

## Analisis dan Evaluasi Kondisi Oli Transformator Berdasar Pengujian DGA dan BDV

Muhamad Ali<sup>1\*</sup>, Firdha Kriska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Submitted March 23, 2024

Accepted April 26, 2024

Published August 2, 2024

#### Keywords:

Trafo,  
oli,  
DGA,  
BDV.

*Transformer,  
oil,  
DGA,  
BDV.*

### ABSTRACT

Transformator (trafo) merupakan komponen utama sistem tenaga listrik. Gangguan fungsi trafo dapat menyebabkan terjadinya *blackout* pada sistem tenaga listrik. Trafo bekerja secara kontinu selama dua puluh empat jam sehingga perlu pemeliharaan preventif, korektif maupun prediktif. Salah satu aspek penting pada oli trafo yaitu oli yang berfungsi sebagai pendingin dan isolasi belitan. Kegagalan fungsi trafo banyak disebabkan oleh menurunnya kualitas oli. Artikel ini akan membahas analisis kondisi oli trafo berdasar pengujian *Dissolve Gas Analysis* (DGA) dan *Breakdown Voltage Test* (BDV). Tahap penelitian yaitu: Analisis kebutuhan yang dilakukan melalui pengamatan, pengambilan sampel oli trafo, pengukuran dan pengujian DGA dan BDV, analisis data dan rekomendasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi oli trafo masuk pada status DGA 3 yang diindikasikan adanya peningkatan jumlah gas terlarut yang melebihi batas yang diizinkan. Hasil pengujian tegangan tembus oli trafo juga berada di atas batas standar. Berdasarkan kondisi ini maka perlu dilakukan pemurnian atau penggantian oli untuk memastikan trafo dapat bekerja dengan baik.

*The transformer is the main component of the electric power system. Transformer malfunction can cause blackouts in the electric power system. Transformers operate continuously, so they require preventive, corrective, and predictive maintenance. A critical aspect of transformer is the oil, which functions as a coolant and winding insulator. Many transformer failures are caused by reduced oil quality. This article will analyze transformer oil conditions based on Dissolve Gas Analysis (DGA) and Breakdown Voltage (BDV) tests. The research stages are: Needs analysis carried out through observation, taking transformer oil samples, measuring and testing DGA and BDV, data analysis, and recommendations. The research results show that the condition of the transformer oil is in DGA 3 status, which indicates an increase in the amount of dissolved gas that exceeds the permitted limit. The Breakdown Voltage test of the oil results is also above the standard limit. Based on this condition, purification or replacing the oil ensures the transformer works appropriately.*



### Corresponding Author:

Muhamad Ali,  
Department of Electrical Engineering Education,  
Universitas Negeri Yogyakarta,  
Kampus Karangmalang Yogyakarta.  
Email: \*muhal@uny.ac.id

## 1. PENDAHULUAN

Trafo merupakan komponen utama sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa komponen antara lain tangki utama, inti besi, kumparan, OLTC (*on load tap changer*), *bushing*, oli, dan lain sebagainya [1][2]. Trafo beroperasi dengan menerapkan prinsip induksi elektromagnetik dan beroperasi secara kontinu sepanjang hari dan akan berhenti pada saat memasuki jadwal *overhaul* atau jika ada gangguan. Arus listrik yang mengalir melalui kumparan mengakibatkan panas yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi belitan trafo [3][4][5]. Untuk itu, belitan trafo perlu sistem pendingin. Kebanyakan trafo menggunakan pendingin udara dan oli yang digunakan untuk meredam panas yang muncul di tangki [3][6]. Oli berfungsi sebagai isolasi dan pendingin pada trafo. Oli harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus dan mampu meredam panas karena arus

Listrik. Kegagalan oli dalam mendinginkan trafo dan mengisolasi tegangan primer dapat menyebabkan gangguan pemadaman. Oleh karena itu agar sistem tenaga listrik dapat berjalan dengan baik dan andal, kondisi oli trafo harus dijaga dari berbagai macam gangguan [7][8][9].

Dalam operasinya, trafo dapat mengalami kegagalan akibat gangguan termal maupun elektrikal. Secara statistik, gangguan trafo dapat terjadi pada isolasi (36.74%), belitan (21.3%), *bushing* (15.7%), *tap changer* (12.00%), tangki (4.37%), pendingin *coolant* (3.79%), inti (2.56%), dan lainnya (2.56%) [10][11][12]. Termal dan *electrical stress* sangat mempengaruhi kualitas isolasi oli trafo. Kertas isolasi belitan dapat terurai dan bereaksi dengan oli di dalam tangki trafo yang akan membentuk gas. *Thermal stress* pada oli trafo dapat menyebabkan oksidasi yang membentuk *sludge* dan asam. *Sludge* dapat menghalangi transfer panas dari kumparan trafo. Kandungan asam dapat mengurangi kekuatan dielektrik oli trafo [10][13]. Sedangkan *electrical stress* disebabkan oleh arus listrik yang mengalir baik arus beban maupun arus gangguan hubung singkat. Peristiwa ini menimbulkan arus besar mengalir melalui kumparan trafo. Kumparan trafo akan mengalami gangguan ketika isolasi tidak mampu menahan *mechanical stress*. *Electrical stress* yang terjadi pada trafo sebenarnya tidak memberikan dampak yang signifikan kecuali *partial discharge* dan *arcing*. *Partial discharge* dan *arcing* merupakan jenis *electrical stress* yang menyebabkan kerusakan isolasi trafo [12][14][15].

Oli trafo merupakan campuran molekul hidrokarbon yang mengandung  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$ , dan  $\text{CH}$  yang terhubung oleh ikatan kimia. Ikatan ini dapat putus karena peristiwa *electrical dan thermal fault* [15][16]. Penguraian oli trafo dapat menyebabkan terbentuknya gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), dan asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) [15][17]. Penguraian isolasi selulosa trafo menyebabkan terbentuknya gas karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Selain itu, oli trafo dapat mengandung gas terlarut yang disebabkan oleh peristiwa *stray gassing* dan reaksi *catalytic*. Kedua peristiwa ini dapat terjadi meskipun trafo dalam keadaan normal.

Isolasi trafo dapat mengalami penurunan kualitas. Kondisi isolasi dapat digunakan sebagai deteksi awal kondisi kesehatan trafo. Analisis gas terlarut dan uji tegangan tembus merupakan pengujian oli trafo yang bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi trafo [15][16]. Analisis gas terlarut pada oli trafo mampu menganalisis gas terlarut dalam oli trafo. Gas terlarut yang terdeteksi pada pengujian DGA disebut sebagai fault gas. Jenis *fault gas* antara lain hidrogen ( $\text{H}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Gangguan atau kondisi abnormal yang terjadi pada trafo dapat menyebabkan terbentuknya gas di dalam oli. Untuk melakukan pemeliharaan preventif dan prediktif, perlu dilaksanakan pemeriksaan dan pengujian kondisi oli trafo secara berkala. Artikel ini membahas pemeriksaan dan pengujian kondisi oli trafo pada pembangkit listrik tenaga uap dengan DGA dan uji tegangan tembus untuk memastikan trafo masih layak digunakan atau perlu di purifikasi atau diganti. Tindakan ini sebagai tindakan preventif untuk menghindari trafo mengalami kegagalan kerja dan memprediksi umur ekonomis trafo.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan evaluasi kondisi trafo PLTU Adipala. Metode penelitian menggunakan analisis dan evaluasi hasil pengujian oli trafo dengan langkah-langkah sebagai berikut: 1) analisis kebutuhan dengan melakukan observasi kondisi trafo, diskusi dengan operator dan teknisi PLTU. 2) perencanaan pengujian DGA dan BDV dan pengambilan sampel oli. 3) pengujian oli trafo, 4) Analisis hasil uji dengan membandingkan dengan standar IEC. 5) evaluasi dan rekomendasi. Instrumen pengumpulan data menggunakan alat uji DGA dan BDV sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat pengujian DGA dan BDV

Analisis data oli trafo yang digunakan pada penelitian menggunakan metode DGA dan BDV. Analisis awal yaitu menghitung nilai delta dan *rate* gas terlarut. Delta merupakan selisih nilai konsentrasi gas antara dua data pengujian. Rate adalah konstanta pertumbuhan gas terlarut yang dihitung menggunakan regresi linear. Nilai

delta dan nilai *rate* digunakan untuk interpretasi data. Interpretasi data digunakan untuk menentukan status DGA oli trafo. Status DGA digunakan untuk menentukan tindakan selanjutnya. Proses Interpretasi data DGA berpedoman pada standar IEEE C57.104-2019. *Fault identification* dilakukan untuk menentukan jenis kegagalan pada trafo. Nilai konsentrasi gas terlarut digunakan untuk memprediksi jenis kegagalan yang terjadi pada trafo. *Fault identification* menggunakan metode yang tercantum pada standar IEEE C57.104-2019. Analisis data hasil uji BDV menggunakan pedoman standar IEC 60422:2013. Analisis data ini tidak melalui perhitungan tetapi mengkomparasi data dengan nilai standar. Komparasi data menghasilkan gambaran kondisi oli trafo. Hasil analisis ini dapat menentukan kelayakan oli trafo sebagai bahan isolasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

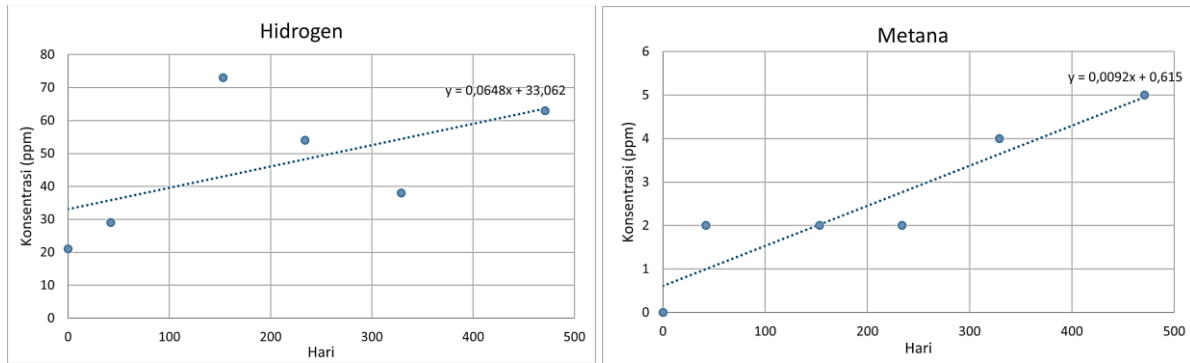
#### 3.1 Pengujian DGA Sebelum Purifikasi

Penelitian ini menggunakan hasil pengujian Trafo yang ada di PLTU Adipala. Trafo berfungsi untuk menurunkan tegangan *output* generator dari 22 kV menjadi 6,6 kV. Listrik yang sudah diturunkan tegangan oleh trafo selanjutnya digunakan sebagai pasokan listrik di lingkungan PLTU. Trafo ini memiliki kapasitas daya sebesar 43 MVA dengan sistem pendingin ONAN/ONAF. Trafo menggunakan oli Kunlun Kelamayi DB25 sebagai pendingin dan isolasi belitan. Kegagalan trafo menyebabkan terbentuknya *fault* gas dalam oli. Berdasar pemeriksaan rutin, ditemukan indikasi adanya kondisi abnormal sehingga membutuhkan pemeriksaan dan pengujian lebih lanjut. Hasil pengujian DGA menunjukkan nilai gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dalam oli trafo melebihi batas standar. Nilai *rate* gas hidrogen (H<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) juga melebihi batas standar sebagaimana Tabel 1. Oleh karena itu, dilaksanakan pengujian dan analisis terhadap oli untuk mengetahui kondisi trafo.

Tabel 1. Pengujian DGA sebelum purifikasi

ID Peralatan	Unit Trafo PLTU Adipala				Delta (ppm)	Rate (ppm/th.)	Batas Standar IEEE			
	Sampling	Data 1	Data 2	Data 3			Data 4	Tabel 1	Tabel 2	Tabel 3
Hari Ke-	0	42	153	234						
Parameter	Hasil (ppm)									
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	21	29	73	63	8	23,5	40	90	25	10
Metana (CH <sub>4</sub> )	0	0	0	0	1	3,36	20	60	10	3
Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0	0	0	0	0	0	15	40	7	2
Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0	0	0	0	0	0	60	125	20	5
Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0	0	0	0	0	0	2	7	<i>Any increase</i>	
Karbon Monoksida (CO)	82	104	244	256	32	186,65	500	600	175	80
Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	1402	1529	2206	2667	292	944,91	5500	8000	1750	800
Metana (CH <sub>4</sub> )	12189	11556	13320	12792						
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	31234	30982	37417	47876						
CO <sub>2</sub> /CO	17,19	14,70	7,82	10,21						
O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	0,38	0,38	0,27	0,3						

Hasil interpretasi data DGA diketahui, terdapat nilai konsentrasi *fault* gas yang melebihi batas normal. Nilai konsentrasi gas hidrogen (H<sub>2</sub>) yang terukur sebesar 63 ppm. Ketentuan Tabel 1 pada IEEE C57.104-2019 tertulis bahwa batas nilai konsentrasi gas Hidrogen sebesar 40 ppm. Sebaliknya, nilai konsentrasi seluruh *fault* gas berada di bawah batas. Nilai delta seluruh *fault* gas termasuk dalam kategori normal karena di bawah batas. Nilai *rate* beberapa *fault* gas melebihi batas normal. Nilai *rate* gas hidrogen (H<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) melebihi batas. Konsentrasi gas etana, etilen, dan asetilen adalah 0 ppm. Hal ini menandakan tidak ada pembentukan gas etana, etilen, dan asetilen di dalam oli trafo. Grafik pertumbuhan *fault* gas hidrogen dan metana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik konsentrasi hidrogen dan metana sebelum purifikasi trafo

Grafik pertumbuhan *fault* gas pada Gambar 2 digunakan untuk mengetahui aktivitas gas terlarut dalam oli trafo. Trafo memiliki beban konstan yaitu 27,13 MW. Persentase pembebanan trafo sebesar 78%. Suhu oli trafo berada di bawah 50°C saat trafo beroperasi. Berdasarkan perhitungan regresi linear dapat diketahui bahwa nilai koefisien regresi (b) bernilai positif. Nilai tersebut memiliki makna bahwa setiap bertambahnya hari (X) maka nilai konsentrasi *fault* gas (Y) dalam oli trafo mengalami peningkatan. Hal tersebut dapat dibuktikan pada grafik gas hidrogen, metana, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Grafik keempat gas tersebut cenderung mengalami peningkatan. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan produksi gas hidrogen, metana, karbon monoksida, dan karbon dioksida di dalam oli trafo.

### 3.2 Pengujian DGA setelah purifikasi

Hasil pengujian DGA setelah purifikasi dapat diketahui bahwa nilai konsentrasi *fault* gas dalam oli trafo mengalami penurunan yang signifikan. Seluruh nilai konsentrasi *fault* gas berada di bawah batas standar Tabel 1 yang tertulis pada IEEE C57.104-2019. Data hasil pengujian setelah purifikasi menjadi inisial sampel uji DGA oli trafo. Inisial sampel adalah data awal yang digunakan sebagai patokan awal untuk hasil pengujian DGA berikutnya. Nilai delta dan *rate* belum bisa ditentukan karena inisial sampel merupakan data pertama sehingga belum memiliki data pembanding. Tabel 2 berisi data pengujian DGA setelah purifikasi.

Tabel 2. Pengujian DGA setelah purifikasi

ID Peralatan	Unit Trafo PLTU Adipala	Delta (ppm)	Rate (ppm/th.)	Batas Standar IEEE			
				Tabel 1	Tabel 2	Tabel 3	Tabel 4
<i>Sampling</i>	Data 1						
Hari ke-	0						
Parameter							
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	0	8	23,5	40	90	25	10
Metana (CH <sub>4</sub> )	0	1	3,36	20	60	10	3
Etana (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0	0	0	15	40	7	2
Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0	0	0	60	125	20	5
Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0	0	0	2	7	Any increase	
Karbon Monoksida (CO)	8	32	186,65	500	600	175	80
Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> )	151	292	944,91	5500	8000	1750	800
Metana (CH <sub>4</sub> )	12891						
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	45791						
CO <sub>2</sub> /CO	18,88						
O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	0,28						

### 3.3 Identifikasi Kegagalan Trafo

Identifikasi kegagalan trafo adalah metode untuk mengetahui kegagalan yang terjadi pada trafo. Kegagalan trafo menjadi dasar untuk evaluasi dan penentuan tindakan terhadap trafo. Terdapat 6 metode untuk mengidentifikasi kegagalan trafo antara lain Roger Ratio, Key Gas, Rasio Doernenburg, Duval Pentagon 1, Duval Triangle, dan Duval Pentagon 2. Selain itu, terdapat identifikasi CO dan CO<sub>2</sub> yang merupakan indikator kegagalan isolasi selulosa pada trafo. Identifikasi kegagalan trafo menggunakan hasil pengujian DGA. Tabel 3 berisi hasil uji DGA sebelum purifikasi.

Tabel 3. Hasil Uji DGA Sebelum Purifikasi

No.	Jenis <i>Fault Gas</i>	Konsentrasi (ppm)
1	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	63
2	Metana (CH <sub>4</sub> )	5
3	Etana (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	0
4	Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	0
5	Asetilen	0
6	Karbon Monoksida	336
7	Karbon Dioksida	2667

Hasil uji menunjukkan oli trafo menempati status DGA 3, sehingga perlu dilakukan identifikasi *fault* untuk mengetahui kegagalan yang terjadi. Kegagalan trafo tidak dapat teridentifikasi menggunakan metode key gas karena hanya terdapat gas hidrogen dan sedikit gas metana. Tidak terdapat jejak terbentuknya gas etilen dan etana. Metode identifikasi Roger ratio dan ratio Doernenburg tidak dapat diterapkan untuk mengidentifikasi kegagalan trafo. Dua metode tersebut membutuhkan nilai konsentrasi gas etana, etilen, dan asetilen untuk menghitung nilai rasio gas. Kegagalan yang terjadi pada Trafo juga tidak dapat digambarkan menggunakan Duval triangle dan Duval Pentagon. Penggambaran dua metode tersebut membutuhkan gas etana, etilen, dan asetilen sebagai titik acuan. Berdasarkan interpretasi CO dan CO<sub>2</sub> dapat diketahui bahwa gas yang terbentuk merupakan pembentukan gas yang normal.

### 3.4 Hasil Pengujian DBV Sebelum Purifikasi

Trafo merupakan peralatan listrik kategori C. Standar nilai tegangan tembus menurut IEC 60422-2013 adalah >40 kV dengan jarak antar elektroda 2,5 mm. Tabel 4 berisi hasil uji BDV sebelum purifikasi.

Tabel 4. Hasil Uji BDV Sebelum Purifikasi

Date Sampling : 20 November 2022				
Device ID : Trafo				
Gap : 2,5 mm				
Device Category : C				
Tes	Breakdown Voltage (kV)	Limit (IEC 60422-2013)		
		<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>
Tes 1	87,4			
Tes 2	81,5			
Tes 3	80,2	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
Tes 4	74,1			
Tes 5	97,6			
Tes 6	98,7			
Rata-rata	86,6			

Dari keenam pengujian diambil nilai rata-rata untuk menentukan kondisi oli trafo. Berdasarkan Tabel 4 rata-rata tegangan tembus oli UAT B bernilai 86,6 kV dengan jarak antar elektroda sebesar 2,5 mm. Dengan demikian, hasil pengujian tegangan tembus trafo termasuk dalam kategori *good*.

### 3.5 Hasil Pengujian BDV Setelah Purifikasi

Pengujian oli trafo menggunakan metode BDV (*Breakdown Voltage*) setelah purifikasi dilaksanakan sebanyak dua kali. Sampel oli pertama diambil saat trafo dalam kondisi *off-load*. Sampel oli kedua diambil saat trafo dalam kondisi berbeban. Tabel 5 berisi hasil uji BDV setelah purifikasi *off-load*.

Tabel 5. Hasil uji BDV setelah purifikasi *off-load*

Date Sampling : 29 December 2022				
Device ID : Unit Trafo				
Gap : 2,5 mm				
Device Category : C				
Tes	Breakdown Voltage (kV)	Limit (IEC 60422-2013)		
		<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>
Tes 1	88,4			
Tes 2	99,9			
Tes 3	100,2			
Tes 4	91,5	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
Tes 5	59,7			
Tes 6	82,2			
Rata-rata	87,0			

Berdasarkan Tabel 5 rata-rata nilai tegangan tembus oli trafo sebesar 87 kV dengan jarak antar elektroda 2,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa hasil purifikasi oli trafo sudah sesuai dengan standar. Pengujian BDV setelah purifikasi saat trafo dalam kondisi tidak berbeban (*off-load*) digunakan untuk mengetahui kesesuaian hasil purifikasi. Melalui pengujian tersebut dapat diketahui apakah hasil purifikasi sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Apabila sudah sesuai maka oli trafo dapat digunakan kembali.

Tabel 6 berisi hasil uji BDV setelah purifikasi *on-load*.

Tabel 6. Hasil uji BDV setelah purifikasi *on-load*

Date Sampling : 29 Desember 2022  
 Device ID : Unit Trafo  
 Gap : 2,5 mm  
 Device Category : C

Tes	Breakdown Voltage (kV)	Limit (IEC 60422-2013)		
		<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>
Tes 1	94,6			
Tes 2	83,5			
Tes 3	54,4			
Tes 4	82,7	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
Tes 5	79,2			
Tes 6	78,3			
Average	78,8			

Berdasarkan Tabel 6 nilai rata-rata tegangan tembus oli Trafo sebesar 78,8 kV. Terjadi penurunan nilai tegangan tembus saat trafo dalam kondisi berbeban (*on-load*). Dari hasil kedua pengujian BDV nilai rata-rata tegangan tembus melebihi batas normal. Dengan demikian, hasil pengujian BDV termasuk dalam kategori baik.

### 3.6 Pembahasan

Sebelum proses purifikasi status trafo menempati status DGA 3. Hal ini disebabkan oleh nilai konsentrasi gas hidrogen ( $H_2$ ) dan nilai *rate* beberapa *fault* gas ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ) yang melebihi batas standar IEEE C57.104-2019. Trafo dengan status DGA 3 dianggap mencurigakan karena terjadi peningkatan gas terlarut dalam oli trafo. Terdapat indikasi kegagalan *partial discharge* pada trafo karena jumlah konsentrasi gas hidrogen melebihi standar seperti pada Tabel 1. Berdasarkan IEEE C57.104-2019 pembentukan gas hidrogen disebabkan oleh peristiwa *partial discharge*. Namun, hal ini belum dipastikan kebenarannya. Perlu adanya *fault identification* untuk menentukan jenis kegagalan berdasarkan hasil pengujian DGA.

Purifikasi oli dilaksanakan setelah proses inspeksi pada trafo. Setelah purifikasi nilai konsentrasi gas terlarut dalam oli mengalami penurunan drastis. Purifikasi trafo dapat mengurangi kontaminasi oli trafo terhadap endapan, kandungan air, dan gas terlarut. Penurunan nilai konsentrasi gas terlarut hanya bersifat sementara. Nilai konsentrasi gas terlarut akan kembali naik saat trafo beroperasi dan mengalami kegagalan. Disarankan untuk melakukan pengujian DGA setiap tiga bulan untuk memantau pertumbuhan gas terlarut dalam oli trafo.

Trafo sebelum purifikasi menempati status DGA 3 sehingga dilakukan *fault identification* untuk mengetahui jenis kegagalan trafo. Berdasarkan IEEE C57.104-2019 terdapat beberapa metode *fault identification* antara lain Key gas, Roger ratio, Doernenburg ratio, Duval triangle, Duval pentagon 1, dan Duval pentagon 2. Selain itu, terdapat identifikasi  $CO$  dan  $CO_2$  untuk mengetahui keterlibatan isolasi selulosa pada kegagalan trafo. Hasil *fault identification* pada trafo tidak menunjukkan terjadinya kegagalan. Gas terlarut yang terbentuk dalam oli tidak disebabkan oleh kegagalan trafo. Gas dalam oli trafo merupakan gas normal yang dapat terbentuk saat trafo beroperasi.

Gas hidrogen ( $H_2$ ) dalam oli trafo tidak disebabkan oleh kegagalan *partial discharge*. Terdapat faktor lain yang menyebabkan terbentuknya gas hidrogen ( $H_2$ ). Berdasarkan standar (CIGRE, 2019) reaksi *catalytic* pada trafo dapat menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) dengan jumlah cukup besar. Reaksi ini dapat terjadi saat temperatur trafo dalam kondisi normal. Berdasarkan IEEE C57.104-2019 penguraian isolasi selulosa dapat menghasilkan gas karbon monoksida ( $CO$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ). Peristiwa ini dapat terjadi meskipun trafo dalam kondisi normal. Laju pertumbuhan gas dipengaruhi oleh temperatur operasi trafo. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa gas hidrogen ( $H_2$ ) pada oli trafo terbentuk karena reaksi *catalytic* dan penguraian isolasi selulosa.

Pengujian BDV trafo sebelum purifikasi dilaksanakan saat trafo dalam kondisi berbeban. Nilai rata-rata tegangan tembus yang terukur sebesar 86,6 kV. Standar tegangan tembus berdasarkan IEC:60422-2013 yaitu 40 kV. Nilai tegangan tembus oli trafo melebihi batas standar. Hal ini menunjukkan bahwa oli trafo dalam kondisi baik dan mampu menahan tegangan tembus. Pengujian BDV setelah purifikasi dilaksanakan sebanyak dua kali. Pengujian pertama dilakukan saat trafo dalam keadaan tidak berbeban. Hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan tembus trafo sebesar 87,0 kV. Pengujian kedua dilakukan saat trafo dalam keadaan berbeban. Hasil pengujian menunjukkan nilai tegangan tembus sebesar 78,8 kV. Pembebanan trafo dapat mempengaruhi nilai

tegangan tembus. Semakin besar nilai pembebanan trafo maka semakin kecil nilai tegangan tembus. Oleh sebab itu, terjadi penurunan nilai tegangan tembus oli saat trafo tidak berbeban dan berbeban.

Purifikasi oli trafo dapat menaikkan nilai tegangan tembus. Purifikasi mampu memperbaiki nilai tegangan tembus oli trafo. Nilai tegangan tembus oli trafo mengalami peningkatan setelah purifikasi. Meningkatnya nilai tegangan tembus hanya bersifat sementara. Nilai tegangan tembus akan terus berkurang saat trafo beroperasi. Oli trafo hanya mampu mempertahankan nilai tegangan tembus maksimal satu tahun setelah proses purifikasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan purifikasi kembali untuk mencegah kerusakan trafo dan membersihkan kontaminan dalam oli.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis kondisi Trafo PLTU Adipala berdasarkan pengujian menunjukkan bahwa oli trafo menempati status DGA 3. Kondisi ini tidak menyebabkan kegagalan fungsi isolasi pada trafo, tetapi hanya terjadi peningkatan produksi gas terlarut. Gas hidrogen pada oli trafo terbentuk karena reaksi katalitik dan penguraian isolasi selulosa. Kedua hal tersebut dapat terjadi meskipun trafo dalam kondisi normal. Berdasarkan uji BDV, oli trafo dalam kondisi baik dan layak digunakan sebagai isolasi. Disarankan untuk melakukan pengujian oli trafo setiap tiga bulan sekali dan purifikasi setiap satu tahun sekali. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan pada oli trafo. Pengujian DGA dan BDV dilakukan sebagai tindakan preventif dan prediktif kondisi oli trafo. Kondisi oli yang baik dan memenuhi standar dapat menjamin trafo dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat dicegah gangguan yang dapat menyebabkan terjadinya *blackout* pada sistem tenaga listrik.

#### REFERENSI

- [1] Wu, X., Shen, J., Li, Y., Lee, K. Y., "Steam power plant configuration, design, and control," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 4, no. 6, hal. 537-563, 2015. <https://doi.org/10.1002/wene.161>
- [2] Tanuma, T., "Introduction to steam turbines for power plants," In *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants*, Woodhead Publishing, hal. 3-10, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824359-6.00024-X>
- [3] Ali, M., Arifin, "Redesign The Electricity System of PT. Barata Indonesia To Reduce Annual Power Loss," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2111, In *4th International Conference on Electrical, Electronics, Informatics, and Vocational Education (ICE-ELINVO 2021)*, 012038, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2111/1/012038>
- [4] Murugan, R., Ramasamy, R., "Understanding the power transformer component failures for health index-based maintenance planning in electric utilities," *Engineering Failure Analysis*, vol. 96, hal. 274-288, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.10.011>
- [5] Chu, D., Lux, A., "Online monitoring of power transformers and components: a review of critical parameters," In *Proceedings: Electrical insulation conference and electrical manufacturing and coil winding conference*, (Cat. No. 99CH37035), hal. 669-675, IEEE Xplore, 2002. <https://doi.org/10.1109/EEIC.1999.826290>
- [6] Ye, H., Tian, X., Wu, H., Li, Y., Wu, Z., Ma, G., Li, C., "Insulation characteristics of deformed transformer winding under transient impulse," In *2017 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomenon (CEIDP)*, hal. 552-555. IEEE 2017. <https://doi.org/10.1109/CEIDP.2017.8257550>
- [7] Aslam, M., Haq, I. U., Rehan, M. S., Ali, F., Basit, A., Khan, M. I., Arbab, M. N., "Health analysis of transformer winding insulation through thermal monitoring and fast Fourier transform (FFT) power spectrum," *IEEE Access*, vol.9, hal. 114207-17, 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3104033>
- [8] Yousof, M. F. M., Saha, T. K., Ekanayake, C., "Investigating the sensitivity of frequency response analysis on transformer winding structure," In *2014 IEEE PES General Meeting/ Conference & Exposition*, hal. 1-5, 2014. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2014.6938945>
- [9] Faiz, J., & Soleimani, M., "Dissolved gas analysis evaluation in electric power transformers using conventional methods a review," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 24, no. 2, hal. 1239-1248, 2017. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.005959>
- [10] Golarz, J., "Understanding dissolved gas analysis (DGA) techniques and interpretations," In *2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, hal. 1-5, IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/TDC.2016.7519852>
- [11] Bustamante, S., Manana, M., Arroyo, A., Castro, P., Laso, A., Martinez, R., "Dissolved gas analysis equipment for online monitoring of transformer oil: A review," *Sensors*, vol. 19, no. 19, hal. 4057, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19194057>
- [12] Senoussaoui, M. E. A., Brahami, M., & Fofana, I., "Combining and comparing various machine-learning algorithms to improve dissolved gas analysis interpretation. IET Generation, Transmission & Distribution," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12, no. 15, hal. 3673-3679, 2018. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.0059>

- [13] de Faria Jr, H., Costa, J. G. S., Olivas, J. L. M., "A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 46, hal. 201-209, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.052>
- [14] Wattakapaiboon, W., & Pattanadech, N., "The state of the art for dissolved gas analysis is based on interpretation techniques," *In 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, hal. 60-63, IEEE, 2016. <https://doi.org/10.1109/CMD.2016.7757763>
- [15] Ali, M. S., Omar, A., Jaafar, A. S. A., Mohamed, S. H., "Conventional methods of dissolved gas analysis using oil-immersed power transformer for fault diagnosis: A review," *Electric Power Systems Research*, vol. 216, hal. 109064, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109064>
- [16] Ali, M., Y Hermawan, "Re-design AC Power Failure Signal to Minimize False Signal of Emergency Shutdown System for Ethylene Plant," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2406, no. 1, hal. 012011, 2022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2406/1/012011>
- [17] IEC 60422-2013, "International Standard Mineral Insulating Oils in Electrical Equipment – Supervision and Maintenance Guidance," International Electrotechnical Commission, 2013.
- [18] IEC 60599-2022, "International Standard Mineral Oil-Filled Electrical Equipment in Service - Guidance on Interpreting dissolved and free gases analysis," International Electrotechnical Commission, 2022.
- [19] IEEE C57.104, "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil Immersed Transformers," Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8890040>
- [20] IEEE Power & Society, "IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformers," IEEE Power & Energy Society, 2010.
- [21] Murugan, R., Ramasamy, R., "Understanding the Power Transformer Component Failures for Health Index-Based Maintenance Planning in Electric Utilities," *Engineering Failure Analysis*, vol. 96, hal. 274–288, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.10.011>
- [22] Siada, A. A., "Power Transformer Condition Monitoring and Diagnosis (1st ed.)," Institution of Engineering and Technology, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.019>
- [23] Vahidi, B., & Teymouri, A., "Quality Confirmation Tests for Power Transformer Insulation Systems (1st ed.)," *Springer Nature*, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19693-6>
- [24] Widyastuti, C., Alvin Wisnuaji, R., "Analisis Tegangan tembus Minyak Transformator di PT PLN (Persero) Bogor," *Elektron Jurnal Ilmiah*, vol. 11, no. 2, hal. 75–78, 2019. <https://doi.org/10.30630/eji.11.2.128>
- [25] Negara, I. M. Y., Asfani, D. A., Fahmi, D., Dewira, R. F., Wahyudi, M., Giri, M. Y. P., "Analysis of breakdown voltage test on transformer oil based on dissolved gas analysis test result," *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, vol. 2, no. 2, 2018. <https://doi.org/10.12962/j25796216.v2.i2.55>