

Analisa Minyak Transformator Daya 60 MVA Menggunakan Pengujian *Dissolve Gas Analysis*

Ermawati¹, Yolnasdi², Hanifulkhair³, Engla Harda Arya⁴, Sely Kusuma Anggraeni⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

JL. Dirgantara No. 4 Arengka Pekanbaru (0761)61815

*Corresponding authors e-mail : ermawatip44@gmail.com

Abstrak

Transformator dapat mengalami kondisi abnormal, pemicunya dapat berasal dari gangguan internal maupun eksternal dari transformator tersebut. Gangguan eksternal berupa gangguan hubung singkat di luar transformator. Arus gangguan ini cukup besar dapat memicu timbulnya panas pada minyak transformator. *Pendeteksian kerusakan transformator salah satunya dengan pengujian minyak DGA (Dissolve Gas Analysis)* yang dapat mengetahui kadar atau nilai dari gas-gas yang terlarut dalam minyak transformator. Gas-gas tersebut timbul akibat ketidaknormalan pada transformator kemudian dilakukan analisa menggunakan metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gases*), metode Key Gas, dan metode Duval Triangle. Sampel minyak transformator yang digunakan diambil dari Tranformator Daya 60 MVA Gardu Induk Keramasan. Hasil pengujian 1 TDCG sebesar 5622,30 ppm, pengujian 2 TDCG sebesar 5896,30 ppm dan pengujian 3 TDCG sebesar 11136,78 ppm berdasarkan limit IEEE TDCG > 4630 ppm termasuk kondisi 4 yang menunjukkan dekomposisi yang berlebihan. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator. Metode Key Gas dan Duval Triangle menunjukkan *Termal Fault temperature* antara 300°C dan 700°C, sehingga mengakibatkan pemanasan minyak isolasi dan kertas isolasi transformator.

Kata Kunci: Minyak Transformator, Transformator Daya, *Dissolve Gas Analysis (DGA)*

Abstract

Transformers can experience abnormal conditions, the trigger can come from internal or external faults of the transformer. External faults are in the form of short circuit faults outside the transformer. This large enough fault current can trigger heat in the transformer oil. One way to detect transformer damage is by testing *Dissolve Gas Analysis (DGA)* oil which can determine the levels or values of gases dissolved in the transformer oil. These gases arise due to abnormalities in the transformer and are then analyzed using the *Total Dissolved Combustible Gases (TDCG)* method, the Key Gas method, and the Duval Triangle method. The transformer oil sample used was taken from the 60 MVA Power Transformer of the Keramasan Substation. The results of test 1 TDCG were 5622.30 ppm, test 2 TDCG was 5896.30 ppm and test 3 TDCG was 11136.78 ppm based on the IEEE TDCG limit > 4630 ppm including condition 4 which indicates excessive decomposition. Continued operation can result in transformer failure. The Key Gas and Duval Triangle methods show that the *Thermal Fault temperature* is between 300°C and 700°C, resulting in heating of the insulating oil and insulating paper of the transformer.

Keywords: Transformer oil, Power transformer, *Dissolve Gas Analysis (DGA)*

1. PENDAHULUAN

Transformator daya merupakan peralatan penting dalam penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik. Oleh karena itu, transformator daya memerlukan perawatan rutin dan evaluasi atau assesmen berkala untuk memastikan keandalan dan pengoperasian yang optimal. Analisis dan evaluasi sangat penting untuk mengetahui kondisi transformator dan mencegah kerusakan (gangguan) yang dapat mengganggu keandalan penyaluran daya listrik.[7]

Transformator rentan terhadap kondisi abnormal, yang dapat dipicu oleh gangguan secara internal atau eksternal. Gangguan eksternal meliputi korsleting di luar transformator, misalnya pada busbar, saluran listrik masuk, atau pada sisi saluran tegangan menengah. Arus gangguan ini cukup besar untuk memicu pemanasan pada oli transformator. Di Gardu Induk Keramasan transformator daya 60 MVA telah mengalami beberapa kerusakan peralatan pada sisi tegangan menengah, yang mengakibatkan arus gangguan yang signifikan. Mendeteksi kerusakan transformator sangat penting, salah satu metode untuk mendeteksi kondisi transformator adalah pengujian minyak dengan Analisis Gas Terlarut/Dissolve Gas Analysis (DGA). Pengujian ini digunakan untuk menentukan kondisi minyak transformator dengan mengambil sampel minyak dari transformator untuk menentukan kadar gas terlarut dalam minyak transformator. Gas-gas ini dihasilkan oleh kelainan pada transformator, dan berdasarkan dampak ini, setiap kelainan di dalam transformator dapat diprediksi.[9] Pengujian DGA dapat mendeteksi kegagalan dini pada transformator dengan melakukan analisa dari hasil pengujian merupakan tujuan pada penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

Transformator

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076 -1 tahun 2011).[4]

Komponen utama dalam mendukung fungsinya, bagian – bagian dari transformator yaitu :

- Electromagnetic Circuit* (Inti besi)
- Belitan
- Dielectric* (Minyak Isolasi Tranformator dan Isolasi Kertas)
- Pendingin
- Oil Preservation & Expansion* (Konservator)
- Tap Changer*
- NGR (*Neutral Grounding Resistor*)
- Proteksi Transformator
- Aksesoris dan komponen transformator lainnya.

Prinsip Kerja Transformator

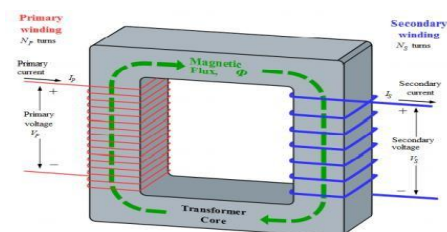
Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Gaya gerak listrik (EMF) sebanding dengan laju perubahan fluks dengan rumus :

$$EMF = - N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- EMF* : Gaya gerak listrik
N : Belitan
dΦ : Fluk magnet
dt : perubahan waktu

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan fluks magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, fluks magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial/tegangan induksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Elektromagnetik pada Transformator

Minyak Isolasi Transformator Dan Isolasi Kertas

Komponen isolasi utama sebuah transformator yang direndam dalam minyak (*oil*

immersed transformer) adalah minyak transformator. Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pelindung belitan dari oksidasi dan pendingin. Terdapat beberapa jenis minyak isolasi transformator yaitu parafinik, aromatic dan naphthanik. Minyak parafinik memiliki kandungan zat parafinik dan naftanic namun yang dominan adalah kandungan zat parafinik, begitu pula minyak naftanik memiliki zat naftanik yang lebih dominan. Jenis minyak tersebut tidak dapat dilakukan pencampuran karena memiliki kandungan dan sifat yang berbeda, kecuali untuk beberapa merk minyak yang sudah lolos pengujian *mixibility*. Gambar 2 menunjukkan sampel dari minyak transformator



Gambar 2. Sampel Minyak Transformator

Transformator daya, juga memiliki bahan isolasi berupa kertas yang berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis. Isolasi padat dengan bahan kertas banyak dipakai sebagai bahan isolasi antar lilitan pada transformator, antar fase pada transformator. [7] Isolasi kertas yang biasa dipakai adalah kertas Kraft (kertas isolasi selulosa). Sekarang juga mulai banyak bahan kertas sintetik yang dipakai, yang bisa beroperasi pada temperatur kerja tinggi (isolasi hybrid), yang dikenal sebagai kertas Aramid.

Isolasi Transformator Dan Gas Terlarut Pada Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai bahan isolasi, bahan pendingin, peredam busur listrik dan pelarut gas yang timbul. Minyak transformator terbuat dari bahan kimia organik, merupakan senyawa atom-atom C dan H. Minyak transformator ini akan dipengaruhi oleh kondisi operasi transformator di mana terdapat suhu tinggi, adanya busur listrik misalnya pada *on load tap changer (OLTC)* serta udara di sekitarnya yang lembab, menyebabkan timbulnya berbagai gas dan air. Gas yang timbul

adalah : H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO , dan CO_2 . Gas-gas terlarut ini menandakan terjadinya degradasi kualitas minyak transformator disebabkan suhu tinggi akibat pembebanan lebih dan gangguan hubung singkat pada saluran beban yang dilayani transformator serta adanya kontak sambungan yang loggar OLTC atau pada sambungan sehingga timbul busur listrik.

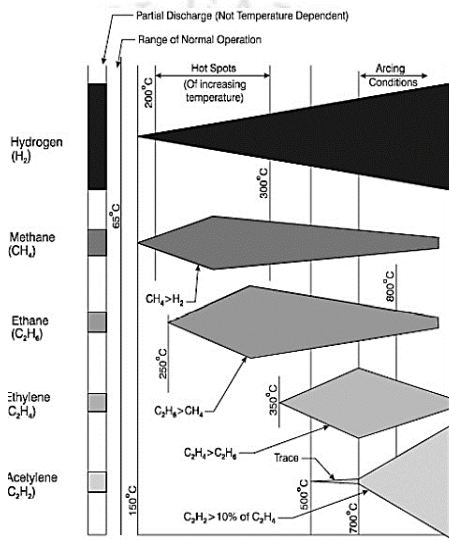
Lilitan kumparan transformator kebanyakan menggunakan isolasi kertas, jika terjadi hubung singkat antar lilitan dapat mengakibatkan isolasi kertas dari lilitan bisa terbakar dan menghasilkan karbon.

Kertas isolasi transformator dan minyak isolasi transformator adalah bahan organik yang mengandung atom karbon. Pada suhu tinggi misalnya pada suhu busur listrik maka atom C yang tadinya terikat sebagai bagian dari molekul hidrokarbon (bahan organik) bisa terlepas sebagai atom C bebas atau senyawa hidrokarbon lainnya seperti H_2 , C_2H_6 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 , dan CO_2 yang berbentuk gas, kecuali CO_2 gas-gas ini bisa terbakar (*combustable gas*) oleh karenanya keberadaannya perlu dipantau rutin melalui pengujian *DGA*.

Air (H_2O) yang terkandung dalam minyak transformator bersifat mengurangi kekuatan isolasi minyak transformator, oleh karenanya perlu dipantau besar kadarnya. Air masuk bersama udara dalam bentuk uap, disebabkan lubang pelepas gas dari transformator harus diberi zat higroskopis untuk mengangkat uap air dengan menggunakan silicagel.

Zat karbon yang terbentuk pada minyak transformator dapat mengendap di dasar tangki transformator, Gas CO_2 yang timbul dalam minyak transformator jika bereaksi dengan H_2O yang terkandung dalam minyak transformator bisa menghasilkan asam karbonat yang bersifat korosif terhadap bagian-bagian transformator. Mengingat hal-hal tersebut maka kondisi minyak transformator sebaiknya dipantau secara kontinu dan hasilnya dianalisa untuk mengetahui tingkat kegawatan yang terjadi. Berdasarkan evaluasi mengenai Langkah yang harus dilakukan,

misalnya melakukan penyaringan dan pembersihan minyak transformator.



Gambar 3. Perkiraan pembentukan gas pada temperature tertentu

Gambar 3, menunjukkan pendekatan/ aproksimasi jenis *fault* gas yang terbentuk pada temperatur tertentu. Gas hidrogen dan metana mulai terbentuk pada temperatur sekitar 150°C. Gas etana mulai terbentuk pada temperature sekitar 250 °C, dan gas etilen mulai terbentuk pada temperature sekitar 350 °C. Gambar 3 menjelaskan bahwa setelah melewati titik maksimum pembentukan gas metana, etana dan etilen akan menurun seiring naiknya temperatur. Gas asetilen mulai terbentuk sekitar temperature 500°C dalam jumlah kecil dan temperature 700°C dalam jumlah besar.

Pengujian Dissolve Gas Analysis (DGA)

Dissolve Gas Analysis (DGA) adalah proses untuk menghitung kadar / nilai dari gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi sebagai dampak ketidaknormalan pada transformator. Pengujian DGA dilakukan dengan mengambil sampel minyak transformator yang kemudian dari hasil pengujian dengan melakukan ekstraksi gas-gas terlarut (*dissolved gas*).

Gas tersebut dipisahkan, dihitung kadarnya (dalam satuan ppm) dan dianalisis komponen individualnya. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya. Dari komposisi kadar atau nilai gas - gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan yang ada pada transformator, apakah termasuk corona, *overheat*, atau *arcing*.

Pengujian DGA merupakan salah satu pemeliharaan preventif yang dilakukan setahun sekali. Namun jika terdapat indikasi ketidaknormalan dilakukan sesuai *action based* TDCG, ataupun pengujian pasca terjadi gangguan besar. 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).

Macam-macam Metode Analisis Hasil Pengujian DGA

Setelah dilakukan pengujian DGA minyak transformator dilaksanakan interpretasi data dan analisis hasil uji DGA. Terdapat beberapa metode yaitu:

- Metode Total Dissolved Combustible Gases (TDCG) Gas-gas yang mudah terbakar menurut IEEE adalah Karbonmonoksida (CO), Metana (CH₄), Etana (C₂H₆), Etilen (C₂H₄), Asetilen (C₂H₂), dan Hidrogen (H₂). Metode TDCG menggunakan standart IEEE berdasarkan jumlah konsentrasi (ppm) dari gas-gas tersebut. Jumlah TDCG akan menunjukkan kondisi dari transformator dalam kondisi operasi normal, waspada, ataupun kondisi kritis. Pada pengujian DGA minyak trafo gas karbon dioksida (CO₂) tidak termasuk kategori TDCG.

Berdasarkan IEEE C57.104 Tahun 2008 terdapat empat tingkat kondisi telah dikembangkan untuk mengklasifikasikan risiko pada transformator berdasarkan total jumlah gas yang mudah terbakar yaitu :[5]

Tabel 1. Batasan Konsentrasi Gas Terlarut Dalam Satuan PPM

Batas konsentrasi key gas terlarut (<i>dissolved key gas</i>) [$\mu\text{L/L}$ (ppm)]								
Status	Hidrogen (H_2)	Metana (CH_4)	Asetilen (C_2H_2)	Etil (C_2H_4)	Etana (C_2H_6)	Karbon monoksida (CO)	Karbon dioksida (CO_2)	TDCG
Kondisi 1	100	120	1	50	65	350	2500	720
Kondisi 2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Kondisi 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	40001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>14000	>10000	>4630

- i. Kondisi 1: TDCG di bawah level ini menunjukkan transformator beroperasi dengan baik. Setiap gas mudah terbakar yang melebihi tingkat yang ditentukan perlu dilakukan investigasi.
- ii. Kondisi 2: TDCG dalam kisaran ini menunjukkan tingkat gas yang mudah terbakar lebih besar dari normal. Setiap gas mudah terbakar yang melebihi tingkat yang ditentukan perlu dilakukan investigasi.
- iii. Kondisi 3: TDCG dalam kisaran ini menunjukkan tingkat dekomposisi dari isolasi kertas dan atau minyak transformator. Setiap gas yang mudah terbakar melebihi tingkat yang ditentukan perlu dilakukan investigasi. Tindakan segera harus diambil untuk membentuk trend
- iv. Kondisi 4: TDCG yang melebihi nilai ini menunjukkan dekomposisi yang berlebihan, kerusakan pada isolasi kertas dan atau minyak transformator sudah meluas. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator. Lanjutkan segera dan dengan hati-hati.

b. Key Gas Method/Metode Gas Kunci

Key Gas Method didasarkan pada standar IEEE C57.104. merupakan gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang dominan yang terbentuk pada berbagai temperatur. Gas kunci yang dijadikan indikator antara lain Hidrogen (H_2), Karbon Monoksida (CO), Metana (CH_4), Etana (C_2H_6), Ethilena (C_2H_4), dan Acetilena (C_2H_2). Komposisi gas terlarut tersebut dapat merepresentasikan kondisi minyak itu sendiri.

Jika pada hasil pengujian DGA diperoleh nilai perbandingan gas karbon dioksida dengan gas karbon monoksida lebih besar dari sepuluh mengindikasikan terjadi gangguan termal di kertas pada temperatur $< 150^\circ C$, yang berdampak pada penuaan kertas jangka panjang dan mengurangi umur trafo. Jika nilai perbandingan gas karbon dioksida dengan gas karbon monoksida kurang dari tiga mengindikasikan gangguan di isolasi kertas

transformator yang terjadi pada temperatur $200 - 300^\circ C$ (termasuk arcing) dimana kertas terdegradasi sangat cepat bahkan terjadi karbonisasi.

c. Metode Segitiga Duval

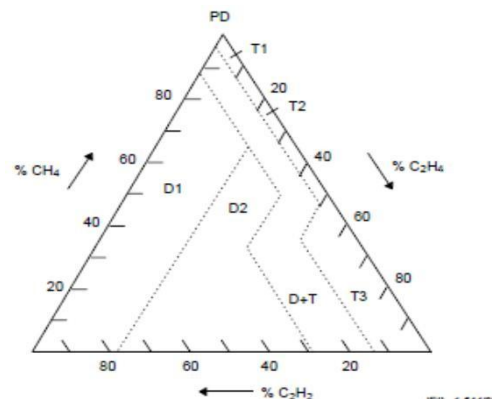
Segitiga Duval memaparkan analisis tentang konsentrasi gas yang terkandung di dalam minyak dan jenis gangguan yang terjadi pada isolasi minyak. Menggunakan analisa komposisi gas CH_4 , C_2H_4 dan C_2H_2 (dalam persen gas). Persentase tersebut diperoleh dari rumusan sebagai berikut:

$$\%C_2H_2 = \frac{100(x)}{x+y+z}, \text{ untuk } x = C_2H_2 \text{ (mL/L)} \dots (2)$$

$$\% C_2H_4 = \frac{100(y)}{x+y+z}, \text{ untuk } y = C_2H_4 \text{ (mL/L)} \dots (3)$$

$$\% CH_4 = \frac{100(z)}{x+y+z}, \text{ untuk } z = C_2H_4 \text{ (mL/L)} \dots (4)$$

Titik pertemuan dari garis yang merupakan persentase ketiga gas (CH_4 , C_2H_4 dan C_2H_2) akan berada pada salah satu area, dimana area tersebut merepresentasikan kemungkinan *fault* yang terjadi.



Gambar 4 Segitiga Duval

Keterangan gambar :

PD = *Partial discharge*

D1 = *Low-energy electrical discharge*

D2 = *High-energy electrical discharge*

D+T = *Indeterminate - thermal fault or electrical discharge.*

T1 = *Low-range thermal fault (below 300°C)*

T2 = *Medium-range thermal fault (300-700°C)*

T3 = *High-range thermal fault (above 700°C)*

Segitiga Duval ditunjukkan pada gambar 4 dan tabel 2 menampilkan zona batas pada segitiga duval.

Tabel 2. Zona Batas Pada Segitiga Duval

Zona Batasan				
PD	98 % CH ₄			
D1	23 % C ₂ H ₄	13 % C ₂ H ₂		
D2	23 % C ₂ H ₄	13 % C ₂ H ₂	38 % C ₂ H ₄	29 % C ₂ H ₂
T1	4 % C ₂ H ₂	10 % C ₂ H ₄		
T2	4 % C ₂ H ₂	10 % C ₂ H ₄	50 % C ₂ H ₄	
T3	15 % C ₂ H ₂	50 % C ₂ H ₄		

Spesifikasi Transformator

Pelaksanaan pengujian DGA minyak transformator dilakukan pengambilan sampel minyak transformator, pengujian minyak transformator dilakukan di laboratorium. Analisa terhadap hasil pengujian yang diidentifikasi sebagai kondisi transformator pada pembahasan akan dilakukan analisa menggunakan metode *TDCG (Total Dissolved Combustible Gases)*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle*. Data ini diambil dari Tranformator Daya 60 MVA, Gardu Induk Keramasan yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

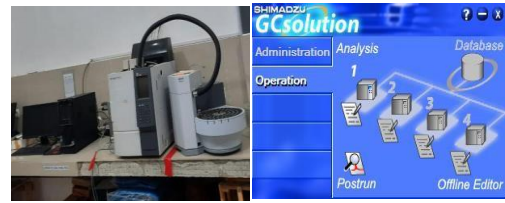
Tabel 3. Spesifikasi Transformator Daya 60 MVA GI Keramasan

Merk	PAUWELS
Serial Number	3011070009
In (A)	1732
Rating Frekuensi (Hz)	50
Impedance (%)	12.544
Tahun Produksi	2008
Tahun Operasi	2008
Vector Group	YNyn0(d1)
Untanking Mass (kg)	44200
Tipe Pendingin	ONAN/ONAF
Temp Rise (winding/oil) (°C)	55/50

Alat Dan Bahan

Pengujian DGA minyak transformator

menggunakan alat uji DGA Shimadzu, syringe, konektor sampling, selang sampling dan sampel minyak yang ditunjukkan pada gambar 5.dan gambar 6.



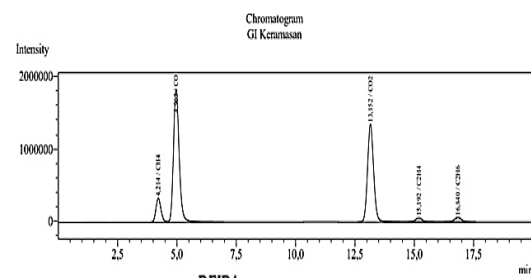
Gambar 5 Alat Uji DGA Shimadzu



Gambar 6 Bahan dan Peralatan Pengujian DGA

Data Hasil Pengujian

Pengujian DGA menggunakan metode *chromatography*, gas - gas yang telah terurai akan dideteksi oleh detektor berupa sinyal. Sinyal ini lah yang nantinya digunakan untuk mengetahui jumlah kadar gas dengan memperhitungkan luas sinyal tiap - tiap gas. Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan chromatogram pengujian DGA



Gambar 7. Chromatogram Pengujian DGA (DFID1)

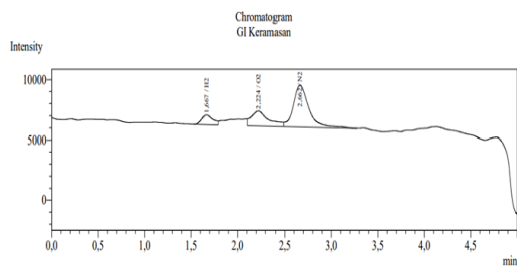
Hasil data pengujian chromatogram pengujian DGA (DFIDI) dapat dilihat pada tabel 4 dibawah.

Tabel 4. Data pengujian DGA (DFIDI)

DFID1

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Name
1	4,214	5004160	334204	1012,198	ppm	CH4
2	4,963	30816798	1837503	3932,501	ppm	CO
3	13,152	24530400	1349964	8587,170	ppm	CO2
4	15,192	1083202	56289	264,236	ppm	C2H4
5	16,840	1322425	62395	442,965	ppm	C2H6
Total		62756985	3640355			

Gambar 8 menampilkan hasil data pengujian chromatogram pengujian DGA (PTCDI)



Gambar 8. Chromatogram pengujian DGA (PTCD1)

Data dari gambar 8 ditampilkan dalam tabel 5 yang merupakan hasil chromatogram pengujian DGA (PTCDI)

Tabel 5 Data Pengujian DGA (PTCDI)

DTCDI

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Name
1	1,667	6815	803	244,400	ppm	H2
2	2,224	16192	1248	4744,124	ppm	O2
3	2,662	40225	3452	14572,460	ppm	N2
Total		63232	5504			

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel minyak Transformator 60 MVA Gardu Induk Keramasan, kemudian dilakukan pengujian DGA minyak transformator, setelah itu dilaksanakan analisis hasil uji DGA dengan menggunakan metode Total Dissolved Combustible Gases (TDCG), *Key Gas Method*, metode segitiga duval yang akan dibahas selanjutnya.

Metode Total Dissolved Combustible Gases (TDCG)

Dari hasil pengujian DGA terdapat delapan macam konsentrasi gas hasil pengujian minyak transformator 60 MVA Gardu Induk Keramasan. Hasil pengujian tersebut terdapat dua gas yang tidak mudah terbakar yaitu gas nitrogen dan gas carbon dioxide, serta gas yang mudah terbakar yaitu gas hidrogen, gas methane, carbon monoxide, gas ethylene, gas ethane, dan gas acetylene untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 6.

Pengujian DGA minyak transformator dilakukan sebanyak 3 kali pengujian dengan hasil sebagai berikut :

- Pengujian pertama : total gas yang mudah terbakar / *Total Dissolve Combustible Gases (TDCG)* sebesar 5.622,30 ppm..
- Pengujian kedua : total gas yang mudah terbakar / *Total Dissolve Combustible Gases (TDCG)* sebesar 5.896,30 ppm.
- Pengujian ketiga : total gas yang mudah terbakar / *Total Dissolve Combustible Gases (TDCG)* sebesar 11.136,78 ppm.

Berdasarkan limit IEEE TDCG > 4630 ppm termasuk kondisi 4, ketiga pengujian diatas termasuk kondisi 4. Telah dilakukan tiga kali pengujian DGA minyak transformator pada transformator kapasitas 60 MVA Gardu Induk Keramasan didapatkan kondisi TDCG selalu dalam kondisi 4, kondisi ini termasuk dalam kondisi TDCG yang menunjukkan dekomposisi yang berlebihan. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator.

Berasarkan hasil pengujian DGA pengujian pertama, kedua dan ketiga minyak transformator kapasitas 60 MVA Gardu Induk Keramasan didapatkan kondisi transformator pada kondisi tidak nomal. Untuk mengetahui secara lanjut ketidaknormalan pada transformator Gardu Induk Keramasan perlu dilakukan peninjauan konsentrasi masing – masing gas yang terlarut pada minyak transformator Gardu Induk Keramasan dapat dilihat gambar 9. Perhitungan ratio gas

Tabel 6 Hasil pengujian DGA Minyak Trafo 60 MVA GI Keramasan

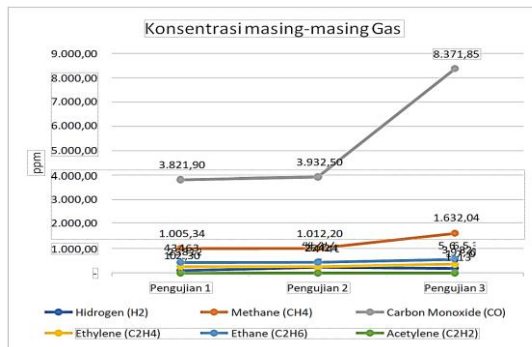
No	Jenis Gas	Pengujian 1		Pengujian 2		Pengujian 3		Tabel IEEE Limits (Level Kondisi)			
		Konsentrasi (ppm)	Kondisi	Konsentrasi (ppm)	Kondisi	Konsentrasi (ppm)	Kondisi	1	2	3	4
1	Hidrogen (H ₂)	102,30	2	244,40	2	197,00	2	100	700	1.800	>1800
2	Nitrogen (N ₂)	25.314,18	1	14.572,46	1	27.066,57	1	-	-	-	-
3	Methane(CH ₄)	1.005,34	4	1.012,20	4	1.632,04	4	120	400	1.000	>1000
4	Carbon Monoxide (CO)	3.821,90	4	3.932,50	4	8.371,85	4	350	570	1.400	>1400
5	Carbon Dioxide (CO ₂)	8.091,02	3	8.587,17	3	9.636,93	3	2.500	4.000	10.000	>10000
6	Ethylene (C ₂ H ₄)	258,12	4	264,24	4	368,23	4	50	100	200	>200
7	Ethane (C ₂ H ₆)	434,63	4	442,97	4	566,53	4	65	100	150	>150
8	Acetylene(C ₂ H ₂)	0	1	0	1	1,13	1	1	2-9	10-35	>35
9	TDCG	5.622,30	4	5.896,30	4	11.136,78	4	720	1.920	4.630	>4630

CO₂/CO hasil pengujian DGA minyak transformator :

$$\text{Pengujian 1 : } \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = \frac{8091,071}{3821,901} = 2,12$$

$$\text{Pengujian 2 : } \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = \frac{8587,17}{3932,501} = 2,18$$

$$\text{Pengujian 3 : } \frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = \frac{9636,934}{8371,852} = 1,15$$



Gambar 9. Konsentrasi Gas Pengujian DGA Hasil perhitungan diperoleh nilai rasio CO₂/CO < 3 sehingga transformator terindikasi gangguan di isolasi kertas transformator yang terjadi pada temperatur 200 – 300 °C (termasuk arcing) dimana kertas terdegradasi sangat cepat bahkan terjadi karbonisasi.

Metode Key Gas

Analisa hasil pengujian DGA Transformator Keramasan menggunakan *key gas* dilakukan dengan melakukan perhitungan persentase masing- masing gas dengan memakai rumus (2), berikut merupakan perhitungan persentase gas untuk :

Pengujian 1 :

$$\% \text{ CO} = \frac{\text{CO}}{\text{Total nilai key gas}} \times 100 \%$$

$$\% \text{ CO} = \frac{3821,901}{5622,295} \times 100 \% = 67,98 \%$$

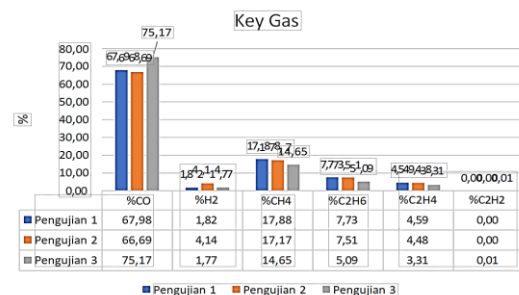
Dengan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan diatas untuk persentase gas yang lain sampai pengujian ketiga hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.

Hasil perhitungan persentase gas metode key gas pada tabel 7 dapat dibuat dalam grafik gambar 10.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Persentase Gas Metode Key Gas

Pengujian	CO (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ (%)	C ₂ H ₄ (%)	C ₂ H ₂ (%)
Tahap 1	67,98	1,82	17,88	7,73	4,59	0
Tahap 2	66,69	4,14	17,17	7,51	4,48	0
Tahap 3	75,17	1,77	14,65	5,09	3,31	0,01

Berdasarkan grafik gambar 10 terlihat bahwa terdapat persentase gas CO yang dominan serta terdapat persentase kecil gas hidrokarbon seperti metana dan etilen pada pengujian 1, pengujian 2 dan pengujian 3. Sedangkan pada pengujian ketiga terdapat sejumlah kecil persentase gas acetylene.



Gambar 10. Key Gas pengujian DGA minyak transformator

Dengan adanya persentase gas CO yang dominan tersebut mengindikasikan terdapat pemanasan selulosa yaitu isolasi kertas pada transformator, Sedangkan terdapatnya sejumlah kecil persentase gas hidrokarbon seperti metana dan etilen mengindikasikan terdapat *fault* pada minyak.

Metode Segitiga Duval

Metode segitiga duval menggunakan Analisa komposisi gas Metana CH₄, Ethilena C₂H₄ dan Acetilena C₂H₂ dalam persentase gas. Perhitungan persentase diperoleh dengan menggunakan rumus 2 sampai rumus 4.

Perhitungan pengujian pertama :

$$\% \text{ C}_2\text{H}_2 = \frac{100 (x)}{x+y+z}, \text{ untuk } x = \text{C}_2\text{H}_2 \text{ (mL/L)}$$

$$\% \text{ C}_2\text{H}_2 = \frac{100 (0)}{0+0,258+1,005}, = \frac{0}{1,263} = 0 \%$$

Hasil perhitungan selanjutnya untuk pengujian kedua dan ketiga hasil dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Segitiga Duval Pengujian Minyak Transformator

Pengujian	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3
CH ₄ (ppm)	1005,3	1012,2	1632
C ₂ H ₄ (ppm)	258,12	264,24	368,23
C ₂ H ₂ (ppm)	0	0	1,127
% CH ₄	79,5704	79,2989	81,5452
% C ₂ H ₄	20,4296	20,7011	18,3985
% C ₂ H ₂	0	0	0,05631
X	60,2148	60,3506	59,1711
Y	68,91	68,6749	70,6202
Kondisi	T2	T2	T1

Berdasarkan analisa segitiga duval pada pengujian pertama, kedua, dan ketiga diperoleh pengujian pertama dan kedua dengan kondisi T2 indikasinya transformator mengalami *Termal Fault temperature* antara 300°C dan 700°C dan pada pengujian ketiga dengan kondisi T1 indikasinya terjadi *Termal Fault temperature* dibawah 300°C. merupakan pemanasan yang terjadi pada transformator mengakibatkan kenaikan suhu pada isolasi minyak dan selulosa transformator, isolasi kertas dapat berubah menjadi coklat ataupun terjadi karbonisasi kertas sehingga muncul CO pada minyak.

Hasil pengujian DGA dengan 3 metode analisa dapat ditampilkan pada tabel 9

Tabel 9. Interpretasi Hasil Pengujian DGA Minyak Transformator

Metode	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
TDCG	TDCG 4	TDCG 4	TDCG 4
Analisa Key Gas	Thermal – Selulosa	Thermal – Selulosa	Thermal – Selulosa
Analisa Segitiga Duval	T2 dengan diagnosa adalah Thermal Fault temperature antara 300°C dan 700°C	T2 dengan diagnosa adalah Thermal Fault temperature antara 300°C dan 700°C	T1 dengan diagnosa adalah Thermal Fault temperature dibawah 300°C

Hasil pengujian DGA minyak transformator daya Gardu Induk Keramasan ini dapat dipicu dari internal atau eksternal transformator. Gangguan diluar (*External Fault*) gangguan hubung singkat antara fasa atau gangguan fasa ke tanah di luar transformator, misalnya di busbar, incoming atau di sisi penyulang tegangan menengah. Arus gangguan ini cukup besar. Transformator Daya 60 MVA Gardu Induk Keramasan memiliki beberapa kali riwayat gangguan *breakdown* peralatan disisi tegangan menengah yang menimbulkan arus gangguan yang cukup besar.

4. KESIMPULAN

Dari pengambilan data, perhitungan, analisa dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian DGA pada transformator 60 MVA GI Keramasan dengan metode TDCG pengujian 1 TDCG sebesar 5622,30 ppm, pengujian 2 TDCG sebesar 5896,30 ppm dan pengujian 3 sebesar 11136,78 ppm, berdasarkan limit IEEE TDCG > 4630 ppm termasuk kondisi 4 yang menunjukkan dekomposisi yang berlebihan. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator. Hasil pengujian DGA menggunakan metode *key gas* pengujian 1,2 dan 3 persentase gas CO dominan mengindikasikan terdapat pemanasan selulosa yaitu isolasi kertas pada transformator, sedangkan terdapatnya sejumlah kecil persentase gas hidrokarbon seperti metana dan etilen mengindikasikan terdapat *fault* pada minyak transformator. Berdasarkan analisa metode segitiga duval pada pengujian pertama dan kedua, diperoleh kondisi T2 mengindikasikan transformator mengalami *Termal Fault temperature* antara 300°C dan 700°C dan pada pengujian ketiga dengan kondisi T1 indikasinya terjadi *Termal Fault temperature* dibawah 300°C. merupakan pemanasan yang terjadi pada transformator mengakibatkan kenaikan suhu pada isolasi minyak dan selulosa transformator, isolasi kertas dapat berubah menjadi coklat ataupun terjadi karbonisasi kertas. Operasi lanjutan dari transformator dapat mengakibatkan kegagalan transformator. Perlu pemeliharaan dan pemeriksaan rutin serta menjaga kehandalan peralatan disisi tegangan menengah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Siswanto¹, Abdul Rohman², et al., "Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada IBT 1 Gardu Induk," Jurnal Ilmiah Foristek Jurusan Teknik Elektro UNTAD, Vol 12, No. 1, Maret 2022,.
- [2] Badaruddin, Fery Agung Firdianto, "Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa Di PT X", Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, Vol.7 No.2 Mei 2016
- [3] IEEE Std C57.104™-. IEEE Guide for the Interpretation of Gases, New York, Generated in Oil-Immersed Transformers. 2008.
- [4] IEC 60599,. Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis, 2015..
- [5] I. C. Anghel and E. Gatman, "Establishment of the accessibility limit for the furans content of the electrical insulating oils in service," 2019 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), pp. 479-483, doi: 10.1109/CIEM46456.2019.8937636. 2019.
- [6] L. Gu et al., "Dissolved Gas Analysis in Camellia Insulating Oil during Thermal Ageing Test," 2019 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE), pp. 495-498, doi: 10.1109/ICEMPE.2019.8727299, 2019,
- [7] Marsudi, Djiteng..Pembangkitan Energi Listrik, Jakarta, Erlangga, 2011
- [8] PT PLN (Persero) Tim Penulis, Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. (Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No. 0520 2K/DIR/2014),. Jakarta: 2014
- [9] PT PLN (Persero) UIP3BS,. Alur Langkah Kerja Pengujian DGA dengan SHIMADZU Model GC-14. Pekanbaru: PT PLN (Persero), 2019
- [10] SPLN T5.004-5, Pedoman Uji Karakteristik Minyak Insulasi dan Uji DGA, Bagian 5 : Interpretasi Hasil Uji DGA, Jakarta, PT PLN (Persero), 2017
- [11] R. P. Singh, A. V. Sonawane, M. S. Satpute, D. Y. Shirsath and M. P. Thakre, "A Review on Traditional Methods of Condition Monitoring of Transformer," 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), pp. 1144-1152, 2020.
- [12] Z. Lixing, Z. Zhuodong, Z. Pengfei and L. Jia, "Study on Analysis and Prediction of Transformer Overheating Fault Based on Chaos Theory of Oil Chromatogram," 2018 International Conference on Engineering Simulation and Intelligent Control (ESAIC), pp.92-97, 2018.