

ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR MENGUNAKAN PENGUJIAN *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) PADA IBT 1 GARDU INDUK

Agus Siswanto¹, Abdul Rohman², Sugeng Suprijadi³ Mudofar Baehaqi⁴, Arifudin⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon
email : Asiswanto.untagrb@gmail.com, abd3rohman@gmail.com,
sugengjadi55@gmail.com, mudofarbaehaqi@gmail.com, arifudin2000@gmail.com

Abstract

Electrical energy is an important factor to support people's lives. Electrical energy from the generator is channeled through a transmission line to the substation. Transformer (transformer) is a very important equipment in the electric power system. Inside there is oil which functions as an insulating medium and also as a cooling medium. This electrical and thermal load can cause dissolved gases in the transformer oil. This DGA (Dissolved Gas Analysis) test aims to determine the content of dissolved gases in transformer oil and then to analyze using three fault indication methods Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) Method, Roger Ratio, and Duval Triangle. Results The analysis uses these three methods to determine corrective actions according to the condition of the transformer oil. Corrective action to return the dissolved gases in the transformer oil back to normal. Transformer oil filtering aims to remove or reduce potentially damaging gases from the transformer oil content. On December 29, 2020 the transformer experienced an increase in the content of flammable hydrogen gas and acetylene gas, the TDCG value was 1520 ppm and after corrective action the dissolved gas content decreased to 481 ppm, so that the condition of the transformer oil returned to normal.

Keywords: Transformer, DGA, TDCG.

I. Pendahuluan

Energi Listrik merupakan Faktor penting untuk menunjang kehidupan masyarakat. Energi Listrik berasal dari pembangkit-pembangkit yang disalurkan melalui saluran transmisi menuju gardu induk dimana pada gardu induk yang selanjutnya tegangan diturunkan untuk kebutuhan konsumen energi listrik. Transformator (trafo) merupakan peralatan yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik[1]. Fungsi utama dari trafo yaitu untuk mengubah level tegangan dari satu level tegangan ke level tegangan yang lain. Pada IBT 1 gardu induk Suyaragi menggunakan tegangan 150 kV ke 20 kV untuk disalurkan ke jaringan tegangan menengah ke sistem distribusi.

Sistem distribusi tergantung dengan keandalan trafo karena kondisi trafo sangatlah penting untuk diperhatikan apabila terjadi kerusakan pada trafo 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 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 trafo. Untuk itu diperlukan pengujian mengenai minyak isolasi trafo dengan mengukur parameter gas terlarut untuk mengetahui kemungkinan gangguan yang terjadi pada trafo. Pengujian ini dikenal dengan nama DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pengujian DGA bertujuan untuk mengetahui nilai kandungan gas yang terlarut pada minyak trafo, selanjutnya dari hasil pengujian DGA untuk mengetahui indikasi gangguan dapat dilakukan dengan menggunakan Metode Interpretasi TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rasio Roger*, dan Segitiga Duval.

II. Dasar Teori

Transformator merupakan peralatan statis 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.

Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Bagian-bagian konstruksi Transformator :

1. Electromagnetic Circuit (Inti besi)

Inti besi digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan

maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi – rugi.

2. Current carrying circuit (Winding)

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana arus bolak – balik mengalir pada belitan tembaga dan inti besi menimbulkan flux magnetik.

3. Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan bodi maintank transformator.

4. Pendingin

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan

5. Oil Preservation & Expansion (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, Minyak isolasi memuai sehingga volume bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu. Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak.

6. Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai *output* yang stabil sedangkan besarnya tegangan *input* tidak selalu sama dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah rasio antara belitan primer dan sekunder dengan demikian tegangan *output* sekunder dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input primernya. Penyesuaian ratio belitan ini dapat disebut *Tap Changer*.

7. (Neutral Grounding Resistant) NGR

Salah satu metode pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke *ground* tanah. Tujuan dipasang NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir sisi netral ke tanah.

8. Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara

ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.

9. 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 2.2 menunjukkan spesifikasi minyak trafo bekas pakai menurut SPLN 49-1 : 1982 dan standar kandungan gas yang ada di minyak trafo sesuai dengan standar IEEE C57.104 2008.

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

| No | Parameter | Batasan |
|----|-----------------------------|--|
| 1. | Tegangan Tembus | 50 kV/2,5 mm untuk tegangan >170kV |
| | | 40 kV/2,5 mm untuk tegangan 70 kV – 170 kV |
| | | 30 kV/2,5 mm untuk tegangan < 70 kV |
| 2. | Kadar Air | <20 mg/l untuk > 170 kV |
| | | < 30 mg/l untuk < 170 kV |
| 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 |

Tabel 2. Standar kandungan gas sesuai dengan IEEE C57.104 2008

| No | Kandungan Gas | Batas Maksimal |
|----|--|----------------|
| 1. | Hidrogen (H ₂) | 100 ppm |
| 2. | Methane (CH ₄) | 120 ppm |
| 3. | Acetylene (C ₂ H ₂) | 1 ppm |
| 4. | Ethylene (C ₂ H ₄) | 50 ppm |
| 5. | Ethane (C ₂ H ₆) | 65 ppm |
| 6. | Carbon Monoxide (CO) | 350 ppm |
| 7. | Carbon Dioksida (CO ₂) | 2500 ppm |

Pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis)

Salah satu metode untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui

adalah metode TDCG (Total Dissolved Combustible Gas), Rasio Roger, dan Segitiga Duval.

1. Metode TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)

Metode ini merupakan metode awal untuk mengetahui tingkat konsentrasi gas terlarut dari hasil pengujian DGA tersebut masuk dalam kondisi keberapa.

Keterangan :

Kondisi 1, TDCG pada level ini mengindikasikan bahwa operasi trafo memuaskan. Namun, tetap perlu dilakukan pemantauan terhadap kandungan gas terlarut yang terdapat pada minyak traf.

Kondisi 2, tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala-gejala

Tabel 3. Tabel kegagalan TDCG

| Status | H ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | CO | CO ₂ | TDCG |
|-----------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------------|-----------|
| Kondisi 1 | 100 | 120 | 35 | 50 | 65 | 350 | 2500 | 720 |
| Kondisi 2 | 101-700 | 121-400 | 36-50 | 51-100 | 66-100 | 351-570 | 2501-4000 | 721-1920 |
| Kondisi 3 | 701-1800 | 401-1000 | 51-80 | 101-200 | 101-150 | 571-1400 | 4001-10000 | 1921-4630 |
| Kondisi 4 | >1800 | >1000 | >80 | >200 | >150 | >1400 | >10000 | >4630 |

dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metode DGA (*dissolved gas analysis*). Uji DGA dilakukan pada sampel minyak yang diambil dari transformator, kemudian gas-gas terlarut (*dissolved gas*) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individual, kemudian dihitung kuantitasnya (dalam satuan *part per million* – ppm). Ada beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE standard. C57-104.2008 dan IEC 60599,

kegagalan yang harus mulai diwaspadai. Perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering.

Kondisi 3, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas atau minyak transformator. sebuah atau berbagai kegagalan mungkin saja sudah terjadi. Pada kondisi ini transformator sudah harus diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut.

Kondisi 4, TDCG pada level ini menunjukkan adanya dekomposisi/pemburukan tingkat tinggi pada isolasi kertas atau minyak transformator sudah meluas.

Standar ini tidak memberikan proses analisis yang lebih pasti akan indikasi kegagalan yang sebenarnya terjadi. Ketika konsentrasi gas terlarut sudah melewati kondisi 1 (TDCG > 720 ppm) maka perlu dilakukan proses analisis lebih lanjut untuk mengetahui indikasi kegagalan yang terjadi pada transformator.

Metode ini merupakan metode awal untuk mengetahui tingkat konsentrasi gas terlarut dari hasil pengujian DGA tersebut masuk dalam kondisi keberapa.

2. 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 $R2 = C2H2/C2H4$, $R1 = CH2/H2$, $R5 = C2H4/C2H6$. Jenis kode dan diagnose gangguan dengan Rasio Roger berdasarkan standar IEEE C57.104- 2008.

Tabel 4. Indikasi kegagalan Rasio Roger

| Kode | R2 | R1 | R5 |
|------|-----------------|---------------|-----------------|
| | C_2H_2/C_2H_4 | CH_4/H_2 | C_2H_4/C_2H_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 |

Keterangan :

Kode 0, tidak terjadi indikasi gangguan pada minyak isolasi trafo sehingga kondisi minyak masih dalam keadaan baik. Namun perlu tetap dilakukan pemantauan kenaikan gas terlarut lainnya dengan pengambilan sampel uji pada interval waktu berikut.

Kode 1, terjadi pelepasan muatan disebabkan udara 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 biasa 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.

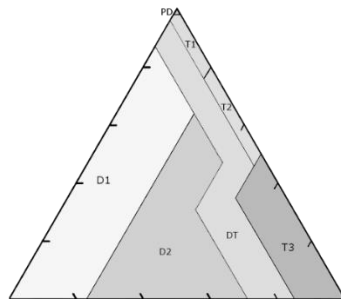
Kode 3, terjadi *overheating* pada isolasi kawat penghantar, biasa menimbulkan gas CO dan CO₂ karena melibatkan isolasi selulosa.

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 menimbulkan gas CO dan CO₂.

3. 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.



Gambar 1. Segitiga Duval

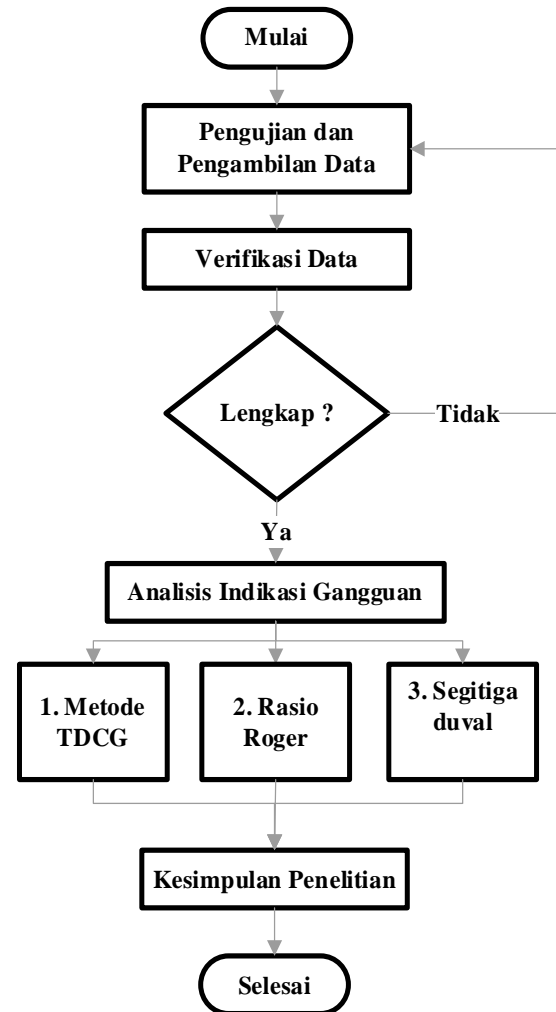
Tabel 5. Indikasi kegagalan Segitiga Duval

| Zona | Indikasi Gangguan |
|------|---|
| T1 | Thermal Fault, $\leq 300^{\circ}\text{C}$ |
| T2 | Thermal Fault, $300^{\circ}\text{C} < T \leq 700^{\circ}\text{C}$ |
| T3 | Thermal Fault, $> 700^{\circ}\text{C}$ |
| D1 | Discharge energi rendah |
| D2 | Discharge energi tinggi |
| DT | Campuran termal dan <i>electrical Fault</i> |
| PD | Partial Discharge |

Daerah pada segitiga duval pada Tabel 5 terbagi atas enam zona indikasi gangguan pada minyak trafo. Keenam zona tersebut dapat mewakili berbagai karakteristik kegagalan pada minyak trafo.

III. Metode Penelitian

Dalam tahapan penelitian ini ada beberapa Langkah yang harus dilakukan untuk mencapai hasil penelitian berjalan dengan lancar, Tahapan penelitian Tugas akhir ini sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram alir penelitian Tugas akhir

IV. Analisis dan Hasil Penelitian

Analisis dalam menentukan kegagalan minyak transformator ini menggunakan 3 metode yaitu menggunakan metode TDCG, Metode *Rasio Roger* dan menggunakan Metode Segitiga Duval.

1. Menggunakan Metode TDCG (Standar IEEE C57.104 2008)

Berdasarkan table 4.1 dan grafik 4.3 di atas, maka didapat disimpulkan bahwa

jumlahkan, $TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2$.

Hasil penjumlahan menentukan status minyak transformator berada pada status berapa.

Pada kondisi 2 ini minyak trafo masih bisa untuk digunakan namun menandakan adanya kemungkinan timbul gejala kegagalan pada minyak trafo yang harus diwaspadai. Pada beberapa hasil pengujian terkait apabila nilai TDCG sudah dalam

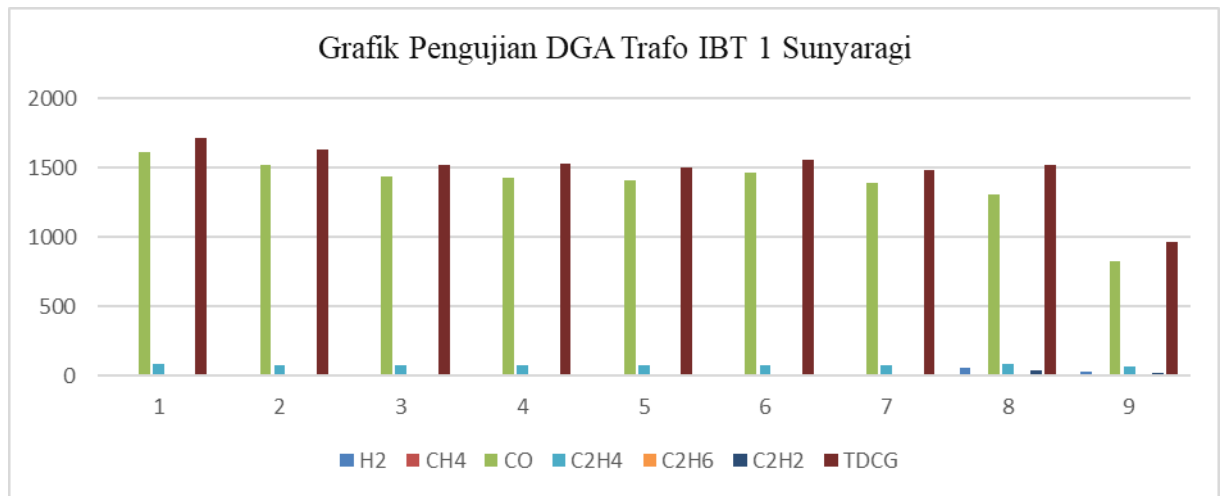
Tabel 6. Hasil Pengujian DGA Trafo IBT 1 Sunyaragi

| NO | Tanggal Uji | H2 | CH4 | CO | CO2 | C2H4 | C2H6 | C2H2 | TDCG | Status |
|----|--------------------|----|-----|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1 | November 29, 2017 | 11 | 10 | 1613 | 5092 | 83 | 0 | 0 | 1717 | K.2 |
| 2 | July 04, 2018 | 12 | 10 | 1525 | 5610 | 81 | 3 | 0 | 1631 | K.2 |
| 3 | April 26, 2019 | 0 | 0 | 1440 | 6022 | 78 | 4 | 0 | 1522 | K.2 |
| 4 | September 10, 2019 | 0 | 11 | 1432 | 5777 | 81 | 4 | 0 | 1528 | K.2 |
| 5 | March 05, 2020 | 0 | 10 | 1414 | 5255 | 75 | 3 | 0 | 1502 | K.2 |
| 6 | April 18, 2020 | 0 | 11 | 1471 | 5400 | 79 | 3 | 0 | 1564 | K.2 |
| 7 | September 21, 2020 | 0 | 10 | 1397 | 5374 | 80 | 2 | 0 | 1489 | K.2 |
| 8 | December 29, 2020 | 63 | 16 | 1311 | 4788 | 87 | 3 | 40 | 1520 | K.2 |
| 9 | January 04, 2021 | 34 | 10 | 828 | 3716 | 67 | 2 | 24 | 965 | K.2 |
| 10 | January 05, 2021 | 0 | 3 | 324 | 1890 | 38 | 0 | 14 | 379 | K.1 |
| 11 | January 06, 2021 | 0 | 0 | 72 | 816 | 21 | 0 | 7 | 100 | K.1 |
| 12 | January 14, 2021 | 20 | 8 | 280 | 1649 | 34 | 0 | 11 | 353 | K.1 |
| 13 | January 27, 2021 | 18 | 7 | 325 | 1830 | 34 | 2 | 6 | 392 | K.1 |
| 14 | March 04, 2021 | 15 | 5 | 424 | 2137 | 35 | 2 | 0 | 481 | K.1 |

nilai TDCG trafo yang diuji pada tanggal 29 november 2017 sampai dengan 4 Januari 2021 pada kondisi 2 dan pada tanggal 4 Januari 2021 sampai dengan 4 Maret 2021 pada kondisi 1.

Data yang digunakan merupakan data keluaran dari alat uji Morgan Schaffer. Pengujian dilakukan pada tahun 2017 sampai 2021 dengan hasil. Selanjutnya nilai dari beberapa kandungan gas di

keadaan harus diwaspadai maka jarak waktu pengujian DGA dipercepat guna mencegah *breakdown* pada trafo. Pada penelitian ini jarak waktu pengujian tetap dilakukan setiap 6 bulan sekali, dan pada kondisi 1 mengindikasikan bahwa operasi trafo memuaskan dan tetap melakukan pemantauan kandungan gas terlarut pada minyak trafo.



Gambar 3. Grafik Pengujian DGA Trafo IBT 1 Sunyaragi

Perbedaan kondisi dari hasil Analisa menggunakan metode TDCG yaitu pada awal 29 november 2017 kondisi 2 sampai dengan tanggal 28 Desember 2020 trafo mengalami gangguan yang mengakibatkan kandungan gas Hidrogen dan Asitelin meningkat drastis namun nilai TDCG 1520 dimana kondisi minyak trafo masih sama dengan sebelumnya tidak ada yang perlu meningkatkan kewaspadaan.

Ketika menganalisa kandungan gas dari satu persatu nilai gas Hidrogen dan Asitelin yang tinggi karena kedua gas tersebut harus rendah bahkan harus 0 kandungan gasnya karena dua gas tersebut merupakan gas yang mudah terbakar, sehingga harus segera mungkin dilakukan Tindakan perbaikan yaitu filterisasi minyak trafo untuk menurunkan gas.

Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas maka didapat kode-kode *Rasio Roger* yaitu pada november 2017 sampai dengan September 2020 yaitu rata-rata pada kode 5, 0, dan 3. Pada kode 5 terjadi *overheating* pada inti transformator. Hubung singkat pada lapisan laminasi inti. Pada tanggal 29 Desember 2020 dilakukan

pengujian kembali dengan hasil analisis terjadi perubahan hasil pada R2 yaitu berada di kode 2 kondisi ini telah 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 dielektrik dari minyak isolasi.

Perubahan kondisi ini disebabkan oleh gangguan pada tanggal 28 Desember 2020. Pada kondisi ini harus dilakukan Tindakan perbaikan untuk menghindari kerusakan atau gangguan pada trafo.

2. Menggunakan Metode *Rasio Roger* (Standar IEEE C57.104 2008)

Metode yang sering disebut juga dengan rasio lima ini digunakan untuk mendapatkan 3 digit kode angka dan kode-kode angka tersebut menunjukkan indikasi penyebab kegagalan pada transformator dan mengetahui kemungkinan kerusakan pada salah satu bagian trafo. Berikut perhitungan mencari kode-kode angka rasio roger.

$$R2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \dots\dots\dots (1)$$

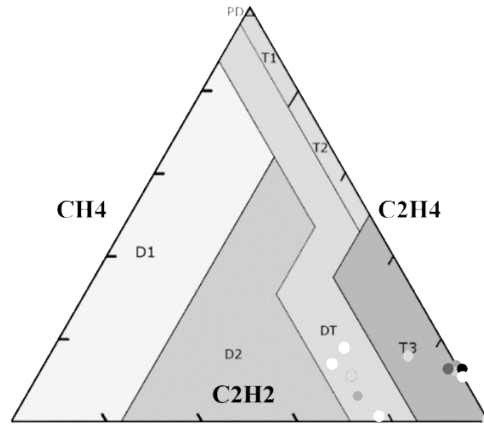
$$R1 = \frac{CH_4}{H_2} = \dots\dots\dots (2)$$

$$R5 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \dots\dots\dots (3)$$

3. Segitiga Duval

Metode ini menganalisa untuk mengetahui masalah yang terjadi pada trafo.

Nilai gas yang di gunakan (CH4, C2H2, C2H4). Rumus yang digunakan



Gambar 4. Hasil Analisa Segitiga Duval

Tabel 8 Hasil Analisa metode segitiga Duval

| Tanggal Uji | CH4 | C2H2 | | C2H4 | Hasil Analisa |
|------------------------------|-------|-------|--|-------|---------------|
| Wednesday, November 29, 2017 | 10.75 | 0 | | 89.25 | T3 |
| Wednesday, July 04, 2018 | 10.99 | 0 | | 89.01 | T3 |
| Friday, April 26, 2019 | 0 | 0 | | 100 | T3 |
| Tuesday, September 10, 2019 | 11.95 | 0 | | 88.04 | T3 |
| Thursday, March 05, 2020 | 11.76 | 0 | | 88.24 | T3 |
| Saturday, April 18, 2020 | 12.22 | 0 | | 87.78 | T3 |
| Monday, September 21, 2020 | 11.11 | 0 | | 88.89 | T3 |
| Tuesday, December 29, 2020 | 11.19 | 27.97 | | 60.84 | DT |
| Monday, January 04, 2021 | 9.90 | 23.76 | | 66.34 | DT |
| Tuesday, January 05, 2021 | 5.45 | 25.45 | | 69.09 | DT |
| Wednesday, January 06, 2021 | 0 | 25 | | 75 | DT |
| Thursday, January 14, 2021 | 15.09 | 20.75 | | 64.15 | DT |
| Wednesday, January 27, 2021 | 14.89 | 12.77 | | 72.34 | T3 |
| Thursday, March 04, 2021 | 12.5 | 0 | | 87.5 | T3 |

sebagai berikut :

$$CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \times 100 = \dots\dots\dots (4)$$

$$C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \times 100 = \dots\dots\dots (5)$$

$$C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4 + C_2H_2 + C_2H_4} \times 100 = \dots\dots\dots (6)$$

Setelah melakukan perhitungan dengan rumus di atas lanjut mencocokkan nilai dari hasil perhitungan dengan Segitiga Duval. Dari hasil pencocokan dengan segitiga duval dan dapat disimpulkan titik temu dimana titik temu tersebut menunjukkan keterangan indikasi

kegagalan dari trafo tersebut. Keterangan Indikasi kegagalan yang dimaksud sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Analisa Indikasi kegagalan metode segitiga duval

| | |
|----|--|
| PD | <i>Partial Discharge</i> |
| D1 | <i>Discharge of low energy</i> |
| D2 | <i>Discharge of high energy</i> |
| DT | <i>Combination of thermal faults and discharge</i> |
| T1 | <i>Low-range thermal faults below 300°C</i> |
| T2 | <i>Medium-range thermal fault (300-700°C)</i> |
| T3 | <i>High-range thermal fault (above 700°C)</i> |

Dari table 9 di atas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian yang dilakukan mulai dari November 2017 sampai dengan September 2020 pada indikasi kegagalan T3 dimana trafo mengalami kesalahan termal tinggi di atas 7000C Artinya trafo IBT 1 sering mengalami beban lebih sehingga suhu pada minyak trafo meningkat dan pada jangka panjang akan berpotensi trafo yang kegagalan isolasi dan mengakibatkan kebakaran trafo, dan pada 28 Desember 2020 terjadi gangguan dan indikasi kegagalan pada DT yang mengakibatkan gas Hidrogen dan acitelin meningkat sehingga Langkah yang harus dilakukan yaitu melakukan filter Minyak Trafo segera yang bertujuan menurunkan 2 gas tersebut, setelah dilakukan filter pada tanggal 4 Januari 2021 gas terlarut pada minyak trafo sedikit menurun sehingga kandungan Gas bisa normal kembali.

4. Tindakan Perbaikan

Berdasarkan dari hasil 3 metode Analisa indikasi gangguan di atas tindakan perbaikan yang harus dilakukan untuk mengembalikan kondisi gas-gas yang terlarut pada minyak trafo kembali normal yaitu dengan filterisasi minyak trafo

Filterisasi minyak trafo yang itu bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan gas-gas yang berpotensi merusak dari kandungan minyak trafo itu sendiri dan atau komponen lain dari trafo. Kondisi awal sebelum filterisasi dilakukan yaitu nilai TDCG-nya 1520 ppm.

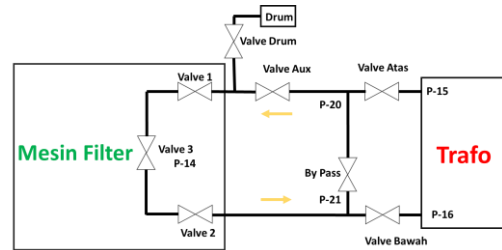
Tahapan-tahapan memfilter minyak trafo sebagai berikut :

- a. Dekatkan mobil/truk sedekat mungkin dengan trafo atau objek yang difilter dengan jarak aman dari tegangan.
- b. Buka tali selang mesin filter.
- c. Buka bak truk.
- d. Buka pintu mesin filter dari bawah.
- e. Ambil dan keluarkan selang dari dalam truk, kemudian pasang selang tersebut pada mesin difilter untuk dihubungkan ke katup trafo atau drum.
- f. Gelar kabel *source* dari mesin filter ke sumber tegangan AC 380 Volt, 100 A dan pasang sesuai fasanya (RST).
- g. Lihat level minyak di *vacuum pump* atau gelas penduga pada titik merah, apabila kurang harap di tambah.
- h. On kan *power supply* atau *source* kemudian lampu putih menyala, setelah itu tegangan pada voltmeter akan menunjuk 380 V, pada inverter menyala kedip, tekan run agar posisi *inlet/outlet pump* siap operasi.

- i. *Switch vacuum pump* di hidupkan maka motor *vacuum pump* menyala dan putaran akan kearah atas (berarti pemasangan urutan kabel *source* sudah benar sesuai dengan urutan fasanya). Apabila arah putaran motornya keraha bawah maka tukar salah 2 fasa.
- j. Indicator *vacuum gauge* menunjuk kearah 76 cm/hg, ke warna merah.
- k. Tunggu mesin untuk beroperasi sekitar ± 10 s/d 15 menit.
- l. Hidupkan *switch inlet/outlet* maka *inlet/outlet* siap operasi.

Setelah hal tersebut dilakukan maka laksanakan sirkulasi internal mesin sebagai berikut:

- a. Buka *valve drum*.
- b. Buka *valve* minyak pengisian awal (V_1 dan V_3) maka minyak masuk ke mesin filter secara otomatis dengan kekuatan tarikan *vacuum*, maka minyak mengisi selang dan *vacuum chamber* sampai permukaan minyak pada garis kuning normal di gelas penduga pada *vacuum chamber*.
- c. Tutup *valve by pass* mesin (V_3).
- d. Buka *valve* keluaran minyak (V_2) lalu atur *inlet/outlet* sampai kurang lebih garis tengah (garis kuning normal) pada *vacuum chamber*.
- e. Apabila angka *counter digital inverter* sudah menunjuk ± 23 maka *heater* akan posisi *ON* (*heater*hidup secara otomatis apabila *switch heater* sudah di *ON* kan).
- f. Setelah selang terisi dengan minyak tutup *valve drum*.
- g. Minyak trafo siap untuk difilter.



Gambar 5. Skema Filterisasi

Filterisasi minyak trafo pada IBT 1 Sunyaragi dilaksanakan pada tanggal 4 Januari 2021 dan dilakukan juga pengujian DGA setelah filterisasi selesai untuk mengetahui nilai TDCG. Hasil pengujian DGA mengalami penurunan kandungan gas terlarut pada nilai awal tinggi 1520 berhasil turun menjadi 965 dan kandungan gas terlarut perlahan menurun sampai dengan pengujian terakhir dilakukan pada tanggal 4 Maret 2021 nilai TDCG turun menjadi 481 sehingga kondisi minyak trafo Kembali normal

V. Kesimpulan

Dari Hasil dan analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kandungan gas-gas yang terlarut minyak trafo IBT 1 Sunyaragi dari pengujian selama 4 tahun mulai dari November 2017 sampai dengan Maret 2021 dapat dilihat pada Tabel 4.1
2. Hasil Analisa indikasi gangguan menggunakan 3 metode Interpretasi TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rasio Roger*, dan Segitiga Duval sebagai berikut :
 - a. Hasil Analisa pengujian DGA dengan menggunakan metode TDCG pada trafo IBT 1 Gardu induk Sunyaragi

- dari November 2017 sampai dengan Maret 2021 yaitu yang pertama dari 29 november 2017 sampai dengan 4 Januari 2021 berada pada kondisi 2 dan yang kedua 5 Januari 2021 sampai dengan 4 Maret 2021 pada kondisi 1.
- b. Hasil Analisa pengujian DGA dengan menggunakan metode *Rasio Roger* pada trafo IBT 1 Gardu induk Sunyaragi dari 29 November 2017 sampai dengan 21 september 2020 rata-rata kode yaitu 0, 3, 5 dimana pada kode ketiga ini masih pada kondisi yang bagus namun dalam pantauan kewaspadaannya. Dan dari 29 Desember 2020 sampai dengan 4 Maret 2021 rata-rata kode yaitu 0, 2, 3, 5.
 - c. Hasil Analisa pengujian DGA dengan menggunakan metode Segitiga Duval pada trafo IBT 1 Gardu induk Sunyaragi dari November 2017 sampai dengan Maret 2021 dapat disimpulkan bahwa kondisi minyak trafo berada pada T3 dan DT. Pada konsisi T3 minyak trafo sudah mengalami *Thermal Fault* $>700^{\circ}\text{C}$ dan pada DT minyak trafo mengalami campuran termal dan *electrical fault*.

Dari hasil Analisa indikasi gangguan dari ketiga metode tersebut dapat disimpulkan bahwa dari November 2017 sampai dengan dengan September 2020 kondisi minyak trafo masih bisa untuk beroperasi namun harus dalam kategori diwaspadai untuk mencegah kegagalan atau *Breakdown* terjadi dan pada 28 Desember 2020 mengalami gangguan sehingga kondisi trafo harus dilakukan filterisasi.

3. Berdasarkan dari Hasil pengujian DGA dan hasil Analisa indikasi gangguan 3 metode di atas tindakan perbaikan yang harus dilakukan untuk mengembalikan kondisi gas-gas yang terlarut pada minyak trafo Kembali normal dan memenuhi Standar yaitu dengan filterisasi minyak trafo

Filterisasi minyak trafo yaitu bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan gas-gas yang berpotensi merusak dari kandungan minyak trafo itu sendiri dan atau komponen lain dari trafo. Kondisi awal sebelum filterisasi dilakukan yaitu nilai TDCG-nya 1520 ppm dan setelah dilakukan filterisasi nilai TDCG minyak trafo menurun yaitu 481 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Siswanto, R.A., Erfan Subyanta, *analisis kinerja pms rel 2 bay trafo 6 menggunakan thermovision methode di gardu induk sunyaragi*. Jurnal Ilmiah Foristek 2021. **11**: p. 47-43.
- [2] Siswanto, A., et al., Stability improvement of wind turbine penetrated using power system stabilizer (PSS) on South Sulawesi transmission system. AIP Conference Proceedings, 2018. 1941 (1): p. 020036.
- [3] Yuli Asmi Rahman, A.S., and irwan Mahmudi, Stability Issues in Presence Variable Distributed Generation Into Radial Distribution Network International Conference on

- Industrial Electrical and Electronics (ICIEE) 2018.
- [4] Agus Siswanto, I.C.G., Sri Mawar Said, Ansar Suyuti, Stability Improvement by Reducing Voltage Fluctuation using SVC in Penetration Wind Power System EPI International Conference on Science and Engineering, 2019.
- [5] Siswanto, A., Steady State Stability Limit Assessment when Wind Turbine Penetrated to the Systems using REI Approach. Vol. 1. 2019. 53-57
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2009. *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*. New York USA : IEEE Power & Energy Society
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2006. *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*. New York USA : IEEE Power & Energy Society
- [8] Feriyanto, Y.E. 2008. *Analisa Dissolved Gas Analysis (DGA) di Minyak Trafo*. Surabaya. www.caesarvery.com
- [9] PT PLN (Persero). 2014. *Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk*. http://academia.edu/37218274/buku_pedoman_Trafo_Tenaga_final
- [10] Prayoga, Aditya. 2010. *Transformator*. Depok. Teknik Tenaga Listrik. Departemen Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [11] Rahmatullah, Arif K. 2008. *Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan metode dissolved gas analysis*. FT UNDIP. Semarang
- [12] “Perawatan Trafo Pembangkit” PT PLN (Persero). 2014. *Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan Peralatan Primer Gardu Induk*. https://www.academia.edu/37218274/Buku_Pedoman_Trafo_Tenaga_Final
- [13] “Pengujian Transformator” Saputra, Dimas Abimanyu. 2018. *Analisis pengujian Transformator Daya MT24 150kV/33kV 90MVA di PT Vale Indonesia*, Sorowako-Sulawesi Selatan. <http://eprints.umm.ac.id/37361/4/jiptummpp-gdl-dimasabima-51515-3-babii.pdf>