

Diagnosis Kondisi Minyak Transformator Menggunakan Teknik *Dissolved Gas Analysis*

Fauzia Haz¹, Muhammad Rizki Akbar¹, dan Giri Angga Setia¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

fauzia.haz@lecture.unjani.ac.id, akbarrizki02@gmail.com, giri.anggasetia@gmail.com

Abstrak

Pada PLTA Cikalong terdapat 3 Transformator tenaga dengan rating tegangan sebesar 6,3/77 kV, karena usia yang cukup lama, perlu dilakukan analisis terhadap kondisi minyak transformator. Salah satu cara untuk mengetahui kadar *fault gas* yang terdapat pada minyak transformator dengan uji DGA (*Dissolved Gas Analysis*). DGA akan mengekstraksi gas tersebut untuk mengetahui indikasi gangguan berdasarkan hasil interpretasi data gas-gas terlarut yakni dengan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG), Key Gas, Roger's Ratio, Doernenberg's Ratio dan Duval's Triangle. Metode ini diusulkan agar dapat mengetahui kondisi minyak transformator dalam keadaan normal atau tidak, selanjutnya mengukur nilai tegangan tembus dan menghitung nilai kolerasi antara jam operasi dan jumlah produksi daya. Hasil analisis DGA pada Transformator unit 1, 2, dan 3 Sub Unit PLTA Cikalong menunjukkan nilai TDCG pada kondisi 1, yang berarti seluruh transformator dalam kondisi baik. Nilai koefisien korelasi antara jam operasi dan jumlah produksi kWh dengan TDCG masing-masing sebesar 0,267 dan 0,297 yang menandakan hubungan antara variabel tersebut merupakan hubungan yang lemah (standar nilai mendekati 1).

Kata kunci: Minyak Transformator, *Dissolved Gas Analysis*, Tegangan Tembus

Abstract

At the Cikalong hydropower plant there are 3 power transformers with a voltage rating of 6.3/77 kV, because of their long life, it is necessary to analyze the condition of the transformer oil. One way to determine the level of fault gas contained in transformer oil is the DGA (*Dissolved Gas Analysis*) test. DGA will extract the gas to find out indications of disturbance based on the interpretation of the dissolved gases data, namely the Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), Key Gas, Roger's Ratio, Doernenberg's Ratio and Duval's Triangle methods. This method is in order to determine the condition of the transformer oil is normal or not, measure the breakdown voltage value and calculate the correlation value between operating hours and the amount of power production. The results of the DGA analysis on transformer units 1, 2, and 3 of the Cikalong hydropower sub-unit show the TDCG value in condition 1, which includes all transformers in good condition. The value of the correlation coefficient between hours of operation and the number of kWh production with TDCG is 0.267 and 0.297, respectively, which indicates the relationship between these variables is a weak relationship (standard value is close to 1).

Keywords: Transformer Oil, Dissolved Gas Analysis, Breakdown Voltage.

1. Pendahuluan

Transformator PLTA Cikalong memiliki kapasistas 6,3/77 kV dan 8 MVA. Pada unit 1 dan unit 3 sudah melewati usia 50 tahun, sedangkan untuk Transformator unit 2 sudah dilakukan pergantian sejak 2011. Operasional Transformator yang berlangsung 24 jam kontinyu membutuhkan perhatian yang ekstra agar keandalan transformator tetap terjaga (Haz and Aditya, 2020). Salah satu komponen Transformator yang wajib dilakukan pemantauan adalah minyak transformator. Minyak transformator berfungsi sebagai media pendingin dan juga isolator. Ketika terjadi gangguan didalam Transformator, maka akan timbul gas-gas yang disebut sebagai *fault gas* dalam minyak transformator (Hidayat *et al.*, 2020). Apabila kadarnya melebihi ambang batas, maka akan mengakibatkan kerusakan bahkan dapat membuat Transformator terbakar. Hal ini tentu saja selain membahayakan personel juga membahayakan peralatan. Selain itu status pembangkit juga menjadi FO atau *force outage* yang tentu saja merugikan perusahaan dan masyarakat karena listrik menjadi padam (P, Taqiyudin and Basuki, 2018). Pada penelitian mengenai Analisa Kondisi Minyak Isolasi Transformator Berdasarkan Pengujian DGA Pada Transformator 3 150/20 kV 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Cibatu, penelitian ini menggunakan 4 metode, yaitu TDCG, *Key Gasses*, *Roger's Ratio*, dan *Duval Triangle*. Hasil dari analisa ini didapati adanya indikasi kegagalan pada transformator berupa *short circuit* sehingga menimbulkan *arching*. Hal ini ditunjukkan dengan munculnya gas asetilen yang dominan (Sihombing, 2020).

Mengacu pada penelitian sebelumnya maka akan dilakukan pengujian pada 3 Transformator tenaga Sub Unit PLTA Cikalong daya sebesar 8 MVA, terkait belum adanya analisa mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi analisis pada uji DGA pada pembangkit ini maka dilakukan penelitian bertujuan untuk mengetahui kondisi minyak transformator pada

Info Makalah:

Dikirim : 10-04-21;
Revisi 1 : 12-23-21;
Revisi 2 : 01-21-22;
Revisi 3 : 02-07-22;
Revisi 2 : 03-07-22;
Diterima : 03-31-22.

Penulis Korespondensi:

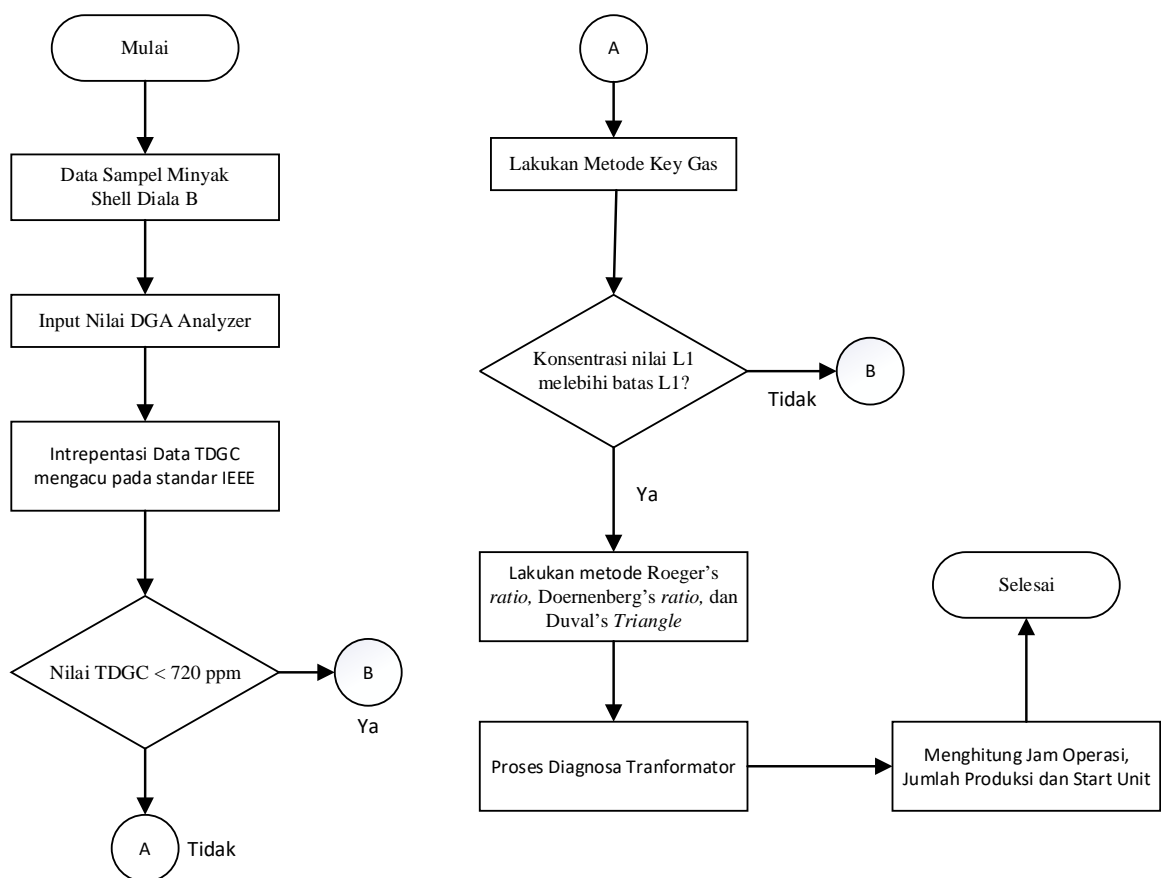
Telp : +62 852-5590-8299
e-mail : fauzia.haz@lecture.unjani.ac.id

sub unit PLTA Cikalong dan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kondisi minyak transformator yang direpresentasikan dalam bentuk nilai TDCG pada hasil uji DGA. Selanjutnya mencari nilai tegangan tembus dan kolerasi antara nilai TDGC yang dihasilkan dengan jumlah produksi daya pada pembangkit, jam operasi, dan jumlah start unit pembangkit terhadap kondisi minyak transformator PLTA Cikalong.

2. Metode

Pada penelitian ini dilakukan pengujian sampel minyak tranformator dimulai dengan menyiapkan wadah untuk menampung tetesan minyak trafo, Pasang *oil flushing unit* pada *drain valve main tank* minyak trafo, Atur stop kran pada posisi menutup, Persiapkan *syringe* untuk pengambilan sampel minyak. Lakukan proses pembersihan/*flushing* terlebih dahulu (keluarkan minyak dari *main tank* trafo dengan membuka stop kran), tutup stop kran, pasang jarum pada *syringe*, Buka katup pada *syringe* dan suntikkan *syringe* pada selang *silicon*, Sedot minyak dari selang, pastikan tidak ada udara (gelembung udara) yang masuk dalam botol *syringe*, tutup kembali katup pada *syringe*, ambil sampel minyak sebanyak 50 ml untuk uji DGA. Lakukan pengambilan sampel minyak dengan proses yang sama untuk minyak *main tank* bagian bawah dan OLTC, beri label *syringe* sampel minyak. Simpan sampel minyak dan lindungi dari panas maupun sinar matahari langsung. Lepaskan jarum suntik dari *syringe*. Tutup kembali *drain valve main tank* trafo. Buka stop kran untuk mengeluarkan sisa minyak pada *oil flushing unit* (tampung dalam wadah). Lepaskan *oil flushing* dari *drain valve main tank* trafo. Pastikan *drain valve* telah terpasang dengan benar. Sampel yang diambil harus segera diuji dengan alat uji DGA Kelman (GE). Pengujian DGA sampel minyak tranformator dilakukan mengacu pada *Standard Operational Procedure No SOPTRANSX-GAE-001* mengenai pengambilan sampel oli dan penggunaan Transport-X DGA Portable.

Agar meningkatkan akurasi keputusan, maka diperlukan pengujian lain terkait kondisi minyak transformator. Pengujian yang dimaksud adalah uji tegangan tembus. Pengujian ini dilakukan oleh PT. Transformator Servis Indonesia. Hasil uji tegangan tembus akan dibandingkan dengan hasil uji gas terlarut. Penelitian terkait analisis kondisi minyak Transformator 1, 2 dan 3 8 MVA 6,3/77 kV Sub Unit PLTA Cikalong ini dimulai pada bulan Maret Tahun 2021 sampai dengan bulan Juni Tahun 2021. Adapun tempat penelitian serta tempat pengambilan data sebagai dasar analisa adalah di PT Indonesia Power Saguling POMU Sub Unit PLTA Cikalong. Alur penelitian dapat lihat pada Gambar 1



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 pengambilan sampel minyak transformator unit 1, 2 dan 3 8 MVA 6,3/77 kV pada semua unit untuk mendapatkan kadar nilai gas H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , CO_2 , dan CO yang terlarut pada minyak transformator. Dari hasil ini nantinya akan dilakukan analisa gas terlarut menggunakan metode TDCG, *Key Gas*, Roeger's *ratio*, Doernenberg's *ratio*, dan Duval's *Triangle* untuk mengetahui kondisi dari minyak transformator pada sub unit PLTA Cikalong apakah dalam kondisi baik atau buruk (Iskandar, 2021), sehingga dapat menentukan tindakan pemeliharaan selanjutnya. Metode tersebut dilakukan untuk mendiagnosa kondisi minyak transformator untuk mengetahui kemungkinan kegagalan yang akan timbul. Analisis dilanjutkan dengan mencari nilai tegangan tembus, nilai koefisien kolerasi dan pengaruh jumlah produksi kWh, jam operasi, dan jumlah *start unit* pembangkit terhadap kondisi minyak transformator yang dilihat dari nilai TDCG.

a. *Total Dissolved Combustible Gas*

Analisis jumlah gas terlarut menggunakan metode TDCG akan menggambarkan kondisi minyak transformator berdasarkan standar IEEE C57.104-2008. Nilai TDCG didapatkan dengan menjumlahkan konsentrasi gas-gas diantaranya adalah H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , dan gas CO (Syakur and Lazuardi, 2019). Sehingga perhitungannya adalah:

$$TDCG = H_2 + CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 + C_2H_6 + CO$$

b. *Key Gas Analysis*

Metode *Key Gas* akan memberikan dasar dalam menentukan jenis gangguan berdasarkan proporsi gas yang signifikan atau dominan (Rahmat, 2008). Untuk menghitung nilai persentase gas terlarut pada metode *Key Gas*, caranya adalah membagi antara nilai gas terlarut dengan nilai TDCG.

c. Metode Doernenberg and Roger's Ratio

Metode ini menggunakan 5 gas yaitu, H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 untuk menentukan indikasi penyebab gangguan pada Transformator. Caranya adalah dengan membandingkan gas-gas tersebut sehingga terbentuk 5 rasio dengan rasio 1 (R1) adalah hasil perbandingan $\frac{CH_4}{H_2}$, rasio 2 (R2) adalah $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$, rasio 3 (R3) adalah $\frac{C_2H_2}{CH_4}$, rasio 4 (R4) adalah $\frac{C_2H_6}{C_2H_2}$, dan rasio 5 (R5) adalah $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$. Rasio Doernenberg menggunakan R1, R2, R3, dan R4 dalam melakukan analisis untuk menentukan indikasi yang menyebabkan kegagalan Transformator. Berikut batas konsentrasi gas terlarut yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batas Konsentrasi Gas Terlarut Rasio Doernenberg

Gas	Konsentrasi (ppm)
H_2	100
CH_4	120
CO	350
C_2H_4	50

d. Metode Segitiga Duval

Berdasarkan standar IEC 60599, segitiga Duval membagi gangguan menjadi 6 zona. Dalam metode ini, gas yang dijadikan perhitungan adalah CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 (Rahmat, 2008). Dalam segitiga duval, jumlah dari ketiga gas ini adalah 100%, sehingga berikutnya akan didapatkan persentase dari masing-masing gas. Kemudian hasil dari perhitungan persentase ini akan diletakkan pada tiap-tiap sisi segitiga. Selanjutnya ditarik garis lurus dan akan ada titik temu dari ketiga garis tersebut. Lokasi titik temu tersebut menjadi hasil dari analisis menggunakan metode segitiga Duval.

e. Perhitungan kolerasi

Untuk menghitung nilai korelasi, maka dapat dilakukan dengan cara mencari nilai rata-rata variabel x yang merupakan nilai TDGC dengan cara menjumlahkan seluruh nilai x kemudian dibagi dengan jumlah data x. Nilai rata-rata kemudian diberi simbol \bar{x} . Hitung nilai rata-rata variabel y adalah jumlah Produksi, dengan cara menjumlahkan seluruh nilai y kemudian dibagi dengan jumlah data y. Nilai rata-rata kemudian diberi simbol \bar{y} atau dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Hitung nilai rata-rata variabel x, dengan cara menjumlahkan seluruh nilai x kemudian dibagi dengan jumlah data x. Nilai rata-rata kemudian diberi simbol \bar{x} .
- Hitung nilai rata-rata variabel y, dengan cara menjumlahkan seluruh nilai y kemudian dibagi dengan jumlah data y. Nilai rata-rata kemudian diberi simbol \bar{y} .
- Hitung kuadrat dari $(x - \bar{x})$ kemudian jumlahkan hasilnya.
- Hitung kuadrat dari $(y - \bar{y})$ kemudian jumlahkan hasilnya.
- Hitung perkalian antara $(x - \bar{x})$ dengan $(y - \bar{y})$ kemudian jumlahkan hasilnya.

- Masukkan nilai-nilai tersebut kedalam rumus koefisien korelasi :

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

3. Hasil dan Pembahasan

a. Hasil Uji Menggunakan DGA Analyzer

Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kadar gas terlarut pada minyak transformator unit 1,2, dan 3 PLTA Cikalong menggunakan alat GE Transport X *Portabel DGA Analysis*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Gas Terlarut Minyak Transformator Unit 1, 2, dan 3

Senyawa	Nama Gas	Nilai (ppm)		
		Unit 1	Unit 2	Unit 3
H_2	Hidrogen	90,9	7,4	34,7
CH_4	Metana	3,9	3,4	4,2
CO	Karbon Monoksida	204,1	147,6	511,1
CO_2	Karbon Dioksida	3713	5326	6502
C_2H_4	Etilen	9,8	5,3	8,8
C_2H_6	Etana	16,8	11,7	11,6
C_2H_2	Asetilen	0,9	0,2	0

b. Total Dissolved Combustible Gas

Berikut merupakan tabel dan hasil analisis uji DGA pada minyak transformator PLTA Cikalong unit 1, 2, dan 3 menggunakan metode TDCG yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Metode TDCG

Gas	Nilai (ppm)			Std. IEEE C57.104-2008 (Kondisi)			
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	1	2	3	4
H_2	90,9	7,4	34,7	100	101-700	701-1800	>1800
CH_4	3,9	3,4	4,2	120	121-400	401-1000	>1000
CO	204,1	147,6	511,1	350	351-700	571-1400	>1400
CO_2	3713	5326	6502	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
C_2H_4	9,8	5,3	8,8	50	51-100	101-200	>200
C_2H_6	16,8	11,7	11,6	65	66-100	101-150	>150
C_2H_2	0,9	0,2	0	1	2-9	10-35	>35
TDGC	326,4	175,6	570,4	720	721-1920	1921-4630	>4630

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa ketiga transformator menunjukkan hasil nilai TDCG yang berada pada kondisi 1 yang berarti semua transformator dalam kondisi baik, sehingga semua transformator dapat dikategorikan sebagai kondisi normal beroperasi. Sesuai prosedur operasi yang tertera pada standar IEEE C57.104-2008, apabila hasil TDCG berada dalam kondisi 1, maka pemantauan selesai dan hasilnya transformator dalam kondisi normal.

c. Key Gas Analysis

Dari hasil perhitungan diatas persentase gas CO_2 tidak tercantum dalam perhitungan dikarenakan sifat gas CO_2 yang bukan merupakan *combustible gas* atau dengan kata lain adalah gas yang tidak mudah terbakar. Persentase gas CO pada unit 2 dan unit 3 yang nilainya lebih dominan dibandingkan gas lain mengindikasikan adanya kerusakan pada isolasi padat seperti kertas, *pressboard*, dan *transformer board*. Oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan berkala terhadap perubahan nilai konsentrasi gas CO ini, apabila nilainya semakin naik, maka perlu dilakukan pemeliharaan lebih lanjut dengan membuka *casing* transformator untuk mengetahui kondisi real dari isolasi kertas pada belitan. Apabila benar-benar terjadi *degrading cellulose* atau dengan kata lain kerusakan pada isolasi kertas, maka sebagai solusi dari kerusakan pada isolasi kertas seperti diatas adalah dengan melakukan reisolasi kembali pada isolasi belitan transformator agar dapat kembali berfungsi sebagai isolator yang baik.

d. Metode Doernenberg and Roger's Ratio

Pada metode ini, sesuai standar IEEE C57.104-2008 gas yang akan dianalisis nilainya harus melebihi atau bahkan 2x dari nilai yang tertera pada Tabel 1 (Ghoneim, 2018). Apabila merujuk pada tabel tersebut, yang berisikan tentang konsentrasi gas terlarut pada minyak transformator unit 1, 2 dan 3 kemudian nilainya dibandingkan dengan batas konsentrasi gas terlarut untuk metode *rasio Doernenberg's*, maka analisis untuk menentukan indikasi yang menyebabkan kegagalan transformator menggunakan metode ini tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan,

konsentrasi yang nilainya belum melebihi batas konsentrasi gas terlarut. Dengan kata lain, kondisi minyak transformator unit 1,2 dan 3 berada pada kondisi normal dan tidak ada kegagalan apabila dianalisis menggunakan metode rasio Doernenberg. Berbeda dengan metode rasio Doernenberg, metode rasio Roger menggunakan R1, R2, dan R5 dalam melakukan analisis untuk mengetahui indikasi penyebab kegagalan pada transformator (A. R. Demmassabu, L. S. Patras, 2014). Hasil perhitungan rasio Roger unit 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Rasio Roger pada Unit 1, 2 dan 3.

Rasio Roger unit 1		Rasio Roger Unit 2		Rasio Roger Unit 3	
R1	0,04	R1	0,46	R1	0,12
R2	0,09	R2	0,03	R2	0
R5	0,58	R5	0,45	R5	0,75

Agar dapat dilakukan diagnosis terhadap hasil perhitungan pada tabel 4, maka Tabel 5 menunjukkan rasio Roger yang berisikan tentang hubungan antara rasio R1, R2 dan R5 terhadap diagnosis kegagalan.

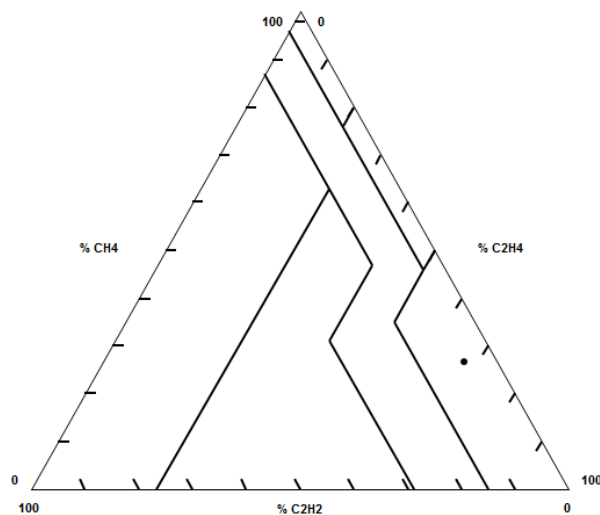
Tabel 5. Metode Rasio Roger

Case	R2 C_2H_2/C_2H_4	R1 CH_4/H_2	R5 C_2H_4/C_2H_6	Suggested Fault Diagnosis
0	<0.1	>0.1 to <1.0	<1.0	Unit Normal
1	<0.1	<0.1	<1.0	Low- Energy Density arcing - PD ^a
2	0.1 to 3.0	0.1 to 1.0	>3.0	Arching –High Energy Discharge
3	<0.1	>1.0 to <1.0	1.0 to 3.0	Low Temperature Thermal
4	<0.1	>1.0	1.0 to 3.0	Thermal <700 °C
5	<0.1	>1.0	>3.0	Thermal >700 °C

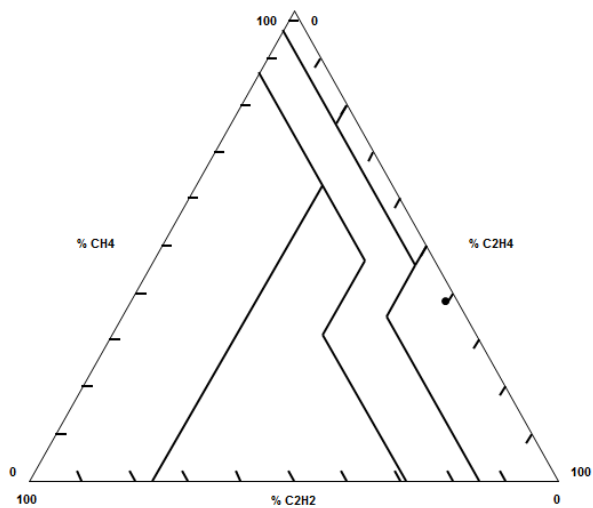
Dari hasil perhitungan yang sebelumnya telah dilakukan kemudian dibandingkan dengan tabel metode rasio roger dapat dilakukan diagnosis terhadap minyak transformator untuk mengetahui indikasi gangguan pada transformator. Pada unit 1, hasil perhitungan rasio R2, R1, dan R5 berada pada case 1, hasil tersebut menunjukkan diagnosis gangguannya adalah *low energy density arcing* atau bisa juga disebut sebagai *partial discharge*. Hal ini dapat disebabkan oleh penuaan pada isolasi akibat menahan *thermal stress* ataupun *electrical stress* yang terus menerus sehingga mengakibatkan terjadinya pelepasan muatan bunga api listrik. Pada unit 2, hasil perhitungan rasio R2, R1, dan R5 berada pada case 0, tidak terdapat indikasi adanya gangguan pada transformator tersebut. Sedangkan pada unit 3, hasil perhitungan rasio R2, R1, dan R5 juga mengarah pada case 0, yang artinya transformator dalam kondisi normal beroperasi. Rasio Roger tidak serta merta dapat dijadikan acuan dalam melakukan analisis terhadap kondisi minyak transformator. Perlu adanya analisis menggunakan metode lain agar dapat dibandingkan untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat.

e. Metode Segitiga Duval

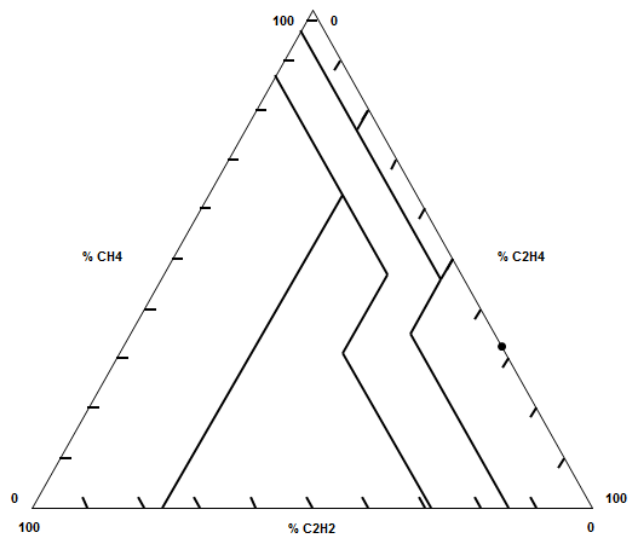
Berdasarkan standar IEC 60599, segitiga Duval membagi gangguan menjadi 6 zona. Dalam metode ini, gas yang dijadikan perhitungan adalah CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 . Dalam segitiga duval, jumlah dari ketiga gas ini adalah 100%, sehingga nantinya akan didapatkan persentase dari masing-masing gas. Kemudian hasil dari perhitungan persentase ini akan diletakkan pada tiap-tiap sisi segitiga. Selanjutnya ditarik garis lurus dan akan ada titik temu dari ketiga garis tersebut. Lokasi titik temu tersebut menjadi hasil dari analisis menggunakan metode segitiga Duval. Berikut merupakan hasil perhitungan persentase gas CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 serta segitiga Duval pada unit 1, 2, dan 3 yang ditunjukkan pada Gambar 2 s.d Gambar 4.



Gambar 2. Segitiga Duval Unit 1



Gambar 3. Segitiga Duval Unit 2



Gambar 4. Segitiga Duval unit 3

f. Perbandingan Hasil Uji DGA dengan Uji Tegangan Tembus

Menurut standar PLN yaitu SPLN 49-1: 1982, nilai standar tegangan tembus untuk minyak isolasi pakai adalah : pada peralatan dengan tegangan ≥ 170 kV batas yang diperbolehkan ≥ 50 kV/2,5 mm, peralatan dengan tegangan 70-170 kV batas yang diperbolehkan ≥ 40 kV/2,5 mm, dan untuk peralatan dengan tegangan ≤ 70 kV batas yang diperbolehkan ≥ 30 kV/2,5 mm. Berikut adalah hasil pengujian tegangan tembus pada trafo 1, 2, dan 3 PLTA Cikalong yang ditunjukkan pada Tabel 6 s.d Tabel 8.

Tabel 6. Hasil Uji Tegangan Tembus Trafo 1

Customer Name:	PT Indoensia Power UP Saguling			Lab Ref No:	L0561/TR/2020		
Project:	PLTA Cikalong			Date:	25/08/2020		
Transformer data							
Unit ID:	Trafo 1 Cikalong			Oil Volume:	-		
Serial Number:	-			Oil Brand:	-		
Rating:	- kVA			Sample Point:	Bottom		
Voltage:	- kV			Sample Date:	03/08/2020		
Manufacture/Year:	Savoisienne / 1955			Oil Temperature °C:	54		
OIL QUALITY ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS							
Sampling Date				26-Mar-19	03-Aug-20		Normal
Received Date				01-Apr-19	06-Aug-20		
Test Date				03-Apr-19	07-Aug-20		
				IEC 60422			
Gas Parameter	Unit	Method	1st	2nd		Min Limit	Max Limit
Oil Colour/Appearance	-	ASTM D-1500	1.0 / Yellow	1.0 / Yellow		-	-
Water Content	mg/kg	IEC 60814	24	25.2		-	30
Acidity	mgKOH/g	IEC 62021-2	0.01	0.01		-	0.2
Interfacial Tension	mN/m	ASTM D971	39.5	39.2		22	-
Oil Quality Index	-	WP 222	3950	3920		160	-
Breakdown Voltage	kV	IEC 60156	40.9	32.9		40	-
Flash Point PMCC	°C	ASTM D 93	143	143		135	-
Sediment Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01		-	0.02
Sludge Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01		-	0.02

Tabel 7. Hasil Uji Tegangan Tembus Trafo 2

Customer Name:	PT Indoensia Power UP Saguling			Lab Ref No:	L0562/TR/2020		
Project:	PLTA Cikalong			Date:	25/08/2020		
Transformer data							
Unit ID:	Trafo 2 Cikalong			Oil Volume:	4500 Kg		
Serial Number:	C594			Oil Brand:	-		
Rating:	8000 kVA			Sample Point:	Bottom		
Voltage:	6.3 / 77 kV			Sample Date:	03/08/2020		
Manufacture/Year:	Savoisienne / 1955			Oil Temperature °C:	Off		
OIL QUALITY ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS							
Sampling Date				25-Mar-19	03-Aug-20		Normal
Received Date				01-Apr-19	06-Aug-20		
Test Date				02-Apr-19	07-Aug-20		
				IEC 60422			
Gas Parameter	Unit	Method	1st	2nd		Min Limit	Max Limit
Oil Colour/Appearance	-	ASTM D-1500	0.5 / P Yellow	1.0 / Yellow		-	-
Water Content	mg/kg	IEC 60814	8	8.4		-	30
Acidity	mgKOH/g	IEC 62021-2	0.01	0.01		-	0.2
Interfacial Tension	mN/m	ASTM D971	40	40.2		22	-
Oil Quality Index	-	WP 222	4000	4020		160	-
Breakdown Voltage	kV	IEC 60156	74.1	72.5		40	-
Flash Point PMCC	°C	ASTM D 93	144	144		135	-
Sediment Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01		-	0.02
Sludge Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01		-	0.02

Tabel 8. Hasil Uji Tegangan Tembus Trafo 3

Customer Name:	PT Indoensia Power UP Saguling		Lab Ref No:	L0563/TR/2020	
Project:	PLTA Cikalong		Date:	25/08/2020	
Transformer data					
Unit ID:	Trafo 3 Cikalong		Oil Volume:	4500 Kg	
Serial Number:	C596		Oil Brand:	-	
Rating:	8000 kVA		Sample Point:	Bottom	
Voltage:	6.3 / 77 kV		Sample Date:	03/08/2020	
Manufacture/Year:	Savoisienne / 1955		Oil Temperature °C:	Off	
OIL QUALITY ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS					
Sampling Date	26-Mar-19		03-Aug-20		
Received Date	01-Apr-19		06-Aug-20	Normal	
Test Date	03-Apr-19		07-Aug-20	IEC 60422	
Gas Parameter	Unit	Method	1st	2nd	
Oil Colour/Appearance	-	ASTM D-1500	3.0 / L Brown	3.0 / L Brown	
Water Content	mg/kg	IEC 60814	12	12.4	
Acidity	mgKOH/g	IEC 62021-2	0.04	0.04	
Interfacial Tension	mN/m	ASTM D971	28.6	28.4	
Oil Quality Index	-	WP 222	715	710	
Breakdown Voltage	kV	IEC 60156	65.5	61.2	
Flash Point PMCC	°C	ASTM D 93	140	140	
Sediment Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01	
Sludge Content	%w/w	ASTM D 473	< 0.01	< 0.01	
					Min Limit Max Limit
					- -
					- 30
					- 0.2
					22 -
					160 -
					40 -
					135 -
					- 0.02
					- 0.02

Dari hasil pengujian tegangan tembus diatas dapat dilihat bahwa untuk Transformator Unit 1 mempunyai nilai tegangan tembus paling rendah yaitu 32,9 kV. Sesuai standar IEC 60422, nilai ini masuk ke dalam kategori *poor*. Sebagai masukan, maka perlu dilakukan pengujian lebih sering dan juga dibandingkan dengan pengetesan menggunakan metode lain. Apabila hasilnya juga menunjukkan kondisi buruk maka minyak trafo perlu direkondisi, bisa dilakukan penggantian ataupun pemurnian kembali (purifikasi). Sedangkan untuk trafo 2 dan trafo 3, hasil uji tegangan tembus berada diatas nilai standar, artinya kondisi minyak trafo berada dalam kategori normal. Merujuk pada hasil pengujian dengan metode DGA, pada unit 1 memang terdapat indikasi gangguan yaitu adanya kerusakan pada isolasi padat dan adanya *partial discharge*. Adanya indikasi gangguan ini dapat disebabkan oleh tegangan tembus yang rendah. Artinya apabila terjadi percikan didalam trafo maka akan mudah menyebabkan degradasi pada minyak trafo sehingga kualitas minyak isolasi akan menurun. Hal ini juga mengakibatkan munculnya gas-gas terlarut akibat rantai hidrokarbon yang terdekomposisi.

g. Korelasi Jumlah Produksi kWh, Jam Operasi, dan Jumlah Start Unit terhadap nilai TDCG

Korelasi antara jumlah produksi kWh, jam operasi, dan jumlah start unit terhadap kondisi minyak transformator yang dinyatakan dalam bentuk nilai TDCG. Koefisien korelasi bernilai antara -1 sampai dengan 1. Tanda positif menandakan adanya hubungan yang linear sedangkan tanda negatif menandakan hubungan berbanding terbalik. Apabila nilai korelasi mendekati 1, maka antar dua variabel tersebut memiliki hubungan linear yang erat. Sebaliknya, apabila nilainya kurang dari 1 atau mendekati 0, maka antar dua variabel tersebut tidak saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya (Suardi Yakub, 2012). Berikut merupakan Tabel 9 yang memuat variabel TDCG dengan jumlah produksi kWh, jam operasi, dan jumlah *start* unit.

Tabel 9. Data TDCG dan Pengusahaan PLTA Cikalong

Unit	TDCG	Produksi kWh	Jam Operasi	Jumlah Start
Unit 1 (Sep 16 – Mar 17)	176	10.095.030	2960:25:00	149
Unit 2 (Sep 16 – Mar 17)	249,7	8.887.725	2952:25:00	120
Unit 3 (Sep 16 – Mar 17)	502,8	10.498.455	3518:44:00	61
Unit 1 (Apr 17 – Jan 18)	862	15.117.895	3976:31:00	141
Unit 2 (Apr 17 – Jan 18)	276	12.564.585	3702:12:00	152
Unit 3 (Apr 17 - Jan 18)	494	11.334.015	3174:12:00	64
Unit 1 (Feb 18 - Jan 19)	276	19.966.320	5734:00:00	102
Unit 2 (Feb 18 - Jan 19)	285	18.435.978	4392:45:00	23
Unit 3 (Feb 18 - Jan 19)	541	12.264.159	3629:00:00	90
Unit 1 (Feb 19 - Sep 19)	325,1	18.160.362	3880:57:00	191
Unit 2 (Feb 19 - Sep 19)	195,9	8.553.132	308:20:00	22
Unit 3 (Feb 19 - Sep 19)	430,6	12.282.435	3332:11:00	50
Unit 1 (Okt 19 - Apr 20)	326,4	8.281.548	2450:20:00	142
Unit 2 (Okt 19 - Apr 20)	175,6	2.573.010	843:30:00	92
Unit 3 (Okt 19 - Apr 20)	570,4	12.788.622	2611:33:00	76

Dengan menggunakan rumus 1 maka kolerasi TDGC terhadap jumlah produksi, jam operasi dan jumlah star unit dapat dilihat pada Tabel 10 :

Tabel 10. Nilai kolerasi TDGC

Kolerasi TDGC	Nilai
jumlah start unit	0,267
Jam operasi	0,297
Star unit	-0,00013

h. Korelasi TDCG dengan jumlah produksi

Koefisien korelasi antara TDCG dengan jumlah produksi adalah 0,267. Artinya antara dua variabel ini memiliki korelasi yang rendah dengan jumlah produksi terhadap nilai TDCG memiliki pengaruh yang kecil dan memiliki hubungan yang sifatnya berbanding lurus karena koefisien korelasinya bernilai positif. Hal ini sesuai dengan teori kekuatan koefisien korelasi yaitu apabila nilai koefisien korelasi bernilai mendekati 1 maka kekuatan hubungan antara varial x dengan variabel y mempunyai hubungan sangat kuat dan positif, namun ketika nilainya kurang dari 1, maka hubungan antara variabel x dengan variabel y bernilai lemah namun tetap positif. Jumlah produksi kWh pada pembahasan ini mengarah kepada pembebanan, sehingga apabila pada unit pembangkit melakukan pembebanan atau membangkitkan daya dengan nilai yang besar atau kecil, maka hal itu tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap minyak transformator. Namun perlu diketahui juga bahwasanya pembebanan dapat mempengaruhi temperatur belitan transformator karena semakin tinggi beban atau daya yang dibangkitkan maka temperatur belitan Transformator juga akan semakin meningkat.

i. Korelasi TDCG dengan jam operasi

Koefisien korelasi antara TDCG dengan jumlah produksi adalah 0,297. Artinya antara dua variabel ini memiliki korelasi yang rendah karena jam operasi terhadap nilai TDCG memiliki pengaruh yang kecil dan memiliki hubungan yang sifatnya berbanding lurus karena koefisien korelasinya bernilai positif. Hal ini sesuai dengan teori kekuatan koefisien korelasi yaitu apabila nilai koefisien korelasi bernilai mendekati 1 maka kekuatan hubungan antara varial x dengan variabel y mempunyai hubungan sangat kuat dan positif, namun ketika nilainya kurang dari 1, maka hubungan antara variabel x dengan variabel y bernilai lemah namun tetap positif. Dalam kasus ini dapat dilihat jumlah jam operasi transformator mempunyai jumlah yang cukup besar, maka hal ini tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai TDCG. Sehingga transformator dapat dioperasikan secara normal sesuai dengan rencana operasi pembangkit namun tetap dengan pemeliharaan yang rutin.

j. Korelasi TDCG dengan jumlah start unitf

Koefisien korelasi antara TDCG dengan jumlah produksi adalah $-0,00013$. Artinya antara dua variabel ini dapat dikatakan tidak mempunyai korelasi karena nilai koefisien korelasinya mendekati 0. Hal ini sesuai dengan teori kekuatan koefisien korelasi yaitu apabila nilai koefisien korelasi bernilai mendekati 1 maka kekuatan hubungan antara varial x dengan variabel y mempunyai hubungan sangat kuat dan positif, namun ketika nilainya kurang dari 1 dan mendekati atau sama dengan 0, maka hubungan antara variabel x dengan variabel y bernilai lemah atau tidak mempunya hubungan. Dalam hal ini, jumlah start unit pembangkit sama sekali tidak memberikan pengaruh terhadap nilai TDCG atau dapat dikatan tidak berpengaruh terhadap kondisi dari minyak transformator.

Kesimpulan

Nilai TDCG pada semua unit transformator berada pada kondisi 1, yang artinya dalam kondisi normal sesuai standar IEEE C57.104-2008. namun terdapat indikasi adanya degradasi *cellulose* pada unit 2 dan 3, dan partial discharge pada unit 1. Pada Metode *Roger's ratio*, didapat bahwa transformator unit 1 berada pada *case 1* yang mengindikasikan adanya partial *discharge*, sedangkan unit 2 dan 3 berada pada *case 0* yang berarti dalam kondisi normal. Transformator Unit 1 mempunyai nilai tegangan tembus paling rendah yaitu 32,9 kV, berdasarkan standar IEC 60422 nilai ini masuk ke dalam kategori *poor*. Nilai koefisien korelasi antara jam operasi dan jumlah produksi kWh dengan TDCG masing-masing sebesar 0,267 dan 0,297 yang menandakan hubungan antara variabel tersebut merupakan hubungan yang lemah, nilai mendekati 1 menunjukkan nilai yang kuat. Nilai koefisien korelasi antara jumlah start unit pembangkit dengan TDCG sebesar 0,00013 yang artinya kedua variabel ini tidak memiliki hubungan karena nilainya kurang dari 0. Daya yang dibangkitkan dapat mencapai nilai maksimum karena transformator dalam kondisi baik dan normal. Hal ini membuktikan bahwa setiap metode tidak bisa dijadikan acuan terhadap kondisi minyak tranformator, karena masing-masing metode menghasilkan indikasi yang beda-beda.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih PT. Indonesia Power Saguling POMU Sub Unit PLTA Cikalong atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan dosen Teknik elektro atas diskusinya yang bermanfaat.

Daftar Notasi

r = koefisien korelasi

x = nilai TDGC

y = jumlah produksi

Daftar Pustaka

- A Dedi Roi Candra Sihombing, “Analisa Kondisi Minyak Isolasi Transformator Berdasarkan Pengujian DGA Pada Transformator 3 150/20 kV 60 MVA PT. PLN (Persero) Gardu Induk Cibatu” 2020.
- A. R. Demmassabu, L. S. Patras, F. Lisi, “Analisis Kegagalan Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Dengan Metode TDCG, Key Gas, Roger's Ratio, Duval's Triangle Pada Gardu Induk” eJurnal Teknik Elektro dan Komputer, ISSN : 2301-8402. 2014.
- Faris Aljiddi, “Analisis Hasil Uji DGA untuk Memprediksi Rentang Waktu Purifikasi Minyak Transformator dengan Metode TDCG dan Roger's Ratio” 2019.
- Haz, F. and Aditya, I. (2020) ‘Analisis Setting Proteksi Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah Pada Transformator Daya 60 MVA di Gardu Induk 150 kV Cibatu’, *Journal of Electrical Engineering and Information Technology*
- Hidayat, M. R. *et al.* (2020) ‘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*, pp. 100–106.
- Pramono, A., Haddin, M. and Nugroho, D. (2016) ‘Analisis Minyak Transformator Daya Berdasarkan Dissolved Gas Analysis (Dga) Menggunakan Data Mining Dengan Algoritma J48’, *Telematika*, 9(2), p. 78. doi: 10.35671/telematika.v9i2.457.
- IEEE std. C57.104-2008, *IEEE Guide for Dissolved Gas Analysis in Transformer*. 2008.
- P, A. Y. C., Taqiyudin, M. A. and Basuki, B. M. (2018) ‘Analisis Kegagalan Transformator Berdasarkan Hasil Pengujian Dissolved’.
- Rahmat Hardityo, “Deteksi dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut” 2008.
- Suardi Yakub, Modul Panduan Belajar Statistik Probabilitas. 2012.
- Syakur, A. and Lazuardi, W. (2019) ‘Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger , Segitiga Duval , Breakdown Test , dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator’, *Teknik*, 40(1), pp. 63–68. doi: 10.14710/teknik.v40n1.22056.
- Iskandar, H. R. (2021) ‘Studi Kelayakan Operasi Berdasarkan Uji Dissolve Gas Analysis pada Transformator Distribusi 150 kV Gardu Induk Cibabat Cimahi’, *Kilat*, 10(1), pp. 10–21. doi: 10.33322/kilat.v10i1.963.