatkan kegiatan yang direkomendasikan adalah harus dilakukan pengujian atau pengecekan minyak isolasi transformator secara berkala untuk membuat kondisi minyak selalu dalam pengawasan dan selalu terjaga. Selanjutnya pada tabel 11 menunjukkan kondisi masing-masing gas individu yang terlarut pada minyak isolasi transformator unit 6 dari hasil pengujian yang ketiga.

TABEL 11  
HASIL DIAGNOSA PENGUJIAN KEDUA KONDISI TRANSFORMATOR MENURUT TDCG

No.	Parameter	Hasil Pengujian Kedua (ppm)	Kondisi Transformator Standard IEEE C57.104-2008
1.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
2.	Metana (CH <sub>4</sub> )	120	Kondisi 1
3.	Karbon Monoksida (CO)	217	Kondisi 1
4.	Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	4673	Kondisi 3
5.	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	3	Kondisi 1
6.	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	263	Kondisi 4
7.	Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0	Kondisi 1
TDCG		603	Kondisi 1

Untuk mendapatkan total hasil TDCG diperoleh dengan persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 \text{Pengujian DGA yang Kedua} \\
 \text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 \\
 &= 0 + 217 + 120 + 0 + 3 + 263 \\
 &= 603 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan dari hasil pengujian yang kedua DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada transformator unit 6 di Gardu Induk 150 kV Bogor Baru,

dapat dianalisa terdapat 6 jenis combustible gas dan 1 jenis uncombustible gas. Dimana gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) 0 ppm, Metana (CH<sub>4</sub>) 120 ppm, Karbon Monoksida (CO) 217 ppm, Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 3 ppm, Etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 263 ppm, Asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 0 ppm dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) 4673 ppm. Total dari gas mudah terbakar atau TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) apabila dijumlahkan totalnya yaitu sebesar 603 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan dari total gas mudah terbakar dibandingkan dengan pengujian yang pertama. Dimana menurut standar IEEE C57. 104 2008 total gas mudah terbakar masih dalam kondisi 1, yang berarti bahwa transformator masih dalam kondisi normal dan dapat beroperasi dengan baik.

#### IV. PENUTUP

Setelah dilakukan analisis dari hasil pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) sebanyak dua kali, ternyata kondisi transformator unit 6 masih dalam keadaan baik atau masih dapat beroperasi secara normal. Hal ini karena transformator memiliki nilai TDCG yang masih dalam kondisi 1 akan tetapi harus tetap memperhatikan gas-gas individual yang terlarut di dalam minyak transformator tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis banyak mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dari pengambilan data, pengolahan data, hingga dapat dibuatnya artikel ini.

#### REFERENSI

- [1] A. Kadir, *Transformator.*, Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2010.
- [2] D. M. E. Nugroho, "Kegagalan Isolasi Minyak Trafo," *Media ElektriKA*, vol. 2, no. 2, pp. 1-10, 2010.
- [3] Soebagio, *Transformator*, Surabaya: ITS PRESS, 2012.
- [4] Sumanto, *Teori Transformator*, Yogyakarta: ANDI OFFSET, 1991.
- [5] N. Rosidin. dan. P. D. AS, "Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo," *SINUSOIDA*, vol. 23, no. 2, pp. 20-32, 2021.
- [6] PT.PLN (Persero), *Buku Pedoman Trafo Tenaga. Trafo Tenaga*, PLN, 2010.
- [7] SPLN. 49-1. *Minyak Isolasi. Minyak Isolasi*, Jakarta: PT.PLN (Persero), 1982.
- [8] D. & K. Y. Kweon, "Interpretation of turn-to-turn insulation fault by dissolved gas analysis," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 4, p. 1560–1566., 2018.
- [9] IEC. 60599, *International Standard International Standard Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis*. In Iec, 2023.
- [10] IEEE. 57.104-2008, *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*, Vol. 2008, Issue February. IEC 60422. (2013). *Mineral Insulating Oils In Electrical Equipment Supervision and Maintenance Guidance*. In 61010-1 © Iec:2001 (2013th ed.).
- [11] Iskandar, H. R. (2021). Studi Kelayakan Operasi Berdasarkan Uji Dissolve Gas Analysis pada Transformator Distribusi 150 kV Gardu Induk Cibabat Cimahi. *Kilat*, 10(1), 10–21. <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i1.963>
- [12] Misto, M., & Haryono, H. (2019). Analisis Gas Terlarut pada Minyak Isolasi sebagai Indikator Kegagalan Transformator Daya dengan Metode Dissolved Gas Analysis. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi (ELKOM)*, 1(2), 99–112. <https://doi.org/10.32528/elkom.v1i2.3091>
- [13] Yulinda Angger C.P., Taqiyyudin, M. A., & Basuki, B. M. (2018). Analisis Kegagalan Trafo Berdasarkan Hasil Pengujian Dissolved.
- [14] Sismantara, I. M. T., Ariastina, W. G., & Amrita, A. A. N. (2021). berdasarkan kandungan gas. 8(1), 107–113.
- [15] Tohari, M., Sukoco, B., & Haddin, M. (2020). Analisis Kondisi Transformator Daya 20 kV / 150 kV Dengan Metode Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Di PT. PJB PLTU. *Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (Kimu)* 4, 337–344.
- [16] Nugroho, A. A. (2020). Analisis Indikasi Kegagalan Pada Transformator Utama Unit 6 Berdasarkan Hasil Uji DGA di PT. Indonesia Power Suralaya PGU. Jakarta.
- [17] Akbar, M. (2018). Analisa Karakteristik Minyak Isolasi Transformator Daya 11Kva Menggunakan Metode Dga Dan Breakdown Voltage Pada Gardu Kilang Pertamina Ru-Ii Dumai. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [18] Rahayu, S., Okvasari, R., & Diantari, R. A. (2019). Pengujian Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator 60 MVA Di GIS Kebun Jeruk. *Sutet*, 9(1), 46–55. <https://doi.org/10.33322/sutet.v9i1.495>
- [19] Surya, W., Hasan, B., & Munandar, I. (2014). Studi pengaruh perubahan temperatur terhadap karakteristik tegangan tembus minyak isolasi nynas. *Journal Fortei*, v(ii), 5–9. [http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/Jur.\\_Pend.\\_Teknik\\_Elektro/197008081997021-Wasimudin\\_Surya\\_Saputra/Fortei2014\\_Wasimudin.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/Jur._Pend._Teknik_Elektro/197008081997021-Wasimudin_Surya_Saputra/Fortei2014_Wasimudin.pdf)
- [20] IEEE. (2008). C57.104-2008 - *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers* (Vol. 2008, Issue February).