

EVALUASI PARTIAL DISCHARGE TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DUVAL TRIANGLE DI PLTU REMBANG

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang



OLEH :

NAMA : Kardofan Setiawan

NIM : 30601700016

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

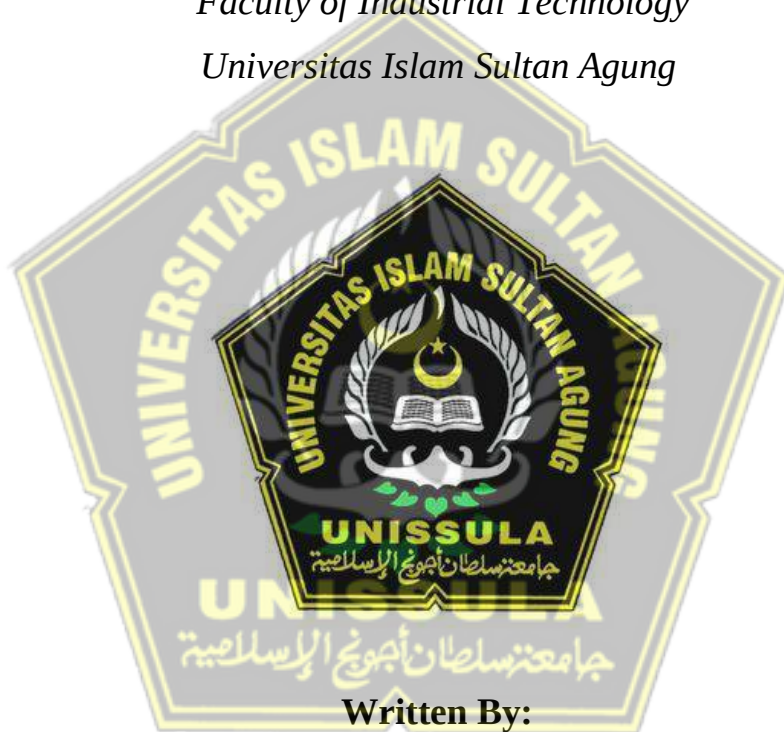
FINAL PROJECT

**EVALUATION OF PARTIAL DISCHARGE OF 60 MVA
TRANSFORMER USING THE DUVAL TRIANGLE METHOD
AT PLTU REMBANG**

*Proposed to complete the requirement to obtain a Bachelor's Degree
(S1) at Departement of Electrical Engineering*

Faculty of Industrial Technology

Universitas Islam Sultan Agung



Written By:

KARDOFAN SETIAWAN

NIM 30601700016

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Evaluasi Partial Discharge Pada Transformator 60 MVA Dengan Metode Duval Triangle Di PLTU Rembang**” ini disusun oleh :

Nama : Kardofan Setiawan

NIM : 30601700016

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada

Hari :

Tanggal :

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.

NIDN. 0618066301



Gunawan .S.T., M.T.

NIDN. 0607117101

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.

NIK. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“EVALUASI PARTIAL DISCHARGE PADA TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DUVAL TRIANGLE DI PLTU REMBANG”** ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 09 Maret 2023

Penguji I

Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN. 0618066301

Penguji II

Gunawan, S.T., M.T.
NIDN. 0607117101

Ketua Penguji

Ir. Ida Widiastuti, MT
NIDN. 220699012

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Kardofan Setiawan

NIM : 30601700016

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Prodi : Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir : **Evaluasi Partial Discharge Pada Transformator 60 MVA Dengan Metode Duval Triangle Pada PLTU Rembang**

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 14 Maret 2023

Yang



Kardofan Setiawan

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kardofan Setiawan
Nim : 30601700016
Program studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa ~~Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi*~~
dengan judul :

EVALUASI PARTIAL DISCHARGE PADA TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE DUVAL TRIANGLE DI PLTU REMBANG

Dan menyetujui menjadi hak milik universitas islam sultan agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai Hak Cipta

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang 14 Maret 2023

Yang menyatakan



METERAI
TEMPEL
75AKX319337559

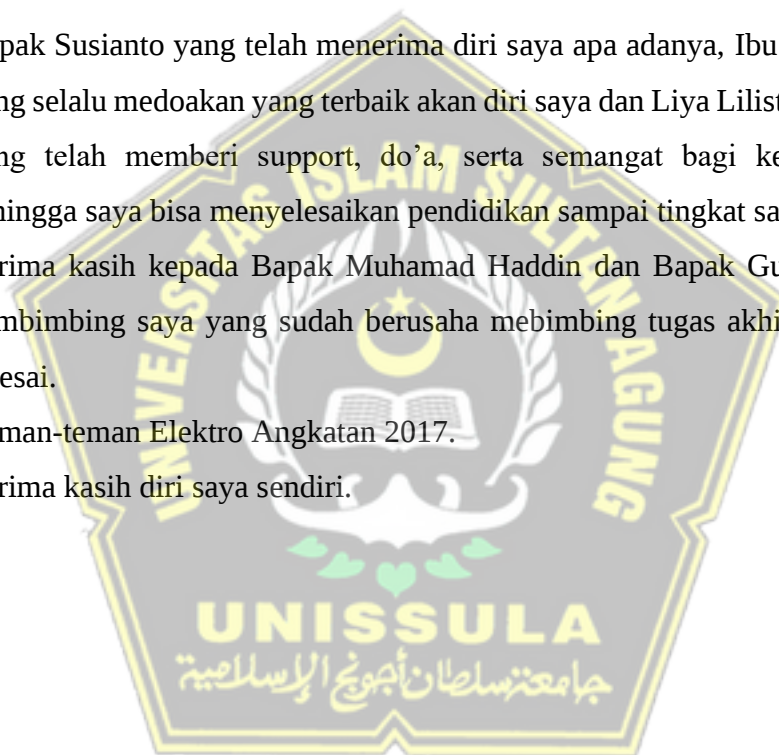
Kardofan Setiawan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur yang mendalam kepada Allah, atas nikmat Iman, nikmat sehat, nikmat akal yang telah diberikan kepada saya, dan Sholawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Nabi Muhammad SAW yang saya harapkan Syafa'at Beliau di Yaumul Akhir kelak.

Dengan diselesaikannya Skripsi ini, penulis mempersembahkannya kepada:

1. Bapak Susianto yang telah menerima diri saya apa adanya, Ibu Lilis Muryani yang selalu medoakan yang terbaik akan diri saya dan Liya Lilistiana istri saya yang telah memberi support, do'a, serta semangat bagi kehidupan saya sehingga saya bisa menyelesaikan pendidikan sampai tingkat sarjana.
2. Terima kasih kepada Bapak Muhamad Haddin dan Bapak Gunawan selaku pembimbing saya yang sudah berusaha membimbing tugas akhir saya sampai selesai.
3. Teman-teman Elektro Angkatan 2017.
4. Terima kasih diri saya sendiri.



HALAMAN MOTTO

العلم قبل القول و العمل

Artinya: "Berilmulah sebelum kamu berbicara, beramal, atau beraktivitas." (HR Bukhari).

مَنْ خَرَجَ جَفِطَ بِطَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ حَتَّى يَرْجِعَ

Artinya: "Barangsiapa yang keluar untuk menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang," (HR Tirmidzi).



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul Evaluasi Partial Discharge Pada Transformator 60 MVA Dengan Metode Duval triangle pada PLTU Rembang, dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan do'a dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Dr. Hj. Novi Marlyana, ST, MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Jenny Putri Hapsari, ST, MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
4. Gunawan ST, MT Selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu selama proses bimbingan
5. Munaf Ismail, ST, MT Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung
6. Seluruh dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
7. Ibu dan Ayah tercinta yang telah banyak berkorban demi keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir
8. Seluruh keluarga tersayang yang telah senantiasa mendo`akan dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir
9. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu diharapkan saran dan kritik untuk membangun kesempurnaan karya ini, semoga karya ini bermanfaat

Semarang , 14 Maret 2023

Kardofan Setiawan



DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iiiv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	ivi
HALAMAN PERSEMBAHAN	ivii
HALAMAN MOTTO.....	iviii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
ABSTRAK.....	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Landasan Teori	7
2.1.1. Transformator.....	7
2.1.2. Transformator daya	8
2.1.3. Bagian Bagian Transformator.....	8
2.1.4. Minyak Transformator	9
2.1.5. Karakteristik Minyak Terhadap Temperatur.....	10

2.1.6.	Fault Gas dan Kosentrasi Terhadap Suhu Transformator	10
2.1.7.	Kegagalan Isolasi.....	11
2.1.7.1.	Kegagalan isolasi padat	12
2.1.7.2.	Kegagalan isolasi Cair	12
2.1.7.3.	Kegagalan Isolasi gas.....	12
2.1.8.	Partial Discharge	13
2.1.9.	Dissolved Gas analysis (DGA).....	14
2.1.9.1.	Metode Ekstraksi Gas	14
2.1.9.2.	Metode Roger`s Ratio.....	14
2.1.9.3.	Metode Duval Triangle.....	16
2.1.9.4.	Metode TDGC.....	18
2.1.9.5.	Metode Kaygas	19
2.1.10.	Mekanisme kegagalan isolasi minyak transformator.....	19
BAB III METODE PENELITIAN		20
3.1.	Model Penelitian.....	20
3.2.	Lokasi Penelitian	21
3.3.	Alat dan Bahan	21
3.4.	Pengambilan Data	21
3.5.	Pengambilan Data Minyak Transformator.....	22
3.6.	Metode Duval Triangle.....	23
3.7.	Diagram Penelitian.....	24
3.8.	Tahapan penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1.	Hasil Perhitungan Minyak Transformator GT10.....	26
4.2.	Hasil Perhitungan Minyak Transformator GT20.....	29
4.3.	Hasil Perhitungan menggunakan metode Duval Triangle.....	32
4.3.1.	Hasil Perhitungan menggunakan metode duval triangle pada GT10	32
4.3.2.	Hasil metode duval triangle pada GT20	49
4.4.	Pembahasan suhu antara GT10 dan GT20	58
BAB V KESIMPULAN.....		61
5.1.	Kesimpulan	61

5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembentukan fault Gas berdasarkan Tempeeratur	11
Gambar 2.2 Duval Triangle.....	16
Gambar 3.1 Model Penelitian.....	20
Gambar 3.2 PLTU UBJOM Rembang	21
Gambar 3.3 Duval Triangle.....	23
Gambar 3.4 Flowchhart.....	24
Gambar 4.1 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 24 juni 2021	33
Gambar 4.2 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 Agustus 2021	34
Gambar 4.3 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 12 Oktober 2021 .	35
Gambar 4.4 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 15 Desember 2021	36
Gambar 4.5 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 10 Januari 2022 ...	38
Gambar 4.6 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 19 januari 2022	39
Gambar 4.7 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 27 januari 2022	40
Gambar 4.8 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 3 februari 2022	41
Gambar 4.9 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 8 maret 2022	42
Gambar 4.10 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 29 Maret 2022	44
Gambar 4.11 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 4 April 2022	45
Gambar 4.12 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 April 2022	46
Gambar 4.13 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 April 2022	47
Gambar 4.14 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 Juni 2022	48
Gambar 4.15 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 24 Juni 2021	50
Gambar 4.16 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 Agustus 2021 .	51
Gambar 4.17 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 15 Desember 2021	52
Gambar 4.18 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 8 Maret 2022	53
Gambar 4.19 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 29 Maret 2022	54
Gambar 4.20 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 25 April 2022	56
Gambar 4.21 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 juni 2022	57
Gambar 4.22 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 30 Agustus 2022	58

Gambar 4.23 Perbandingan suhu tranformator GT10 dan transformator GT20	59
Gambar 4.24 Grafik metode duval triangle transformator GT 10 dan GT 20	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kode kode indikasi gangguan metode Roger`s Ratio	15
Tabel 2.2 Jenis-jenis Kegagalan pada monitoring DGA.....	17
Tabel 2.3 Batas kosentrasi Keygas terlarut	17
Tabel 2.4 Karakteristik Gangguan Metode Keygas	17
Tabel 3.1 Data minyak transformator GT10 PLTU Rembang.....	22
Tabel 3.2 Data minyak transformator GT20 PLTU Rembang.....	22
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Minyak Transformator GT10 dan GT20	22



ABSTRAK

Transformator merupakan bagian hal yang terpenting dari sebuah pembangkit listrik. Transformator terdiri dari dua kumparan induksi yang dipisahkan secara listrik jika salah satu kumparan di hubungkan dengan tegangan bolak balik maka akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik). Gaya gerak listrik akan menghasilkan induksi antara kedua kumparan yang memicu kebocoran isolasi minyak yang disebabkan oleh panas berlebihan. Kondisi ini akan berakibat terjadinya kegagalan thermal ataupun kegagalan elektrik, jika dibiarkan akan merusak transformator tersebut. Jika panas berlebihan secara terus menerus maka akan merusak transformator tersebut maka dari itu perlunya pengujian partial discharge salah satunya adalah dengan menggunakan metode *duval triangle*. Transformator yang akan diuji yaitu berada di PLTU Rembang dengan kapasitas transformator 60 MVA pada GT10 dan GT20.

Metode *Duval Triangle* untuk menganalisis menggunakan 3 konsentrasi gas yaitu metana (CH_4), etilen (C_2H_4), dan esetilen (C_2H_2) yang terlarut dalam minyak bushing. Parameter yang dibutuhkan yaitu data minyak transformator dan data suhu transformator.

Hasil menunjukkan bahwa GT10 suhu tertinggi sebesar 460,3°C sedangkan untuk GT20 150°C. Menurut IEC 60599-2007-05 Gas hydrogen dan metana akan terbentuk pada suhu sekitar 150°C. Sedangkan untuk gas etana akan terbentuk pada suhu 250°C, gas etilen akan terbentuk pada suhu 350°C, dan gas yang terakhir yang terbentuk pada suhu 700°C adalah gas esetilen. Sedangkan untuk uji partial discharge dengan menggunakan metode *Duval Triangle* GT10 terdapat dua kondisi yaitu pada T2 dan T3, T2 yaitu kondisi dimana terjadi karbonisasi kertas muncuk formasi partikel karbon minyak (T2) dengan suhu 300°C–700°C, dan untuk T3 formasi partikel karbon pada minyak secara meluas, pewarnaan pada metal (200°C) ataupun penggabungan metal dengan suhu >700°C. Sedangkan untuk transformator GT20 kondisi berada pada T1 masalah transformator tidak terlalu mendeasak namun dapat mempengaruhi masa depan isolasi.

Kata Kunci : *Partial Discharge, Transformator, Duval Triangle*

ABSTRACT

The transformer is the most important part of a power plant. The transformer consists of two induction coils which are electrically separated if one of the coils is connected to an alternating voltage it will cause an emf (electromotive force). The electromotive force will produce induction between the two coils which triggers leakage of insulating oil which is caused by excessive heat. This condition will result in thermal failure or electrical failure, if left unchecked it will damage the transformer. If excessive heat is continuously excessive it will damage the transformer, therefore it is necessary to test partial discharges, one of which is by using the duval triangle method. The transformer to be tested is located at the Rembang PLTU with a transformer capacity of 60 MVA on GT10 and GT20. The Duval Triangle method analyzes using 3 gas concentrations namely methane (CH_4), ethylene (C_2H_4), and ethylene (C_2H_2) dissolved in bushing oil. The parameters needed are transformer oil data and transformer temperature data. The results show that the highest temperature for GT10 is 460.3 °C while for GT20 it is 150 °C.

According to IEC 60599-2007-05 Hydrogen and methane gas will form at a temperature of around 150 °C. As for ethane gas, it will form at a temperature of 250 °C. Ethylene gas will form at 350 °C. and the last gas formed at 700 °C is ethylene gas. Whereas for the partial discharge test using the Duval Triangle GT10 method, there are two conditions, namely at T2 and T3, T2 is a condition where carbonization of the paper occurs, the formation of oil carbon particles (T2) with a temperature of 300 °C - 700 °C, and for T3 the formation of carbon particles in oil is widespread. , coloring on metal (200 °C) or combining metal with temperature > 700 °C. whereas for the GT20 transformer the condition is at T1 the problem of the transformer is not too urgent but can affect the future of isolation.

Keyword: Partial Discharge, Transformator, Duval Triangle

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pembangkit listrik merupakan pemasok utama listrik di Indonesia, salah satu komponen utama pembangkit listrik adalah transformator. Pembangkit listrik tenaga uap rembang mempunyai transformator salah satunya yaitu transformator 60 MVA. Pendukung performa transformator antara lain: a. Tangki minyak transformator, b. Minyak transformator, c. Thermometer kontak, d. Sirip pendingin transformator. e. Bushing, dll.

Transformator terdiri dari dua kumparan induksi yang dipisahkan secara listrik jika salah satu kumparan di hubungkan dengan tegangan bolak balik maka akan menimbulkan GGL (Gaya gerak listrik).

Gaya gerak listrik akan menghasilkan induksi antara kedua kumparan yang memicu kebocoran isolasi minyak yang disebabkan oleh panas berlebihan. Kondisi ini akan berakibat terjadinya kegagalan thermal ataupun kegagalan elektrik, jika dibiarkan akan merusak transformator tersebut.

Solusi permasalahan tersebut adalah dengan dilakukan uji kelayakan dan pengujian minyak transformator atau banyak dikenal dengan metode DGA (Dissolved Gas Analysis). Metode *Duval Triangle* untuk mengetahui kondisi cairan pada isolator trafo. Transformator dapat terjadi kegagalan sistem jika *Partial Discharge* terus menerus yang akan menimbulkan panas pada isolator transformator. Metode duval triangle merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis gas dengan cara menghitung 3 konsentrasi gas utama yaitu metana (CH_4), etilen (C_2H_4), dan esetilen (C_2H_2) yang terlarut dalam minyak bushing. Kelebihan metode ini adalah deteksi dini kegagalan pada minyak transformator. Terdapat berbagai macam metode yang bisa digunakan dalam analisis gas minyak transformator yaitu: TDGC, Roger's Ratio dan Duval triangle.

Pengujian *partial discharge* pada penelitian kali ini menggunakan metode *duval triangle*. Yang bertujuan untuk mengetahui keadaan pada isolator

transformator PLTU Rembang dengan bertujuan untuk transformator tidak mengalami kegagalan sistem yang berakibat fatal.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh suhu minyak transformator terhadap kandungan gas minyak transformator?
2. Bagaimana penerapan metode duval triangle ke transformator GT10 dan GT20 PLTU Rembang?
3. Bagaimana cara mengetahui Partial Discharge pada Transformator 60 MVA GT10 dan GT20 di PLTU Rembang, sesuai standart atau belum ?

1.3. Pembatasan Masalah

1. Transformator 60 MVA.
2. Menganalisa pada transformator 60 MVA GT10 dan GT20 PLTU Rembang.

1.4. Tujuan

Berdasarkan permasalahan diatas maka tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian kali ini adalah:

1. Mengetahui Partial Discharge transformator 60 MVA terukur dan terhitung sesuai standart atau tidak.
2. Analisa partial discharge dengan menggunakan metode *Duval Triangle*.

1.5. Manfaat

1. Dapat memahami cara kerja transformator khususnya dalam minyak transformator.
2. Dapat memahami penerapan metode *duval triangle*.
3. Dapat menganalisa partial discharge pada transformator.
4. Mengurangi kegagalan-kegagalan yang menyebabkan kerusakan pada transformator PLTU Rembang.
5. Partial discharge yang diketahui sudah sesuai standart atau tidak.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam penyusunan tugas akhir ini maka penulis membuat sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka penelitian yang pernah dilakukan, komponen yang bersangkutan dengan PLTU, transformator, minyak transformator dan Dissolved Gas Analysis (DGA).

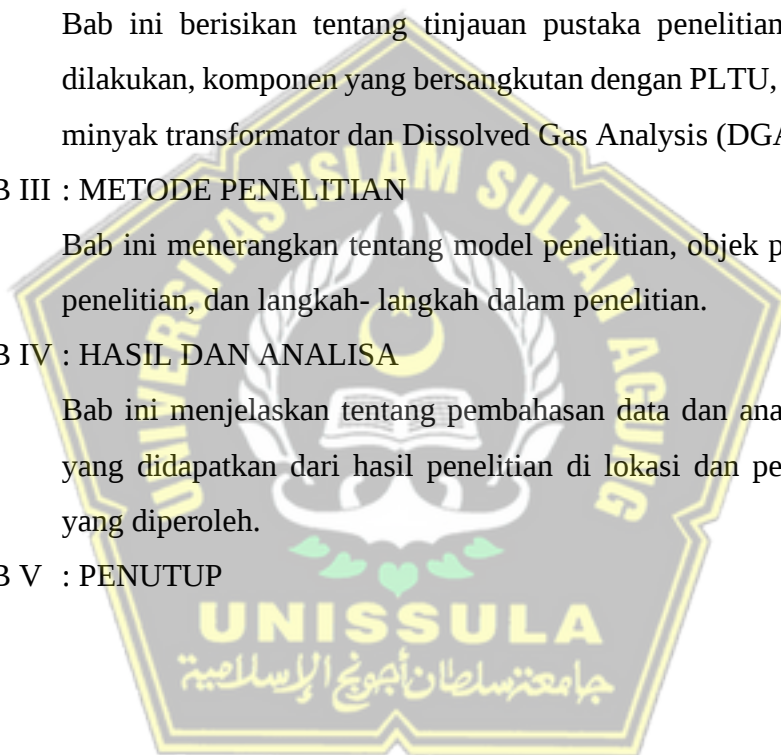
BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menerangkan tentang model penelitian, objek penelitian, data penelitian, dan langkah- langkah dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan data dan analisa penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian di lokasi dan pengolahan data yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu tentang partial discharge transformator telah dilakukan ,antara lain :

- a. “Penentuan Kondisi Transformator berdasarkan kandungan gas terlarut menggunakan metode segitiga duval”. Penelitian ini memperkenalkan hasil pengujian DGA dengan pendekatan Fuzzy Logic. Hasil penelitian program fuzzy Logic mampu identifikasi sangat akurat, kandungan gas terlarut untuk berbagai kondisi transformator daya [1].
- b. Penerapan Metode Interpretasi rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator. Metode yang diterapkan mampu memprediksi kerusakan yang akan terjadi, sehingga kerusakan transformator dapat dicegah. Dengan menggunakan metode rasio ringer dan segitiga duval dapat menghasilkan indikasi berupa discharge of thermal fault. Dari hasil penelitian tegangan tembus menunjukkan hasil minyak baik [2].
- c. Analisa Pengaruh Besar Pembebanan Transformator Terhadap Kandungan Gas Terlarut Pada Minyak Berdasarkan Uji DGA (Dissolved Gas Analysis) Dengan Metode TDCG, Roger's Rasio Dan Duval's Triangle Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap UBJOM Tanjung Awar-Awar Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa antara hasil uji DGA dengan hubungan antara beban sebagai langkah identifikasi indikasi kegagalan transformator. Dari hasil penelitian mendapatkan hasil minyak pada UAT 1 yang mengalami overheating 200-300 C dan thermal fault dengan pembebanan masih pada kondisi normal dengan nilai 17,173 MVA (55%). Sedangkan pada UAT 2 kandungan minyak mengalami overheating 200- 300 C kondisi ini masih pada kondisi normal sebesar 25,249 MVA (82%) [3].

- d. Analisa Kegagalan Isolasi Minyak Transformator 27 MVA PLTG 1 Jakabaring Berdasarkan hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA). Penelitian ini menghasilkan pengukuran pada minyak tarfo dengan tretment dan purifier dengan menunjukkan keadaan T3 : thermal fault >700 C. Kondisi ini menjadikan sejumlah karbon pada minyak menurut IEC 60599 (2007) yang akan mempercepat korosi. Setelah dilakukan tretment an purifier pada minyak trafo 27 MVA PLTG 1 Jakabaring hasil pengukuran DGA menunjukkan nilai yang normal [4].
- e. Analisa kegagalan Transformator Daya Berdasarkan hasil Uji DGA Dengan Metode TDCG, Key Gas, Roger's Ratio, Duval's Triangle Pada Gardu Induk. Penelitian ini Menguji *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dengan menggunakan empat metode, dengan itu dapat mandapatkan kesimpulan dengan jelas dan detail. Penggunaan 4 metode dapat mengurangi presentasi kesalahan dalam analisis. Indikasi kegagalan pada Trafo GITeling dan GI Ranomut terjadi =nya kegagalan overheating pada inti transformator sekitar $300\text{C} - 700\text{C}$. Tindak lanjut dari kegagalan overheating adalah melakukan filtering minyak trafo dan pengujian minyak trafo [5].
- f. Analisa Pola dan Spektrum Partial Discharge Terhadap Kerusakan Transformator. Penelitian ini Meneliti Trafo di PT IKPP dengan menggunakan metode power TP500A beserta Acoustic Emission (AE). Pengukuran pertama tidak terjadi gelombang pola dan spektrum, pengukuran kedua terjadi pola dan spektrum, pengukuran ke tiga Sensor AE dan HFCT kondisi sangat kritis. Kondisi normal, pamantauan dan kritis dari sebuah trafo dapat dinyatakan dengan analisa pola dan bentuk debit parsial yang dilakukan dalam penelitian [6].
- g. Analisis Gangguan Terhadap Kegagalan Transformatir Daya Dengan Analisis Dissolved Gas (DGA). Penelitian ini mengidentifikasi dan menganalisa gas terlarut pada minyak transformator. Pada penelitian kali ini nilai ppm pada gas mudah terbakar dalam minyak isolasi yang menyabbakan kegagalan pada transformator. Pada trafo dengan kapasitas 600KVA kualitas minyak yang

kurang baik semakin jelas dilihat dari hasil analisa minyak tersebut layak di pakai atau tidak [7].

- h. Analisis Kegagalan Trafo berdasarkan Hasil Pengujian Dissolved gas Analysis Pada Trafo I 50 MVA 150/20kV GI Pier. Penelitian ini menggunakan metode dengan standar IEEE std C57-104.1991 dan IEC 059 yaitu key gas, Roger's Ratio dan rasio Doernenburg dan segitiga duval. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh pada trafo I GI Pier terdapat kegagalan, dikarenakan panas berlebih dalam trafo yang menyebabkan isolasi kertas terkarbonisasi. Tindakan untuk mengatasinya adalah pengujian ulang dan melakukan filter minyak [8].
- i. Analisis Minyak Transformator daya Berdasarkan Dissolved gas Analysis (DGA) Menggunakan Data Mining Dengan Algoritma J48. Penelitian kali ini dengan cara pendekatan pola model non-matematis yang dapat memetakan hubungan antara input berupa data hasil DGA dengan output gangguan yang terjadi. Data mining sendiri meliputi pengumpulan, pemakaian data histori. Dengan data mining dan J48 mampu menghasilkan akurasi sebesar 92,12% dengan waktu yang sangat singkat 0,01 second [9].
- j. Analisis Kondisi Trafo menggunakan metode Duval Triangle . Penelitian kali ini dilakukan di pembangkit listrik tenaga panas bumi UPJP Kamojang PT Indonesia Tenaga pada trafo T31 selama periode 2012-2017. Hasil dari penelitian dengan menggunakan metode duval triangle kali ini adalah terjadinya kegagalan thermal dan pelepasan sebagian [10].
- k. Diagnosis of OLTC via Duval Triangle Method and Dynamic Current Measurement. Penyebab utama kegagalan transformator daya adalah On load Tap Charger (OLTC), Kontak yang aus akan menyebabkan hotspot di OLTC tanki dan menyebabkan minyak isolasi terdegradasi lebih cepat. Akibatnya, ini akan menyebabkan kerusakan unit transformator lengkap. Dengan demikian, pekerjaan penelitian yang telah dilakukan menerapkan tiga tahap berbeda terkait dengan diagnosis OLTC. Pertama, kesalahan deteksi OLTC trafo daya dilakukan terutama berdasarkan hasil interpretasi DGA dengan menggunakan Duval Triangle. Kemudian, hasil yang diperoleh dari metode

Duval Triangle terbaru dibandingkan dengan hasil yang dilakukan dari Pengukuran Arus Dinamis (DCM). Akhirnya, validasi penelitian melalui inspeksi visual diterapkan untuk memvalidasi hasil yang diperoleh dari DGA dan DCM [11].

1. Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60 MVA Di Gardu Induk Tambun. Tujuan dari penelitian kali ini untuk mengidentifikasi penyebab gangguan pada transformator daya yang menyebabkan kerusakan menggunakan Dissolved Gas Analysis(DGA). Hasil Pengujian DGA dengan menggunakan 5 buah metode yaitu metode DCG, Metode Key Gas, Metode Roger ratio metode Doernnenburg dan metode duvak triangle . H_2 , CO, CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 dan C_2H_6 merupakan beberapa elemen gas utama yang terkandung dalam minyak trafo. Hasil dari penelitian ini adalah indentifikasi gangguan trafo, keuntungan dari semua metode adalah mendapatkan justifikasi gangguan trafo [12].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “EVALUASI *PARTIAL DISCHARGE* PADA TRANSFORMATOR 60 MVA DENGAN METODE *DUVAL TRIANGLE* PADA PLTU REMBANG”.

2.2. Landasan Teori

2.1.1. Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain [13]. Umumnya trafo terbagi menjadi dua macam yaitu: trafo step-up guna untuk menaikkan tegangan dan trafo step-down yang berguna untuk menurunkan tegangan. Dalam listrik dengan kapasitas besar terdapat berbagai macam transformator, berikut macam-macam transformator :

- a. Transformator Penaik tegangan Generator

Umumnya transformator penaik tegangan merupakan satu kesatuan dari generator. Sampai saat ini generator 3 fasa hanya mencapai 23kV yang paling tinggi.

b. Transformator Unit Pembangkit

Semua unit pembangkit diatas 10 MW terdapat transformator unit pembangkit yang berguna untuk memasok alat bantu seperti: motor pompa minyak pelumas, motor pompa pendingin dan lain-lain.

c. Transformator Pemakaian Sendiri

Transformator ini digunakan untuk pemakaian sendiri.

d. Transformator antar-rel

Perkembangan sistem tenaga listrik mengubah beberapa rel dengan tegangan berbeda yang dikarenakan untuk konsumsi tegangan menengah (6 kV sampai 40 kV) selain itu rel tegangan tinggi (di atas 60 kV), hal tersebut diperlukan transformator antar-rel.

2.1.2. Transformator daya

Transformator daya merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah maupun sebaliknya.

2.1.3. Bagian Bagian Transformator

a. Inti besi

Terdapat dua buah tipe dalam konstruksi inti besi yaitu tipe core dan tipe shell. Inti shell inti mengelilingi kumparan sedangkan untuk tipe core kumparan mengelilingi transformator.

b. Kumparan transformator

Terdapat 2 buah kumparan yang berada di transformator, sekunder dan primer. Kumparan di transformator telah diisolasi dengan menggunakan karton, pertinak dan lain-lain.

c. Bushing

Bushing berguna untuk menghubungkan belitan dengan jaringan luar. Bagian bagian dari bushing antara lain: konduktor, isolasi, klem koneksi dan asesoris.

d. Tangki Konservator

Kegunaan tangki konservator ini adalah saat suhu transformator mengalami kenaikan, maka minyak transformator juga akan naik, maka dari itu perlunya tangki untuk menampung kenaikan minyak transformator.

e. Pendingin

Di saat transformator mengalami kenaikan suhu yang bisa mengakibatkan isolasi transformator rusak maka perlunya pendingin yang berupa: Udara/gas, minyak dan air.

f. Tap Charger

Perubahan beban pada konsumen perlu keseimbangan juga terhadap sumber, supaya energi yang keluar tidak terbuang sia-sia. Maka dari itu perlunya tap charger pada transformator yang berguna untuk mengubah ratio belitan. Dengan menyesuaikan pada beban konsumen.

e. Alat Pernapasan

Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan akan di dinginkan oleh pendingin transformator. Untuk mempercepat proses pendinginan maka perlu pendingin dari atau bisa disebut pernapasan transformator, agar suhu pada minyak transformator cepat turun.

f. Indikator

Disaat transformator beroperasi, terdapat indikator-indikator agar mudah dalam pemantauan kondisi transformator tersebut, adapun beberapa indikator yang berada di transformator sebagai berikut :

- Indikator suhu minyak
- Indikator permukaan minyak
- Indikator sistem pendingin
- Indikator kedudukan tap

2.1.4. Minyak Transformator

Pendinginan dalam transformator sangatlah penting, apabila saat beban puncak yang membuat suhu dalam transformator mengalami kenaikan. Maka dari itu salah satu bahan atau media untuk mendinginkan adalah minyak

transformator yang terbuat dari bahan organik, ikatan atom C dan ikatan atom H. Minyak isolator yang digunakan dalam transformator daya mempunyai beberapa tugas utama, yaitu :

- Media isolator
- Media pendingin
- Media memadamkan busur api
- Perlindungan terhadap korosi atau oksidasi

2.1.5. Karakteristik Minyak Terhadap Temperatur

Perubahan dalam minyak transformator terhadap temperatur terdapat 3 jenis perubahan, yaitu:

1. Karakteristik fisik minyak transformator
2. Karakteristik elektrik isolasi minyak transformator
3. Karakteristik kimia minyak transformator

Terdapat rumus untuk mengetahui temperatur pada transformator, pada persamaan (2.1):

$$T = \left(100 \times \frac{FG1}{FG2} \right) + 150 \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan :

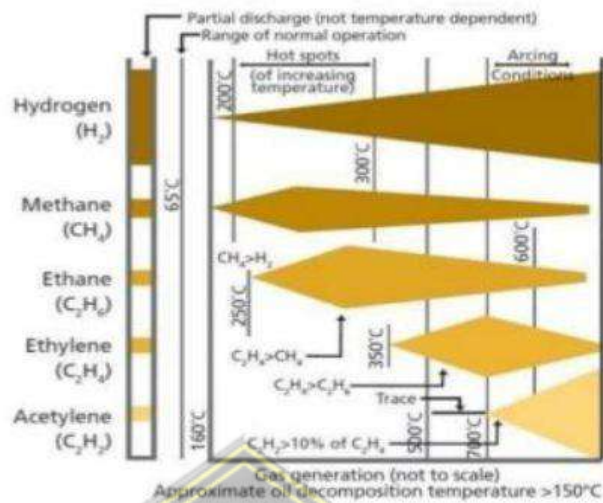
T = Temperatur

FG1 = PPM fault gas C_2H_4

FG2 = PPM fault gas C_2H_6

2.1.6. Fault Gas dan Konsentrasi Terhadap Suhu Transformator

Gambar 2.1 menjelaskan terbentuknya fault gas dan konsentrasinya terhadap kenaikan suhu. Pada sekitar 150°C terbentuk gas hidrogen dan metana. Pada 250°C terbentuk gas etana. Pada 350°C terbentuk gas etilen dan pada suhu 700°C terbentuk gas esetilen. Gangguan logam panas disebabkan adanya indikasi konsentrasi gas etana dan etilen dan terjadinya busur api akibat dari gas esetilen. Sedangkan partial discharger disebabkan oleh gas hidrogen, metana dan etana, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Pembentukan fault Gas berdasarkan Temperatur

2.1.7. Kegagalan Isolasi

Salah satu peran penting dalam kelistrikan yaitu isolasi, isolasi merupakan bahan yang dapat menghindari kontak secara langsung terhadap aliran listrik terutama pada tegangan tinggi.

Pada saat beroperasi, minyak sebagai isolator mengalami penurunan kualitas disebabkan karena banyak factor misalnya pengaruh kontaminan padat, kontaminan cair dan gas-gas hasil reaksi didalam minyak. Selain itu, juga dipengaruhi oleh kondisi minyak yang mengalami stress thermal pada saat beban puncak. Semakin banyak kontaminan yang terkandung dalam minyak, maka kualitas minyak akan semakin menurun dan bisa terjadi breakdown. Karakteristik isolasi minyak transformator akan berubah jika terjadi ketidakmurnian di dalamnya. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. Factor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi antara lain adanya partikel padat, uap air dan gelembung gas.

Partial discharge berkaitan dengan kegagalan isolasi. Terjadinya bunga api pada bagian isolasi dikarenakan beda potensial merupakan adanya partial discharge. Kegagalan isolasi sangat mengganggu kestabilan sistem. Kegagalan isolasi atau bisa disebut dengan partial discharge terjadi pada material isolasi padat, cair maupun gas.

2.1.7.1. Kegagalan isolasi padat

Terjadinya loncatan muatan antara anoda dan katoda saat itu juga terjadi tumbukan elektron yang mempunyai energi yang cukup dalam melepaskan ikatan kimia bahan isolasi. Terdapat pengaruh dari luar juga antara lain O₃ dan NO₂ yang bersal dari lingkungan.

Beberapa kegagalan partial discharge dalam isolasi padat diantaranya adalah :

- a. Kegagalan intrinsik
- b. Kegagalan elektromagnetik
- c. Kegagalan streamer
- d. Kegagalan thermal
- e. Kegagalan Erosi

2.1.7.2. Kegagalan isolasi Cair

Zat-zat lain berupa cairan juga dapat menjadi kegagalan isolasi termasuk adanya gelombang udara. Beberapa teori yang sering dikemukakan proses kegagalan dalam zat cair antara lain:

- a. Kegagalan Elektronik
- b. Kegagalan Kavitasi
- c. Kegagalan Bola cair
- d. Kegagalan bola padat

2.1.7.3. Kegagalan Isolasi gas

Awal munculnya proses kegagalan isolasi gas adalah percikan api secara tiba-tiba. Dasar kegagalan dalam isolasi gas adalah proses ionisasi dan proses lain yaitu mekanisme primer dan mekanisme sekunder.

Ketika elektroda melepaskan elektron yang artinya elektroda mempunyai potensial rendah peristiwa ini akan mengawali terjadinya (spark breakdown). Jika telah terjadi percikan maka jumlah elektron yang dilepaskan semakin banyak dalam waktu yang sangat singkat.

2.1.8. Partial Discharge

Menurut standard *IEC 60270* , *partial discharge* merupakan loncatan bunga api listrik yang terjadi di dalam maupun di permukaan bahan isolasi disebut dengan partial discharge. Partial discharge akan mengakibatkan penurunan bahan isolasi. Kualitas isolasi jika dipakai secara terus menerus dan lama akan mengalami cacat atau kualitas buruk, sehingga akan mengalami kegagalan isolasi.

Fenomena partial discharge ini hanya terjadi pada arus bolak balik dengan tegangan 2000V keatas. Ada beberapa parameter kuantitas partial discharge yang dapat di klarifikasikan:

1. Magnitude partial discharge, dengan satuan milivolt (mV) atau picocoulumb (pC) yaitu ukuran atau volume kegagalan.
2. Pulse cont, jumlah dari kegagalan dengan satuan pulse per second (pps)
3. Intensitas atau daya partial discharge, jumlah daya perusak yang dihasilkan dari partial discharge.
4. Partial discharge signature yaitu menunjukkan fasa dan tipe dari kegagalan.

Uji kualitas minyak transformator berdasarkan uji warna mempunyai beberapa tingkatan yang mana kualitas minyak trafo bisa dikatakan masih layak pakai atau harus diregenerasi. Tingkatan warna minyak dapat diklasifikasikan:

- a. Kuning Pucat: Kondisi minyak bagus
- b. Kuning: Sudah ada endapan tipis
- c. Kuning kecoklatan: terjadi endapan tipis pada lilitan dan inti trafo
- d. Coklat pucat: terjadi endapan pada lilitan dan inti trafo
- e. Coklat gelap: endapan beroksidasi dan mengeras sehingga kertas isolasi mudah retak atau sobek yang akan terlarut dalam minyak trafo
- f. Coklat gelap: endapan mulai menyumbat sirip-sirip pendingin
- g. Hitam: kondisi minyak sudah rusak sebaiknya minyak diganti yang baru atau diregenerasi

2.1.9. Dissolved Gas analysis (DGA)

Teknik untuk mendeteksi keberadaan kondisi gangguan yang baru terjadi pada transformator terendam minyak adalah Dissolved gas Analysis (DGA). Proses untuk menghitung nilai dari gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan adalah DGA. Penanda dari adanya gangguan tidak lain adalah gas yang berada di dalam transformator. Terdapat berbagai macam gas yang dapat terdeteksi yaitu H_2 , CH_4 , CO , CO_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_2 .

2.1.10. Metode Ekstraksi Gas

a. Gas Chromatograph

Gas Chromatograph adalah teknik yang berguna untuk memisahkan zat-zat tertentu dari senyawa gabungan dan dipisahkan menurut penguapannya.

b. Photo-Acoustic Spectroscopy

Proses pengukuran dengan menggunakan sumber radiasi gelombang elektromagnetik sinar inframerah dengan bantuan cermin parabolic kemudian menuju ke piringan pemotong yang berputar dengan kecepatan konstan dan menimbulkan efek stoboskopik terhadap sumber cahaya.

2.1.11. Metode Roger's Ratio

Roger ratio Method(RRM) cara diagnosa sama dengan Doernenburg ratio Method(DRM). Perbedaan terletak pada ketelitian dan banyaknya rasio konsentrasi yang akan di analisa. Rasio gas antara lain C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 termasuk dalam revisi standar IEEE C5

7.104.2019. Berikut rumus untuk menentukan digit kode roger's Ratio:

$$R1 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$R2 = \frac{CH_4}{C_2H_4} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$R3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6} \dots\dots\dots(2.4)$$

Tabel 2.1 Kode kode indikasi gangguan metode Roger`s Ratio

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

Kode	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
0	<0.1	0.1 sampai 1.0	<0.1
1	<0.1	<0.1	<0.1
2	0.1 sampai 3.0	0.1 sampai 1.0	>0.3
3	<0.1	>0.1	1.0 sampai 3.0
4	<0.1	>0.1	1.0 sampai 3.0
5	<0.1	>0.1	>0.3

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.

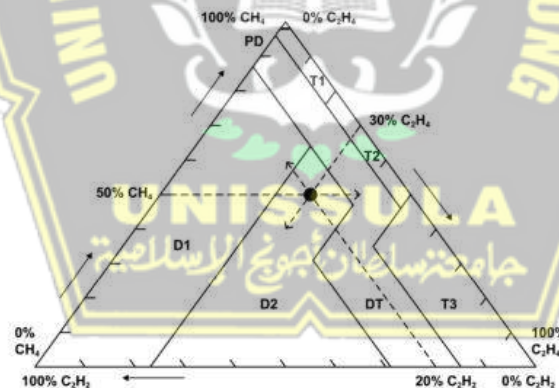
Kontak hubung yang jelek pada sisi terminal incoming, atau kontak pada *tap changer*. Terjadi sirkulasi arus antara inti transformator dengan *ground*.

Kode 5, sama seperti kode 4 hanya saja gangguan yang terjadi berakibat kepada kerusakan isolasi selulosa dan akan menimbulkan gas CO dan CO₂.

Batasan dari metode *rogers ratio* adalah tidak dapat mengidentifikasi kesalahan dalam skala yang amat kecil. karena tidak sesuai dengan kasus apa pun, bahkan ketika jelas ada kesalahan.

2.1.12. Metode duval triangle

Metode ini memfokuskan pengujian DGA terhadap fenomena partial discharge (PD). Metode ini diciptakan oleh Michael Duval pada tahun 1974. Metode duval triangle adalah metode dengan cara mempermudah dan memfokuskan pengujian dengan hanya menggunakan 3 buah gas konsentrasi yaitu metana (CH₄), etilen (C₂H₄) dan asetilen (C₂H₂), terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Duval Triangle

Dengan merujuk pada gambar 2.2 setelah diketahui C₂H₂, C₂H₄, CH₄. Maka:

1. Tarik garis C₂H₂ sebanding lurus dengan C₂H₄, C₂H₄ sebanding lurus dengan CH₄, dan CH₄ sebanding lurus dengan C₂H₂.
2. Setelah sama-sama ditarik garis lurus maka dapat titik temu, titik tersebut menunjukkan kondisi transformator terjadi partial discharge. Region T1 mengindikasikan kegagalan thermal pada temperatur kurang dari 300°C dan T2

mengindikasikan kegagalan thermal pada temperatur 300°C hingga 700°C. D1 mengindikasikan low energi discharge(*spark*) dan D2 merupakan *high energy* discharge (*electric arc*). Dan zona DT mempresentasikan gabungan kegagalan thermal dan elektrik.

Persamaan (2.5) sampai (2.8) merupakan cara untuk menentukan presentasi total gas.

$$\text{Total gas} = \text{Metana (CH}_4\text{)} + \text{etilen (C}_2\text{H}_4\text{)} + \text{asetilen (C}_2\text{H}_2\text{)}.....(2.5)$$

$$\% \text{Metana (CH}_4\text{)} = \frac{(\text{CH}_4)}{\text{Total Gas}} \times 100\%.....(2.6)$$

$$\% \text{Etilen (C}_2\text{H}_4\text{)} = \frac{(\text{C}_2\text{H}_4)}{\text{Total Gas}} \times 100\%.....(2.7)$$

$$\% \text{Asetilen (C}_2\text{H}_2\text{)} = \frac{(\text{C}_2\text{H}_2)}{\text{Total Gas}} \times 100\%.....(2.8)$$

Setelah dilakukan perhitungan maka dapat disimpulkan kegagalan-kegagalan apa yang terjadi. Terdapat berbagai macam kegagalan, berikut penjelasannya pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis-jenis Kegagalan pada monitoring DGA

Simbol	Kegagalan	Keterangan
PD	Partial discharge	Pelepasan muatan (discharge) dari plasma dingin (corona) pada gelembung gas (menyebabkan pengendapan X-way pada isolasi kertas) ataupun tipe percikan (menyebabkan proses perforasi/kebolongan pada kertas yang bisa saja sulit untuk dideteksi)
D1	Discharges of PD Low Energy	PD tipe percikan/spark (menyebabkan perforasi karbon pada isolasi kertas dalam skala yang lebih besar). Arcing pada energi rendah memicu perforasi karbon pada permukaan isolasi kertas sehingga muncul banyak partikel karbon pada minyak.
D2	Discharges of High Energy	Discharge yang menyebabkan kerusakan dan karbonisasi yang meluas pada kertas minyak. Pada kasus yang lebih ekstrim terjadi penggabungan metal (metal fusion). Pemutusan (tripping) peralatan dan pengaktifan alarm gas
T1	Thermal Fault, T <300°C	Isolasi kertas berubah warna menjadi coklat pada temperatur <300°C (T1) dapat diperlakukan sebagai masalah yang tidak terlalu mendesak namun dapat mempengaruhi masa depan isolasi
T2	Thermal Fault, 300°C-700°C	Pada temperatur >300°C terjadi karbonisasi kertas muncul formasi partikel karbon minyak (T2)

T3	Thermal Fault T>700°C	Munculnya formasi partikel karbon pada minyak secara meluas, pewarnaan pada metal (200°C) ataupun penggabungan metal(>1000°C)
DT	Dscharge of Energy and Thermal Fault	Keberadaan gagal pada bagian D dan T, gabungan bentuk kegagalan

2.1.13. Metode TDGC

Metode TDGC (Total Dissolved Combustible Gas) Merupakan metode awal untuk mengetahui sejauh mana tingkat konsentrasi dari masing – masing fault gas antara lain CO₂, CO, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆.

- Kondisi 1 mengindikasikan bahwa trafo beroperasi secara normal
- Kondisi 2 mengindikasikan nilai fault gas mulai tinggi, lakukan investigasi lanjutan terhadap kenaikan level fault gas
- Kondisi 3 mengindikasikan terjadi dekomposisi dari minyak dan selulosa. Berbagai kegagalan mungkin sudah terjadi. Lakukan perawatan lebih lanjut
- Kondisi 4 mengindikasikan trafo mengalami dekomposisi dari minyak dan selulosa yang sudah meluas.

Tabel 2.3 Batas kosentrasi gas kunci terlarut

Status	Batas Konsentrasi Gas Kunci Terlarut (uL/L(ppm) ²)							TDCG
	Hydrogen (H ₂)	Methane (CH ₄)	Acetylene (C ₂ H ₂)	Ethylene (C ₂ H ₄)	Ethane (C ₂ H ₆)	Carbon Monoxide (CO)	Carbon Dioxide (CO ₂)	
Kondisi 1	100	120	1	50	65	350	2500	720
Kondisi 2	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2501-4000	721-1920
Kondisi 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

2.1.14. Metode Key Gas

Tabel 2.4 Karakteristik gangguan metode Keygas

KARAKTERISTIK GANGGUAN DENGAN METODE KEYGAS		
No	Keygas	Diagnosis
1	C_2H_4	Thermal Oil
2	CO	Thermal Cellulose
3	H_2	Partial Discharge
4	$H_2 + C_2H_2$	Arcing

Pada metode key gas digunakan sebagai indicator gangguan adalah gas hydrogen (H_2), Karbon Monoksida (CO), Metana (CH_4), Ethylene (C_2H_4), dan Acetilen (C_2H_2). Komposisi jumlah gas secara individu yang menonjol digunakan untuk mempresentasikan kegagalan yang terjadi pada transformator.

2.1.15. Mekanisme Kegagalan Isolasi Minyak Transformator

Mekanisme kegagalan pada minyak trafo biasanya terjadi Ketika sebuah minyak trafo digunakan terlalu lama ataupun buruknya kualitas minyak trafo, kemudian kegagalan isolasi ini akan merambat terus dan terjadi pengikisan sehingga minyak tidak dapat menahan dan berakibat terjadinya flashover.

Penurunan kualitas (degradasi) dari bahan isolasi disebabkan oleh energi dilepaskan dari gangguan partial discharge. Penurunan kualitas (degradasi) ini dapat menimbulkan lintasan (track) menyerupai pohon yang terdapat dipermukaan bahkan menembus isolasi. Lintasan (track) ini nantinya akan berubah menjadi bahan konduksi disebabkan karbon dari degradasi kualitas isolasi.

Tekanan listrik akan selalu berpusat di ujung hambatan lintasan (track) menyerupai pohon tadi sehingga panjang rambatnya akan bertambah Panjang jika fenomena ini terjadi dalam jangka panjang. Fenomena partial discharge biasanya terjadinya Ketika kualitas isolasi , kemudian kegagalan isolasi ini akan merambat terus dan terjadinya flashover atau biasa dikenal kegagalan isolasi total.

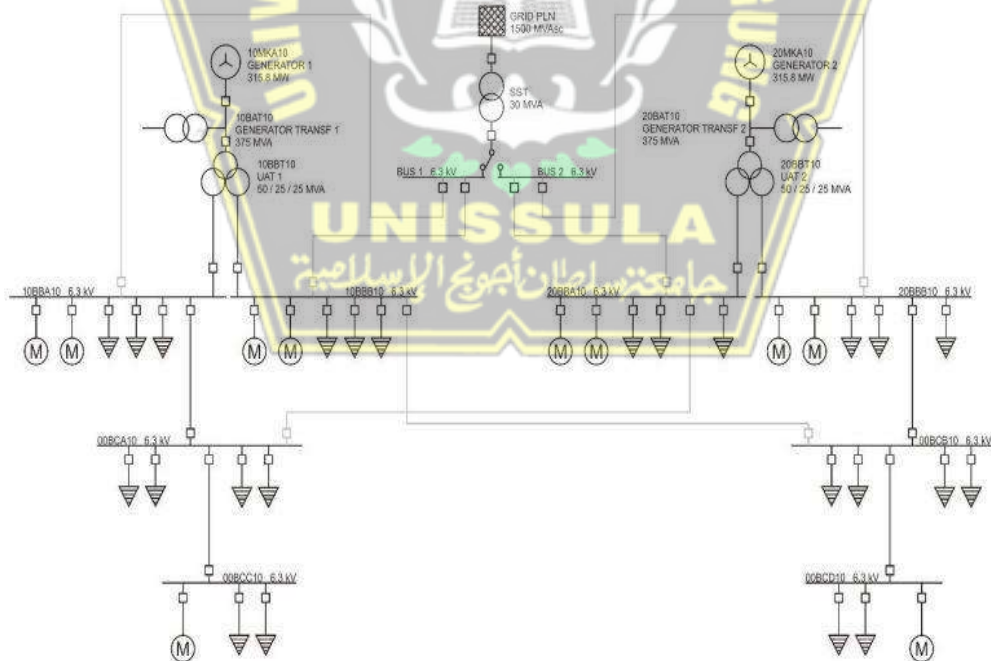
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Model Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menentukan judul penelitian yang akan di ambil. Selanjutnya yaitu lokasi penelitian, penelitian kali ini dengan judul analisa partial discharge pada transformator 60 MVA dengan metode duval triangle pada PLTU Rembang. Kemudian pengumpulan data primer dan sekunder , data data primer didapatkan langsung dari PLTU Rembang sedangkan data sekunder didapatkan dari buku, jurnal ataupun penelitian sebelumnya.

Dalam penelitian kali ini model penelitian yang digunakan seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model Penelitian

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini berada di PLTU Rembang lebih tepatnya alamat, sebagai berikut :

Alamat : Area Pelabuhan, Ds Laren Kec. Sluke
 Kota : Rembang
 Provinsi : Jawa Tengah
 Kode Pos : 59272



Gambar 3.2 PLTU Rembang

3.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian untuk membantu penulisan dalam menyelesaikan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Oil Tester yang digunakan untuk mengukur minyak transformator
2. PC atau laptop yang digunakan untuk membuat laporan serta mengolah data minyak transformator

3.4. Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara :

1. Metode deskriptif yaitu dengan pengamatan di PLTU Rembang.
2. Melakukan wawancara dengan pihak terkait dengan Minyak Transformator.
3. Melakukan analisa data minyak transformator pada GT10 dan GT20.
4. Studi literature yaitu mengadakan studi buku, internet, jurnal dan sumber lain yang berkaitan dengan partial discharge.

3.5. Pengambilan Data Minyak Transformator

Pengambilan data diambil di PLTU Rembang. Data yang diambil adalah data tentang minyak isolasi yang digunakan pada transformator GT10 dan GT20. Dibawah ini adalah data gas yang terlarut dalam minyak transformator GT 10 dan Transformator GT 20 PLTU Rembang.

Tabel 3.1 Data minyak transformator GT10 PLTU Rembang

No	Tanggal	Metana CH ₄		Ethylene C ₂ H ₄		Ethane C ₂ H ₆		Acetylene C ₂ H ₂	
		Coutio n	Warni ng	Coutio n	Warni ng	Couti on	War ning	Cou tion	War ning
		20 ppm	60 ppm	60 ppm	125 ppm	15 ppm	40 ppm	2 ppm	7 ppm
1	24-Jun-21	159		250		97		0	
2	06-Aug-21	145		276		102		0	
3	12-Oct-21	193		330		120		0	
4	15-Dec-21	182		289		114		0	
5	10-Jan-22	160		293		106		0	
6	19-Jan-22	199		314		107		0	
7	27-Jan-22	189		311		109		0	
8	03-Feb-22	183		301		106		0	
9	08-Mar-22	223		301		97		0	
10	29-Mar-22	194		321		105		0	
11	04-Apr-22	28		70		25		0	
12	06-Apr-22	12		33		11		0	
13	20-Apr-22	2		34		14		0	
14	20-Jun-22	0		47		18		0	

Tabel 3.2 Data minyak transformator GT20 PLTU Rembang

No	Tanggal	Metana CH ₄		Ethylene C ₂ H ₄		Ethane C ₂ H ₆		Acetylene C ₂ H ₂	
			War ning	Coutio n	Warni ng	Coutio n	Warni ng	Couti on	Warning
		20 ppm	60 ppm	60 ppm	125 ppm	15 ppm	40 ppm	2 ppm	7 ppm
1	24-Jun-21	0		0		0		0	
2	06-Aug-21	0		0		0		0	
3	15-Dec-21	3		0		0		0	
4	08-Mar-22	3		0		0		0	
5	29-Mar-22	3		0		0		0	
6	25-Apr-22	0		0		0		0	
7	20-Jun-22	0		0		0		0	
8	30-Aug-22	4		0		0		0	

3.6. Metode Duval Triangle

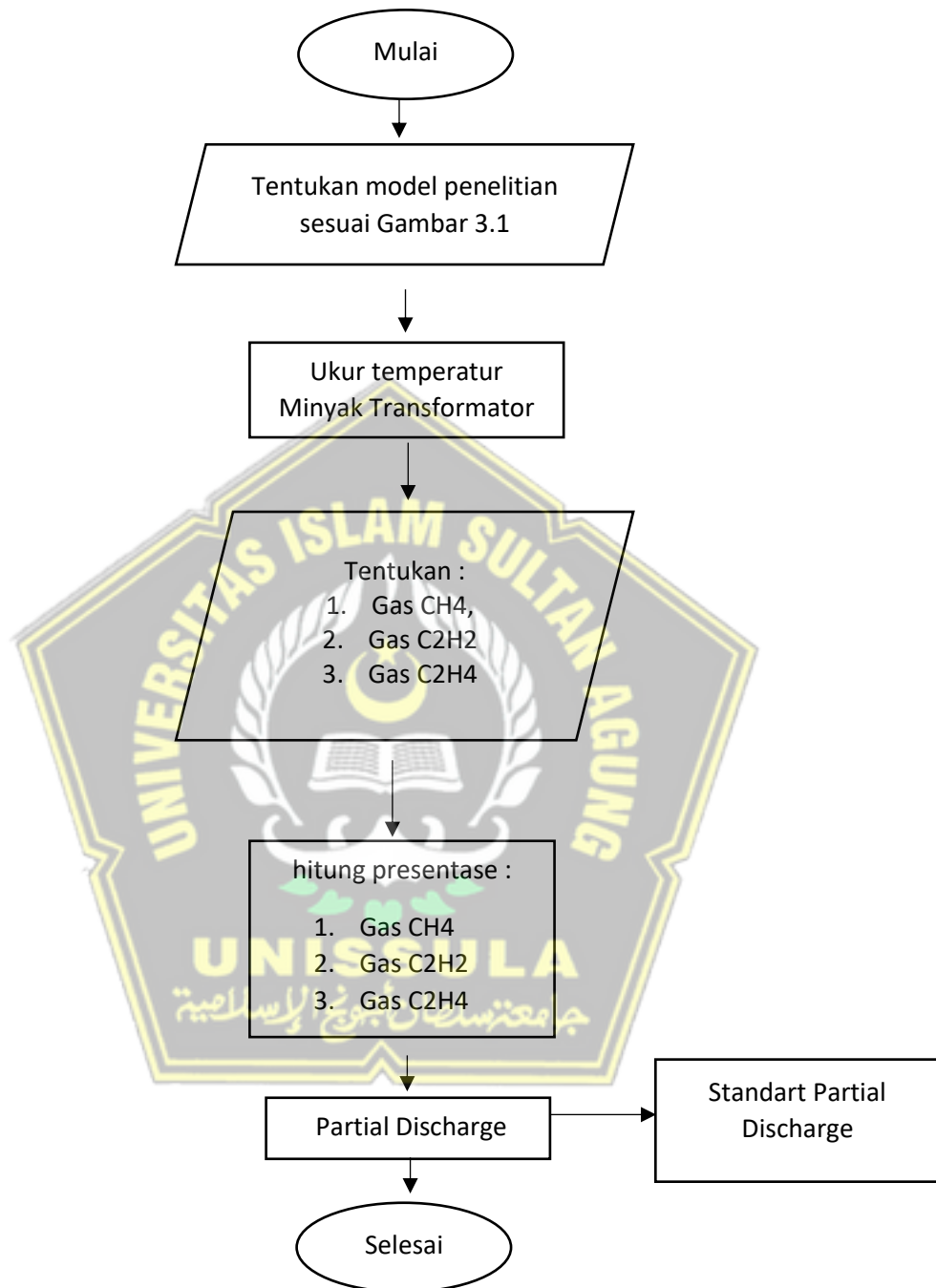
Metode ini menggunakan 3 gas konsentrasi yaitu gas Metana (CH_4) Etilen (C_2H_2) dan Esetilen (C_2H_4) dengan mengacu pada IEC 60599-2007-05 . Dalam penentuan DGA dengan menggunakan metode duval triangle terdapat bantuan gambar segitiga gas konsentrasi. Gambar 3.3 merupakan gambar segitiga duval triangle.

Gambar 3.3 Duval Triangle



Untuk menentukan titik di duval triangle maka di penyelesaiannya ada di persamaan (2.5), persamaan (2.6), persamaan (2.7) dan persamaan (2.8), setelah memasukan angka-angka ke persamaan (2.5) sampai hasil (2.8) maka dapat diketahui kondisi minyak transformator. Metode Duval triangle adalah salah satu metode yang berguna untuk menemukan partial discharge atau gangguan minyak transformator .

3.7. Diagram Penelitian

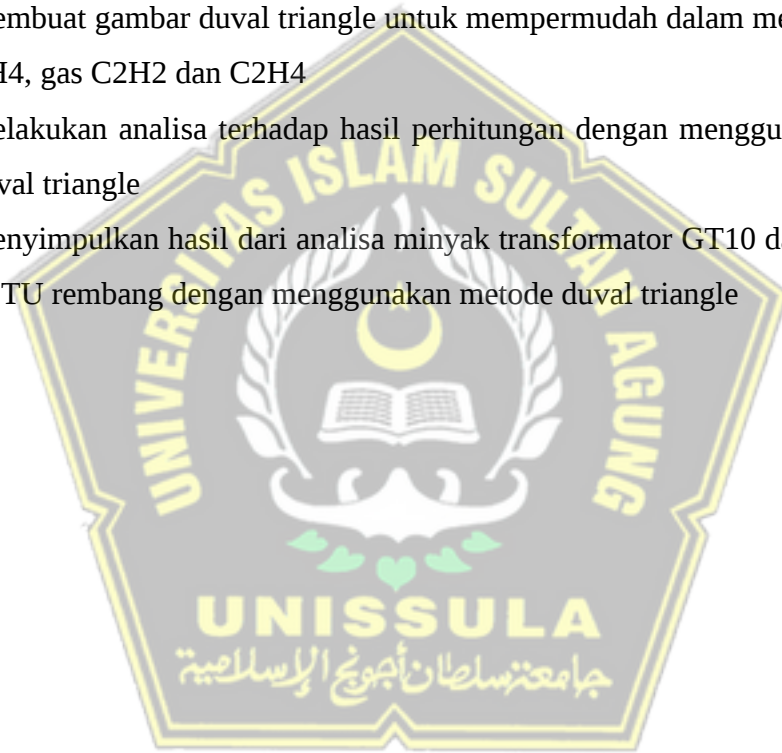


Gambar 3.4 Flowchhart

3.8. Tahapan penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan minyak transformator dan data DGA
2. Mengukur suhu minyak transformator GT10 dan GT20 di PLTU Rembang
3. Mencari total gas CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 pada Transformator GT10 dan GT20 di PLTU Rembang
4. Menghitung presentase gas CH_4 , gas C_2H_2 dan gas C_2H_4 pada tranformator GT10 dan GT20 di PLTU Rembang
5. Membuat gambar duval triangle untuk mempermudah dalam menganalisa gas CH_4 , gas C_2H_2 dan C_2H_4
6. Melakukan analisa terhadap hasil perhitungan dengan menggunakan metode duval triangle
7. Menyimpulkan hasil dari analisa minyak transformator GT10 dan GT20 pada PLTU rembang dengan menggunakan metode duval triangle



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Minyak Transformator GT10

Langkah pertama adalah mencari suhu minyak transformator GT10 merujuk pada persamaan (2.1) berikut adalah hasilnya:

Perhitungan temperatur pada tanggal 24 juni 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{250}{97}) + 150$$

$$= 407,73^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 06 Agustus 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{276}{102}) + 150$$

$$= 420,58^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 12 Oktober 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{330}{120}) + 150$$

$$= 425^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 15 Desember 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$\begin{aligned} T &= (100 \times \frac{289}{114}) + 150 \\ &= 403,50^{\circ}C \end{aligned}$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 10 januari 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$\begin{aligned} T &= (100 \times \frac{293}{106}) + 150 \\ &= 426,41^{\circ}C \end{aligned}$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 19 Januari 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$\begin{aligned} T &= (100 \times \frac{314}{107}) + 150 \\ &= 443,45^{\circ}C \end{aligned}$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 27 januari 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$\begin{aligned} T &= (100 \times \frac{311}{109}) + 150 \\ &= 435,32^{\circ}C \end{aligned}$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 03 Februari 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{301}{106}) + 150$$

$$= 433,96^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 8 Maret 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{301}{97}) + 150$$

$$= 460,30^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 29 Maret 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{321}{105}) + 150$$

$$= 455,71^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 04 April 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{70}{25}) + 150$$

$$= 430^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 06 April 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{33}{11}) + 150$$

$$= 450^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 20 April 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{34}{14}) + 150$$

$$= 392,85^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 20 juni 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{47}{18}) + 150$$

$$= 411,11^{\circ}C$$

4.2. Hasil Perhitungan Minyak Transformator GT20

Pada perhitungan suhu minyak transformator GT20 sama dengan GT10 yang merujuk pada persamaan (2.1), berikut hasil dari perhitungannya :

Perhitungan temperatur pada tanggal 24 juni 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 06 Agustus 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 15 Desember 2021

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 8 Maret 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 29 Maret 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 25 April 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 20 Juni 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Perhitungan temperatur pada tanggal 30 Agustus 2022

$$T = (100 \times \frac{FG1}{FG2}) + 150$$

$$T = (100 \times \frac{0}{0}) + 150$$

$$= 150^{\circ}C$$

Berdasarkan perhitungan minyak transformator pada GT10 dan GT20 dapat disimpulkan pada tabel 4.1.

Tanggal	Transformator GT10	Tanggal	Transformator GT20
24 jun 2021	407,73°C	24 Juni 2021	150°C
06 Agust 2021	420,58°C	06 Agust 2021	150°C
12 Okt 2021	425°C	15 des 2021	150°C
15 Des 2021	403,50°C	08 maret 2022	150°C
10 jan 2022	426,41°C	29 maret 2022	150°C
19 jan 2022	443,45°C	25 April 2022	150°C
27 jan 2022	435,32°C	20 Juni 2022	150°C
03 feb 2022	433,96°C	30 Agust 2022	150°C
8 Maret 2022	460,30°C		
29 Maret 2022	455,71°C		
04 April 2022	430°C		

06 April 2022	450°C		
20 April 2022	392,85°C		
20 Jun 2022	411,11°C		

Dari tabel 4.1 menjelaskan bahwa pada transformator GT10 nilai tertinggi adalah 460°C, 30°C sedangkan untuk transformator GT20 nilai rata-ratanya adalah 150°C.

4.3. Hasil Perhitungan menggunakan metode *Duval Triangle*

4.3.1. Hasil Perhitungan menggunakan metode duval triangle pada GT10

Selanjutnya adalah menghitung konsentrasi gas minyak transformator GT10 menggunakan persamaan (2.5) sampai persamaan (2.8) setiap tanggal pengujian.

Perhitungan pada tanggal 24 Juni 2021

$$\begin{aligned}
 \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\
 &= 159 + 250 + 0 \\
 &= 409
 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 \%CH_4 &= \frac{159}{409} \times 100\% \\
 &= 38,87\%
 \end{aligned}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

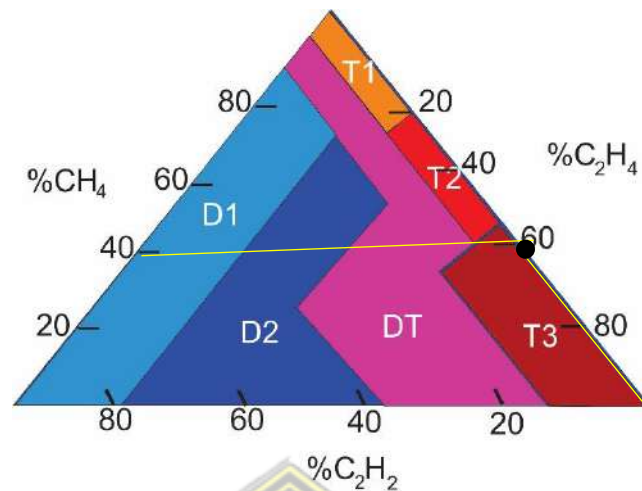
$$\%C_2H_4 = \frac{250}{409} \times 100\%$$

$$= 61,12\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{409} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.1 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 24 juni 2021

Gambar 4.1 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 6 Agustus 2021

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 145 + 276 + 0 \\ &= 421 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{145}{421} \times 100\%$$

$$= 34,44\%$$

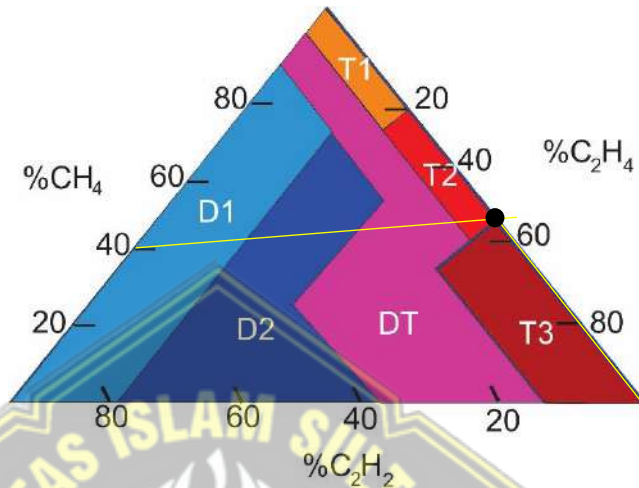
$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{276}{421} \times 100\%$$

$$= 65,55\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}\%C_2H_2 &= \frac{0}{409} \times 100\% \\ &= 0\%\end{aligned}$$



Gambar 4.2 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 Agustus 2021

Gambar 4.2 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^\circ C$) ataupun penggabungan metal ($> 1000^\circ C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ C$.

Perhitungan pada tanggal 12 Oktober 2021

$$\begin{aligned}Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 193 + 330 + 0 \\ &= 423\end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{193}{523} \times 100\%$$

$$= 36,9\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

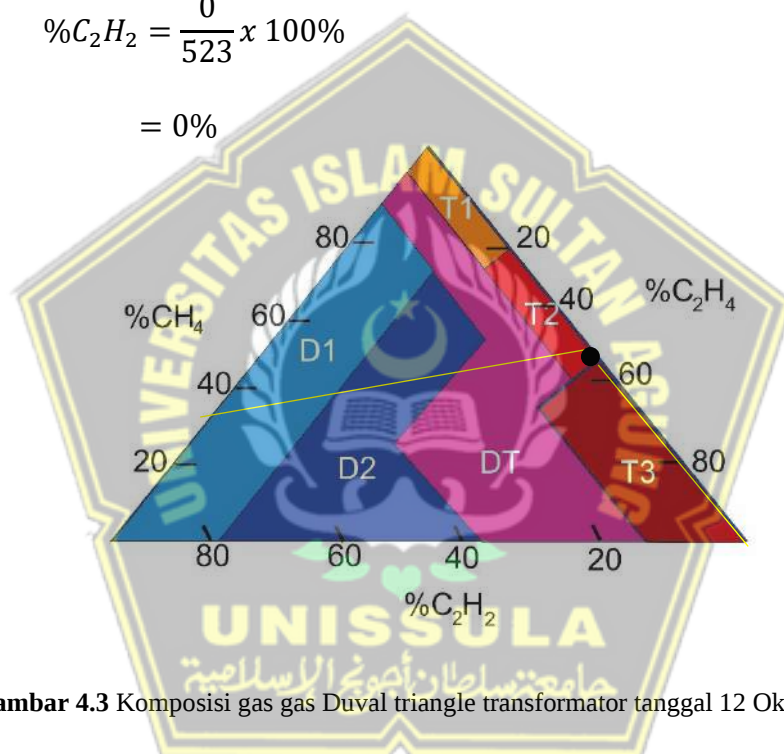
$$\%C_2H_4 = \frac{330}{523} \times 100\%$$

$$= 65,55\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.3 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 12 Oktober 2021

Gambar 4.3 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^\circ C$) ataupun penggabungan metal ($> 1000^\circ C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ C$.

Perhitungan pada tanggal 15 Desember 2021

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 182 + 289 + 0 \\ &= 471 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{182}{471} \times 100\%$$

$$= 38,64\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total Gas} \times 100\%$$

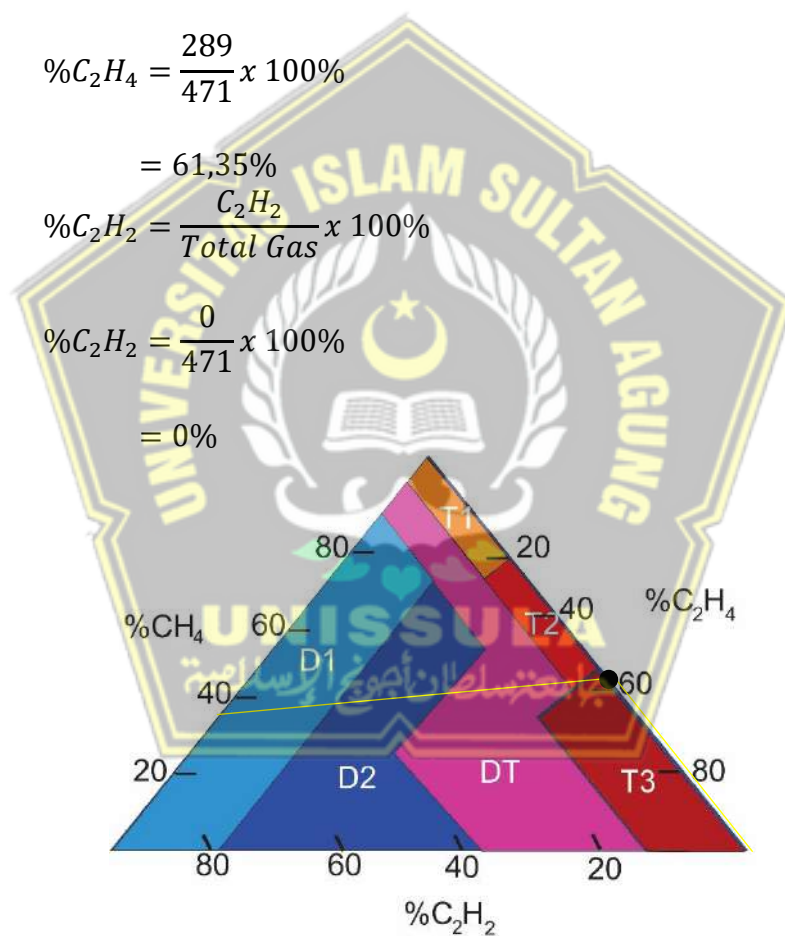
$$\%C_2H_4 = \frac{289}{471} \times 100\%$$

$$= 61,35\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{471} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.4 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 15 Desember 2021

Gambar 4.4 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta

munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 10 Januari 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 160 + 293 + 0 \\ &= 453 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%CH_4 &= \frac{160}{453} \times 100\% \\ &= 35,32\% \end{aligned}$$

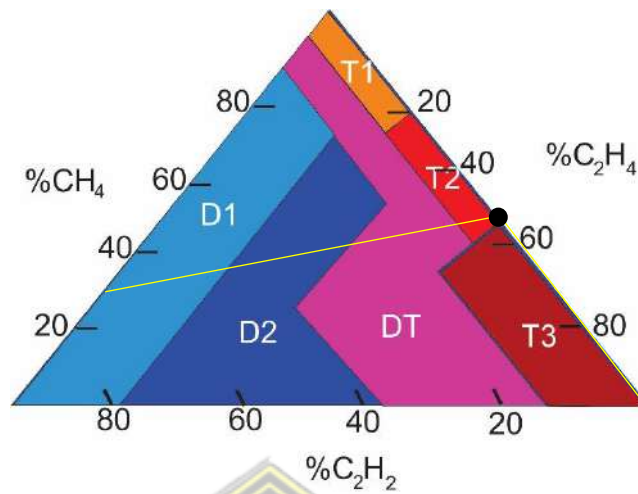
$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_4 &= \frac{293}{453} \times 100\% \\ &= 64,67\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.5 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 10 Januari 2022

Gambar 4.5 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 19 Januari 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 199 + 314 + 0 \\ &= 513 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{199}{513} \times 100\%$$

$$= 38,79\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

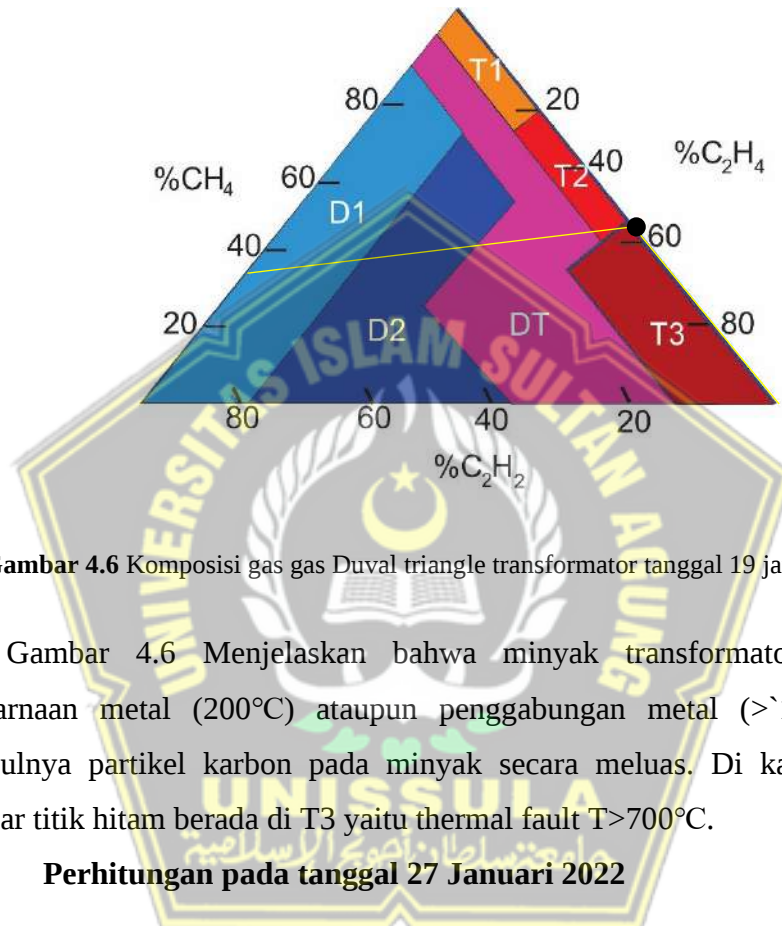
$$\%C_2H_4 = \frac{314}{513} \times 100\%$$

$$= 61,2\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.6 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 19 januari 2022

Gambar 4.6 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 27 Januari 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 189 + 311 + 0 \\ &= 500 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{189}{500} \times 100\%$$

$$= 37,8\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

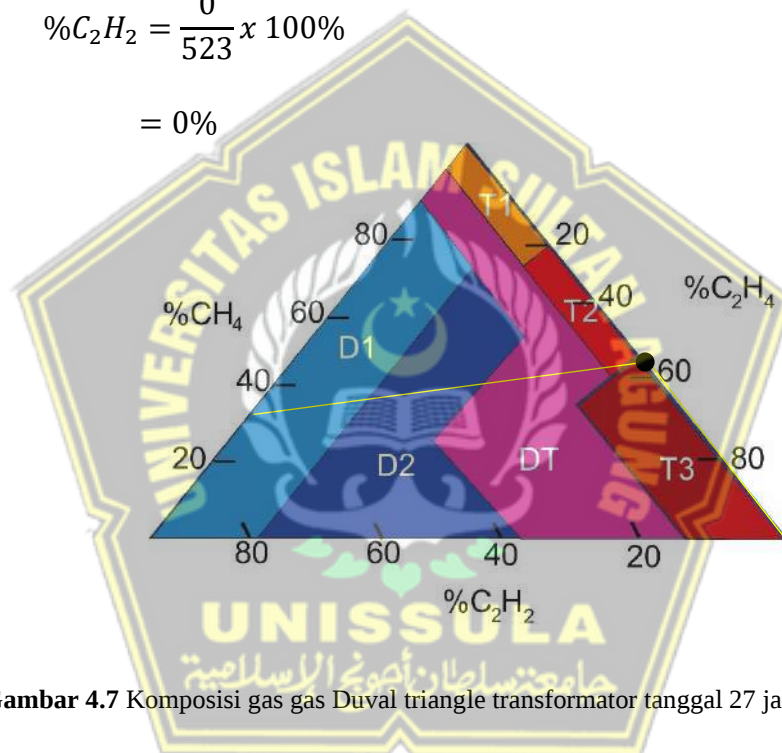
$$\%C_2H_4 = \frac{311}{500} \times 100\%$$

$$= 62,2\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.7 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 27 januari 2022

Gambar 4.7 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 3 Februari 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 183 + 301 + 0 \\ &= 484 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{183}{484} \times 100\%$$

$$= 37,8\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total Gas} \times 100\%$$

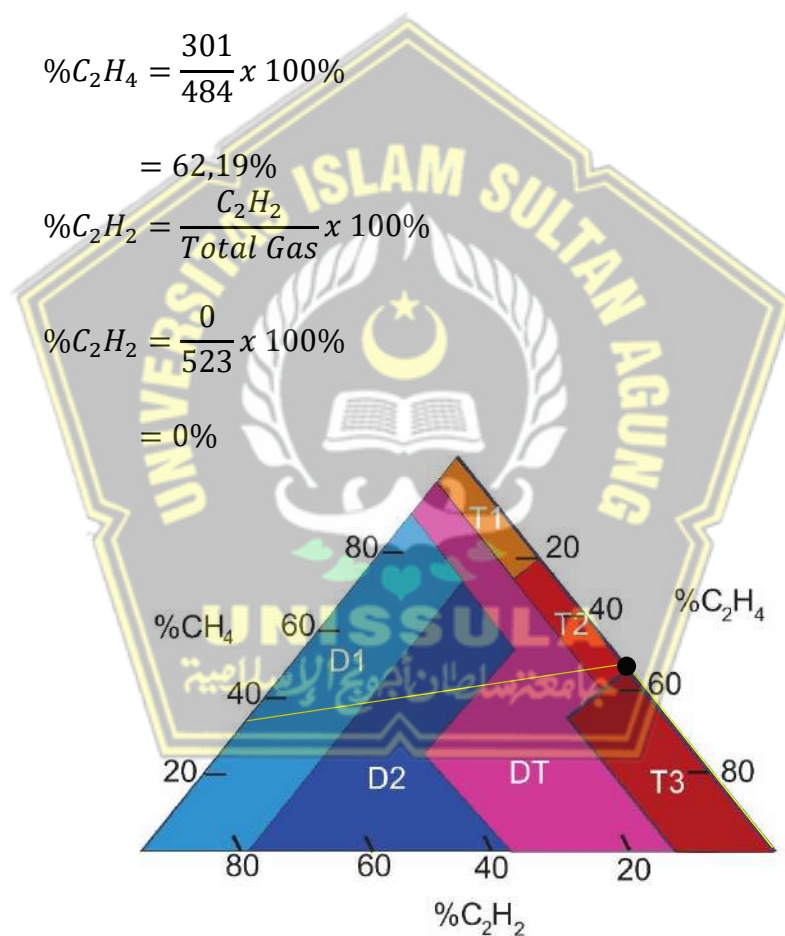
$$\%C_2H_4 = \frac{301}{484} \times 100\%$$

$$= 62,19\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.8 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 3 februari 2022

Gambar 4.8 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 8 Maret 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 223 + 301 + 0 \\ &= 524 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

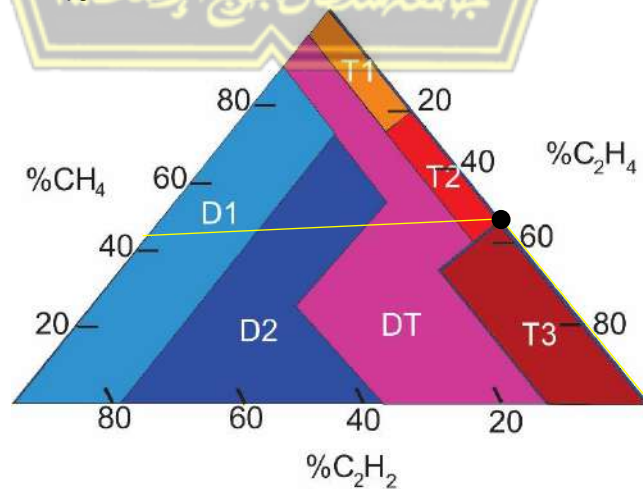
$$\begin{aligned} \%CH_4 &= \frac{223}{524} \times 100\% \\ &= 42,55\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_4 &= \frac{301}{524} \times 100\% \\ &= 57,44\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_2 &= \frac{0}{523} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 8 maret 2022

Gambar 4.9 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 29 Maret 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 194 + 321 + 0 \\ &= 515 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%CH_4 &= \frac{194}{515} \times 100\% \\ &= 37,66\% \end{aligned}$$

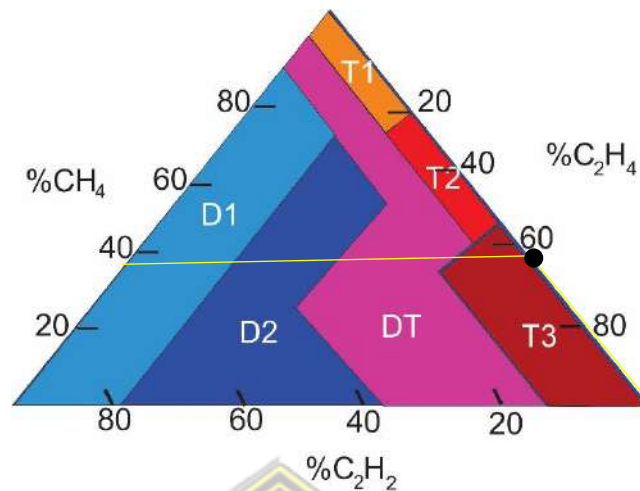
$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_4 &= \frac{321}{515} \times 100\% \\ &= 62,33\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.10 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 29 Maret 2022

Gambar 4.10 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 4 April 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 28 + 70 + 0 \\ &= 98 \end{aligned}$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{\text{CH}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{28}{98} \times 100\%$$

$$= 28,57\%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

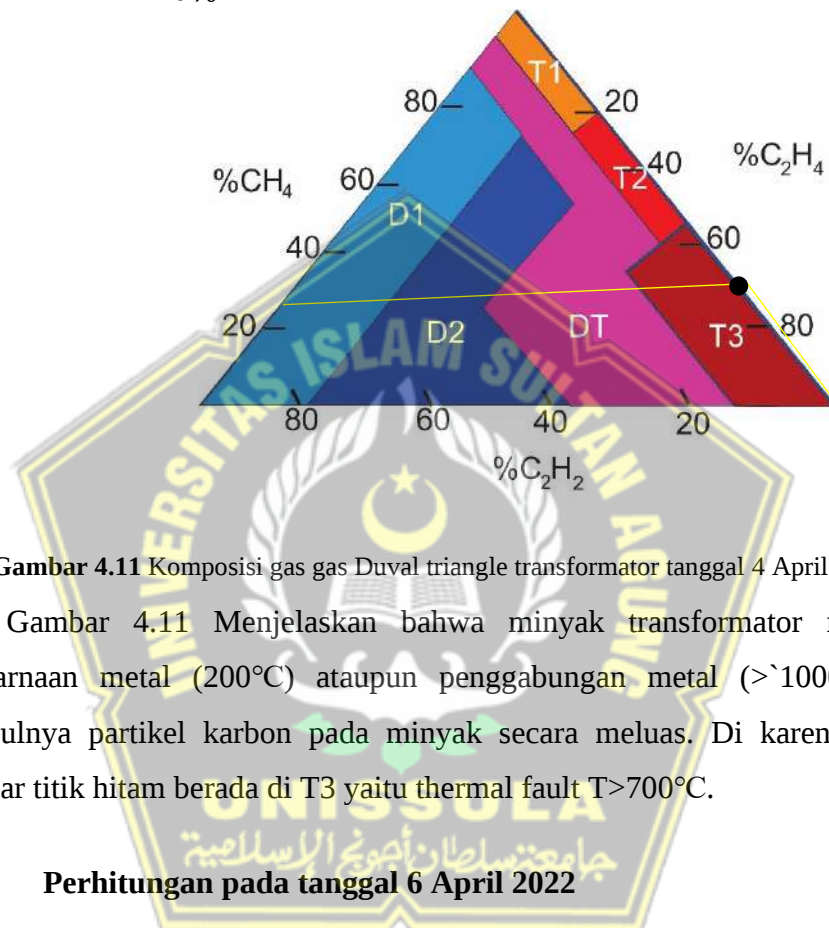
$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{70}{98} \times 100\%$$

$$= 71,42\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.11 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 4 April 2022

Gambar 4.11 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 6 April 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 12 + 33 + 0 \\ &= 45 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{12}{45} \times 100\%$$

$$= 26,66\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

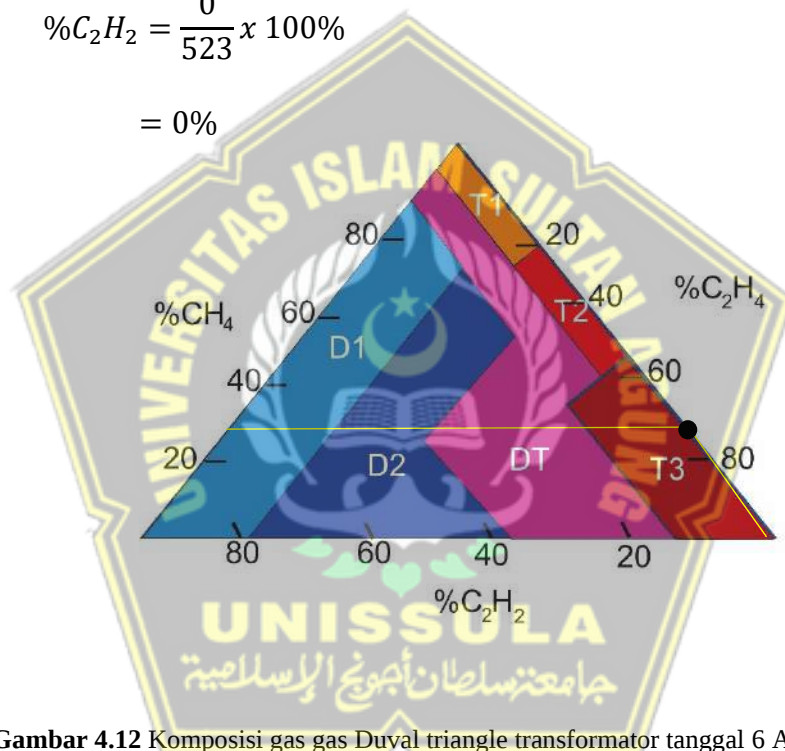
$$\%C_2H_4 = \frac{33}{45} \times 100\%$$

$$= 73,33\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.12 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 April 2022

Gambar 4.12 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T >700°C.

Perhitungan pada tanggal 20 April 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 2 + 34 + 0 \\ &= 36 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{2}{36} \times 100\%$$

$$= 0,05\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total Gas} \times 100\%$$

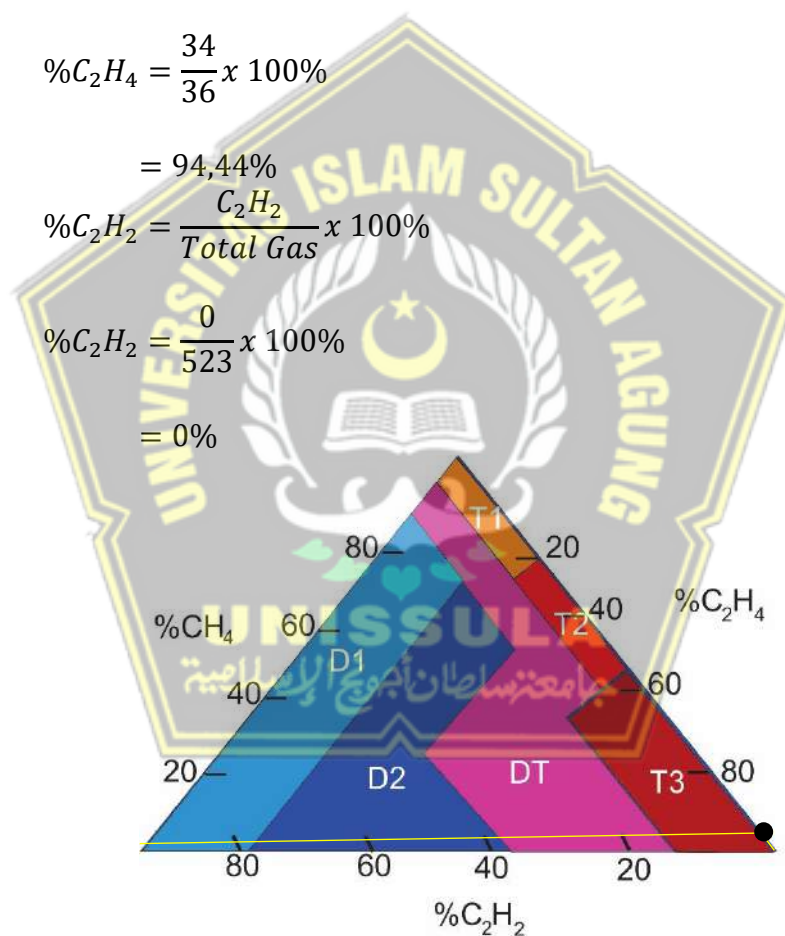
$$\%C_2H_4 = \frac{34}{36} \times 100\%$$

$$= 94,44\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.13 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 April 2022

Gambar 4.13 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault T>700°C.

Perhitungan pada tanggal 20 Juni 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 0 + 18 + 0 \\ &= 515 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{0}{18} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

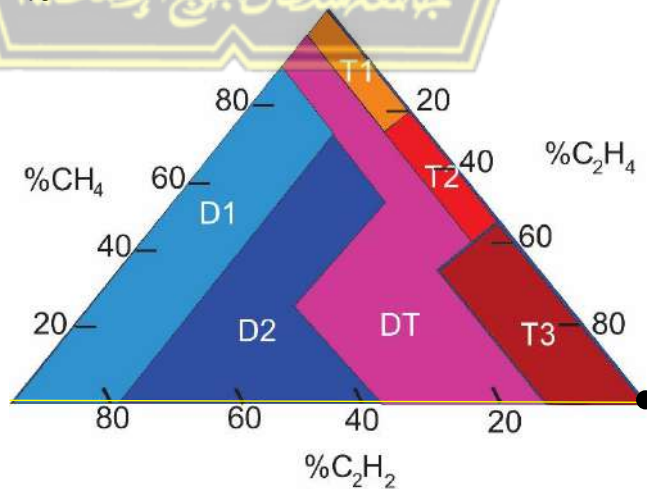
$$\%C_2H_4 = \frac{18}{18} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{523} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.14 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 Juni 2022

Gambar 4.14 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

4.3.2. Hasil metode duval triangle pada GT20

Sama dengan proses sebelumnya menghitung kosentrasi gas minyak tranformator GT20 menggunakan persamaan (2.5) sampai persamaan (2.8) setiap tanggal pengujian

Perhitungan pada tanggal 24 Juni 2021

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 0 + 0 + 0 \\ &= 515 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%CH_4 &= \frac{0}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

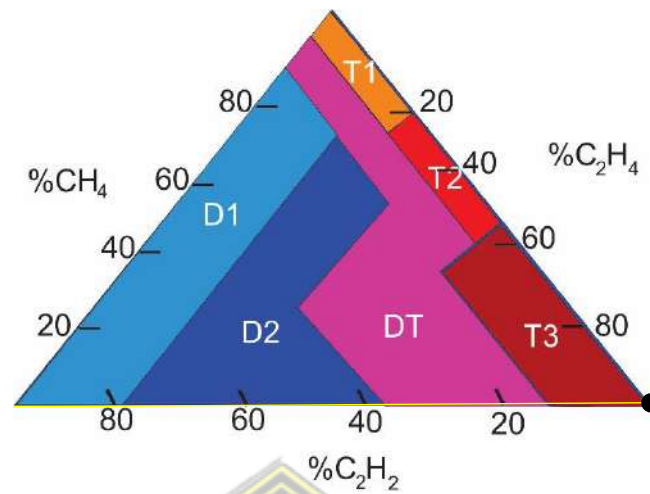
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.15 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 24 Juni 2021

Gambar 4.15 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^\circ\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 6 Agustus 2021

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 0 + 0 + 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{\text{CH}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

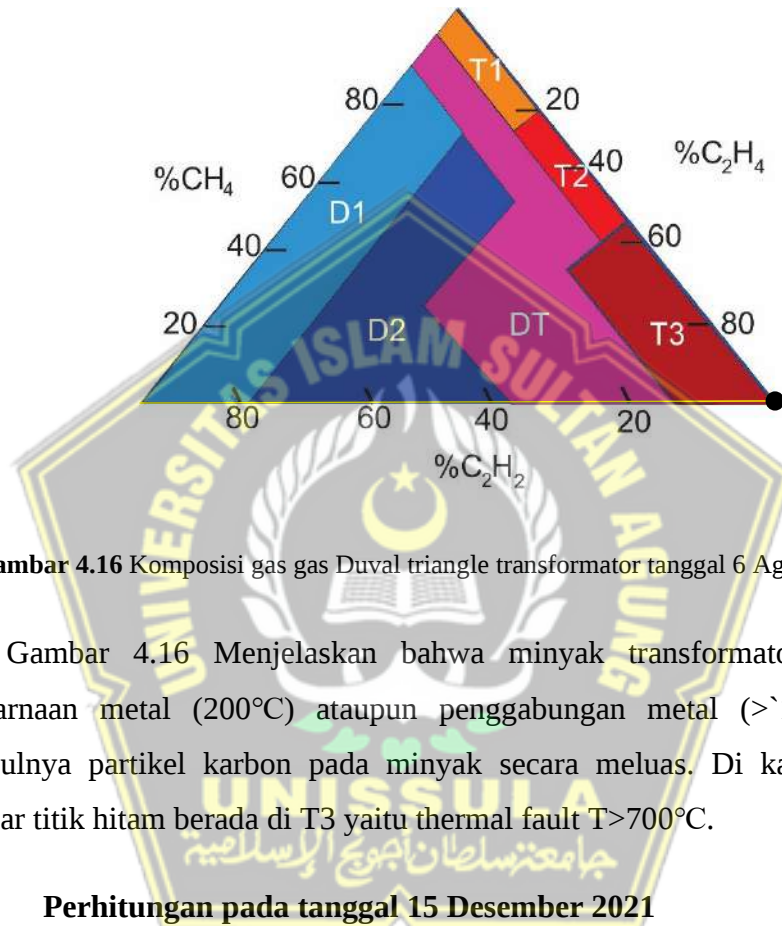
$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.16 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 6 Agustus 2021

Gambar 4.16 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^\circ C$) ataupun penggabungan metal ($> 1000^\circ C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ C$.

Perhitungan pada tanggal 15 Desember 2021

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 3 + 0 + 0 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{3}{3} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

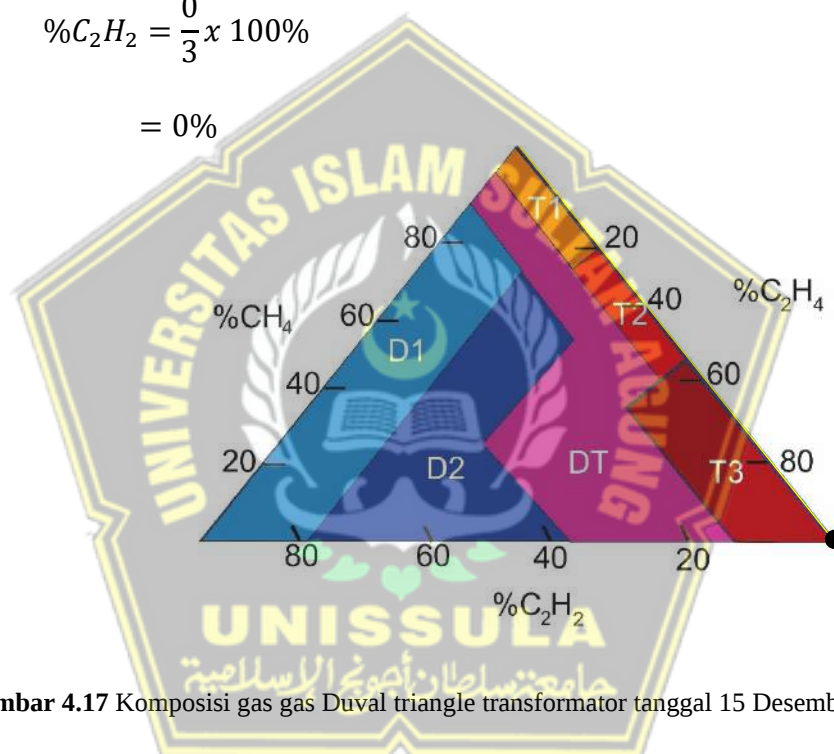
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.17 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 15 Desember 2021

Gambar 4.17 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^{\circ}C$) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}C$.

Perhitungan pada tanggal 8 Maret 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 3 + 0 + 0 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{3}{3} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

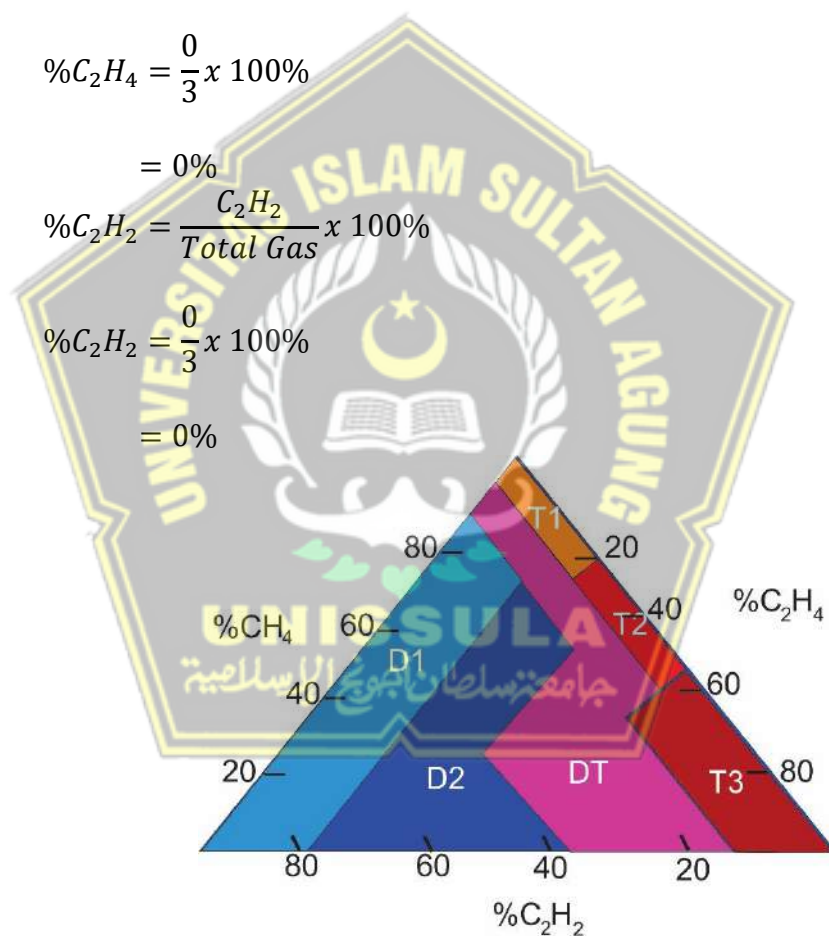
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.18 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 8 Maret 2022

Gambar 4.18 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^\circ C$) ataupun penggabungan metal ($> 1000^\circ C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ C$.

Perhitungan pada tanggal 29 Maret 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 3 + 0 + 0 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{3}{3} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

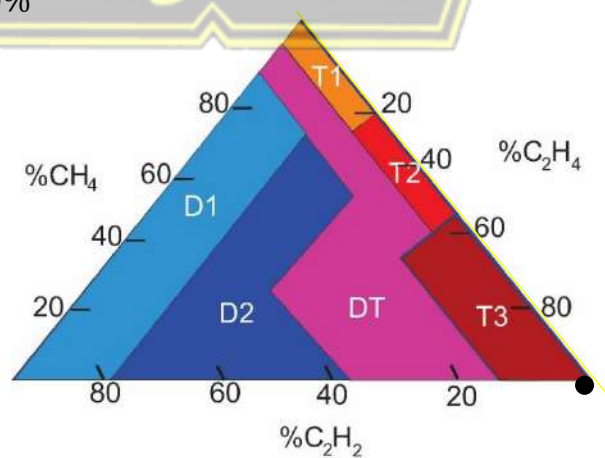
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.19Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 29 Maret 2022

Gambar 4.19 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 25 April 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 0 + 0 + 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

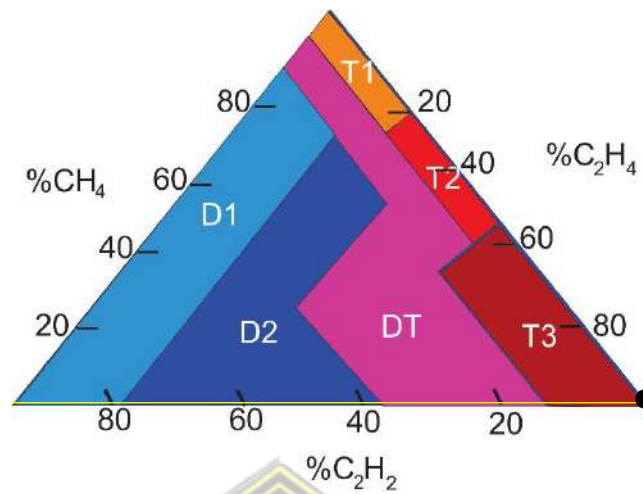
$$\begin{aligned} \%CH_4 &= \frac{0}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_4 &= \frac{0}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \%C_2H_2 &= \frac{0}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$



Gambar 4.20 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 25 April 2022

Gambar 4.20 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal ($>1000^\circ\text{C}$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^\circ\text{C}$.

Perhitungan pada tanggal 20 Juni 2022

$$\begin{aligned} \text{Total gas} &= \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 0 + 0 + 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{\text{CH}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

$$\% \text{CH}_4 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\%$$

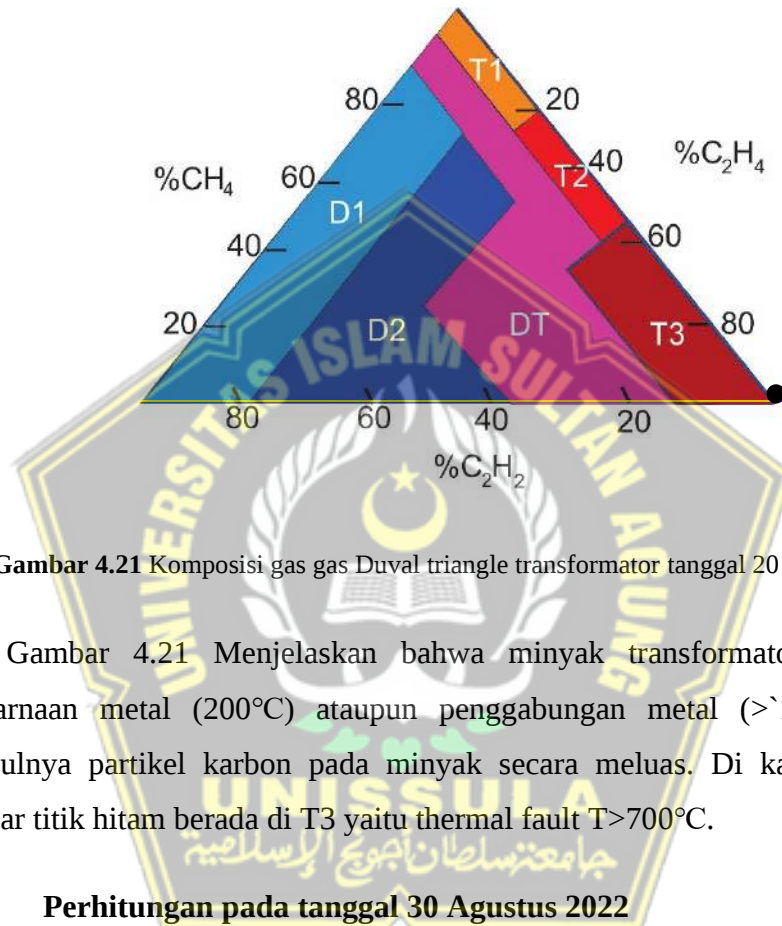
$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{0} \times 100\%$$

$$= 0\%$$



Gambar 4.21 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 20 juni 2022

Gambar 4.21 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal ($200^{\circ}C$) ataupun penggabungan metal ($>1000^{\circ}C$) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}C$.

Perhitungan pada tanggal 30 Agustus 2022

$$\begin{aligned} Total\ gas &= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 \\ &= 4 + 0 + 0 \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{Total\ Gas} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = \frac{4}{4} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{Total Gas} \times 100\%$$

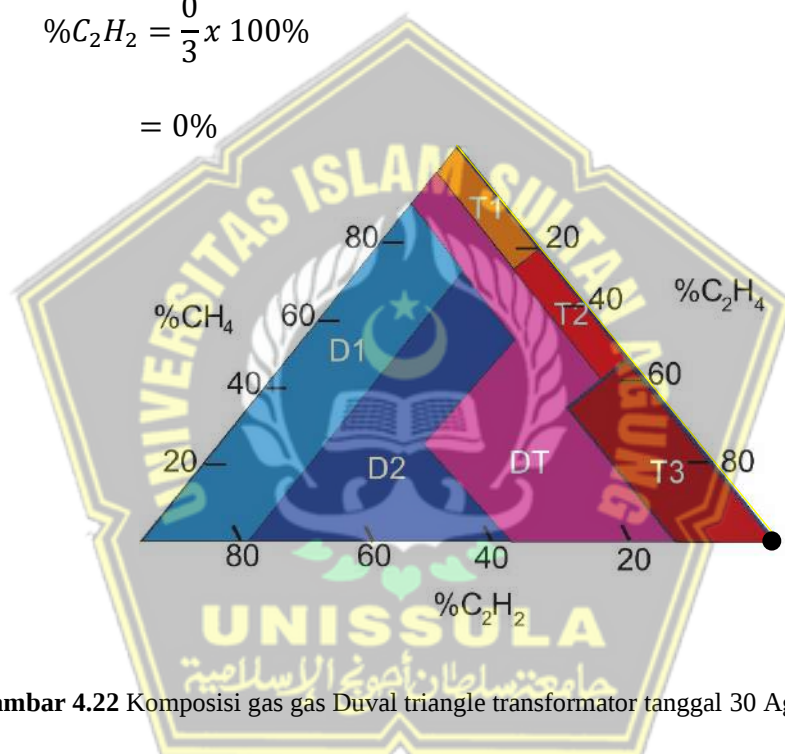
$$\%C_2H_4 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{Total Gas} \times 100\%$$

$$\%C_2H_2 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

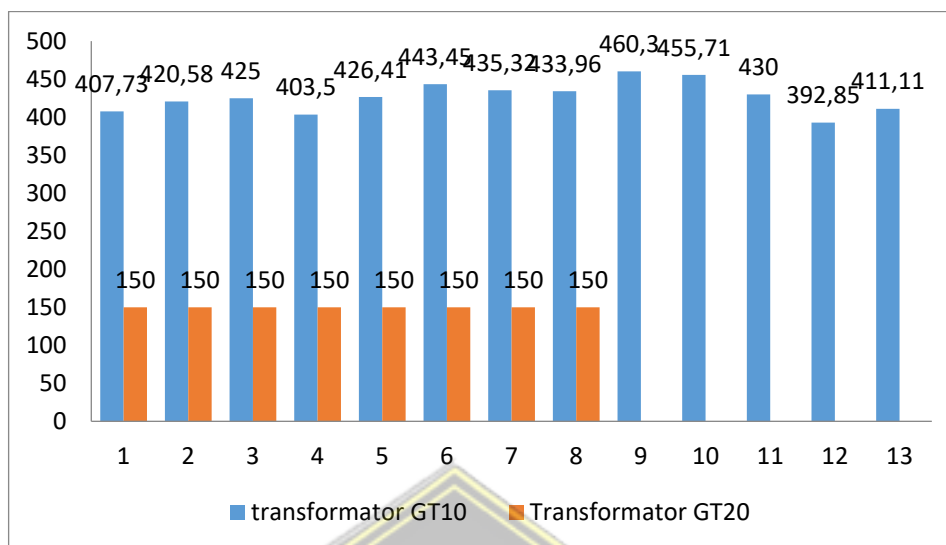


Gambar 4.22 Komposisi gas gas Duval triangle transformator tanggal 30 Agustus 2022

Gambar 4.22 Menjelaskan bahwa minyak transformator mengalami perwarnaan metal (200°C) ataupun penggabungan metal (>1000°C) serta munculnya partikel karbon pada minyak secara meluas. Di karenakan pada gambar titik hitam berada di T3 yaitu thermal fault $T > 700^{\circ}\text{C}$.

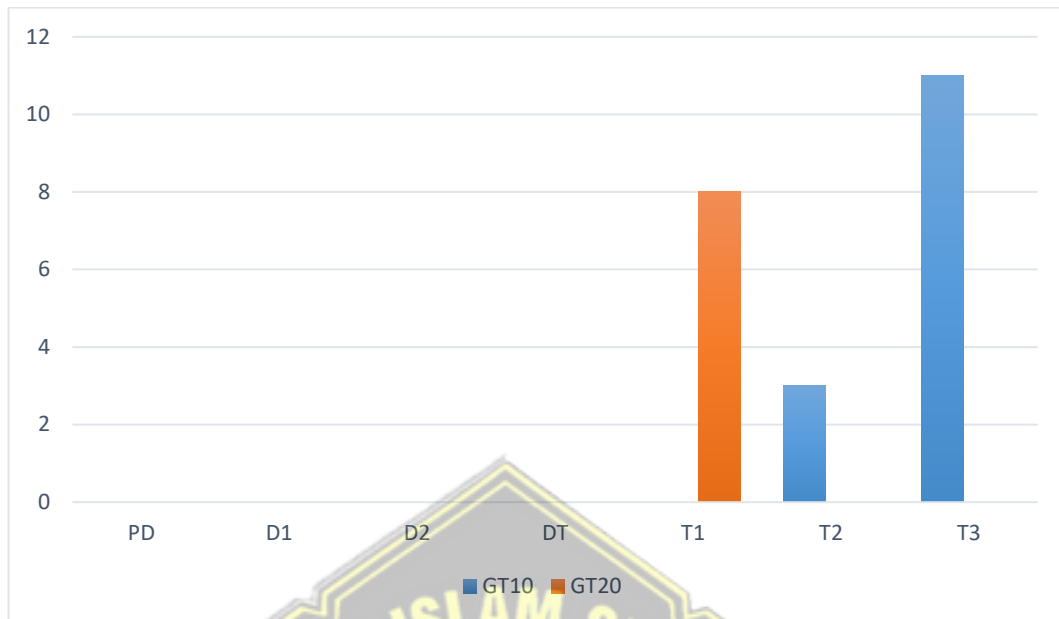
4.4. Pembahasan suhu antara GT10 dan GT20

Telah dilakukan perhitungan suhu di kedua transformator, berikut hasil grafik perhitungan antara GT10 dan GT20 :



Gambar 4.23 Perbandingan suhu transformator GT10 dan transformator GT20

Gambar 4.23 menunjukkan Suhu tertinggi GT10 sebesar 460,3°C sedangkan untuk GT20 150. Menurut IEC 60599-2007-05 Gas hydrogen dan metana akan terbentuk pada suhu sekitar 150°C. Sedangkan untuk gas etana akan terbentuk pada suhu 250°C. gas etilen akan terbentuk pada suhu 350°C. dan gas yang terakhir yang terbentuk pada suhu 700°C adalah gas esetilen. Gas esetilen yang besar akan menyebabkan busur api sedangkan gas etana dan etilen akan menyebabkan gangguan logam panas. Sedangkan untuk partial discharge atau corona disebabkan gas hydrogen, metana dan etana.



Gambar 4.24 Grafik metode duval triangle transformator GT 10 dan GT 20

Gambar 4.24 menunjukkan GT10 terdapat dua kondisi yaitu pada T2 dan T3, T2 yaitu kondisi dimana terjadi karbonisasi kertas muncuk formasi partikel karbon minyak (T2) dengan suhu $300^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$, dan untuk T3 formasi partikel karbon pada minyak secara meluas, pewarnaan pada metal (200°C) ataupun penggabungan metal dengan suhu $> 700^{\circ}\text{C}$. sedangkan untuk transformator GT20 kondisi berada pada T1 masalah transformator tidak terlalu mendeasak namun dapat mempengaruhi masa depan isolasi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil uji partial discharge transformator 60 MVA dengan uji dissolved gas analysis menggunakan metode duval triangle pada PLTU Rembang. Nilai suhu tertinggi pada transformator GT10 sebesar 460,3°C dan untuk GT20 150°C, menurut IEC 60599-2007-05 pada suhu 150°C akan terbentuk gas hydrogen dan gas metana. Pada suhu 250°C akan terbentuk gas etana, disuhu 350°C akan terbentuk gas etilen dan gas esetilen akan terbentuk pada suhu 700°C. Gangguan gangguan ini akan menyebabkan penurunan kualitas (degradasi) dari bahan isolasi, yang akan mengakibatkan terbentuknya lintasan (track) menyerupai pohon sepanjang bahan isolasi bahkan bisa menembus bahan isolasi tersebut.
2. Saat pengujian menggunakan metode Duval Triangle untuk GT10 terdapat 3 jumlah dalam kondisi T2 dan 11 kondisi di T3. T2 artinya terjadinya thermal fault 300°C-700°C muncul karbonisasi kertas pada minyak transformator, untuk T3 formasi partikel karbon pada minyak secara meluas, pewarnaan pada metal (200°C) ataupun penggabungan metal dengan suhu >700°C . Dan untuk trnsformator GT20 menunjukkan kondisi berada di T1 yang artinya kondisi tidak terlalu mendesak namun dapat mempengaruhi masa depan isolasi.
3. Setelah melakukan penelitian minyak transformator GT10 dan GT20 60 MVA PLTU Rembang bahwa minyak transformator belum sesuai dengan standart IEC 60599-2007-05. Dimana minyak transformator masih di kondisi T1, T2 dan T3.

5.2 Saran

Penulis memberikan saran untuk PLTU Rembang agar transformator tahan lama, lebih baik pengambilan sampel menggunakan alat sendiri sehingga 3 bulan sekali dapat mengambil sampel minyak transformator. Dikarenakan pada saat ini masih menggunakan jasa luar untuk pengetesan minyak tranformator.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. . Sismantara, “PENENTUAN KONDISI TRANSFORMATOR BERDASARKAN KANDUNGAN GAS TERLARUT MENGGUNAKAN METODE SEGITIGA DUVAL,” *SPEKTRUM*, vol. 8, p. 107, 2021.
- [2] A. Syakur, “Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator,” *TEKNIK*, vol. 40, pp. 638–6, 2019.
- [3] B. T. Setiawan, “ANALISIS PENGARUH BESAR PEMBEBANAN TRANSFORMATOR TERHADAP KANDUNGAN GAS TERLARUT PADA MINYAK BERDASARKAN UJI DGA (Dissolved Gas Analysis) DENGAN METODE TDCG, ROGER’S RASIO DAN DUVAL’S TRIANGLE PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UBJOM TANJUNG AWAR-AWAR JAW,” 2019.
- [4] N. Fithri, “ANALISIS KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR 27 MVA PLTG 1 JAKABARING BERDASARKAN HASIL UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA),” *Tekno*, vol. 15, pp. 23–33, 2018.
- [5] A. . Demmasambu, L. . Patras, and F. Lisi, “ANALISA KEGAGALAN TRANSFORMATOR DAYA BERDASARKAN HASIL UJI DGA DENGAN METODE TDCG, KEY GAS, ROGER’S RATIO, DUVAL’S TRIANGLE PADA GARDU INDUK,” *Tek. Elektro dan Komput.*, pp. 1–10, 2014.
- [6] T. Sugiono, “ANALISA POLA DAN SPEKTRUM PARTIAL DISCHARGE TERHADAP KERUSAKAN TRANSFORMATOR,” *FTEKNIK*, vol. 7, no. 2, pp. 1–8, 2020.
- [7] N. Naibaho, “ANALISIS GANGGUAN TERHADAP KEGAGALAN TRANSFORMATOR DAYA DENGAN ANALYSIS DISSOLVED GAS (DGA),” *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 4, no. 3, pp. 136–146, 2016.
- [8] A. C. . Yulinda, “ANALISIS KEGAGALAN TRAFO BERDASARKAN HASIL PENGUJIAN DISSOLVED GAS ANALYSIS PADA TRAFO I 50 MVA 150/20kV GI PIER,” *Sci. Electro*, vol. 10, no. 1, pp. 64–69, 2019.
- [9] A. Pramono, “ANALISIS MINYAK TRANSFORMATOR DAYA BERDASARKAN DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) MENGGUNAKAN DATA MINING DENGAN ALGORITMA J48,” *J. Telemat.*, vol. 9, no. 2, pp. 78–91, 2016.
- [10] S. Permana, “Analysis of Transformer Conditions using Triangle Duval Method,” *Mater. Sci. Eng.*, vol. 384, pp. 1–7, 2018.

- [11] M. S. A. Khair and Y. H. M. Thayoob, "Diagnosis of OLTC via Duval Triangle Method and Dynamic Current Measurement," *Elsevier*, vol. 68, pp. 477–483, 2013.
- [12] S. Shidiq, "Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60 MVA Di Gardu Induk Tambun," *JREC*, vol. 7, no. 1, pp. 43–52, 2019.
- [13] *IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Mineral Oil - Immersed Transformers*. New York, USA: y The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

