

ANALISIS KEGAGALAN TRANSFORMATOR PLTU SUKABANGUN 2x10 MW MELALUI PENGUJIAN *DISSOLVED* *GAS ANALYSIS (DGA)* DAN *BREAKDOWN VOLTAGE (BDV)*

Akhdiyatul

Program Studi Teknologi Listrik, Jurusan PPM, Politeknik Negeri Ketapang
Jl. Rangka Sentap, Dalong Sukaharja, Ketapang 78813. Telp. (0534) 3030686 Kalbar
akhdiyatul@politap.ac.id

ABSTRACT

The increasing demand for electrical energy, the performance of the equipment in the power plant also increases. Transformer is a tool that feels the impact, namely the increasing temperature of the conductor inside the transformer. To find out the indications of failure in the transformer, we can test one type of insulation on the transformer, namely transformer oil, by testing the Dissolved Gass Analysis and testing the breakdown voltage (Breakdown Voltage). After testing the DGA, the TDCG results are analyzed, whether they are in accordance with the IEEE 1991 Standard. And the Breakdown Voltage is in accordance with the IEC 60156 Standard (SPLN). Test results in November 2021, the TDCG value is in condition 2 referring to the IEEE 1991 standard, where in conditions This requires vigilance and must determine the allowable loading. And after testing the breakdown voltage of the transformer oil, it is known that the breakdown voltage condition is ≤ 30 kV, if it is adjusted to IEC 60156 standards, the breakdown voltage value of the oil starts to be LOW/NOT GOOD. When the results of the Dissolved Gas Analysis and Break Down Voltage tests are not in accordance with the Standards, it results in a decrease in insulation resistance which causes not optimal power to be supplied to customers. Therefore, to maintain the performance or life time of the transformer itself, maintenance is needed. Treating oil is an effort that must be made to maintain the insulation resistance according to the permitted standards and the transformer can operate optimally.

Keywords: *Transformator, Dissolved Gas Analysis, Breakdown Voltage*

ABSTRAK

Semakin meningkatnya angka permintaan energi listrik, maka semakin meningkat juga kinerja peralatan yang berada di pembangkit listrik. Trafo memiliki isolasi di dalamnya dalam bentuk kertas selulosa dan minyak trafo. Untuk mengetahui indikasi kegagalan pada trafo, kita dapat menguji salah satu jenis isolasi pada trafo yaitu minyak trafo, dengan pengujian *Dissolved Gass Analysis* dan pengujian tegangan tembus (*Breakdown Voltage*). Setelah dilakukan pengujian DGA maka hasil TDCG di analisa, apakah sesuai dengan Standar IEEE 1991. Dan Breakdown Voltage sesuai dengan Standar (SPLN) IEC 60156. Hasil pengujian pada November 2021, nilai TDCG berada pada kondisi 2 mengacu pada standar IEEE 1991, dimana dalam kondisi ini perlu kewaspadaan dan harus menentukan pembebanan yg di izinkan. Dan setelah di lakukanya pengujian tegangan tembus minyak trafo, diketahui bahwa kondisi tegangan tembusnya ≤ 30 kV, jika di sesuaikan dengan standar IEC 60156 nilai tegangan tembus pada minyak mulai RENDA/TIDAK BAIK. Ketika hasil dari tes uji Dissolved Gass Analysiss dan Break Down Voltage tidak sesuai dengan Standar maka berakibat Menurunnya tahanan isolasi yang menyebabkan tidak optimalnya daya yang disalurkan ke pelanggan. Oleh karena itu, untuk menjaga unjuk kerja ataupun life time dari trafo itu sendiri perlu dilakukannya perawatan. Men-treatment oil adalah upaya yang harus dilakukan untuk menjaga agar tahanan isolasinya sesuai standar yang diijinkan dan trafo bisa beroperasi secara optimal.

Kata kunci : *Transformator, Dissolved Gas Analysis, Breakdown Voltage*

1. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang digunakan untuk menstransfer daya (energi) listrik dari kumparan primer ke kumparan

sekunder atau sebaliknya dengan perubahan tegangan maupun arus sesuai dengan perbandingan transformasinya. Jika tegangan inputnya mempunyai harga lebih tinggi dari pada tegangan outputnya, maka perubahan tegangan

tersebut dinamakan transformator penaik tegangan (*Step-Up*) atau sebaliknya jika tegangan input mempunyai harga yang lebih rendah dari pada tegangan output, maka perubahan tersebut dinamakan trafo penurunan tegangan (*Step - Down*). Di dalam pengoperasian trafo berpendingin minyak, menghasilkan senyawa-senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan dampak dari gangguan dan ketidaknormalan operasi trafo. Seperti pada trafo di PLTU 2x10 MW Sukabangun, trafo yang mengalami kelonggaran pada bagian *drain valve* trafo yang bisa menjadi jalan masuknya udara ke dalam trafo sehingga trafo bisa terkontaminasi oleh kandungan gas tersebut. *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan *Breakdown Voltage* (BDV) merupakan metode Analisis untuk melihat kondisi pada transformator dengan melihat kandungan dari gas terlarut di dalam minyak transformator yang diuji dan sampel minyak trafo yang digunakan berasal dari trafo yang sedang tidak beroperasi. Gas-gas terlarut tersebut diekstrak dan didapatkan hasil uji dalam satuan ppm. Dengan mengetahui jenis senyawa gas yang dihasilkan dari pengoperasian trafo, maka hal tersebut mampu menjadi dasar untuk mengetahui dampaknya terhadap suatu trafo.[1,2]

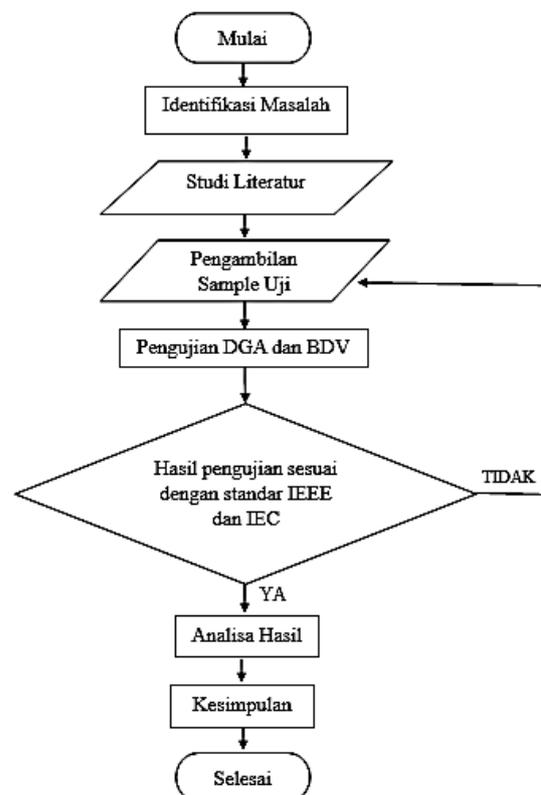
2. METODE PENELITIAN

Pembebanan pada trafo akan berpengaruh kepada kondisi isolasi transformator yang berakibat pada munculnya indikasi kegagalan di dalam trafo itu sendiri. Lokasi penelitian ini dilakukan di PLTU 2x10 MW, Rendal HAR PT. PJB Service, beralamat di Jalan Raya Hayam Wuruk Desa Sukabangun Dalam, Kecamatan Delta Pawan, Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Selanjutnya dibawah ini merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tahap awal dalam melakukan penelitian adalah identifikasi masalah berupa mempelajari data-data yang di dapat dilapangan yaitu lokasi yang akan dijadikan tempat penelitian. Identifikasi masalah berguna untuk menentukan hal hal tersebut. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan sejumlah bahan ajar, jurnal dan artikel yang berkaitan dengan masalah dan tujuan, dan menjadi acuan untuk memecahkan masalah pada penelitian ini. Kemudian dilakukan pengujian DGA dan BDV, sample minyak trafo yang di uji dengan alat pengujian DGA dan BDV. Setelah pengujian didapatkan hasil berupa data yang harus sesuai dengan standar IEEE 1991 untuk pengujian DGA dan standar IEC 60156 untuk pengujian BDV. Jika hasil pengujian YA sesuai dengan standar maka dilanjutkan ketahap analisa, dan jika TIDAK maka dilakukan tindakan *preventive* dan kembali ke pengambilan sample uji. Hasil data pengujian selanjutnya akan di analisa untuk mengetahui gas-gas dan indikasi kegagalan apa saja yang terkandung pada penguji DGA dan untuk mengetahui ketahanan isolasi atau tegangan tembus pada minyak trafo.

Setelah di dapatkan hasil pengujian, selanjutnya dilakukan interpretasi data berdasarkan standar (IEEE C57.104, 1991). Nilai dari hasil analisis TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) digunakan untuk menentukan apakah transformator yang diuji masih berada pada kondisi operasi normal, waspada atau kondisi kritis.[8,9,10]

Tabel 1. Batasan Konsentrasi Gas Terlarut Secara Individual Menurut IEEE C-57-104-1991

No.	PARAMETER GAS	STANDARD IEEE C57 104 2008			
		KONDISI 1 (ppm)	KONDISI 2 (ppm)	KONDISI 3 (ppm)	KONDISI 4 (ppm)
1	Hydrogen (H ₂)	100	101-700	701-1800	>1800
2	Methane (CH ₄)	120	121-400	401-1000	>1000
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	1	2-9	10-35	>35
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	50	52-100	101-200	>200
5	Ethane (C ₂ H ₆)	65	66-100	101-150	>150
6	Carbon Monoxide (CO)	350	351-570	571-1400	>1400
7	Carbon Dioxide (CO ₂)	2500	2501-4000	4001-10000	>10000
TDCG (Total Dissolved Combustible Gass)		720	721-1920	1921-4630	>4630

Kondisi 1 : Total gas terlarut yang mudah terbakar (TDCG) di atas menunjukkan trafo beroperasi dengan baik atau normal.

Kondisi 2 : TDCG dalam kisaran ini menunjukkan tingkat gas mulai tinggi dimana gas-gas yang terlarut mudah terbakar dan perlu kewaspadaan.

Kondisi 3 : Pada kondisi ini nilai dari TDCG menandakan bahwa terjadi dekomposisi selulosa isolasi. Pada kondisi ini sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut dengan pengambilan sampel ditingkatkan frekuensi pengambilannya.

Kondisi 4 : TDCG dalam kisaran ini sudah memulai dekomposisi yang berlebihan selulosa isolasi dan atau minyak transformator sudah meluas. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator.

Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut, dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan. Pengujian ini mengacu pada standar IEC 60156.[8]

Tabel 2. Standar Tegangan Tembus (IEC 60156)

Tegangan Operasi (kV)	Jarak Gap (mm)	Nilai Minimum (kV)
$V_n \leq 36$	2,5	30
$36 < V_n \leq 70$	2,5	35
$70 < V_n \leq 170$	2,5	40
$V_n \geq 170$	2,5	50

Berikut spesifikasi teknis unit trafo yang digunakan dalam penelitian ini:

Unit Transformator : Transformator #2
Merek : *Chongqing Borui Transformer*
Tipe : SFZ11-16000/20
No Seri : 20140084
Tegangan Operasi : 20 kV
Kapasitas : 16.000 kVA
Berat Minyak : 4,7 Ton
Berat Total : 26 Ton
Tahun Buat : July 2014
Tahun Operasi : 2016

Pengujian tegangan tembus dilakukan agar diketahui kemampuan minyak isolasi trafo dalam menahan *stress* tegangan. Tujuan dilakukannya pengujian tegangan tembus ini yaitu untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak trafo terhadap tegangan yang diberikan jika nilai tegangan tembus tinggi bisa disimpulkan bahwa minyak dalam kondisi yang

masih baik dan begitu juga sebaliknya, berikut gambar peralatan tersebut:



Gambar 3. Alat Uji Breakdown Voltage (BDV)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian pada minyak trafo unit 2 yang akan dianalisa kali ini, diperoleh dari tiga tahun terakhir dengan jarak waktu yang sama yakni 6 bulan sekali. Data hasil pengujian tersebut digunakan sebagai pembandingan kondisi minyak isolasi dalam jangka waktu 6 bulan serta dijadikan dasar dilakukannya tindakan *preventive* selama 6 bulan sekali. Berikut di bawah ini merupakan hasil sebelum dan sesudah di lakukannya tindakan *preventive* pada minyak trafo.

Tabel 3. Hasil Pengujian Minyak Trafo November 2021

No.	Parameter	Sebelum Treatment	Sesudah Treatment
1	Hydrogen (H ₂)	7	5
2	Methane(CH ₄)	15	2
3	Ethane(C ₂ H ₆)	28	8
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	9	1
5	Acethylene	3,5	0,5
6	CarbonMonoxyde (CO)	839	2
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	4574	809
	TDCG	901	12

Tabel 4. Hasil Pengujian Minyak Trafo Juni 2021

No.	Parameter	Sebelum Treatment	Sesudah Treatment
1	Hydrogen (H ₂)	7	5

No.	Parameter	Sebelum Treatment	Sesudah Treatment
2	Methane(CH ₄)	15	2
3	Ethane(C ₂ H ₆)	28	8
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	9	1
5	Acethylene	3,5	0,5
6	CarbonMonoxyde (CO)	839	2
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	4574	809
	TDCG	901	12

Tabel 5. Hasil Pengujian Minyak Trafo Juni 2020

No.	Parameter	Sesudah Treatment
1	Hydrogen (H ₂)	0,5
2	Methane(CH ₄)	6
3	Ethane(C ₂ H ₆)	6
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	5
5	Acethylene	1,5
6	CarbonMonoxyde (CO)	224
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	1976
	TDCG	243

Tabel 6. Hasil Pengujian Minyak Trafo April 2020

No.	Parameter	Sesudah Treatment
1	Hydrogen (H ₂)	20
2	Methane(CH ₄)	3
3	Ethane(C ₂ H ₆)	3
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	8
5	Acethylene	0,25
6	CarbonMonoxyde (CO)	356
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	3615

		Sesudah
No.	Parameter	<i>Treatment</i>
	TDCG	372

Tabel 7. Hasil Pengujian Minyak Trafo Juli 2019

		Sesudah
No.	Parameter	<i>Treatment</i>
1	Hydrogen (H ₂)	2,5
2	Methane(CH ₄)	8
3	Ethane(C ₂ H ₆)	8
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	5
5	Acetylene	2,5
6	CarbonMonoxyde (CO)	504
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	3086
	TDCG	530

Tabel 8. Hasil Pengujian Minyak Trafo Januari 2019

		Sesudah
No.	Parameter	<i>Treatment</i>
1	Hydrogen (H ₂)	6
2	Methane(CH ₄)	7
3	Ethane(C ₂ H ₆)	6
4	Ethylene(C ₂ H ₂)	5
5	Acetylene	1
6	CarbonMonoxyde (CO)	378
7	Carbon dioxyde (CO ₂)	2382
	TDCG	403

Data hasil pengujian BDV :

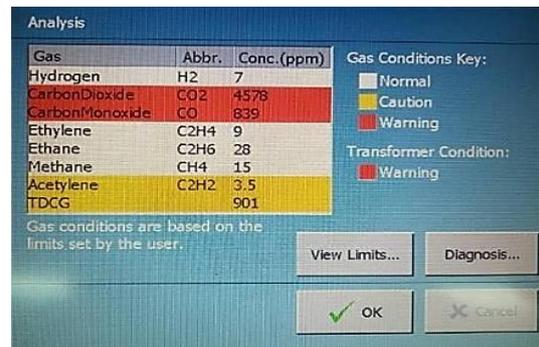
Tabel 9. Hasil Pengujian Minyak Trafo November 2021

	Sebelum	Sesudah
Pengujian ke	<i>Treatment</i>	<i>Treatment</i>
	(kV)	(kV)
<i>Measurement 1</i>	36,8	39,1
<i>Measurement 2</i>	34,2	36,1
<i>Measurement 3</i>	39,2	45,9
<i>Measurement 4</i>	54,5	47,7
<i>Measurement 5</i>	56,2	41,5
<i>Measurement 6</i>	29,2	35,8
Average BDV	29,2	41

Tabel 10. Hasil Pengujian Minyak Trafo Juli 2021

	Sebelum	Sesudah
Pengujian ke	<i>Treatment</i>	<i>Treatment</i>
	(kV)	(kV)
<i>Measurement 1</i>	36,8	36,5
<i>Measurement 2</i>	34,2	41,7
<i>Measurement 3</i>	39,2	45,5
<i>Measurement 4</i>	54,5	47,4
<i>Measurement 5</i>	56,2	43
<i>Measurement 6</i>	29,2	57,2
Average BDV	29,2	45,2

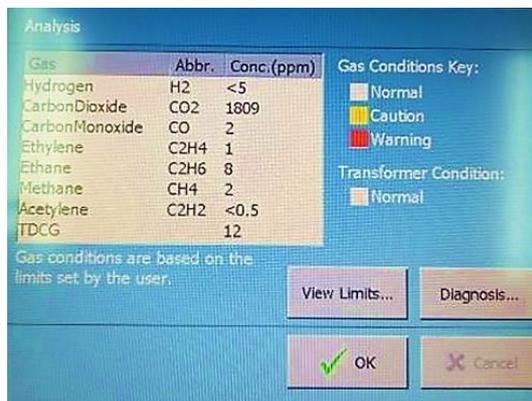
Analisa hasil pengujian DGA untuk hasil pengujian November 2021 terlihat bahwa:



Gambar 3. Hasil Pengujian DGA Sebelum Proses Treatment

Dari gambar diatas hasil pengujian pertama trafo, dapat di ketahui bahwa ada 6 jenis *Combustible gas* dan 1 jenis *uncombustible gas*. Hidrogen (H₂) biasanya memang menjadi penyebab kegagalan. Gas Methane (CH₄) dan gas Ethane (C₂H₆) muncul akibat minyak trafo yang mengalami pemanasan mencapai 500 °C. Sedangkan Ethylene (C₂H₄) menjadi indikator pembentukan partikel karbon akibat pemanasan minyak trafo lebih dari 500 °C. Dan untuk gas CO dan CO₂ muncul akibat proses oksidasi pada kertas selulosa karena pemanasan berlebih pada isolasi kertas selulosa. Apabila ke 6 jenis gas ini dijumlahkan maka akan muncul nilai TDCG sebesar 901 dan jika disesuaikan dengan standar IEEE C57.104 1991 maka minyak trafo dalam kondisi 2 dimana dalam kondisi ini menunjukkan tingkat gas mulai tinggi, gas-gas yang terlarut mudah terbakar dan perlu kewaspadaan. Kandungan gas pada trafo menunjukkan bahwa trafo mengalami masalah sehingga timbul kandungan gas CO dan CO₂ yang mencapai pada kondisi 4, hal tersebut terjadi akibat pemanasan berlebih pada kertas selulosa akibat pemanasan

berlebih. akibat dari pemanasan pada minyak trafo mencapai 800°C, muncul gas acethelin pada kondisi 2. Sehingga dari pengujian ini dapat kita lihat bahwa trafo dalam kondisi 2. Jika mengacu pada standar TDCG, trafo dalam kondisi 2 perlu mendapatkan perlakuan yang hati-hati dan perlu ditentukan pembebanan yang diizinkan pada trafo tersebut. Hasil tersebut mengacu pada standar IEEE C57.104 tahun 1991, dimana kandungan gas mudah terbakar (TDCG) sudah mulai tinggi dan ini perlu kewaspadaan karena gas-gas tersebut mudah sekali terbakar, dan harus dilakukan tindakan *preventive*, dengan cara men-treatment minyak Trafo menggunakan *Oil Treatment Plant*. Setelah melalui proses *Treatment*, terlihat pada gambar dibawah ini:



Gas	Abbr.	Conc.(ppm)	Gas Conditions Key:
Hydrogen	H2	<5	Normal
CarbonDioxide	CO2	1809	Caution
CarbonMonoxide	CO	2	Warning
Ethylene	C2H4	1	Normal
Ethane	C2H6	8	Normal
Methane	CH4	2	Normal
Acetylene	C2H2	<0.5	Normal
TDCG		12	Normal

Transformer Condition: Normal

Gas conditions are based on the limits set by the user.

Buttons: View Limits..., Diagnosis..., OK, Cancel

Gambar 4. Hasil Pengujian DGA Setelah Proses *Treatment*

Analisa Hasil *Breakdown Voltage* (Tegangan Tembus)

Pengujian Tegangan tembus mengacu pada standar IEC 60156 dengan menggunakan elektroda *mushroom* dengan jarak antar elektroda 2,5 mm, dimana dalam sekali pengujian terdapat enam kali tes yang terjadi secara otomatis di dalam alat tersebut. Sehingga dari ke enam hasil pengujian dirata-rata kan dan di dapat hasil akhir nilai tegangan tembus yang sebenarnya. Dari hasil pengujian tegangan tembus menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus sangat rendah, jika mengacu pada standar IEC 60156 yang terdapat pada tabel, bahwa kondisi tegangan tembus sample minyak trafo dalam kondisi **RENDAH/TIDAK BAIK** dan tidak sesuai dengan standar acuan. Hal tersebut karena transformator yang kita uji memiliki tegangan operasi sebesar 29,2 kV, dan pada standar acuan yang digunakan untuk Trafo yang menggunakan tegangan operasi 6,3 kv/20 Kv

harus memiliki nilai minimum tegangan tembus sebesar 30 kV.

Setelah dilakukan tindakan *preventive* dengan melakukan treatment pada minyak trafo, Pada pengujian kedua ini sample minyak yang digunakan masih sama yaitu berasal dari trafo unit 2. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus yang didapat sebesar 41 kV. Setelah itu hasil tersebut kita analisa dengan standar acuan IEC 60156 yang terdapat pada tabel, dan bisa disimpulkan bahwa kondisi tegangan tembus sample minyak transformator 2 dalam kondisi BAIK karena sudah sesuai dengan standar acuan. Hal tersebut karena transformator yang kita uji memiliki tegangan operasi sebesar 6,3 kV/20 kV, dan pada standar acuan yang digunakan untuk trafo yang menggunakan tegangan operasi 6,3 kv/20 kV harus memiliki nilai minimum tegangan tembus sebesar 30 kV.

4. KESIMPULAN

Dari Hasil Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan BDV (*Break Down Voltage*) pada sampel minyak Trafo Unit 2 yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah melalui melakukan pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) minyak trafo terkandung jenis gas yang sama antara lain Hydrogen (H₂), Methane (CH₄), Ethane (C₂H₆), Ethylene (C₂H₄), Achethylene (C₂H₂), carbon monoxhyde (CO), carbon Dioxchye (CO₂), Oxygen (O₂), Nitrogen (N₂).
2. Indikasi kegagalan yang terjadi setelah di analisa dengan metode pengujian DGA adalah akibat terdegradasinya kertas selulosa cukup parah disebabkan oleh pemanasan berlebih bukti adanya kandungan Gas Carbon Monoxyde (CO) dan Carbondioxchye (CO₂) yang mencapai kondisi 4, dan akibat pemanasan berlebih hingga mencapai 500 °C mengakibatkan munculnya gas *Acethylene* (C₂H₂) pada kondisi 2. Sehingga dari pengujian ini dapat kita lihat bahwa ketika 7 gas ini di jumlahkan maka muncul nilai TDCG sebesar 901 dan jika di sesuaikan dengan standa IEEE 1991 maka minyak trafo dalam kondisi 2 dimana dalam kondisi ini menunjukkan tingkat gas mulai tinggi dimana gas-gas yg terlarut mudah terbakar dan perlu kewaspadaan karna gas-gas tersebut mudah sekali terbakar, dan harus di

lakukanya tindak preventive dengan cara men-treatment minyak trafo.

3. Setelah mengetahui hasil pengujian sesudah di treatment, jika dijumlahkan kandungan gas dari hasil pengujian tersebut, didapatkan nilai TDCG sebesar 12 dan jika di sesuaikan dengan standar IEEE 1991 maka minyak trafo dalam kondisi 1, dimana dalam kondisi ini menunjukkan tingkat gas di dalam trafo dalam keadaan normal.
4. Pengujian tegangan tembus pada minyak trafo pada November 2021 sebesar 29,2. Jika mengacu pada standar IEC 60156 kondisi tegangan tembus sample minyak trafo dalam kondisi **RENDAH/TIDAK BAIK** tidak sesuai dengan standar acuan. Hal tersebut karena transformator yang kita uji memiliki tegangan operasi sebesar 6,3 kV/20 kV maka harus memiliki nilai minimum tegangan tembus sebesar 30 kV, sehingga harus dilakukan treatment pada minyak trafo.
5. Setelah dilakukan proses treatment pada nilai tegangan tembus menjadi sebesar 41.0 kV. jika di sesuaikan dengan standar acuan IEC 60156 bisa disimpulkan bahwa kondisi tegangan tembus sample minyak transformator 2 dalam kondisi **BAIK** karena sudah sesuai dengan standar acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badaruddin, Fery Agung Firdianto. Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT. X. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana*. 2016. Vol.7 No. 2 Mei 2016. ISSN:2086-9479.
- [2] Christiono, Reza Hidayat, dan Bagus Widiyantoro. Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merek Unindo Dengan Pengujian Dissolved Gas Analysis dan Breakdown Voltage di Gardu Induk Serpong. *EPSILON : Journal of Electrical Engineering and Information Technology*. 2020. Vol. 18. No. 3, Desember 2020, E-ISSN : 2745-5688, P-ISSN : 1693 – 4989.
- [3] R. Hardityo. Deteksi dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Analisis Gas Terlarut. 2008. Universitas Indonesia, Jakarta.
- [4] B. Wijonarko. Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degradasi Tegangan Tembus Minyak Transformator. 2018. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- [5] B. T. Setiawan. Analisis Pengaruh Besar Pembebanan Transformator Terhadap Kandungan Gas Terlarut pada Minyak Berdasarkan Uji DGA (Dissolved Gas Analysis) Dengan Metode TDCG, Rogers Ratio dan Duvals Triangle pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap UBJOM Tanjung Awar-Awar JATIM. 2019.
- [6] T. K. Siatan. Analisis Indikasi Kegagalan pada Transformator Tenaga 150/20 kV pada Gardu Induk APP Cawang dengan Menggunakan Metode DGA (Dissolved Gas Analysis). 2017. STT-PLN Jakarta, Jakarta.
- [7] A. D. B. Kholqi. Analisa Keadaan Minyak Isolasi Transformator 70 kV Dengan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Tegangan Tembus (Breakdown Voltage) pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di PT. PJB UP Brantas SUB - Unit PLTA Mendalan. 2019 Universitas Jember, Jember.
- [8] IEC 60156, in IEC International Standard, 1995.
- [9] IEEE 1991, in IEEE International Standard.1991
- [10] IEEE C57.104. Guide for the interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformers. 2008.