
ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFOMATOR BERDASARKAN PENGUJIAN DGA (DISSOLVED GAS ANALYSIS) PADA TRANSFOMATOR DAYA PT.PLN NUSANTARA POWER PLTGU MUARA TAWAR

Muhammad Ivan Nanda Saputra¹, Munaf Ismail²

^{1,2}Universitas Islam Sultan Agung Semarang

m.ivannandasaputra@std.unissula.ac.id

ABSTRACT; *Electrical energy is an important factor to support people's lives. Electrical energy from the generator is channeled through a transmission line to the substation. Transformer (transformer) is a very important equipment in the electric power system. Inside there is oil which functions as an insulating medium and also as a cooling medium. This electrical and thermal load can cause dissolved gases in the transformer oil. This DGA (Dissolved Gas Analysis) test aims to determine the content of dissolved gases in transformer oil and then to analyze using three fault indication methods Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) Method, Roger Ratio, and Duval Triangle. Results The analysis uses these three methods to determine corrective actions according to the condition of the transformer oil. Corrective action to return the dissolved gases in the transformer oil back to normal. Transformer oil filtering aims to remove or reduce potentially damaging gases from the transformer oil content. On February 5, 2024 the transformer experienced an increase in the content of flammable hydrogen gas and acetylene gas, the TDCG value was 1520 ppm and after corrective action the dissolved gas content decreased to 481 ppm, so that the condition of the transformer oil returned to normal.*

Keywords: *Transformer, DGA, TDCG.*

ABSTRAK; Energi listrik merupakan faktor penting untuk menunjang kehidupan masyarakat. Energi listrik dari pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi menuju gardu induk. Transformator (trafo) merupakan peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Di dalamnya terdapat minyak yang berfungsi sebagai media isolasi dan juga sebagai media pendingin. Beban listrik dan termal ini dapat menimbulkan adanya gas-gas terlarut dalam minyak transformator. Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) ini bertujuan untuk mengetahui kandungan gas-gas terlarut dalam minyak transformator kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan tiga metode indikasi gangguan yaitu Metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), Roger Ratio, dan Duval Triangle. Hasil Analisis menggunakan ketiga metode tersebut untuk menentukan tindakan perbaikan sesuai dengan kondisi minyak transformator. Tindakan perbaikan untuk mengembalikan gas-gas terlarut dalam minyak transformator kembali seperti semula. Penyaringan minyak transformator bertujuan untuk membuang atau mengurangi gas-gas yang berpotensi merusak dari kandungan minyak transformator. Pada tanggal 5 Februari 2024 trafo mengalami peningkatan kandungan gas hidrogen mudah terbakar dan gas asetilen, nilai

TDCG sebesar 1520 ppm dan setelah dilakukan tindakan perbaikan kandungan gas terlarut menurun menjadi 481 ppm, sehingga kondisi minyak trafo kembali normal.

Kata Kunci: Transformator, DGA, TDCG.

PENDAHULUAN

Transformator daya merupakan peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Fungsi utama dari transformator adalah untuk mengubah level tegangan dalam hal menaikkan atau menurunkan tegangan. Transformator daya dari gardu induk tegangan tinggi akan diturunkan dan disalurkan ke konsumen. Apabila terjadi kerusakan pada transformator akan menyebabkan penyaluran listrik menjadi terganggu. Perbaikan transformator memerlukan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu diperlukan perhatian khusus dalam perawatan transformator agar tidak terjadi kerusakan dan kegagalan operasi (*failure*).

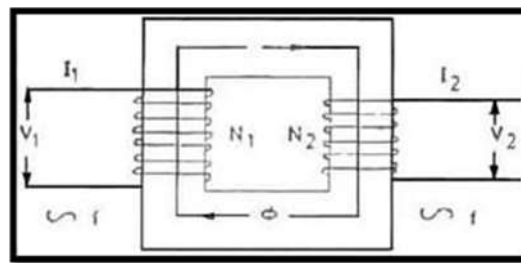
Kelangsungan usia transformator sangat bergantung pada umur dan kualitas isolasi transformator itu sendiri. Salah satu yang menjadi sangat penting adalah bagaimana memastikan kualitas sistem isolasi minyak transformator. Selain berfungsi sebagai media isolasi, minyak transformator juga berfungsi sebagai media pendingin transformator. Selama transformator beroperasi maka kondisi minyak isolasi akan mengalami pembebanan yang dapat mengakibatkan minyak akan mengalami panas berlebih. Kondisi tersebut yang menyebabkan adanya gas-gas yang terlarut pada minyak isolasi transformator. Gas-gas dalam minyak transformator inilah yang digunakan untuk menentukan kondisi transformator. (Afrida & Adi Susilo, 2022)

METODE PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini menggunakan beberapa literatur dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan pengujian minyak transformator berdasarkan uji Dissolved Gas Analysis (DGA). Penelitian sebelumnya dengan topik pengujian DGA minyak trafo yang telah dilakukan oleh (Siswanto et al., 2022) yang bertempat di gardu induk Suyaragi dengan 3 metode analisa data yaitu metode TDCG, Rasio Roger's, dan Segitiga Duval. Sedangkan penelitian yang akan saya lakukan untuk penyusunan tugas akhir yaitu dengan menguji DGA minyak pada salah satu Transformator

Dasar Teori

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya. Prinsip kerja transformator adalah induksi elektromagnetik dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi tersebut akan berubah menjadi magnet, dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan akan muncul beda potensial. Belitan primer merupakan bagian utama transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya).



Gambar 2.1 Rangkaian Trafo

Keterangan :

V_1 = tegangan primer

V_2 = tegangan sekunder

I_1 = arus primer

I_2 = arus sekunder

N_1 = jumlah belitan primer

N_2 = jumlah belitan sekunder

Bagian – Bagian Transformator

Transformator memiliki beberapa komponen penting untuk dapat beroperasi, antara lain sebagai berikut: (Siswanto et al., 2022)

1. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current*.

2. Belitan Transformator

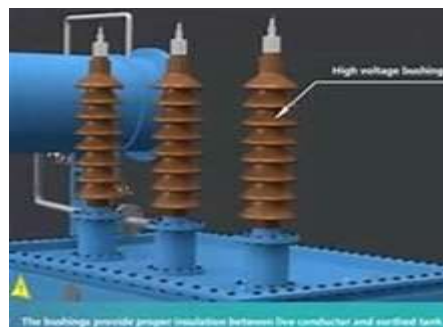
Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.2 Winding Transformator

3. Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dengan jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. *Bushing* sekaligus berfungsi sebagai penyekat/isolator antara konduktor tersebut dengan tangki transformator. Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut *center tap*.

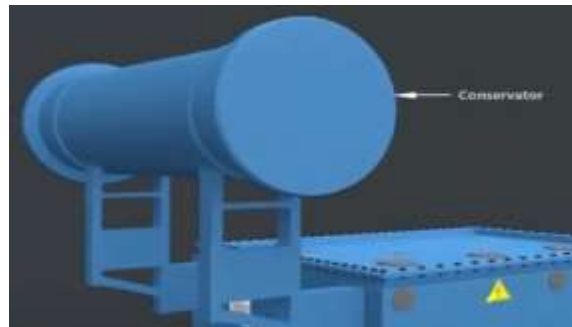


Gambar 2.3 Bushing

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan aksesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu oil impregnated paper (OIP) dan resin impregnated paper (RIP)...(Teknologi & Uda, n.d.)

4. Konservator

Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasang relai bucholz yang akan menyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, maka pada ujung masuknya saluran udara melalui saluran pelepasan/*venting* dilengkapi media penyerap uap air atau sering disebut dengan *silica gel* sehingga tidak keluar mencemari udara disekitarnya.



Gambar 2.4 Konservator pada trafo

5. Tap Changer

Tap changer digunakan untuk mengubah rasio transformator untuk menghasilkan tegangan sekunder yang lebih baik daripada mengubah tegangan primer. Hal yang penting untuk sebuah jaringan listrik untuk memenuhi kualitas pelayanan dengan mengubah rasio transformator sehingga dapat menghasilkan keluaran tegangan yang diinginkan.

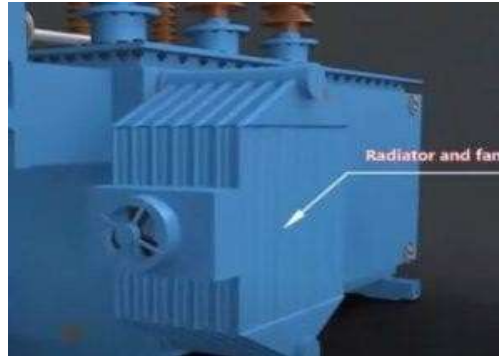


Gambar 2.5 Tap Changer

6. Tabung Pendingin

Terlihat dari namanya sudah menggambarkan fungsinya. Tabung pendingin mendinginkan minyak transformator yang digunakan konservator. Prosedur pendinginan dapat dibagi menjadi natural dan dipaksa. Pendinginan natural menggunakan minyak dingin

yang bergerak ke bawah ketika minyak panas bergerak ke atas. Untuk pendinginan dipaksa kita akan menggunakan pompa eternal.



Gambar 2.6 Pendingin Trafo

Pemeliharaan Dan Pengujian Transformator

In Service Measurement

In Service Measurement merupakan kegiatan pengukuran atau pengujian yang dilakukan secara *online* (transformator dalam keadaan operasi). Tujuan dilakukan *In Service Measurement* adalah untuk mengetahui kondisi transformator lebih dalam tanpa melakukan pemadaman. Beberapa pengujian yang dilakukan dengan kondisi transformator beroperasi adalah sebagai berikut:

1. Thermovisi/Thermal Image

Pada saat transformator beroperasi bagian trafo yang dialiri arus akan menghasilkan panas. Panas pada radiator trafo dan maintank yang berasal dari belitan trafo akan memiliki tipikal suhu bagian atas akan lebih panas dari bagian bawah secara gradasi. Metoda pemantauan suhu trafo secara menyeluruh untuk melihat ada tidaknya ketidaknormalan pada trafo dilakukan dengan menggunakan *thermovisi/ thermal image camera*.



Gambar 2.7 Thermal images

2. DGA (Dissolved Gas Analysis)

Trafo sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana pemicunya dapat berasal dari internal maupun external trafo. DGA adalah indikasi utama terhadap adanya masalah dan dapat mengidentifikasi terjadinya kerusakan pada kertas isolasi dan oli trafo, overheating (pemanasan berlebihan), hot spots, partial discharge, dan arcing. Jika oli trafo sehat, maka trafonya juga sehat. Indikator penting dalam DGA adalah generation rate dari gas- gas secara individu, gas rasio analysis dan total kombustibel gas (TCG) berdasarkan standar IEC 60599 dan IEEE C 57-104-2019

Gas gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah H₂ (hidrogen), CH₄ (Methane), N₂ (Nitrogen), O₂ (Oksigen), CO (Carbon monoksida), CO₂ (Carbondioksida), C₂H₄ (Ethylene), C₂H₆ (Ethane), C₂H₂ (Acetylene).



Gambar 2.8 Alat Uji DGA Myrkos Morgan Schaffer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Transformator yang digunakan sebagai bahan untuk diuji dan dianalisa merupakan salah satu unit transformator daya pada PT. PLN Nusantara Power UP PLTGU Muara Tawar, Bekasi, Jawa Barat. Transformator unit nomer 2 pada gate 2 ini bertegangan 150/20 kV 60 MVA. Berikut adalah gambar Transformator daya pada PLTGU Muara Tawar :



Gambar 3.1 Transformator Daya PLTGU Muara Tawar

Transformator ini merupakan jenis transformator dengan pendingin minyak (Oil Immersed Type Transformer), dan tipe sistem pendingin O.N.A.N, O.N.A.F, dan O.F.A.F.

Spesifikasi dari transformator yang dijadikan sebagai sampel untuk diuji adalah sebagai berikut: Transformator ini sendiri menggunakan minyak isolasi jenis Nynas Nitro ibra.

Minyak eksisting transformator merupakan minyak lama yang telah mengalami proses pembebanan sejak transformator beroperasi tahun 2003. Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis) dilakukan menggunakan Myrkos Morgan Schaffer produksi tahun 2016. Alat ini dapat mendeteksi tujuh jenis fault gas yang terlarut dalam minyak, yaitu hydrogen (H_2), metana (CH_4), etilena (C_2H_4), etana (C_2H_6), asetelin (C_2H_2), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) dengan menggunakan metode Chromatoraph untuk ekstraksi gas terlarut.

Hasil Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis)

Pengujian dilakukan di PLTGU Muara Tawar menggunakan alat uji Myrkos Morgan Schaffer. Hasil pengujian sebagai berikut:

Analisa Hasil Uji DGA (Dissolved Gas Analysis)

Analisa hasil uji DGA ini akan menggunakan metode pengujian yaitu metode TDCG. Metode tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi dari munculnya masing-masing gas yang terlarut dalam minyak isolasi terhadap kondisi transformator.

Metode TDCG

Metode TDCG merupakan salah satu metode interpretasi DGA dengan berdasarkan pada jumlah total gas yang mudah terbakar pada minyak terlarut. Berdasarkan IEEE C.57.104.2019 antara lain hidrogen (H_2), metana (CH_4), etilen (C_2H_4), etana (C_2H_6), asetelin (C_2H_2), dan karbon monoksida (CO). Dari jumlah konsentrasi gas tersebut akan didapat nilai TDCG. Berikut adalah tabel hasil Analisa pengujian metode TDCG

Tabel 3.2 Hasil pengujian DGA menggunakan metode TDCG

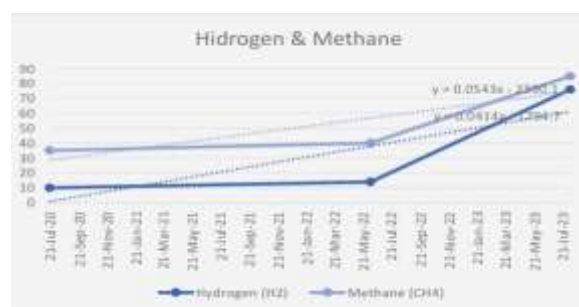
Hasil Pengukuran	
Hidrogen (H_2)	0 ppm
Metana (CH_4)	0 ppm
Karbon Monoksida (CO)	3 ppm
Karbon Dioksida (CO_2)	81 ppm
Etilen (C_2H_4)	0 ppm

Etana (C_2H_6)	0 ppm
Asetilen (C_2H_2)	0 ppm
Oksigen (O_2)	6822 ppm
Nitrogen (N_2)	16438 ppm
TDG	2,33 %
TDCG	0 %
THCG (O_2N_2)	0,01 %

Tabel 3.3 Hasil Tes DGA

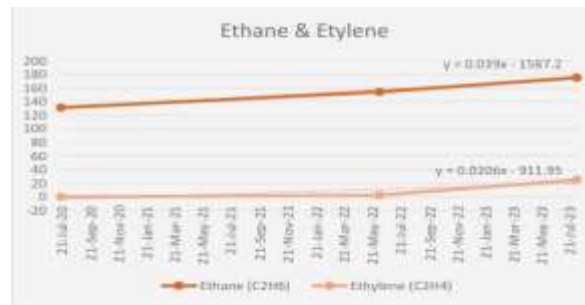
DISSOLVED GAS ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS BY GAS CHROMATOGRAPH (GC)										
Sampling Date	21-Jul-20	07-Aug-21	07-Aug-23							
Received Date	22-Jul-20	09-Aug-21	07-Aug-23							
Test Date	29-Jul-20	10-Aug-21	07-Aug-23							
ASTM D3612-8										
Gas Parameter	Unit	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	Table 1	Table 2	Status
Hydrogen (H_2)	ppm	33	34	76				75	100	Medium
Methane (CH_4)	ppm	35	40	85				90	150	Low
Ethane (C_2H_6)	ppm	131	154	175				90	175	Medium
Ethylene (C_2H_4)	ppm	0	2	25				50	95	Low
Acetylene (C_2H_2)	ppm	0	0	1				1	2	Low
Carbon Monoxide (CO)	ppm	112	149	177				900	1300	Low
Carbon Dioxide (CO_2)	ppm	1357	1530	1801				30000	14000	Low
Oxygen	ppm	1301	1329	1336				-	-	-
Nitrogen	ppm	14842	15773	15266				-	-	-
O_2/N_2	-	0.07	0.08	0.07				-	-	-
CO_2/CO	-	12.12	10.27	10.68				3-30 ($CO=1000$ ppm and $CO_2=20000$ ppm)	-	Normal

Kondisi transformator 150/20 kV PLTGU Muara Tawar berdasarkan metode analisa TDCG berada pada kondisi yang normal. Berdasarkan *action based* direkomendasikan untuk tetap melakukan pengecekan DGA minyak selama 6 bulan sekali.



Gambar 3.2 Grafik Tren Konsentrasi Gas Hidrogen & Metana

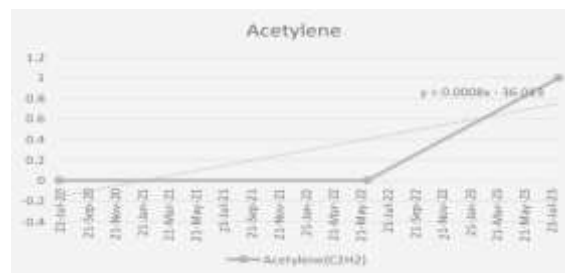
Berdasarkan gambar 3.2, terjadi kenaikan konsentrasi gas Hidrogen dan Metana pada tahun 2022-2023 dan masuk dalam konsentrasi Medium gassing. Kenaikan gas Hidrogen dan Metana ini dipicu akibat adanya panas berlebih pada internal Trafo.



Gambar 3.3 Grafik Tren Konsentrasi Gas Etana & Etilen

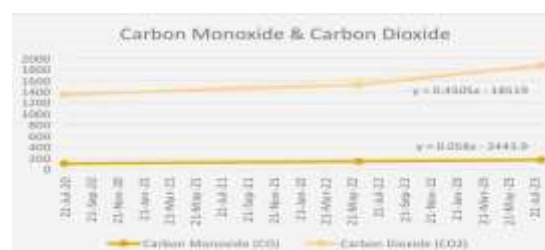
Berdasarkan Gambar 3.3, terjadi kenaikan 20 ppm pada gas etana dari 140 ppm menjadi 160 ppm pada pengambilan sampel 21 Mei 2022 dan kembali mengalami kenaikan 20 ppm dari 160 ppm menjadi 180 ppm pada pengambilan sampel

21 Juli 2023. Sedangkan terjadi kenaikan juga pada gas etilen dari 0 ppm menjadi 20 ppm pada pengujian 21 september 2022. Akan tetapi kenaikan konsentrasi gas nya masih dalam tahap normal (level 1).



Gambar 3.4 Grafik Tren Konsentrasi Gas Asetilen

Berdasarkan Gambar 3.4, terjadi kenaikan pada gas Asetilen (C_2H_2) pada pengambilan sampel 21 Mei 2022 yaitu dari 0 ppm menjadi 1 ppm, tetapi masih dalam kondisi yang normal sehingga tidak memerlukan perawatan yang berlebih.

Gambar 3.5 Grafik Tren Konsentrasi Gas CO & CO₂

$$R1 (CH_4/H_2) = 85/76$$

$$= 1,12$$

$$R2 (C_2H_6/CH_4) = 175/85$$

$$= 2,05$$

$$R3 (C_2H_4/CH_4) = 25/85$$

$$= 0,29$$

$$R4 (C_2H_2/C_2H_4) = 1/25$$

$$= 0,04$$

Berdasarkan Gambar 3.5, terjadi kenaikan yang signifikan pada gas Karbon Monoksida (CO) tetapi masih dalam tahap normal karena masih dibawah 2000 ppm sedangkan pada Gas Karbon Dioksida (CO_2) tidak terdeteksi atau 0 ppm.

Metode Ratio Roger's

Metode analisa Ratio Roger's merupakan salah satu metode pelengkap dalam melakukan interpretasi hasil pengujian DGA. Metode ini membandingkan nilai antar gas dalam minyak terlarut. Rasio yang digunakan antara lain R1 (CH_4/H_2), R2(C_2H_6/CH_4), R3(C_2H_6/CH_4) dan R4 (C_2H_2/C_2H_4). Berikut adalah gambar hasil Analisa tes rasionya:



Gambar 3.6 Hasil Tes Ratio Roger's

Ratio Doernenburg

Metode analisa Ratio Doernenburg merupakan salah satu metode pelengkap dalam melakukan interpretasi hasil pengujian DGA. Metode ini menbandingkan nilai antar gas dalam minyak terlarut. Ratio yang digunakan antara lain R1 (CH_4/H_2), R2 (CH_4/H_2), R3 (C_2H_4/C_2H_6), dan R4 (C_2H_6/C_2H_2).

$$R1 (CH_4/H_2) = 85/76$$

$$= 1,11$$

$$R2 (CH_4/H_2) = 1/25$$

$$= 0,04$$

$$R5 (C_2H_4/C_2H_6) = 25/175$$

$$= 0,14$$

Dari perhitungan analisa diatas menggunakan Ratio Doernenburg tidak dapat mendefenisikan kondisi transformator daya PLTGU Muara Tawar.

Hasil Pengujian Kualitas Minyak

Pengujian kualitas minyak Transformator bertujuan untuk mengetahui apakah kualitas minyak masih layak untuk digunakan atau harus ada pergantian terhadap minyak tersebut. Berikut adalah hasil dari pengujian kualitas minyak Transformator:

Customer Name	PT PLN SURABAYA POWER MUARA TAWAR	Order Number	170 143
Location / Project	PT PLN Muara Tawar	Lab Number	1 0004 / 16/2004
Transformer data			
Serial No	PT 800 10 (11kV 2.1)	Manufacturer	ABB
Serial Number	1017 50104 3.2	Year (Age)	1995 (28)
Rating	0.9 / 3.0 / 5.0 MVA	Oil Brand	
Voltage	110 / 33 kV	Sample Point	10kV
Oil Volume	1.023 m ³	Oil Temperature °C	1.02

OIL QUALITY ANALYSIS OF TRANSFORMER OIL									
Sampling Date	21-Jun-20	07-Jun-21	07-Aug-21						
Measurement Date	21-Jun-20	09-Jun-21	07-Aug-21						
Test Date	21-Jun-20	10-Jun-21	07-Aug-21						
Gas Parameter	Unit	Abbott	Std	Std	Std	Std	Std	Std	Std
Oil Color / Appearance	-	ASTM D-155	0.5 / Pale	0.5 / Pale	0.5 / Pale	0.5 / Pale	0.5 / Pale	0.5 / Pale	0.5 / Pale
Water Content	mg/kg	100	15	15	15	15	15	15	15
Acidity	mg/kg	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Interfacial Tension	mN/m	35	35	35	35	35	35	35	35
Oil Quality Index	-	WPI 22.9	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
Breakdown Voltage	kV	100	100	100	100	100	100	100	100
Oil Breakdown @90 °C (min)	kV	100	100	100	100	100	100	100	100
IEE @90 °C	-	100	100	100	100	100	100	100	100
Flash Point (PMCC)	°C	147	147	147	147	147	147	147	147
Residual Content	mg/m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Moisture Content	mg/m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Gambar 3.7 Data Kualitas Minyak Tranfomator Daya PLTGU Muara Tawar

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari pengujian DGA minyak trafo yang sudah dilakukan terdapat beberapa gas yang telat terkontaminasi pada minyak trafo yaitu Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2), Oksigen (O_2), Nitrogen (N_2).
2. Dari pada pengujian DGA minyak trafo juga ditemukan konsentrasi gas yang terlarut, berikut adalah konsentrasi gas yang terlarut pada minyak trafo yaitu Karbon Monoksida (CO) sebesar 3 ppm , Karbon Dioksida (CO_2) sebesar 81 ppm, Oksigen (O) sebesar 6822 ppm , Nitrogen (N)

tetapi masih harus dilakukan perawatan berkala seperti proses purifikasi pada minyak agar performa trafo tetap optimal.

Saran

Selama melakukan penelitian ini penulis menemui beberapa hal yang akan dimasukkan sebagai saran untuk dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan apabila ada penulisan skripsi dengan judul yang sama. Berikut adalah saran yang dapat penulis berikan :

1. Dalam melakukan pengambilan sample minyak trafo sebaiknya selalu memperhatikan Instruksi Kerja yang ada guna menghindari kesalahan dalam pengambilan sample dan menjaga kualitas sample minyak.
2. Dalam melaksanakan analisa terhadap hasil pengujian DGA minyak trafo sebaiknya menggunakan hasil pengujian dari analisa kegagalan yang diperoleh valid.
3. Memperpendek waktu pengujian ulang DGA dan melakukan pengujian minyak lanjutan seperti pengujian furan dapat dilakukan untuk mendukung data pada saat analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- frida, Y., & Adi Susilo, L. (2022). *Analisa Kondisi Minyak Trafo Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis Pada Trafo Daya #1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Kotabumi* (Vol. 16, Issue 3).
- Chumaidy, A., & MohKahfi Jagakarsa- Jakarta Selatan, J. I. (2012). *Analisis Kegagalan Minyak Isolasi Pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut* (Vol. 22, Issue 1).
- Mudjiono, U., & Hidayat, E. P. (n.d.). *PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR FASILITAS GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA*
- Naibaho, N. (n.d.). *ANALISIS KEGAGALAN TRANSFORMATOR BERDASARKAN HASIL PENGUJIAN DGA*.
- Prayitno, P., Serang, U. S., & Corresponding, B. (2022). Diagnosis Minyak Isolasi pada Trafo dengan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA). In *Asian Journal of Mechatronics, and Electrical Engineering (AJMEE)* (Vol. 1, Issue 1). <https://journal.formosapublisher.org/index.php/ajmee>
- Siswanto, A., Rohman, A., Suprijadi, S., Baehaqi, M., & Arifudin, A. (2022). ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAKTRANSFORMATOR MENGGUNAKAN PENGUJIAN DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) PADA IBT 1 GARDU INDUK. *Foristek*, 12(1), 30–42. <https://doi.org/10.54757/fs.v12i1.142>
- Teknologi, J., & Uda, E. (n.d.). KARAKTERISTIK TRANSFORMATOR. In *Maret: Vol. VIII* X Badaruddin, D. P., & Agung Firdianto,
- F. (n.d.). *ANALISA MINYAK TRANSFORMATOR PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA*.

- Yulinda, A., Taqiyyudin A, M., & Basuki, B. M. (n.d.). *ANALISIS KEGAGALAN TRAFOD BERDASARKAN HASIL PENGUJIAN DISSOLVED GAS ANALYSIS PADA TRAFOD I 50 MVA 150/20kV GIPIER*.
- I Putu Surya.,(2022).PENGUJIAN DGA DENGAN MENGGUNAKAN METODE DUVAL TRIANGLE DAN DUVAL PENTAGON PADA MINYAK TRANSFORMATOR GARDU INDUK TAMBUN.