

Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator

Abdul Syakur^{*}, Wildan Lazuardi

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Transformator (trafo) merupakan peralatan utama dalam pemasokan listrik dari unit pembangkitan menuju konsumen. Oleh karena itu, perlu perhatian khusus dalam pemeliharaan kinerja transformator agar tidak terjadi kerusakan pada transformator. Selama trafo beroperasi maka minyak trafo mengalami pembebanan berupa beban elektrik dan termal yang dapat menyebabkan timbulnya gas-gas hidrokarbon terlarut pada minyak yang berpotensi menyebabkan gagalnya minyak sebagai fungsi isolasi yang baik. Karenanya diperlukan pemantauan khusus terhadap gas-gas tersebut. Salah satu cara untuk menganalisis gas terlarut dalam minyak adalah dengan menggunakan metode Dissolved Gas Analysis (DGA). DGA akan mengekstraksi gas tersebut untuk diketahui indikasi gangguan berdasarkan hasil interpretasi data gas-gas hidrokarbon terlarut yang dilakukan. Metode ini juga mampu memprediksi kerusakan jangka panjang, sehingga kerusakan pada transformator dapat dicegah. Hasil analisis DGA pada transformator menghasilkan indikasi berupa Discharge of thermal fault yang didapat dari hasil intrepetasi data menggunakan metode Rasio Roger dan Segitiga Duval. Selain itu, hasil pengujian tegangan tembus menunjukkan kondisi minyak yang masih baik yaitu kekuatan dielektrik > 50 kv dan pengukuran kandungan air juga masih baik yaitu sebesar < 25 ppm.

Kata kunci: DGA; gas terlarut dalam minyak; minyak transformator; Rasio Roger, Segitiga Duval

Abstract

[Title: Application of Interpretation of Roger's Ratio, Duval's Triangle Methods, Breakdown Test, Water Content Test for Feasibility Transformer Oil Diagnostic] Transformers is a vital instrument to distribute electricity from the power plant to the consumer. Therefore, it needs a special maintenance to the performance of the transformer in order to avoid the damage. During the operation, the transformer transformer oil will affected some thermal loading and electrical loading. Due to the load accumulation, it can cause dissolved hydrocarbon gases in oil that could potentially lead to a breakdown in the transformer. We need special monitoring against these gases. The other way to analyze the gas dissolved in oil is by using Dissolved Gas Analysis (DGA). The DGA will extract gases to know indications based on the interpretation of the data were performed. This methode can also analize the fault for a long term prediction, therefore the damage of the transformer can be prevented. The results of DGA analysis on the transformer is Discharge of thermal fault obtained from data intrepetation using Roger's Ration and Duval's Triangle method. In other way, the results of voltage breakdown testing indicate oil condition are still good that dielectric strength > 40 kv and for the water content measurement also has a good result at < 25 ppm..

Keywords: DGA; dissolve gas in oil; transformer oil; Roger's Ratio, Duval's Triangle.

^{*)} Penulis Korespondensi.
E-mail: gakusei2003@yahoo.com

1. Pendahuluan

Transformator (trafo) daya merupakan peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Fungsi utama dari trafo adalah untuk mengubah level tegangan dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain. Trafo biasanya digunakan pada suatu pembangkit listrik untuk menaikkan tegangan dari generator untuk disalurkan ke gardu induk tegangan tinggi. Apabila terjadi kerusakan pada trafo akan menyebabkan penyaluran listrik menjadi terganggu. Perbaikan trafo memerlukan waktu yang lama dan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus dalam perawatan trafo agar tidak sampai terjadi kerusakan atau kegagalan operasi.

Kelangsungan operasi trafo sangat bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasinya. Salah satunya adalah kualitas sistem isolasi minyak trafo. Minyak trafo selain sebagai media isolasi juga sebagai media pendingin pada trafo. Selama trafo beroperasi maka minyak trafo di dalamnya akan mengalami pembebanan berupa beban listrik dan beban termal yang berasal baik dari belitan maupun inti trafo. Beban listrik dan termal ini dapat menyebabkan adanya gas-gas terlarut pada minyak trafo. Gas-gas dalam minyak trafo dapat menimbulkan indikasi gangguan dan menyebabkan penurunan kualitas isolasi pada minyak. Akibat penurunan kualitas isolasi tersebut dapat menyebabkan terjadinya *breakdown* atau kerusakan pada trafo jika tidak dilakukan pemeliharaan lebih lanjut pada minyak trafo.



Gambar 1. Myrkos Portable DGA Micro GC (DGA Analyzer)

Pengujian DGA ini menggunakan alat Myrkos *Portable DGA Micro GC (DGA Analyzer)* seperti pada Gambar 1 buatan Canada yang menggunakan teknologi *Gas Chromatography (GC)* dalam melakukan pemisahan dan pembacaan konsentrasi gas pada minyak trafo tersebut.

Untuk itu diperlukan analisis mengenai minyak isolasi trafo dengan mengukur parameter gas terlarut untuk mengetahui kemungkinan gangguan yang terjadi pada trafo. Metode ini dikenal dengan nama DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan pengukuran DGA ini menggunakan teknologi Myrkos *Portable DGA MicroGC*. Makalah ini menyajikan penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, *Breakdown Test*, dan *Water Content Test* untuk menguji kualitas minyak trafo sehingga bermanfaat untuk menentukan kelayakan trafo sebelum digunakan.

Analisis kualitas minyak dilakukan dengan menggunakan metode tersebut lalu diambil kesimpulan berupa rekomendasi layak dan tidaknya minyak trafo tersebut untuk digunakan.

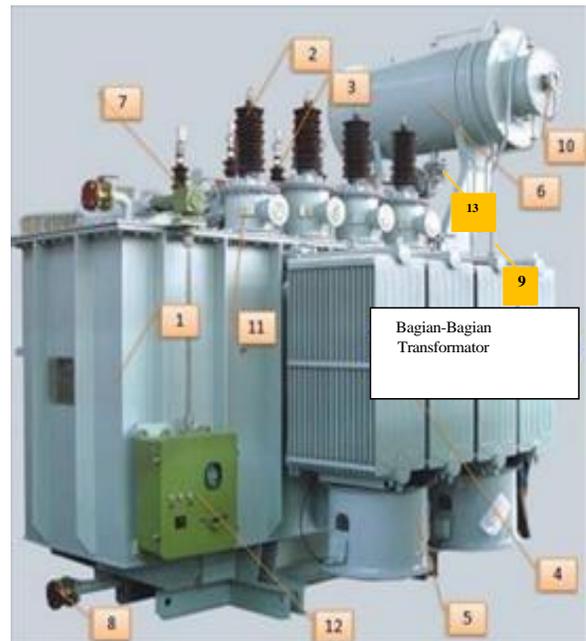
2. Bahan dan Metode

2.1 Transformator Daya

Transformator Daya 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.

2.2 Bagian-bagian Transformator Daya

Dalam buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga disebutkan bahwa transformator memiliki bagian konstruksi tertentu untuk dapat berjalan sesuai fungsinya dalam menyalurkan daya listrik. Berikut ini bagian-bagian transformator yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagian transformator

Keterangan :

1. Tangki Transformator
2. *Bushing* Tegangan Tinggi
3. *Bushing* Tegangan Rendah
4. Radiator
5. Kipas Pendingin
6. Tangki Konservator
7. Sistem Terminal Pentanahan
8. *Drain Valve*
9. *Dehydrating* Pernafasan
10. Alat Ukur Suhu Minyak dan Tekanan
11. *Bushing* Transformator Arus
12. *Control Panel*
13. Relay Bucholtz

2.3 Minyak Isolasi Transformator

2.3.1 Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bagian dari transformator daya yang berfungsi antara lain sebagai media pendingin, media isolasi, media/alat untuk memadamkan busur api serta perlindungan alat terhadap korosi dan oksidasi pada transformator (Rahmatullah, 2011).

2.3.2 Standar Spesifikasi Minyak Transformator

Dalam buku pedoman penerapan spesifikasi dan pemeliharaan minyak isolasi, SPLN 49-1 disebutkan minyak isolator transformator perlu memenuhi beberapa spesifikasi tertentu agar proses isolasi dari minyak trafo dapat berjalan optimal. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi minyak trafo bekas pakai menurut SPLN 49-1 : 1982.

Tabel 1. Standar Spesifikasi Minyak Trafo Bekas (SPLN 49-1 : 1982)

No	Parameter	Batasan
1	Tegangan Tembus	<ul style="list-style-type: none"> • 50 Kv, 2,5 mm untuk tegangan > 170 kV • 40 kV/2,5 mm untuk teg. 70 – 170 kV • 30 kV/2,5 mm untuk tegangan < 70 kV
2	Kadar Air	<20 mg/l untuk >170kV
3	Faktor kebocoran dielektrik	< 0,2-2,0
4	Tahanan jenis	1 G Ω.m
5	Angka Kenetralan	< 0,5 mg KOH/gr
6	Sedimen	Tidak terukur
7	Titik nyala	Penurunan Maksimum 15°C
8	Tegangan permukaan	>0,015 N/m
9	Kandungan Gas	Sedang digarap IEC

2.3.3 Gas Terlarut Minyak Transformator

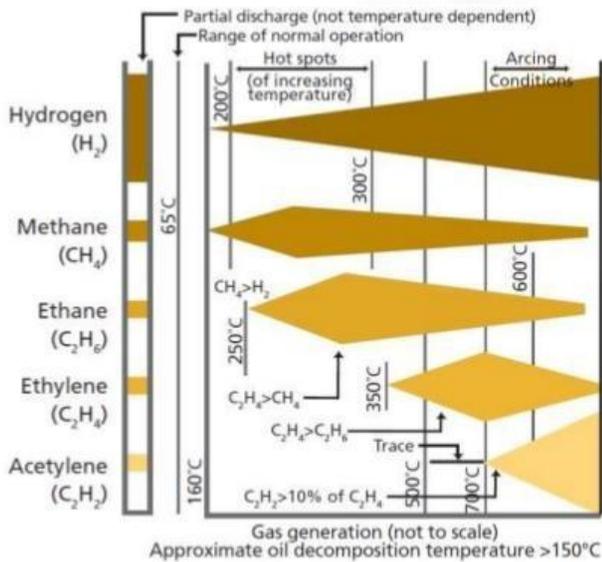
Minyak transformator merupakan campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon. Minyak isolasi mineral dibentuk dari beberapa molekul yang mengandung gugus kimia CH₃, CH₂, dan CH yang dihubungkan oleh ikatan molekul karbon.

Pemutusan beberapa ikatan C-H dan C-C seperti pada Gambar 3, dapat terjadi sebagai akibat gangguan elektrik dan *thermal*, dengan bentuk pecahan kecil yang tidak stabil, dalam bentuk radikal atau ion seperti H*, CH₃*, CH₂*, CH* atau C* (diantara bentuk lain yang lebih kompleks) yang terkombinasi kembali dengan cepat melalui reaksi kompleks menjadi molekul gas seperti hidrogen (H- H), metana (CH₃-H), etana (CH₃-CH₃), etilen (CH=CH₂) atau asetilen (CH≡CH), gas-gas ini dikenal dengan nama *fault gas* (Setiawan, 2013).

Mineral Oil		C _n H _{2n-2}
Hydrogen	H-H	H ₂
Methane		CH ₄
Ethane		C ₂ H ₆
Ethylene		C ₂ H ₄
Acetylene		C ₂ H ₂
Carbon Dioxide	O=C=O	CO ₂
Carbon Monoxide	C≡O	CO
Oxygen	O=O	O ₂
Nitrogen	N≡N	N ₂

Gambar 3. Gas terlarut minyak isolasi transformator.

Pada Gambar 4 dapat dijelaskan mengenai terbentuknya *fault gas* dan konsentrasinya terhadap kenaikan suhu. Gas hidrogen dan metana mulai terbentuk pada suhu sekitar 150⁰C. Gas etana mulai terbentuk pada suhu 250⁰C. Gas etilen terbentuk pada suhu sekitar 350⁰C. Gas asetilen muncul pada suhu sekitar 700⁰C. Konsentrasi gas etana dan etilen menjadi indikasi penyebab gangguan logam panas dan jika asetilen dalam jumlah besar akan menyebabkan adanya busur api (*internal arcing*). Sedangkan hidrogen, metana, dan etana penyebab indikasi *partial discharge* atau *corona* (Setiawan, 2013).



Gambar 4. Pembentukan *fault gas* berdasarkan temperature

2.4 Metode Pemeliharaan Trafo

Pemeliharaan adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan.

2.5 Macam-macam Pemeliharaan Trafo

Macam-macam pemeliharaan pada transformator sebagai berikut :

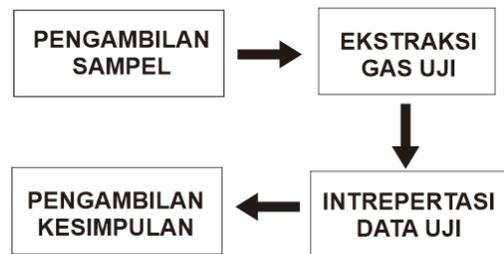
1. Pada saat transformator beroperasi ada beberapa pemeriksaan dan analisa yang harus dilakukan, antara lain: tegangan tembus (*breakdown voltage*), analisa gas terlarut (*dissolved gas analysis, DGA*), analisa minyak isolasi secara menyeluruh (sekali setiap 10 tahun)

2. Pemeriksaan dan analisa kandungan gas terlarut (*Dissolved gas analysis, DGA*), untuk mencegah terjadinya: *partial discharges*, Kegagalan thermal (*thermal faults*), Deteriorasi pemburukan kertas isolasi/laminasi.
3. Pemeriksaan dan analisa minyak isolasi secara menyeluruh, meliputi: *power factor* (cf. Tan δ), kandungan air (*water content*), *neutralisation number*, *interfacial tension*, *furfural analysis* dan kandungan katalisator negatif (*inhibitor content*).
4. Pengamatan dan pemeriksaan langsung (*Visual inspections*), meliputi : kondisi fisik transformator secara menyeluruh; alat-alat ukur, relay, saringan/filter dll; serta pemeriksaan dengan menggunakan sinar infra- merah (*infrared monitoring*) setiap 2 tahun sekali.

2.6 Dissolve Gas Analysis (DGA)

Dissolved Gas Analysis (DGA) secara harfiah dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo (Rahmatullah, 2013). Keuntungan utama uji DGA adalah deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada transformator yang diujikan. Tata cara dan instruksi kerja untuk melakukan pengujian DGA ditunjukkan pada Gambar 5. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Irwan Iryanto (2011) mengenai Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Akibat Pembebanan dan Penuaan.

PENGUJIAN DGA



Gambar 5. Langkah uji DGA

2.6.1 Metode Interpretasi Rasio Roger

Metode rasio Roger merupakan salah satu cara untuk menganalisis gas terurai dari suatu minyak transformator. Metode ini membandingkan nilai-nilai satu gas dengan gas dengan gas yang lain seperti halnya pada rasio *doernenburg*. Gas-gas yang digunakan dalam analisis menggunakan *roger's ratio* adalah C₂H₂/C₂H₄, CH₂/H₂, C₂H₄/C₂H₆. Jenis kode dan diagnosa gangguan dengan rasio Roger berdasarkan standar IEEE C57.104-2008.

Tabel 2. Kode–kode indikasi gangguan metode Rasio Roger

Case	R2 C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	R1 CH ₄ /H ₂	R5 C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
0	<0,1	>0,1 to <0,1	<0,1
1	<0,1	<0,1	<0,1
2	0,1 to 3,0	0,1 to 1,0	>0,3
3	<0,1	>0,1 to <1,0	1,0 to 3,0
4	<0,1	>1,0	1,0 to 3,0
5	<0,1	>1,0	>0,3

Berikut merupakan penjelasan terkait kondisi-kondisi di atas: **Kode 0**, tidak terjadi indikasi gangguan pada minyak isolasi trafo sehingga kondisi minyak masih dalam keadaan baik. Namun perlu tetap dilakukan pemantauan akan kenaikan gas terlarut lainnya dengan pengambilan sampel uji pada interval waktu berikutnya. **Kode 1**, terjadi pelepasan muatan yang disebabkan udara yang terjebak dalam sistem isolasi atau minyak mengandung banyak kadar air. Selain itu bisa juga disebabkan oleh operasi dari isolasi padat yang diakibatkan oleh *sparking* atau *arcing* atau loncatan arus yang biasanya menimbulkan gas CO dan CO₂. **Kode 2**, terjadi loncatan bunga api akibat *sparking* yang terus menerus antara gulungan dengan gulungan atau gulungan dengan *ground*, atau pada *tap changer* pada saat *switching*, atau kebocoran minyak isolasi dari *tank tap changer* ke *tank* utama. Kondisi ini menyebabkan menurunnya harga dielektrik dari minyak isolasi. **Kode 3**, terjadi *overheating* pada isolasi kawat penghantar, biasanya menimbulkan gas CO dan CO₂ karena melibatkan isolasi selulosa. **Kode 4**, terjadi *overheating* pada inti transformator. Hubung singkat pada lapisan laminasi inti. *Overheating* disebabkan karena adanya arus *eddy*. Kontak hubung yang jelek pada sisi terminal *incoming*, atau kontak pada *tap changer*. Terjadi sirkulasi arus antara inti transformator dengan *ground*, karena sistem *grounding* transformator tidak satu titik. **Kode 5**, sama seperti kode 4 hanya saja gangguan yang terjadi berakibat kepada kerusakan isolasi selulosa dan akan menimbulkan gas CO dan CO₂.

2.6.2 Metode Interpretasi Segitiga Duval

Metode *duval's triangle* menggunakan standar IEC 60599-2007-05. Metode *duval's triangle* merupakan pengembangan dari rasio standar IEC 60599 yang kemudian direpresentasikan dalam enam zona gangguan pada segitiga sama sisi. Kondisi khusus yang diperhatikan dengan metode ini adalah konsentrasi metana (CH₄), etilen (C₂H₄), dan asetilen (C₂H₂). Konsentrasi total ketiga gas ini adalah 100% namun perubahan komposisi dari ketiga gas ini menunjukkan kondisi fenomena kegagalan.

Daerah pada segitiga duval pada Tabel 3 terbagi atas enam zona indikasi gangguan pada minyak trafo. Keenam zona tersebut dapat mewakili berbagai karakteristik kegagalan pada minyak trafo.

Tabel 3. Segitiga Duval dan kode zona gangguannya

Segitiga Duval (IEC 60599-2007-05)		
Zona Duval Triangle	Zona	Indikasi Gangguan
	T1	Thermal faults, ≤ 300°C
	T2	Thermal faults, 300°C < T ≤ 700°C
	T3	Thermal faults, > 700°C
	D1	Discharge energi rendah
	D2	Discharge energi tinggi
	DT	Campuran termal dan electrical fault
PD	Partial Discharge	

2.7 Breakdown Voltage dan Water Content pada Minyak Isolasi.

Breakdown voltage atau Tegangan tembus adalah besarnya tegangan ketika tembus listrik di antara elektroda yang terpisah 2,5 mm pada laju standar. Tegangan tembus ini sangat tergantung pada kandungan kontaminan dalam minyak, terutama air. Sedikit kenaikan kadar air di dalam minyak akan menyebabkan pengurangan yang tajam pada nilai tegangan tembus. Standar tegangan tembus untuk keadaan minyak isolasi yang digunakan oleh PLN seperti pada tabel 4 yang mengacu pada standar IEEE C57.106-2006, sebagai berikut :

Tabel 4. Standar tegangan tembus pada minyak transformator

Parameter	Kategori	Baik (kV)	Cukup Baik (kV)	Buruk (kV)
Tegangan Tembus (kV)	O, A	> 60	50–60	< 50
	B	> 50	40–50	< 40
	C	> 40	30–40	< 30

Hal ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Syakur dan Facta (2005) mengenai perbandingan tegangan tembus media isolasi udara dan media isolasi minyak trafo menggunakan elektroda bidang-bidang. Wibowo (2008) juga melakukan penelitian mengenai analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak Shell diala B pada suhu 30°C-130°C

Sedangkan pengukuran kadar air (*Water Content*) pada minyak trafo adalah untuk mengetahui jumlah

kandungan air pada minyak trafo. Ada dua sumber utama kenaikan air dalam isolasi transformator, yaitu masuknya air dari atmosfer (udara luar) serta degradasi selulosa dan minyak. Keberadaan kandungan air dalam minyak bisa dapat terjadi dalam bentuk terlarut dan dapat pula hadir dalam bentuk senyawa hidrat, yaitu zat padat yang mengikat beberapa molekul air sebagai bagian dari strukturnya.

Standar kandungan air untuk keadaan minyak isolasi yang digunakan oleh PLN seperti pada Tabel 5 yang mengacu pada standar IEEE C57.106-2006, sebagai berikut :

Tabel 5. Standar *Water Content* pada minyak transformator

Parameter	Kategori	Baik	Cukup Baik	Buruk
Kadar air	O, A	< 5	5 – 10	> 10
Terkoreksi pada 20°C (mg/kg)	B	< 5	5 – 15	> 15
	C	< 10	10 – 25	> 25

Keterangan :

O = Transformator dengan Tenaga Kerja > 400 kV

A = Transformator dengan Tenaga Kerja 170 – 400 kV

B = Transformator dengan Tenaga Kerja 72,5 – 170 kV

C = Transformator dengan Tenaga Kerja < 72,5 kV

3. Pembahasan

3.1 Hasil Uji Menggunakan DGA Analyzer

Pengujian untuk menganalisis indikasi gas yang terlarut pada minyak transformator generator turbin 10 dilakukan dengan menggunakan alat Myrkos *Portable DGA MicroGC* (DGA Analyzer). Pengujian dilakukan di ruang kerja *Predictive Maintenance* dengan dilakukan oleh satu orang teknisi ahli.

Hasil rekap data pengujian minyak trafo ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data gas terlarut minyak trafo

No	Senyawa	Nama Gas	Nilai (ppm)
1	H ₂	Hidrogen	9
2	CH ₄	Metana	24
3	CO	Karbon Monoksida	22
4	CO ₂	Karbon Dioksida	870
5	C ₂ H ₄	Etilen	17
6	C ₂ H ₆	Etana	38
7	C ₂ H ₂	Asetilen	0

Konsentrasi gas terlarut yang terdapat pada minyak trafo GT 10 dibandingkan terhadap standar IEEE yaitu pada IEEE std. C57-104.1991 yang mana ditandai oleh warna Kuning, dan warna Merah. Konsentrasi gas terlarut yang telah melebihi standar

IEEE untuk kategori “*PRE-ALARM*” diberi label warna kuning yang menandakan kandungan gas sudah melebihi batas standar isolasi minyak berdasarkan TDCG. Kategori “*ALARM*” diberi label warna merah yang menandakan perlu adanya tindak lanjut terhadap indikasi kegagalan yang terjadi pada minyak trafo.

3.2 Interpretasi Data

3.2.1 Interpretasi Data Metode Rasio Roger

Metode rasio *roger* menggunakan tiga buah rasio dalam menganalisis gangguan yang terjadi pada minyak trafo. Tiga buah rasio ini didasarkan pada gas yang mudah terbakar. Dengan cara membandingkan nilai-nilai satu gas dengan gas yang lain. Gas-gas yang digunakan adalah C₂H₂/C₂H₄, C₂H₂/C₂H₆, C₂H₂/H₂

Tabel 7. Data metode Rasio Roger minyak transformator

	Rasio	Nilai
Rasio 1	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	0
Rasio 2	CH ₄ /H ₂	2,666666667
Rasio 3	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆	0

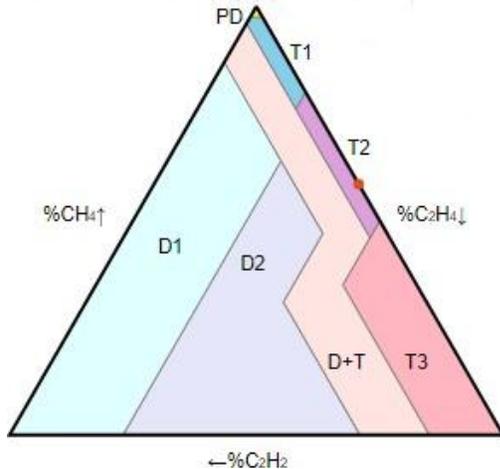
Tabel 7 menunjukkan bahwa hasil analisis indikasi minyak trafo yang didapatkan pada Tabel 2 berada pada kondisi 3 sesuai pada IEEE std C57.104-2008. Hal ini membuktikan bahwa terjadi indikasi gangguan *overheating* pada isolasi kawat penghantar, biasanya menimbulkan gas CO dan CO₂ karena melibatkan isolasi selulosa. Kondisi ini menyebabkan menurunnya kekuatan dielektrik dari minyak isolasi.

3.2.2 Interpretasi Data Metode Segitiga Duval.

Pada metode duval *triangle* memiliki enam zona kesalahan yang dapat dideteksi, yaitu *partial discharge*, *electrical fault* (*arcing high* dan *low energy*), *thermal faults* (beragam rentang temperature), dan *DT zone* (campuran *thermal* dan *electrical faults*). Dengan menggunakan tiga gas kunci yang telah diketahui yaitu metana (CH₄) = 59%, etilen (C₂H₄) = 41%, dan asetilen (C₂H₂) = 0% maka dapat merepresentasikan kedalam bentuk koordinat segitiga gangguan yang terjadi pada minyak isolasi. Dengan interpretasi segitiga duval ini, tidak ada lagi kategori tertentu yang tidak terklasifikasi dalam jenis gangguan apapun.

Hasil representasi penggambaran pada Gambar 6 dengan menggunakan tiga gas kunci menghasilkan indikasi gangguan T2 (titik merah) yang berarti *thermal fault of temperature T < 300 °C*. T2 menunjukkan terjadinya pelepasan muatan yang disebabkan udara yang terjebak dalam sistem isolasi

dan terjadinya overheating pada isolasi kawat penghantar biasanya menimbulkan gas CO dan CO₂.



Gambar 6. Grafik hasil analisis metode Segitiga Duval

3.3 Hasil Uji Breakdown Voltage dan Water Content

Pengujian untuk mendeteksi indikasi kegagalan pada minyak transformator tidak hanya terfokus terhadap kandungan gas terlarut pada minyak trafo. Pengujian berikutnya untuk mengetahui tingkat kekuatan isolasi pada minyak trafo adalah dengan melakukan pengujian Tegangan Tembus (Breakdown Voltage).

Berikut ini adalah hasil data uji laboratorium untuk mengetahui nilai breakdown voltage pada minyak transformator GT 10 yang diberikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data uji laboratorium minyak transformator GT3.1

Tanggal	Breakdown Voltage (kV/cm)	Water Content (ppm)	Hasil
12-Juli-2018	60	24,77	Baik

Hasil pengujian pada Tabel 8 menunjukkan hasil bahwa keadaan minyak transformator masih dalam keadaan “Baik”. Standar nilai tegangan tembus minyak isolasi trafo minimal 40 kV dan standar kandungan airnya maksimal 25 ppm. Nilai breakdown voltage yang tinggi menunjukkan semakin sulit terjadinya kegagalan pada transformator khususnya tegangan tembus pada peralatan yang diisolasi akan menunjukkan kualitas isolasi yang semakin baik. Sedangkan nilai kandungan air pada minyak transformator yang tinggi justru dapat menurunkan kualitas isolasi minyak transformator

3.4 Perbandingan Metode Interpretasi Data dan Pengambilan Kesimpulan

Perbandingan metode interpretasi data Rasio Roger dan Segitiga Duval ditunjukkan pada Tabel 9 ,

menghasilkan analisis yang beragam berdasarkan standar masing-masing metode untuk kategori indikasi gangguan pada minyak isolasi.

Tabel 9. Perbandingan analisis hasil interpretasi data dua metode

Metode yang Digunakan	Hasil Indikasi Gangguan
Rasio Roger	Terjadi indikasi gangguan <i>oerheating</i> pada isolasi kawat penghantar, tetapi masih jauh cenderung “Baik”.
Segitiga Duval	Indikasi <i>thermal fault of temperature T<300 °C</i> yaitu terjadinya pelepasan muatan yang disebabkan udara yang terjebak dalam sistem isolasi dan terjadinya overheating pada isolasi kawat penghantar biasanya menimbulkan gas CO dan CO ₂ , tetapi masih juga jauh cenderung “Baik”.

Pembahasan indikasi gangguan minyak isolasi pada Tabel 9 menghasilkan beberapa indikasi tersendiri sesuai metode interpretasi datanya masing-masing. Berdasarkan hasil analisis interpretasi data yang telah dilakukan, didapatkan indikasi utama pada minyak trafo adalah berupa “Low Thermal Fault” Gangguan ini dapat disebabkan karena adanya pelepasan muatan yang disebabkan udara yang terjebak dalam sistem isolasi dan overheating pada minyak isolasi yang berasal dari kertas isolasi selulosa yang mengalami penurunan tingkat isolasinya akibat tidak mampu menahan beban termal pada inti trafo ataupun hubung singkat pada laminasi inti. Overheating dapat juga disebabkan karena kontak hubung yang jelek pada sisi terminal incoming, atau kontak tap changer.

Kekuatan dielektrik minyak trafo juga masih dalam performa yang paling baik dalam menahan terjadinya breakdown penghantar yang diisolasi. Berdasarkan standar IEEE, breakdown voltage menghasilkan kondisi “Baik”, sehingga kegagalan bukan berasal dari kekuatan dielektrik yg rendah pada minyak. Semakin tinggi kekuatan dielektrik pada minyak isolasi maka semakin baik minyak isolasi tersebut. Hal ini dikarenakan telah dilakukannya OH (Overhaul) pada bulan sebelumnya sehingga data yang didapat sangat baik.

3.3 Rekomendasi Pemeliharaan Minyak Trafo

Hasil analisis terhadap minyak trafo dengan sampel yang diambil 12-Juli-2018 menghasilkan indikasi bahwa terjadinya indikasi “Low Thermal Fault”. Rekomendasi pemeliharaan minyak trafo yang bisa dilakukan adalah:

1. Memaksimalkan sistem pendinginan trafo GT 10 dengan menjaga temperature minyak tidak lebih dari 56 C karena gas CO dan CO₂ lebih dominan

terbentuk dari panas lebih pada minyak trafo.

2. Mengecek kondisi lapangan meliputi : kondisi *fan* pendingin minyak dan pompa sirkulasi, kondisi sistem grounding, dan temperatur minyak dan *winding*. Kondisi lapangan berpengaruh terhadap menjaga panas didalam minyak transformator. Karena pemicu utama gas-gas terbentuk adalah panas yang tinggi. Oleh sebab itu kondisi *fan* pendingin minyak, pompa sirkulasi, temperatur minyak dan *winding*, serta sistem grounding harus dijaga normal.
3. Mengecek parameter operasi meliputi nilai MW, nilai MVAR dan nilai Arus. Parameter operasi ini berpengaruh terhadap *winding temperature*. Semakin tinggi *winding temperature* maka pembentukan gas semakin cepat. Oleh sebab itu nilai MW, MVAR, dan arus dijaga normal.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penerapan metode interpretasi rasio roger, segi tiga duval menunjukkan bahwa kondisi minyak trafo GT 10 mengalami indikasi berupa "*Thermal Fault T<300°C*" yaitu berupa gangguan yang disebabkan adanya pelepasan muatan. Hasil pengujian *breakdown voltage* menunjukkan bahwa minyak isolasi memiliki kekuatan dielektrik sebesar 60kv/cm, hasil ini sudah sesuai standar yaitu > 40 kV dan hasil pengukuran *water content*, didapatkan hasil sebesar 24,77 ppm, hasil ini menunjukkan minyak masih dalam kondisi baik yaitu dengan parameter < 25 ppm.

Daftar Pustaka

Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga, (2014) No. PDM/PGI/01, Jakarta Selatan, Indonesia: Dokumen PT PLN (Persero).

- Facta, M, Syukur, A. (2005). "*Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang*". Jurnal Transmisi. Volume 10, No. 2 : 26-29.
- Setiawan, G. I. M., Garniwa, I. (2103) "*Analisis kondisi minyak transformator berdasarkan uji parameter*", Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*, IEEE Std C57.104-2008, 2008.
- IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment*, IEEE Std C57.106-2006, 2006.
- IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*, IEEE Std C57.104-1991, 2006.
- Iryanto, I., (2011), "*Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Akibat Pembebanan dan Penuaan*". TEKNIK. Volume 32, No.3.
- Pedoman penerapan spesifikasi dan pemeliharaan minyak isolasi*. SPLN 49-1.1982.
- Rahmatullah, Arif F. M. (2011), "*Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analys*", Tugas Akhir Teknik Elektro, FT UNDIP, Semarang.
- Wibowo, Wahyu K, (2008). "*Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C-1300°C*". E-prints Undip.