

Studi Kelayakan Operasi Berdasarkan Uji *Dissolve Gas Analysis* pada Transformator Distribusi 150 kV Gardu Induk Cibabat Cimahi

*Handoko Rusiana Iskandar*¹; *Een Taryana*²; *M. Reza Hidayat*³; *Gilang Sahara Putra*⁴

^{1, 2, 3, 4} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani

¹ handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id

ABSTRACT

The role of insulation media in high voltage equipment is an important component in maintaining the ongoing distribution of electric power from random interference during operation. Insulation media used in high voltage equipment are air, solid, oil, or gas. All of these media will experience a decrease in performance along with the operating time and service life factor of the equipment. Therefore, the role of maintenance is very important. One method of diagnosis of damage to insulating oil is Dissolve Gas Analysis (DGA). DGA diagnosis is conducted to determine the rate of gas growth in the insulating oil in parts per million (ppm). Some DGA methods are Total Dissolve Combustible Gas (TDCG), Duval's Triangle, and Roger's Ratio. A sampling of transformer oil isolation in this study was conducted on three transformer units in the 150 kV / 20 kV Cibabat Cimahi Substation. Oil samples are tested through data processing based on IEEE Std C57.104-2008 standards and SPLN T5.004-5: 2017. DGA test results in the laboratory of PT. PLN (Persero) UPT Bandung shows the results of TDCG transformer unit 1 in condition 2 with the amount of flammable gas at 821 ppm, for transformer unit 2 in condition 1 with the amount of combustible gas 694 ppm and transformer unit 3 in condition 2 with combustible gas 1117 ppm so that each gas growth rate for transformer unit 1 is -1.36 ppm/day, transformer unit 2 is -1.03 ppm/day and transformer unit is 3 0.95 ppm/day.

Keywords: Dissolve Gas Analysis, Duval's Triangle, Roger's Ratio, Total Dissolve Combustible Gas

ABSTRAK

Peran media isolasi pada peralatan tegangan tinggi merupakan komponen penting dalam mempertahankan berlangsungnya penyaluran tenaga listrik dari gangguan acak selama operasi. Media isolasi yang digunakan pada peralatan tegangan tinggi yaitu berupa udara, padat, minyak maupun gas. Seluruh media ini akan mengalami penurunan performa seiring dengan waktu operasi dan faktor umur layan peralatan. Oleh karena itu, peran pemeliharaan sangat penting dilakukan. Salah satu metode diagnosis kerusakan minyak isolasi adalah Dissolve Gas Analysis (DGA). Diagnosis DGA dilakukan untuk mengetahui laju pertumbuhan gas pada minyak isolasi dalam part per million (ppm). Beberapa metode DGA adalah Total Dissolve Combustible Gas (TDCG), Duval's Triangle dan Roger's Ratio. Pengambilan sampel isolasi minyak transformator dalam studi ini dilakukan pada tiga unit transformator di Gardu Induk (GI) 150 kV/20 kV Cibabat Cimahi. Sampel minyak diuji melalui proses pengolahan data berdasarkan standar IEEE Std C57.104-2008 dan SPLN T5.004-5: 2017. Hasil pengujian DGA di laboratorium PT. PLN (persero) UPT Bandung menunjukkan hasil TDCG unit transformator 1 dalam kondisi 2 dengan jumlah gas mudah terbakar sebesar 821 ppm, untuk unit transformator 2 dalam kondisi 1 dengan jumlah gas mudah terbakar 694 ppm dan unit transformator 3 dalam kondisi 2 dengan gas mudah terbakar 1117 ppm sehingga masing-masing laju pertumbuhan gas untuk unit transformator unit 1 -1,36 ppm/hari, unit transformator 2 sebesar -1,03 ppm/hari dan unit transformator 3 0,95 ppm/hari.

Kata kunci: Dissolve Gas Analysis, Duval's Triangle, Roger's Ratio, Total Dissolve Combustible Gas

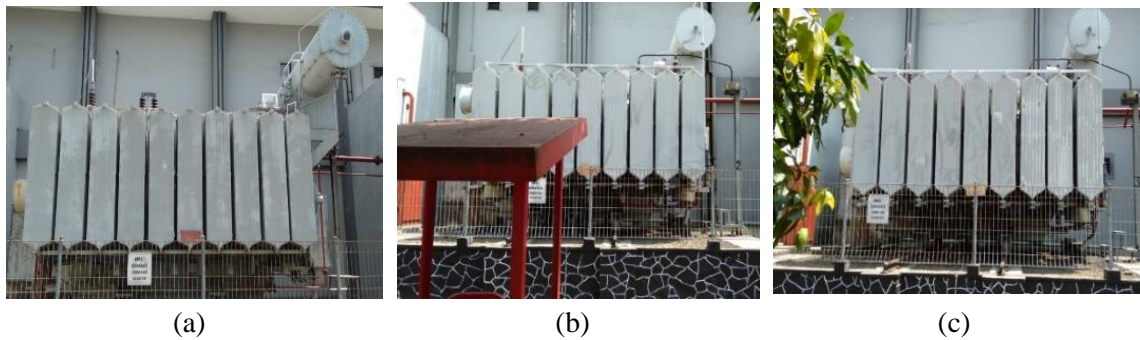
1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan peralatan konversi energi yang berfungsi merubah arus *alternating current* (AC) atau setingkat tegangan AC dan ke tingkat tegangan lain. Transformator pula digunakan untuk menurunkan tegangan dari peralatan ke tegangan distribusi yang lebih rendah atau tegangan yang diperlukan oleh fasilitas pusat pembangkit [1][2]. Transformator juga merupakan peralatan yang handal dan dapat memberikan pelayanan untuk waktu yang lama jika dipelihara secara rutin [3]. Kemunduran performa dari peralatan listrik merupakan suatu hal yang wajar, dan proses ini dimulai ketika peralatan tersebut pertama kali dipasang. Jika kemunduran tersebut tidak segera diperiksa, tentunya dapat mengakibatkan kegagalan dan malfungsi akan terjadi. Untuk menjaga performa transformator, salah satunya adalah dengan melakukan pemeliharaan media isolasi baik cair maupun kering dengan berbagai metode diagnosis sesuai dengan standar yang direkomendasikan [4]. Terdapat empat Pedoman pemeliharaan untuk mengetahui kondisi transformator yaitu *in service inspection, in service measurement, shutdown testing, dan treatment*[5]. Salah satu pengujian minyak isolasi menggunakan DGA[6], metode pengujian ini dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi Transformator [7]. Beberapa penelitian sudah dilakukan diantaranya analisis pada factor penuaan pada Transformator [8], analisis kejadian kegagalan [9] hingga kemampuan *static winding resistance test* sebagai indikator baik buruknya kondisi yang dilakukan dengan membandingkan dua kondisi berbeda yaitu sebelum dan sesudah perawatan oleh [10][11]. Suatu studi pada metode dan prosedur evaluasi untuk metode *Total Dissolve Combustible Gas (TDCG)* diterapkan untuk merekomendasikan jenis perawatan [12][13]. Termasuk pendekatan prediksi sisa umur layan berbasis logika Fuzzy yang dilakukan oleh [14][15]. Namun, latar belakang pengujian kondisi transformator menggunakan DGA tersebut kondisi ditentukan hanya dari 1 unit Transformator dan tidak terdapat metode analisis karakteristik Gas pembanding lainnya. Dalam makalah ini suatu studi analisis isolasi minyak dilakukan pada 3 unit transformator di Gardu Induk (GI) Cibabat Cimahi dengan menentukan masih layak atau tidaknya kualitas isolasi minyak pada 3 unit transformator berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan merujuk pada standar SPLN T5.004-5: 2017 dan IEEE C57.104 -2008. Pengujian karakteristik DGA 3 unit transformator GI Cibabat Cimahi diverifikasi melalui 3 metode analisis lain yaitu *TDCG, Duval's Triangle, dan Roger's Ratio*.

2. METODE PENGUJIAN

2.1. Lokasi Pengujian

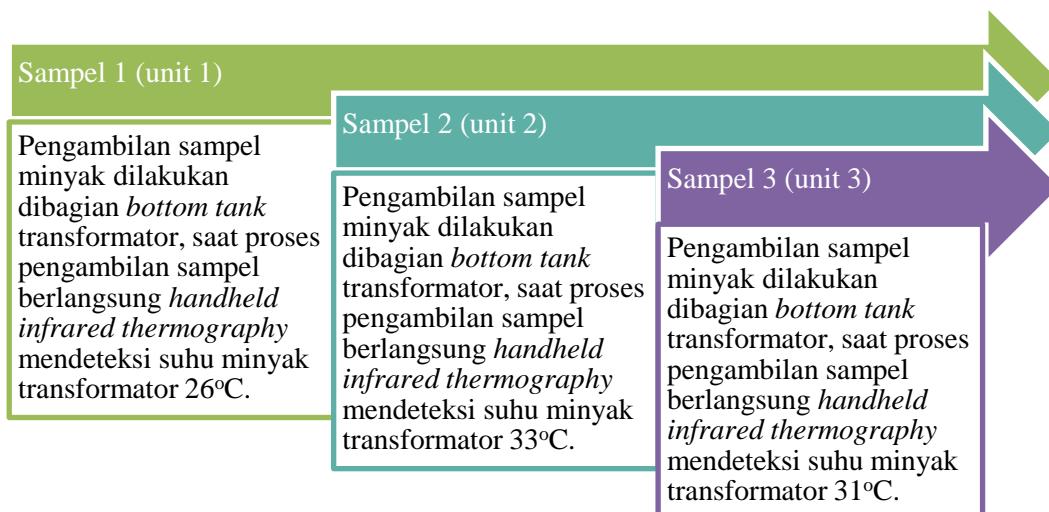
Pengujian terhadap minyak transformator dilakukan di laboratorium minyak transformator PT. PLN (persero), unit Pelaksana Transmisi Bandung. Dengan menggunakan sampel minyak yang diambil langsung dari Transformator Gardu Induk (GI) Cibabat Cimahi ditunjukkan oleh Gambar 1. Pengolahan data diawali dengan pengumpulan data konsentrasi tiap gas pada transformator. Selanjutnya diakhiri dengan analisis dan interpretasi data dengan menggunakan metode DGA.



Gambar 1. Transformator GI Cibabat Cimahi; a) Unit 1, b) Unit 2, c) Unit 3

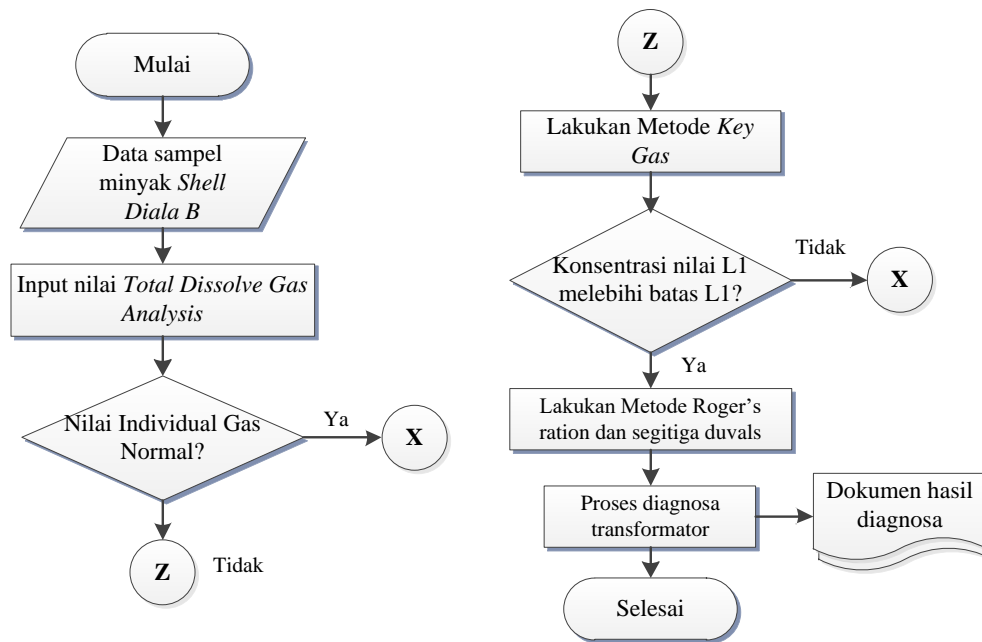
2.2. Pengambilan Sampel dan Tahap Pengujian

Gambar 2 menunjukkan prosedur pengujian diawali dengan menyiapkan sampel yang telah diambil dari transformator kemudian siapkan peralatan pengujian DGA, cek *volume* gas helium selanjutnya lakukan proses pada alat *Morgan Schaffer Mykros* yang terkalibrasi hingga keluar hasil konsentrasi gas.



Gambar 2. Pengambilan Sample Minyak Transformator 150kV

Setelah data akurat dan *valid*, lakukan *input* terlebih dahulu nilai *Total Disolved Gas Analysis*, setelah nilai didapat lalu konsentrasi individual gas tinggi maka lanjutkan metode *key gas*, nilai konsentrasi gas yang tinggi diinvestigasi jika melebihi batas L1, lakukan metode *Roger's Ratio* dan *Duval Triangle*. Kemudian lakukan diagnosa kepada transformator untuk mengetahui kemungkinan kegagalan yang muncul. Lihat Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Pengujian DGA

2.3. Individual Gas dan Metoda TDCG (IEEE Std C57.104-2008)

Standar IEEE menetapkan standarisasi untuk melakukan analisis berdasarkan jumlah gas terlarut pada isolasi minyak ditunjukkan Tabel 1. Nilai ppm dalam panduan ini mengacu pada konsentrasi volume dalam minyak pada standar ASTM D3612 [16][17].

Tabel 1. Batas Konsentrasi Individual Gas [9]

Kondisi	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂
1	100	120	35	50	65	350	2,500
2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2501-4,000
3	701-1,800	401-1,000	51-80	101-200	101-150	571-1,400	4,001-10,000
4	>1,800	>1,000	>80	>200	>150	>1,400	>10,000

TDCG merupakan salah satu jenis metode DGD yang digunakan untuk mengklasifikasikan jenis gas yang mudah terbakar, semakin tinggi kandungan gas yang diperoleh dideskripsikan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Informasi Standar TDCG [18]

Level	Konsentrasi (Ppm)	Deskripsi TDCG
1	≤720	Transformator beroperasi dalam kondisi normal
2	721 – 1,920	Indikasi komposisi gas mulai tinggi, kemungkinan timbul kegagalan, pencegahan gejala agar tidak berlanjut.
3	1,921 – 4,630	Indikasi penguraian tingkat isolasi yang tinggi. Kegagalan mungkin telah terjadi. Buat pencegahan gangguan agar tidak berlanjut
4	>4630	Indikasi kerusakan sangat tinggi dan dekomposisi isolator sudah tersebar luas. Kerusakan pada transformator segera akan terjadi.

Pertumbuhan laju gas secara tiba-tiba dan laju pembentukan gas merupakan indikator yang lebih penting dalam mengevaluasi kondisi transformator yaitu gas asetilen C_2H_2 . Gas ini dapat mengindikasikan arcing tinggi.

2.4. Roger’s Ratio Method

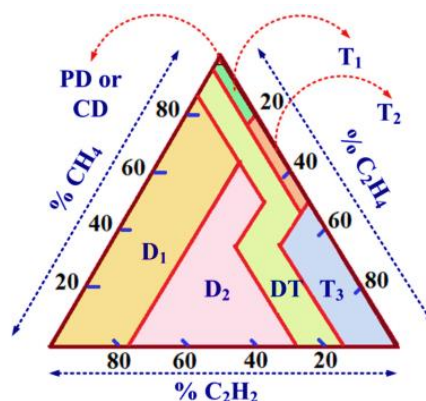
Rogers’s ratio merupakan metode tambahan yang digunakan sebagai penafsiran yang terjadi berdasarkan komposisi gas terlarut dalam minyak isolasi. Metode ini membandingkan jumlah dari berbagai gas yang berbeda dengan membagi satu gas dengan yang lainnya sehingga membentuk suatu perbandingan antara satu gas dengan gas yang lain [19].

Tabel 3. Analisis Metode Roger’s Ratio

No.	Kode rasio gas			Diagnosis
	$CH_4 : H_2$	$C_2H_4 : C_2H_6$	$C_2H_2 : C_2H_4$	
1	0	0	0	Kondisi Normal
2	2	0	0	<i>PD (Partial discharge)</i>
3	1-2	0	0	<i>Over heating</i> ringan ($150^\circ C$)
4	1-2	0	0	<i>Over heating</i> ($150^\circ C - 200^\circ C$)
5	0	0	0	<i>Over heating</i> ($200^\circ C - 300^\circ C$)
6	0	1	0	<i>Over heating</i> pada konduktor secara umum
7	1	0	0	Arus pusar pada belitan
8	1	2	0	Arus pada tangki dan inti, <i>over heating</i> pada sambungan
9	0	0	1	<i>Flash over</i> tanpa diikuti daya
10	0	1-2	1-2	<i>Arching</i> dengan diikuti daya
11	0	2	2	Adanya <i>sparking</i> yang kontinyu
12	5	0	1-2	<i>Partial discharge</i> berkaitan dengan gas CO

2.5. Duval’s Triangle Method

Metode ini menggunakan perbandingan yang memanfaatkan gas hidrokarbon. Kondisi khusus yang diperhatikan adalah konsentrasi metana (CH_4), etilen (C_2H_4) dan asetilen (C_2H_2). Konsentrasi total ketiga gas ini adalah 100%, namun perubahan komposisi dari ketiga jenis gas ini menunjukkan kondisi fenomena kegagalan yang mungkin terjadi pada unit yang diujikan[20].



Gambar 4. Representasi Zona Duval’s Triangle [20]

Gambar 4 menunjukkan rujukan diagnosis dengan tingkat energi atau temperatur dari kesalahan yang menghasilkan gas H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 , C_2H_6 . Tabel 4 menunjukkan berbagai jenis kegagalan yang dapat diidentifikasi oleh *Duval's Triangle*.

Tabel 4. Informasi Jenis Kegagalan pada *Duval's Triangle* [21]

No.	Zone	Deskripsi Jenis Kegagalan
1	PD	<i>Partial Discharge (corona discharge)</i>
2	D1	<i>Discharge of Low Energy (spark type)</i>
3	D2	<i>Discharge of High Energy</i>
4	T3	<i>Thermal Fault >700°C</i>
5	T2	<i>Thermal Fault 300°C – 700°C</i>
6	T1	<i>Thermal Fault <300°C</i>
7	S-120 dan S-200	<i>Stray Gracing di 120°C dan 200°C</i>
8	0	<i>Overheating (<250 °C)</i>
9	T3 – H	<i>Thermal Fault T3 atau T2 hanya di minyak</i>
10	C	<i>Kemungkinan Karbonisasi Kertas</i>

Metode Duval ini dilengkapi dengan grafik tiga koordinat yang berbentuk segitiga sama sisi, dimana nilai dari setiap koordinat adalah presentase tiap gas terhadap total ketiga gas tersebut. Berapapun koordinatnya pasti akan menunjuk ke salah satu jenis gangguan. Terdapat tujuh gangguan yang menjadi interpretasi dari komposisi ketiga gas tersebut. Syarat menggunakan metode ini adalah setidaknya satu dari ketiga gas hidrokarbon harus berada pada kondisi 3. Misalkan x, y, z menjadi tiga gas, persentase mereka dihitung dan ditunjukkan oleh persamaan (1) sampai (3)[22].

$$x\% = \frac{100x}{x + y + z} \quad (1)$$

$$y\% = \frac{100y}{x + y + z} \quad (2)$$

$$z\% = \frac{100z}{x + y + z} \quad (3)$$

Metode investigasi kegagalan menggunakan metode ini masing-masing pihak mewakili persentase salah satu dari tiga gas. Di mana x, y, dan z berada di ppm. Dari tujuh gas, ada tiga puluh lima kemungkinan segitiga dengan tiga gas diambil sekaligus seperti ditunjukkan oleh persamaan (4)[22].

$$Jml_{segitiga} = 7C_3 = \frac{7!}{(7-3)!3!} = 35 \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Laju Pertumbuhan Gas dan Hasil TDCG

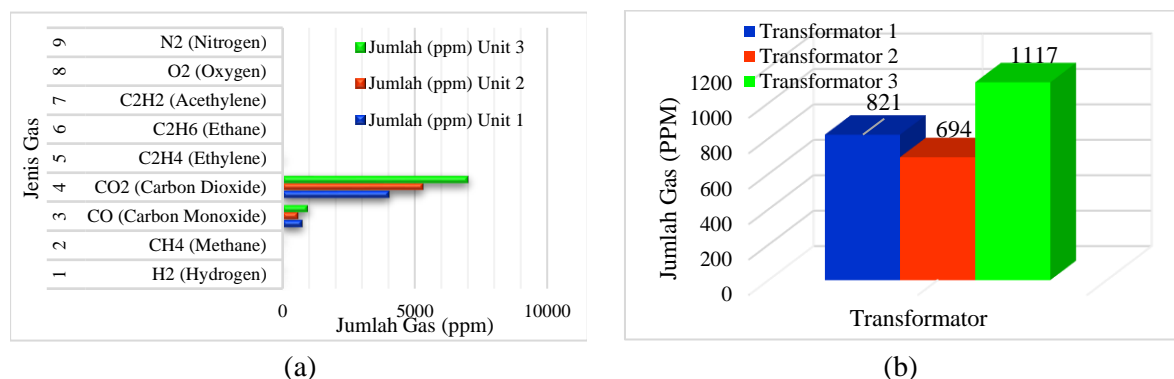
Pengujian dilakukan tiga kali dengan tiga sampel minyak pada Transformator unit yang berbeda, hasil pengujian menggunakan DGA *portable Mykros Morgan Schaffer* pada unit Transformator 1, 2 dan 3 di Gardu Induk Cibabat Cimahi menunjukkan laju pertumbuhan gas pada minyak *shell Diala B* ppm/hari. Pada unit Transformator 1 menunjukkan laju pertumbuhan gas - 1,36 ppm/hari, sedangkan Pada unit Transformator 2 menunjukkan laju pertumbuhan gas -1,03

ppm/hari dan pada unit Transformator 3 menunjukkan laju pertumbuhan gas 0,95 ppm/hari. Laju pertumbuhan gas ini dihitung dari tanggal 12 September 2018 sampai dengan 08 April 2019.

Tabel 5. Hasil sampel minyak DGA dari Unit Transformator unit 1 – 3

No	Gas	Jumlah (ppm)		
		Unit 1	Unit 2	Unit 3
1	H ₂ (<i>Hydrogen</i>)	21	25	47
2	CH ₄ (<i>Methane</i>)	25	4	59
3	CO (<i>Carbon Monoxide</i>)	770	612	972
4	CO ₂ (<i>Carbon Dioxide</i>)	4033	5322	7033
5	C ₂ H ₄ (<i>Ethylene</i>)	5	53	25
6	C ₂ H ₆ (<i>Ethane</i>)	0	0	14
7	C ₂ H ₂ (<i>Acetylene</i>)	0	0	0
8	O ₂ (<i>Oxygen</i>)	0	0	0
9	N ₂ (<i>Nitrogen</i>)	0	0	0

Hasil pengujian dari sampel minyak DGA dari Unit Transformator 1 – 3 ditunjukkan oleh Tabel 5. Gas – gas yang terlarut pada sampel minyak DGA dari Unit Transformator 1 terdiri dari H₂ (*Hydrogen*) dengan jumlah 21 ppm, CH₄ (*Methane*) dengan jumlah 25 ppm, CO (*Carbon Monoxide*) dengan jumlah 770 ppm, CO₂ (*Carbon Dioxide*) dengan jumlah 4033 ppm, C₂H₄ (*Ethylene*) dengan jumlah 5 ppm, C₂H₆ (*Ethane*) dengan jumlah 0 ppm, C₂H₂ (*Acetylene*) dengan jumlah 0 ppm dan TDCG (*Total Dissolved Combustable Gas*) dengan jumlah 821 ppm. Untuk O₂ (*Oxygen*) dan N₂ (*Nitrogen*) tidak dapat dipastikan muncul hasil nilai ppmnya dan TDCG hanya mendeteksi 7 kandungan saja. Gas – gas yang terlarut pada sampel minyak DGA dari Unit Transformator 2 terdiri dari H₂ (*Hydrogen*) dengan jumlah 25 pm, CH₄ (*Methane*) dengan jumlah 4 ppm, CO (*Carbon Monoxide*) dengan jumlah 612 ppm, CO₂ (*Carbon Dioxide*) dengan jumlah 5322 ppm, C₂H₄ (*Ethylene*) dengan jumlah 53 ppm, C₂H₆ (*Ethane*) dengan jumlah 0 ppm, C₂H₂ (*Acetylene*) dengan jumlah 0 ppm dan TDCG (*Total Dissolved Combustable Gas*) dengan jumlah 694 ppm. Gas – gas yang terlarut pada sampel minyak DGA dari Unit Transformator 3 terdiri dari H₂ (*Hydrogen*) dengan jumlah 47 ppm, CH₄ (*Methane*) dengan jumlah 59 ppm, CO (*Carbon Monoxide*) dengan jumlah 972 ppm, CO₂ (*Carbon Dioxide*) dengan jumlah 7033 ppm, C₂H₄ (*Ethylene*) dengan jumlah 25 ppm, C₂H₆ (*Ethane*) dengan jumlah 14 ppm, C₂H₂ (*Acetylene*) dengan jumlah 0 ppm dan TDCG (*Total Dissolved Combustable Gas*) dengan jumlah 1117 ppm. Perbandingan hasil pengujian laju kenaikan gas ini ditunjukkan oleh garfik pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Isolasi Minyak (ppm); a) Jumlah Gas CO₂, b) Hasil TDCG

Gas CO₂ atau gas karbon dioksida, ini terbentuk karena panas berlebih pada kertas *selolusa* sehingga menimbulkan gas CO dan CO₂ yang cukup tinggi. Dalam Standar IEC 60422 gas akan muncul dalam minyak apabila temperatur kerja minyak melebihi temperatur kerjanya, sedangkan gas lain timbul lebih sedikit tetapi akan mempengaruhi gas lain yang mengalami kenaikan secara linear dalam jumlah (ppm). Dalam pengujiannya temperatur lingkungan rata – rata Transformator adalah 26°C. Karena hasil yang begitu kompleks memungkinkan gangguan yang mungkin muncul yaitu *overhead selolusa* dan *corona in oil*.

3.2. Hasil Pengujian Roger's Ratio Method

Transformator unit 1 menunjukkan nilai R2 0,00, R1 1,19 dan R5 N/A, ini menunjukkan keadaan pada Transformator menggunakan *Roger's Ratio* yaitu tidak dapat didefinisikan karena nilai R5 tak terhingga atau tidak dapat dihitung sehingga tidak sesuai dengan diagnosis metode roger ratio berbeda. Sedangkan pada unit transformator 2 menunjukkan hasil R2 0,00, R1 0,16 dan R5 N/A hasil data menunjukkan sama seperti pada unit Transformator 1 dan untuk unit Transformator 3 menunjukkan nilai *Roger's Ratio* sebesar R2 0,00, R1 1,26, R5 1,79 hasil ini menunjukkan bahwa keadaan unit Transformator 3 mengalami *thermal fault* <700°C. Gangguan *thermal* kemungkinan terjadi karena tingginya gas C₂H₆ (*ethane*), CH₄ (*methane*) dan H₂ (*hydrogen*). Berikut hasil pengujian sampel minyak menggunakan metode *Roger's Ratio* dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pertumbuhan Gas menggunakan Metode *Roger's Ratio*

Unit Transformator	R2 (C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄)	R1 (CH ₄ /H ₂)	R5 (C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆)
1	0/5 = 0	25/21 = 1,19	5/0 = N/A
2	0/53 = 0	4/25 = 0,16	53/0 = N/A
3	0/25 = 0	59/47 = 1,26	25/14 = 1,79

3.3. Hasil Pengujian Duval's Triangle Method

Hasil pengujian ini memetakan untuk mencari persentase CH₄, C₂H₄, C₂H₂ tiap sampel, kemudian titik-titik sampel dipetakan pada segitiga Duval. Sebelum menggunakan metode ini representasi terlebih dahulu individual gas ke dalam bentuk persentase. Hasil perhitungan unit Transformator 1 berdasarkan persamaan (1) sampai (3) ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian Pertumbuhan Gas menggunakan Metode *Duval's Triangle*

No.	Jenis Gas	Transformator GI Cibabat Cimahi		
		Unit 1	Unit 2	Unit 3
1	%CH ₄	83.3 ppm	7 ppm	70.2 ppm
2	%C ₂ H ₄	16.7 ppm	93 ppm	29.8 ppm
3	%C ₂ H ₂	0 ppm	0 ppm	0 ppm

Tabel 7 menunjukkan hasil metode *Duval's Triangle* unit Transformator 1 ini menunjukkan interpretasi tiap sumbu gas pada gangguan diagnosis T1 atau *thermal fault* <300°C, dalam kondisi ini contoh gangguan yang mungkin muncul pada Transformator adalah *overloading* Transformator. Dalam kondisi darurat, ada bagian yang tersumbat sehingga aliran minyak terhambat pada belitan dan *stray flux* pada penyangga balok yang melintang. Pada gangguan T1 ini kertas insulasi telah berubah menjadi kecoklatan dan ini merujuk pada SPLN T5.004-5: 2017. Unit Transformator 2 ini menunjukkan interpretasi tiap sumbu gas pada gangguan diagnosis T3 atau *thermal fault* >700°C, dalam kondisi ini contoh gangguan yang muncul pada Transformator adalah arus besar bersikulasi

di dalam tangki dan inti, arus sirkulasi kecil di dinding tangki karena medan magnet besar yang tidak terkompensasi, *link* penghubung singkat pada laminasi inti baja. *Thermal fault* pada suhu $>700^{\circ}\text{C}$ merupakan bukti nyata bahwa minyak telah terkarbonisasi, perubahan warna logam dalam suhu 800°C atau pelelehan metal jika suhu $>1000^{\circ}\text{C}$. Unit Transformator 3 ini menunjukkan interpretasi tiap sumbu gas pada gangguan diagnosis T2 atau *thermal fault* $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$, dalam kondisi ini contoh gangguan yang mungkin muncul pada Transformator adalah kontak kurang baik pada koneksi yang dibaut (terutama pada aluminium busbar). *Thermal fault* pada minyak dan/kertas diantara suhu 300°C - 700°C menandakan bahwa kertas insulasi telah terkarbonisasi.

Pendekatan uji transformator menggunakan DGA yang berbeda yang telah dilakukan, melalui TDCG, analisis termal menggunakan *Duval's Triangle*, analisis ratio (*Roger's Ratio*) memiliki kelebihan dan keterbatasan yang berbeda, memperkaya jenis pemilihan metode diagnosis DGA. Dengan demikian, pendekatan yang lebih intuitif adalah menggabungkan hasil yang diperoleh dari semua pendekatan pengujian utama dan mengintegrasikan data melalui evaluasi keseluruhan sehingga menghasilkan standar rujukan yang harus dilakukan untuk kegiatan pemeliharaan selanjutnya. Hasil studi kelayakan yang telah dilakukan menghasilkan dua kondisi rujukan untuk 3 unit Transformer yaitu kondisi 1 pengujian sampel minyak dilakukan setiap 4 - 12 bulan dan kondisi 2 berlaku pengujian sampel minyak secara kontinyu setiap 4 bulan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 8 berdasarkan Standar IEEE C57.104 Tahun 2008.

Tabel 8. Rujukan Berdasarkan Standar IEEE Std C57.104-2008

No.	Transformator	Kondisi				Kegiatan Pengujian yang dilakukan
		1	2	3	4	
1	Unit 1					Perhatian khusus analisis untuk individual gas dan Tetapkan besarnya pembebanan. Pengujian sampel minyak, bulanan hingga 4 bulanan.
2	Unit 2					Operasi normal. Lakukan pengambilan dan pengujian sampel minyak, bulanan, 4 bulanan hingga 1 Tahun.
3	Unit 3					Perhatian khusus analisis untuk individual gas dan Tetapkan besarnya pembebanan. Pengujian sampel minyak, bulanan hingga 4 bulanan.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil studi dan analisis kelayakan operasi pada Transformator 1 – 3 di GI Cibabat Cimahi berdasarkan pengolahan data hasil pengujian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang diambil adalah sebagai berikut,

1. Hasil analisis *Dissolve Gas Analysis* pada unit Transformator 1, 2 dan 3 di Gardu Induk Cibabat Cimahi menunjukkan laju pertumbuhan gas pada minyak *shell Diala B* ppm/hari. Pada unit Transformator 1 menunjukkan laju pertumbuhan gas -1,36 ppm/hari, sedangkan Pada unit Transformator 2 menunjukkan laju pertumbuhan gas -1,03 ppm/hari dan pada unit Transformator 3 menunjukkan laju pertumbuhan gas 0,95 ppm/hari. Laju pertumbuhan gas itu dihitung dari tanggal 12 September 2018 sampai dengan 08 April 2019.
2. Hasil pengujian menggunakan metode *Total Dissolve Gas Analysis* (TDCG) unit Transformator 1 dalam kondisi 2 dengan jumlah gas mudah terbakar 821 ppm, untuk unit Transformator 2 dalam kondisi 1 dengan jumlah gas mudah terbakar 694 ppm dan unit Transformator 3 dalam kondisi 2 dengan gas mudah terbakar 1117.

3. Hasil pengujian gas menggunakan metode *Roger's Ratio* unit Transformator 3 mengalami *Thermal Fault* dengan temperatur $<700^{\circ}\text{C}$. Unit Transformator 1 dan unit Transformator 2 nilai *Ratio* R5 tidak diketahui atau salah satu gas *Acetylene* (C_2H_2) 0.00 ppm.
4. Hasil pengujian isolasi minyak menggunakan metode *Duval's Triangle* unit Transformator 1 diagnosis T1 atau mengalami *Thermal Fault* dengan temperature $<300^{\circ}\text{C}$, sedangkan unit Transformator 2 diagnosis T3 atau mengalami *Thermal Fault* dengan temperature $>700^{\circ}\text{C}$ dan untuk unit Transformator 3 diagnosis T2 atau mengalami *Thermal Fault* dengan temperature $300^{\circ} < t < 700^{\circ}\text{C}$.
5. Berdasarkan rujukan standar IEEE C57.104 Tahun 2008, hasil studi kelayakan yang telah dilakukan menghasilkan dua kondisi rujukan. Hasil ini sekaligus memberikan informasi jenis pemeliharaan yang dilakukan pada masing – masing unit Transformator. Pertama untuk unit Transformator 2 adalah pengujian sampel minyak dilakukan setiap 4 - 12 bulan dan unit Transformator 1 dan 3 berlaku pengujian sampel minyak secara kontinyu setiap 4 bulan.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dalam makalah ini adalah jika Unit Transformator berada pada keadaan normal dan tidak terindikasi adanya kegagalan, maka pengujian DGA harus tetap dilakukan untuk menjaga kualitas dari transformator yang diuji. Kegiatan pemeliharaan unit Transformator berupa purifikasi minyak untuk indikasi kegagalan minyak transformator dan *re-winding* isolasi kertas belitan apabila terjadi kegagalan pada isolasi kertas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLN (Persero) dan GI Cibabat Cimahi yang telah memberikan sarana berkonsultasi hingga mendapatkan data hasil pengujian lapangan pada Transformator GI Cibabat Cimahi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Nathan and A. Scobell, "How China sees America," *Foreign Affairs*, vol. 91, no. 5. Taylor and Francis Group, LLC, North Carolina, p. 1000, 2012, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [2] N. Bakar, A. Abu-Siada, and S. Islam, "A review of dissolved gas analysis measurement and interpretation techniques," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 30, no. 3. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 39–49, 2014, doi: 10.1109/MEI.2014.6804740.
- [3] Suwarno and F. Salim, "Effects of electric arc on the dielectric properties of liquid dielectrics," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, 2006, no. tan 6, pp. 482–485, doi: 10.1109/ICPADM.2006.284220.
- [4] Suwarno, "The Influence of arc on dissolve gases in transformer," in *IEEE 8th International Conference on Properties & applications of Dielectric Materials*, 2006, pp. 498–501, doi: 10.1109/ICPADM.2006.284224.
- [5] T. Kari *et al.*, "An integrated method of ANFIS and Dempster-Shafer theory for fault diagnosis of power transformer," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 25, no. 1, pp. 360–371, Feb. 2018, doi: 10.1109/TDEI.2018.006746.
- [6] S. Ghoneim, D. Mansour, I. Bedir, and M. Alharthi, "A Decision Transformer Fault Diagnostics System Based on Dissolved Gas Analysis," 2019, doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9008078.

- [7] Z. Ayalew, K. Kobayashi, S. Matsumoto, and M. Kato, "Dissolved Gas Analysis (DGA) of Arc Discharge Fault in Transformer Insulation Oils (Ester and Mineral Oils)," in *2018 IEEE Electrical Insulation Conference, EIC 2018*, 2018, no. June, pp. 150–153, doi: 10.1109/EIC.2018.8481123.
- [8] Hermawan, A. Syakur, and I. Iryanto, "Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pembebanan dan Penuaan," *Teknik*, vol. 32, no. 3, pp. 203–212, 2011, doi: <https://doi.org/10.14710/teknik.v32i3.1737>.
- [9] D. A. Arifianto, Soemarwanto, and H. Purnomo, "Analisis Kegagalan Transformator Di PT Asahimas Chemical Banten Berdasarkan Hasil Uji DGA Dengan Metode Roger ' s Ratio," *Student J. Mhs. TEUB*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2013, [Online]. Available: <http://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/teub/article/view/63>.
- [10] M. S. A. Khair, Y. H. M. Thayoob, Y. Z. Y. Ghazali, S. A. Ghani, and I. S. Chairul, "Condition assessment of OLTC using duval triangle and static winding resistance test," in *2012 IEEE International Power Engineering and Optimization Conference, PEOCO 2012 - Conference Proceedings*, 2012, no. June, pp. 432–435, doi: 10.1109/PEOCO.2012.6230903.
- [11] M. Meira, R. E. Alvarez, C. J. Verucchi, L. J. Catalano, and C. R. Ruschetti, "Comparison of gases generated in mineral oil and natural ester immersed transformer's models," 2020, doi: 10.1109/EIC47619.2020.9158578.
- [12] E. Wannapring, C. Suwanasri, and T. Suwanasri, "Dissolved Gas Analysis methods for distribution transformers," in *13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016*, 2016, pp. 1–6, doi: 10.1109/ECTICon.2016.7561320.
- [13] S. S. M. Ghoneim, "Intelligent prediction of transformer faults and severities based on dissolved gas analysis integrated with thermodynamics theory," *IET Sci. Meas. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 388–394, May 2018, doi: 10.1049/iet-smt.2017.0450.
- [14] N. A. Bakar and A. Abu-Siada, "Fuzzy logic approach for transformer remnant life prediction and asset management decision," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 23, no. 5, pp. 3199–3208, Oct. 2016, doi: 10.1109/TDEI.2016.7736886.
- [15] I. B. M. Taha, S. S. M. Ghoneim, and H. G. Zaini, "A fuzzy diagnostic system for incipient transformer faults based on DGA of the insulating transformer oils," *Int. Rev. Electr. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 305–313, 2016, doi: 10.15866/iree.v11i3.8453.
- [16] T. Committee, I. Power, and E. Society, "IEEE Guide for the Use of Dissolved Gas Analysis Applied to Factory Temperature Rise Tests for the Evaluation of Mineral Oil-Immersed Transformers and Reactors," in *IEEE Std C57.130-2015*, STD20794 ed., New York: IEEE, 2016, pp. 1–17.
- [17] H. Syafruddin and H. P. Nugroho, "Dissolved Gas Analysis (DGA) for diagnosis of fault in oil-immersed power transformers: AA case study," 2020, doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230491.
- [18] S. Permana, S. Sumarto, and W. S. Saputra, "Analysis of Transformer Conditions using Triangle Duval Method," in *International Symposium on Material and Electrical Engineering (ISMEE)*, 2017, vol. 384, no. 1, pp. 1–8, doi: 10.1088/1757-899X/384/1/012065.
- [19] I. B. M. Taha, S. S. M. Ghoneim, and H. G. Zaini, "Improvement of Rogers four ratios and IEC Code methods for transformer fault diagnosis based on Dissolved Gas Analysis," in *2015 North American Power Symposium, NAPS 2015*, 2015, pp. 1–5, doi: 10.1109/NAPS.2015.7335098.
- [20] N. Zope, S. I. Ali, S. Padmanaban, M. S. Bhaskar, and L. Mihet-Popa, "Analysis of

132kV/33kV 15MVA power transformer dissolved gas using transport-X Kelman Kit through Duval's triangle and Roger's Ratio prediction," 2018, doi: 10.1109/ICIT.2018.8352342.

- [21] M. Duval and L. Lamarre, "The new Duval Pentagons available for DGA diagnosis in transformers filled with mineral and ester oils," *2017 IEEE Electr. Insul. Conf. EIC 2017*, no. June, pp. 279–281, 2017, doi: 10.1109/EIC.2017.8004683.
- [22] G. K. Irungu, A. O. Akumu, and J. L. Munda, "Fault diagnostics in oil filled electrical equipment: Review of duval triangle and possibility of alternatives," in *34th Electrical Insulation Conference, EIC 2016*, 2016, no. June, pp. 174–177, doi: 10.1109/EIC.2016.7548688.