Mutiara: MultidiciplinaryScientifict Journal
Volume 2, Number 3 Maret 2024
p-ISSN2988-7860 ;e-ISSN2988-7992

ANALISIS INTERPRETASI HASIL UJI *DISSOLVED GAS ANALYSIS* MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN METODE KOMBINASI DUVAL PENTAGON

Nur Al Anshari Munir
Institut Teknologi PLN, PT PLN (Persero)
Email: nuralanshari@itpln.ac.id / nur.anshari@pln.co.id

KATA KUNCI

Transformer, DGA, Duval Pentagon, Hydrocarbon, Fault Zone

Trafo, DGA, Duval Pentagon, Hidrokarbon, Zona Kegagalan

ABSTRACT

There are many methods and parameters for determining the condition diagnosis of an oil-insulated transformer through the results of the Dissolved Gas Analysis test. Some of them are the Duval methods developed by Michel Duval in the form of the Duval Triangle and Duval Pentagon. The latest method from Duval is the Duval Pentagon Combination, namely a combination of Duval Pentagon 1 and 2. This combination provides ten failure indication zones to help diagnose transformers based on parameter test results for the five main hydrocarbon gases. In this paper, it is explained how to interpret the DGA test results into the Duval Pentagon Combination Diagram of the test parameters of the five main hydrocarbon gases. Before going to the Duval Pentagon Combination, we first explain the use of Duval Pentagons 1 and 2. The test samples used in this paper are the results of DGA tests on several transformers that have a bad history, and then the hydrocarbon main gas parameters are taken for analysis based on the Duval Pentagon method. After that, a comparison was made with actual events based on the results of the transformer investigation, which is the sample in this paper. The results of the comparison with actual events obtained reinforcement, which can be taken into consideration for diagnosing the condition of the transformer. However, it should be remembered that there are several other methods for diagnosing conditions from the DGA test results, so comparing with other methods needs to be done to sharpen the analysis and narrow down the next appropriate action in handling the transformer.

ABSTRAK

Ada banyak metode dan parameter dalam menentukan diagnosa kondisi trafo berisolasi minyak melalui hasil uji Analisa Gas Terlarut. Beberapa diantaranya adalah metode Duval yang di kembangkan oleh Michel Duval berupa Segitiga Duval dan Duval Pentagon. Metode terkini dari Duval adalah Kombinasi Duval Pentagon, yaitu kombinasi dari Duval Pentagon 1 dan 2. Kombinasi ini memberikan sepuluh zona indikasi kegagalan dalam membantu diagnose trafo berdasarkan hasil uji parameter lima gas utama hidro karbon. Dalam makalah ini dijelaskan bagaimana cara menginterpretasikan hasil uji DGA kedalam diagram Kombinasi Duval Pentagon dari parameter uji lima gas utama hidro karbon. Sebelum menuju ke Kombinasi Duval Pentagon terlebih dulu di uraikan penggunaan Duval Pentagon 1 dan 2. Sampel uji yang digunakan dalam makalah ini adalah hasil uji DGA dari beberapa trafo yang memiliki riwayat buruk, kemudian diambil parameter gas utama hidro karbon untuk di analisis berdasarkan metode Duval Pentagon. Setelah itu dilakukan perbandingan dengan kejadian actual berdasarkan hasil investigasi trafo yang menjadi sampel dalam makalah ini. Hasil perbandingan dengan kejadian actual di dapatkan penguatan yang dapat menjadi pertimbangan untuk diagnose kondisi trafo, namun perlu di ingat bahwa ada beberapa metode lain dalam diagnosa kondisi dari hasil uji DGA sehingga membandingkan dengan metode lain perlu dilakukan untuk mempertajam analisa dan mengerucutkan tindakan yang tepat selanjutnya dalam menangani trafo tersebut.

PENDAHULUAN

Pada utilitas kelistrikan yang besar, transformator tenaga memiliki peran penting dalam mendistribusikan listrik yang kontinyu dan efisien ke konsumen (Hartono, 2018). Sehingga, gangguan pada transformator menjadi salah satuan caman kehandalan system kelistrikan dan membutuhkan pendekatan yang cermat untuk mendeteksi

dan menganalisis kerusakan yang mungkin terjadi. Salah satu pendekatan yang dapat menjadi acuan untuk mengetahui kondisi transformator adalah dengan melakukan pengujian analisa gas terlarut (*Dissolved Gases Analysis*) pada minyak transformator (Yulisusianto, Suyono, & Nurhasanah, 2015).

Analisis gas terlarut (DGA) pada transformator berisolasi minyak telah banyak digunakan untuk mendeteksi *incipient fault* (Digdayanti, Martiningsih, & Wardoyo, 2016). *Incipient fault* pada transformator dapat berupa munculnya busur listrik, korona, pemanasan berlebih pada minyak atau selulosa (kertas) yang dapat menyebabkan terbentuknya sejumlah gas mudah terbakar dalam minyak. Ada beberapa metode untuk interpretasi DGA dari hasil laboratorium, seperti yang direkomendasikan dalam IEC 60599-2015 09 dan IEEE C57.104-2019. Metodenya yang digunakan dalam Standar tersebut berdasarkan pada perhitungan ataupun perbandingan gas tertentu yang mudah terbakar dan secara historis berhubungan dengan gangguan pada transformator (Budiarto, Widhyarto, & Sulaiman, 2019). Data trend DGA dari pengujian laboratorium biasanya dicatat oleh personel pemeliharaan kemudian dibandingkan dengan kesalahan aktual yang di identifikasi oleh tenaga ahli melalui inspeksi internal jika transformator mengalami kerusakan atau kegagalan pasca gangguan.

Dalam analisis DGA, peneliti berfokus jumlah atau rasio lima gas utama hidro karbon. Karena munculnya gas utama hidro karbon mengindikasikan adanya kegagalan termal, elektris, atau campuran keduanya ataupun adanya *partial discharge*, *discharge* energy rendah, tinggi, dan *stray gasses*. Kegagalan yang meluas juga dapat memunculkan karbon monoksida (CO) dan karbondioksida (CO_2) (Aldi, 2020). Hal tersebut mengindikasikan adanya karbonisasi pada isolasi padat yang mengarah pada gangguan terjadi dibagian aktif transformator, atau bagian yang terisolasi oleh kertas seperti belitan dan sambungan.

Analisis hasil DGA yang digunakan adalah dengan menggunakan metode Duval Pentagon (HERWANTO, 2018). Duval Pentagon adalah pengembangan dari Duval Triangle yang ditemukan oleh Michel Duval pada tahun 2014, mewakili lima rasio gas utama hidro karbon kemudian digambarkan dalam bentuk segi lima dengan tujuh indikasi kegagalan di dalam minyak transformator. Data sampel hasil uji DGA dalam penilitan ini diambil dari transformator daya 60 MVA dengan riwayat hasil uji yang buruk beserta temuan actual selama investigasi.

METODE PENELITIAN

Ada banyak metode dalam menginterpretasikan hasil uji DGA, seperti yang sudah di rekomendasikan oleh standar IEC 60599 dan IEEE C57.104. Adapun analisis Duval merupakan pengembangan dari standar IEC 60599 dimana awalnya di tahun 2007 dikenal dengan Duval Triangle, kemudian pada tahun 2014 Michel Duval memperkenalkan Duval Pentagon. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi dari Duval Pentagon 1 & 2. Berikut uraian metodologi penelitian Interpretasi Kombinasi Duval Pentagon 1 & 2 dari hasil uji DGA trafo:

1. Peneliti membuat formula dan diagram Kombinasi Duval Pentagon pada Ms. Excel untuk memudahkan penggambaran rasio lima gas utama hidro karbon dari pengujian DGA minyak trafo.
2. Peneliti membuat formula untuk memproyeksikan dan menentukan titik pusat luasan (centroid) dari penggambaran rasio lima gas hidro karbon didalam diagram Pentagon.
3. Penelitian mengambil data dari hasil uji DGA minyak trafo yang memiliki riwayat buruk.
4. Data pengukuran lima gas utama hidro karbon dari hasil uji DGA kemudian dimasukkan kedalam program Ms. Excel yang telah dibuat.
5. Membuat analisis interpretasi dan membandingkan dengan hasil temuan aktual.

Lima gas utama hidro karbon yang didapatkan dari hasil uji DGA minyak trafo adalah Hidrogen (H_2), Asetilen (C_2H_2), Etilen (C_2H_4), Etana (C_2H_6), dan Metana (CH_4) (Syakur & Lazuardi, 2019). Kelima gas ini juga termasuk gas mudah terbakar yang berpotensi muncul dan larut dalam minyak trafo.

Dari data yang dikumpulkan peneliti, metode analisis hasil uji DGA laboratorium mencantumkan analisis TDCG, Rasio CO_2/CO, Rasio Roger, Rasio Donenburg, dan Segitiga Duval. Sehingga dengan melakukan analisis Duval Pentagon dapat memperkuat hasil asesmen kondisi minyak dengan membandingkan berbagai metode analisis lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Sampel Uji DGA

Hasil uji DGA minyak trafo yang digunakan hanya dari parameter uji 5 gas utama hidro karbon dalam satuan ppm (Nurani, 2017). Berikut data sampel hasil uji DGA dari 5 kasus trafo berbeda dengan riwayat hasil uji yang buruk beserta temuan hasil investigasi aktual.

Tabel 1.
Data sampel hasil uji DGA minyak trafo dari berbagai tempat

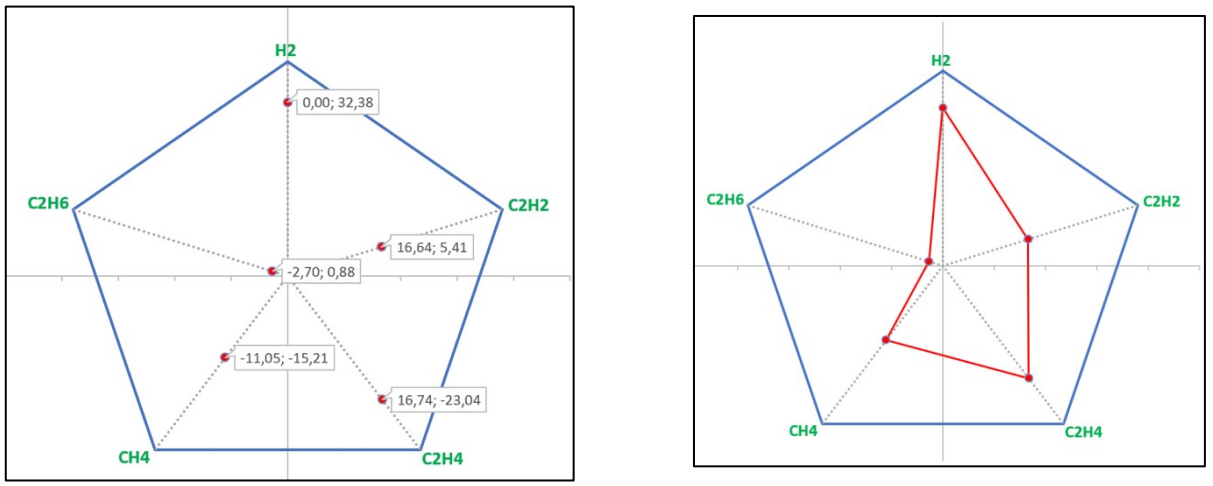
Trafo	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	Hasil Investigasi Aktual
1	653,02	379	57,22	574,34	352,89	Gangguan hubung singkat eksternal namun tembus hingga sisi internal trafo
2	98,6	30,4	313,81	1997,16	23,81	Lapisan frame-core yoke melenceng dan menyentuh body trafo
3	0	710,59	5,56	5,76	6,97	Grounding trafo kurang bagus, dan usia trafo termasuk tua
4	47,49	68,95	4469,76	9006,47	0	Lapisan frame-core yoke melenceng dan menyentuh body trafo
5	58,03	1386,7	357,63	5,96	567,13	Kondisi OLTC buruk, dan usia trafo termasuk tua

a. Menentukan kordinat masing-masing gas dalam Pentagon Mengambil contoh dari kasus trafo-1, persentase rasio dari tiap gas adalah
Total Gas = H2 + CH4 + C2H6 + C2H4 + C2H2
= 653,02 ppm + 379 ppm + 57,22 ppm + 574,34 ppm + 352,89 ppm
= 2016,48 ppm

- H2 = 2016 653,02,48 ppm ppm× 100% = 32,38%
- CH4 = 2016 379,48 ppm ppm× 100% = 18,80%
- C2H6 = 2016 57,22,48 ppm ppm× 100% = 2,84%
- C2H4 = 2016 574,34,48 ppm ppm× 100% = 28,48%
- C2H2 = 2016 352,89,48 ppm ppm× 100% = 17,50%

Kordinat (x, y) masing-masing gas:

- Gas Hidrogen (H2)
  $x_i = 32{,}38 \times \cos 90^o = 0{,}00$
  $y_i = 32{,}38 \times \sin 90^o = 32{,}38$
- Gas Metana (CH4)
  $x_i = 18{,}80 \times \cos 234^o = -11{,}05$
  $y_i = 18{,}80 \times \sin 234^o = -15{,}21$
- Gas Etana (C2H6)
  $x_i = 2{,}84 \times \cos 162^o = -2{,}70$
  $y_i = 2{,}84 \times \sin 162^o = -0{,}88$
- Gas Etilen (C2H4)
  $x_i = 28{,}48 \times \cos 306^o = 16{,}74$
  $y_i = 28{,}48 \times \sin 306^o = -23{,}04$
- Gas Asetilen (C2H2)
  $x_i = 17{,}50 \times \cos 18^o = 16{,}64$
  $y_i = 17{,}50 \times \sin 18^o = 5{,}4$



Gambar 1. (a) Kordinat (x_i, y_i) setiap gas dalam pentagon. (b) Kurva polygon yang terbentukdalam pentagon darikelima gas hidrokarbon.

Menentukankordinat*Centroid*darikurvapoligon yang terbentukMenghitungluas (*area*) kurvapoligon:

$$A = \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{n-1}(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$= \frac{1}{2}[(16{,}64 \times 32{,}38) - (0 \times 5{,}41) + (0 \times 0{,}88) - ((-2{,}70) \times 32{,}38) + ((-2{,}70) \times (-15{,}21)) - ((-11{,}05) \times 0{,}88) + ((-11{,}05) \times (-23{,}04)) - (16{,}74 \times (-15{,}21)) + (16{,}74 \times 5{,}41) - (16{,}64 \times (-23{,}04))]$$

$A = 830{,}15$

Titik kordinat *Centroid* (C_x , C_y)

$$C_x = \frac{1}{6A}\sum_{i=0}^{n-1}(x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_x = \frac{1}{6(830{,}15)}[((16{,}64 + 0)((16{,}64 \times 32{,}38) - (0 \times 5{,}41))) + ((0 + (-2{,}70))((0 \times 0{,}88) - ((-2{,}7) \times 32{,}38))) + (((-2{,}70) + (-11{,}05))(((-2{,}70) \times (-15{,}21)) - ((-11{,}05) \times 0{,}88))) + (((-11{,}05) + 16{,}74)(((-11{,}05) \times (-23{,}04)) - (16{,}74 \times (-15{,}21)))) + ((16{,}74 + 16{,}64)((16{,}74 \times 5{,}41) - (16{,}64 \times (-23{,}04))))]$$

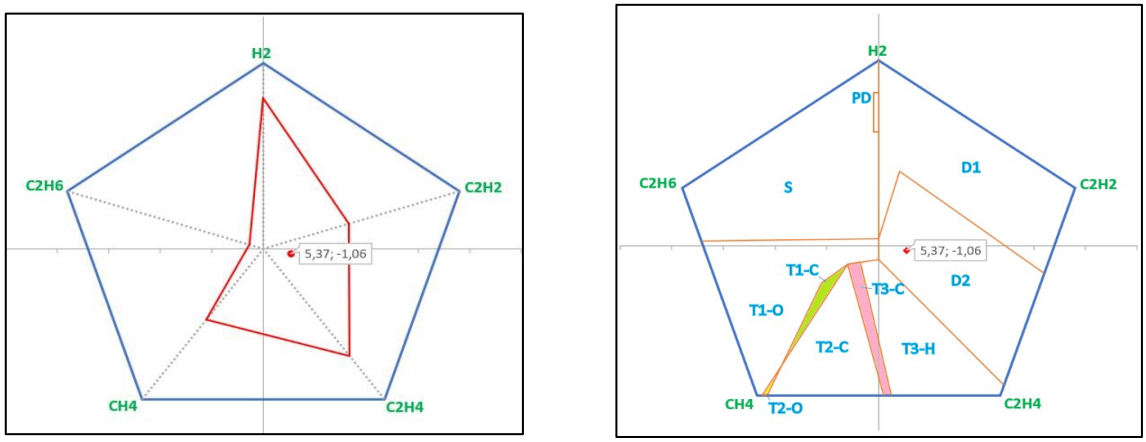
$C_x = 5{,}37$

$$C_y = \frac{1}{6A}\sum_{i=0}^{n-1}(y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$C_y = \frac{1}{6(830{,}15)}\Big[\Big((5{,}41 + 32{,}38)\big((16{,}64 \times 32{,}38) - (0 \times 5{,}41)\big)\Big) + ((32{,}38 + 0{,}88)((0 \times 0{,}88) - ((-2{,}7) \times 32{,}38))) + ((0{,}88 + (-15{,}21))(((-2{,}70) \times (-15{,}21)) - ((-11{,}05) \times 0{,}88))) + (((-15{,}21) + (-23{,}04))(((-11{,}05) \times (-23{,}04)) - (16{,}74 \times (-15{,}21))))$$

$+ (((-23{,}04) + 5{,}41)((16{,}74 \times 5{,}41) - (16{,}64 \times (-23{,}04))))]$

$C_y = -1{,}06$



Gambar 2. (a) Titik kordinat *Centroid* dari kurva poligon. (b) Titik *centroid* dalam Kombinasi Duval Pentagon dilengkapi dengan 10 zona indikasi

Dapat dilihat dari gambar 7b, untuk kasus trafo-1, indikasi yang ditunjukkan dari metode Kombinasi Duval Pentagon adalah berada di zona D2 yaitu *Discharge* Elektris Energi Tinggi.

B. Rekap Hasil Keseluruhan Kasus Trafo

Dengan menggunakan metode perhitungan untuk mencari kordinat *centroid* dan penempatan dalam Duval Pentagon seperti kasus trafo-1, maka berikut rekap untuk 4 kasus trafo lainnya.

Tabel 2.
Rekap Hasil Keseluruhan Kasus Trafo

Trafo	H2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	Pentagon			Hasil Investigasi Aktual
						1	2	Komb	
1	653,02	379	57,22	574,34	352,89	D2	D2	D2	Gangguan hubung singkat eksternal namun tembus hingga sisi internal trafo
2	98,6	30,4	313,81	1997,16	23,81	T3	T3-H	T3-H	Lapisan *frame-core yoke* melenceng dan menyentuh *body* trafo
3	0	710,59	5,56	5,76	6,97	T1	O	T2-O	Kondisi *grounding* trafo buruk, dan usia trafo termasuk tua
4	47,49	68,95	4469,76	9006,47	0	T3	T3-H	T3-H	Lapisan *frame-core yoke* melenceng dan menyentuh *body* trafo
5	58,03	1386,7	357,63	5,96	567,13	T1	O	T1-O	Kondisi OLTC buruk, dan usia trafo termasuk tua

Dari tabel 2 dapat diruaikan per-kasus sebagai berikut:

1) Kasus-1 :Indikasi D2 (Discharge elektris energy tinggi)

Discharge energy tinggi dapat disebabkan dari besarnya arus gangguan hubung singkat yang tembus hingga internal trafo baik disisi HV ataupun LV.

2) Kasus-2 &4 :Indikasi T3-H (Kegagalan termal pada minyak> 700 oC)

Kegagalan termal disebabkan karena adanya hubung singkat antara lapisan frame-core yoke yang melenceng dan mengenai *body* trafo. Dari hubung singkat ini tidak menimbulkan discharge karena *frame-core yoke* bukan

merupakan bagian *active-part* trafo namun memunculkan induksi yang lama kelamaan menjadi panas jika bersentuhan dengan *ground* (*body* trafo).

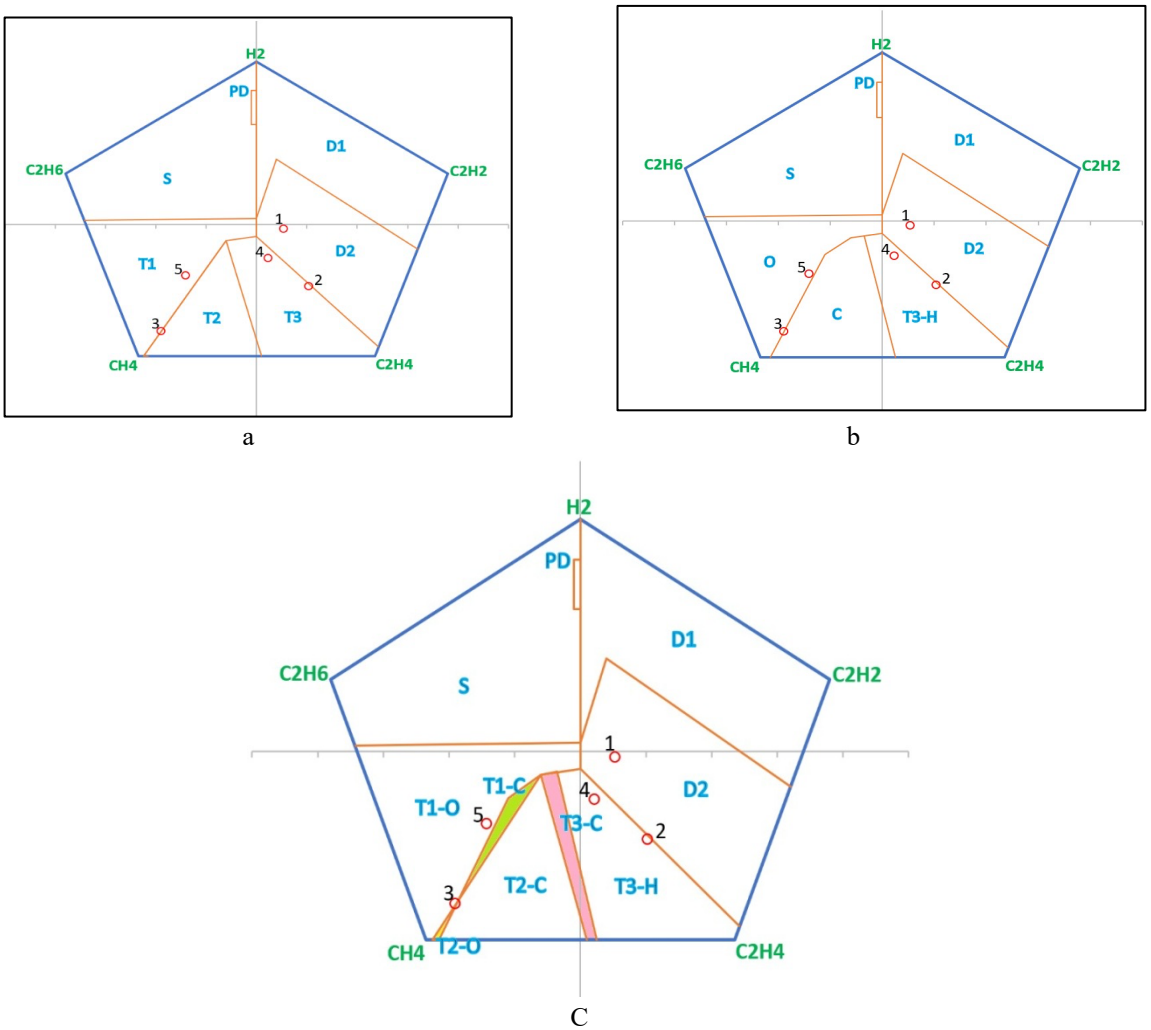
3) Kasus-3 :Indikasi T2-O (Kegagalan termal 300 – 700 oC, tanpa karbonisasi isolasi padat)

Kasus ini cukup unik karena berada pada zona baru di kombinasi pentagon (Djelantik, 2015). Namun terlepas dari itu, kondisi trafo dengan *grounding* yang buruk dapat menyebabkan trafo *overheating* karena tidak adanya fasilitas untuk membuang arus bocor dari trafo.

4) Kasus-5 :Indikasi T1-O (Kegagalan termal< 300 oC, tanpa karbonisasi isolasi padat)

Kondisi OLTC yang buruk tidak secara langsung menyebabkan trafo mengalami kegagalan termal didalam *maintank* trafo karena ruang OLTC berbeda dengan *maintank* sehingga minyak tidak bercampur (PLN, 2014). Namun jika bagian kontak selektor pada OLTC rusak, dapat menyebabkan arus yang besar mengalir di belitan primer dan menyebabkan pemanasan berlebih.

Gambaran dalam diagram Kombinasi Duval Pentagon dari tabel 2 dapat dilihat pada gambar 8c.



Gambar 3. Gambaran dari 5 gas utama hidro karbon pada table 2. (a) Indikasi untuk keseluruhan 5 kasus trafo dalam diagram Duval Pentagon 1. (b) Indikasi untuk keseluruhan 5 kasus trafo dalam diagram Duval Pentagon 2. (c) Indikasi untuk keseluruhan 5 kasus trafo dalam diagram Kombinasi Duval Pentagon.

KESIMPULAN

Beberapa orang mungkin belum familiar dengan Duval Pentagon apalagi dengan adanya tiga tipe Pentagon, yaitu Duval Pentagon 1, Duval Pentagon 2, Duval Pentagon Kombinasi. Hal ini bukan untuk mempersulit pengguna dalam menentukan hasil diagnose tapi justru memfasilitasi pengguna untuk menentukan tindakan yang perlu dilakukan ketika kegagalan dapat di identifikasi.

Duval Pentagon 1 memiliki enam indikasi kegagalan yang juga digunakan dalam IEC 60599 dan Segitiga Duval 1, sedangkan Duval Pentagon 2 menambahkan tiga tipe indikasi kegagalan yang juga digunakan pada Segitiga Duval 4 dan 5 ditahun 2008.

Dari hasil uji sampel didalam Kombinasi Duval Pentagon dengan hasil investigasi actual didapatkan penguatan interpretasi yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk diagnosa dan menentukan tindakan yang tepat dalam penanganan trafo selanjutnya. Membandingkan dengan metode lain dalama nalisis hasil DGA masih perlu dilakukan untuk mempertajam analisa dan menyimpulkan diagnosa yang lebihkritis.

DAFTAR PUSTAKA

Aldi, Rahmad Rizky. (2020). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Teknologi Multisensor Network*. Politeknik Negeri Sriwijaya.

Budiarto, Rachmawan, Widhyarto, Derajad Sulistyo, & Sulaiman, Muhammad. (2019). *Transisi energi berbasis komunitas di kepulauan dan wilayah terpencil*. Universitas Gadjah Mada.

Digdayanti, Risti Nurita, Martiningsih, Wahyuni, & Wardoyo, Siswo. (2016). Aplikasi Fuzzy Logic Pada Metode Dissolved Gas Analysis Untuk Mengklasifikasikan Tipe Fault Pada Minyak Trafo. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, *1*(1), 1–8.

Djelantik, Sukawarsini. (2015). *Asia-Pasifik: Konflik, Kerja Sama, dan Relasi dan Antarkawasan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.

Hartono, Faiz Munaf. (2018). *Pengukuran Dan Analisis Kualitas Daya Listrik Di Pt. Techpack Asia*. Universitas Muhammadiyah Semarang.

Herwanto, Rinaldi. (2018). *Analisis Perbandingan Gangguan Transformator Ust Unit 1-4 Pltu Suralaya Berdasarkan Hasil Uji Dga Menggunakan Metode Doernenburg, Duval Triangle Dan Duval Pentagon*. Universitas Mercu Buana Jakarta.

Nurani, Citra Cahya. (2017). *Analisis Dan Teknik Interpretasi Perbandingan Dissolved Gas Analysis (Dga) Antara Minyak Mineral Dan Minyak Ester Menggunakan Metode Kromatografi Gas*.

PLN, P. T. (2014). Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga. *Jakarta: PT. PLN (Persero)*.

Syakur, Abdul, & Lazuardi, Wildan. (2019). Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator. *Teknik*, *40*(1), 63–68.

Yulisusianto, Gatut, Suyono, Hadi, & Nurhasanah, Rini. (2015). *Diagnosis kondisi transformator berbasis analisis gas terlarut menggunakan metode sistem pakar fuzzy*. Brawijaya University.