

**ANALISA KINERJA MINYAK TRANSFORMATOR
MENGUNAKAN METODE TDCG, KEY GASSES DAN
DUVAL TRIANGLE DI GITET 500 KV UNGARAN**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR SARJANA SATU (S1)
PADA PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



Disusun Oleh:

Muhammad Yogi Setiawan

NIM. 30602000032

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

2024

***TRANSFORMER OIL PERFORMANCE ANALYSIS
USING TDCG, KEY GASSES AND DUVAL TRIANGLE
METHOD AT GITET 500 KV UNGARAN***

FINAL PROJECT

*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*



Arranged By:

Muhammad Yogi Setiawan

NIM. 30602000032

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Minyak Transformator Menggunakan Metode TDCG, Key Gasses dan Duval Triangle di GITET 500 kV Ungaran” ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Yogi Setiawan

NIM : 30602000032

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 30 Agustus 2024

Pembimbing



Dedi Nugroho, ST., MT
NIDN. 0617126602

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



 030924
Jenny Putri Hapsari, ST., MT
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kinerja Minyak Transformator Menggunakan Metode TDCG, Key Gasses dan Duval Triangle di GITET 500 kV Ungaran” ini telah dipertahankan di depan dosen penguji Tugas Akhir pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 30 Agustus 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

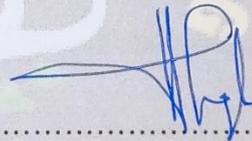
Ir. Suryani Alifah, MT., Ph.D
NIDN : 0625036901
Ketua Penguji



Prof. Dr. Ir. Sri Arttini Dwi P., M.Si
NIDN : 0620026501
Penguji II



Dedi Nugroho, ST., MT
NIDN : 0617126602
Penguji III



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Yogi Setiawan

Nim : 30602000032

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri UNISSULA Semarang** dengan judul “**Analisa Kinerja Minyak Transformator Menggunakan Metode TDCG, Key Gasses dan Duval Triangle di GITET 500 kV Ungaran**”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 02 September 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Yogi Setiawan

NIM, 30602000032

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Yogi Setiawan
NIM : 30602000032
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul :
“Analisa Kinerja Minyak Transformator Menggunakan Metode TDCG, Key Gasses Dan Duval Triangle di GITET 500 kV Ungaran”

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 02 September 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Yogi Setiawan

NIM. 30602000032

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Rasa syukur selalu penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala nikmat dan kemudahan yang diberikan Nya untuk penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada nabi pembimbing umat manusia Rasulullah Muhammad SAW, semoga dapat dipertemukan dengan beliau di *yaumul akhir* nanti

Tugas akhir ini penulis persembahkan untuk orang orang istimewa dalam hidup penulis.

Pertama,

Kedua orangtua penulis (Bapak Tumonjo dan Ibu Mustaghfiroh) yang selalu memberikan doa terbaik untuk perjuangan anaknya menyelesaikan tugas akhir ini, serta memberikan dukungan penuh terhadap kebutuhan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Kedua,

Untuk seluruh Dosen Fakultas Teknologi Industri Prodi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah mengajarkan ilmu serta membimbing penulis dalam menyelesaikan studi.

Terakhir,

Untuk diri penulis yang senantiasa bertahan dalam semangat belajar serta berkembang menjadi pribadi yang lebih baik dari sebelumnya serta bermanfaat untuk sekelilingnya sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik sesuai yang diharapkan.

HALAMAN MOTTO

Think Big, Do Small, Do Now

(Mayor Inf (Purn) Agus Harimurti Yudhoyono)

Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha

(Prof. Dr.-Ing. Ir. H. Bacharuddin Jusuf Habibie)

Do'a adalah bukti manusia meminta kepada Allah, meminta menandakan manusia itu lemah, dan merasa lemah di hadapan Allah adalah bagian dari ibadah

(K.H. Ahmad Bahauddin Nursalim)

وَاسْتَعِينُوا بِالصَّبْرِ وَالصَّلَاةِ ۖ وَإِنَّهَا لَكَبِيرَةٌ إِلَّا عَلَى الْخَاشِعِينَ ٤٥

Dan mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat. Dan (salat) itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyuk,

٤٦ • الَّذِينَ يَظُنُّونَ أَنَّهُمْ مُلاقُوا رَبِّهِمْ وَأَنَّهُمْ إِلَيْهِ رَاجِعُونَ

(yaitu) mereka yang yakin, bahwa mereka akan menemui Tuhannya, dan bahwa mereka akan kembali kepada-Nya.

(Al-Qur'an Surat Al-Baqarah Ayat 45-46)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur selalu penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmatNya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menimba ilmu di Teknik Elektro Unissula. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada nabi penuntun umat manusia Rasulullah Muhammad SAW, semoga dapat dipertemukan dengan beliau di hari akhir nanti *Amin ya Rabbal Alamin*.

Penyusunan tugas akhir ini menjadi syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya banyak pihak yang membantu penulis baik dari sisi moral maupun material, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan dan kesabaran dalam penulis menimba ilmu
2. Kedua orangtua, yakni bapak Tumonjo dan ibu Mustaghfiroh yang selalu memberikan dukungan berupa doa, semangat dan dukungan keuangan untuk penulis
3. Kakak penulis yaitu Siti Khoirunnisa dan Mukhamad Prasetyono yang selalu memberikan semangat kepada penulis
4. Bapak Prof. Dr. Gunarto, SH., M.Hum selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang
5. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri
6. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
7. Bapak Dedi Nugroho, ST., MT selaku dosen yang memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik
8. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT selaku koordinator tugas akhir Teknik Elektro

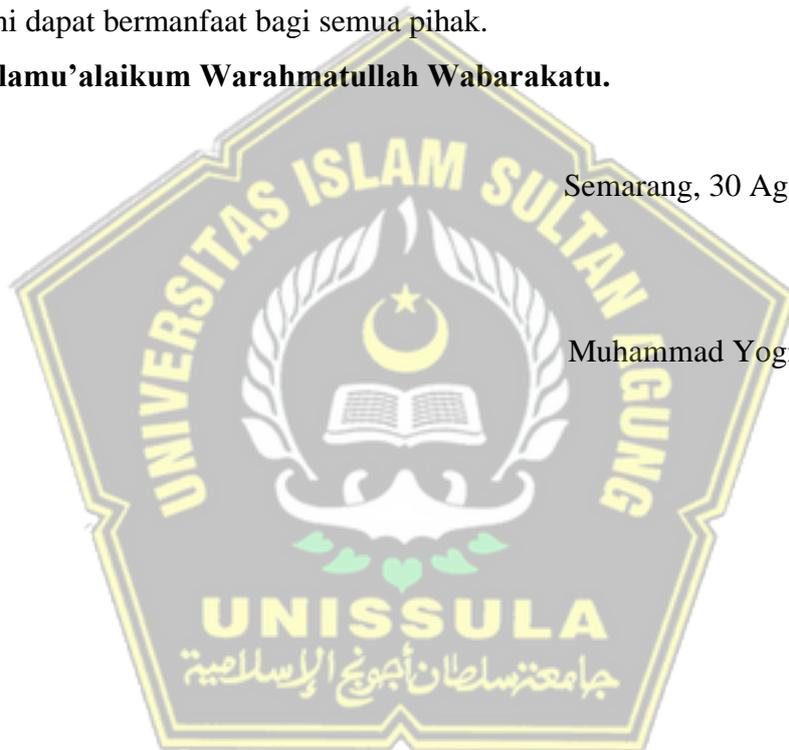
9. Seluruh dosen, admin, laboran dan karyawan Program Studi Teknik Elektro yang memberikan ilmu serta dukungan kepada penulis
10. Teman seperjuangan Angkatan 2020 yang sama sama menguatkan dalam perjuangan menyelesaikan tugas akhir ini
11. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang diberikan kepada penulis akan sangat bermanfaat untuk penulis di masa yang akan datang, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatu.

Semarang, 30 Agustus 2024

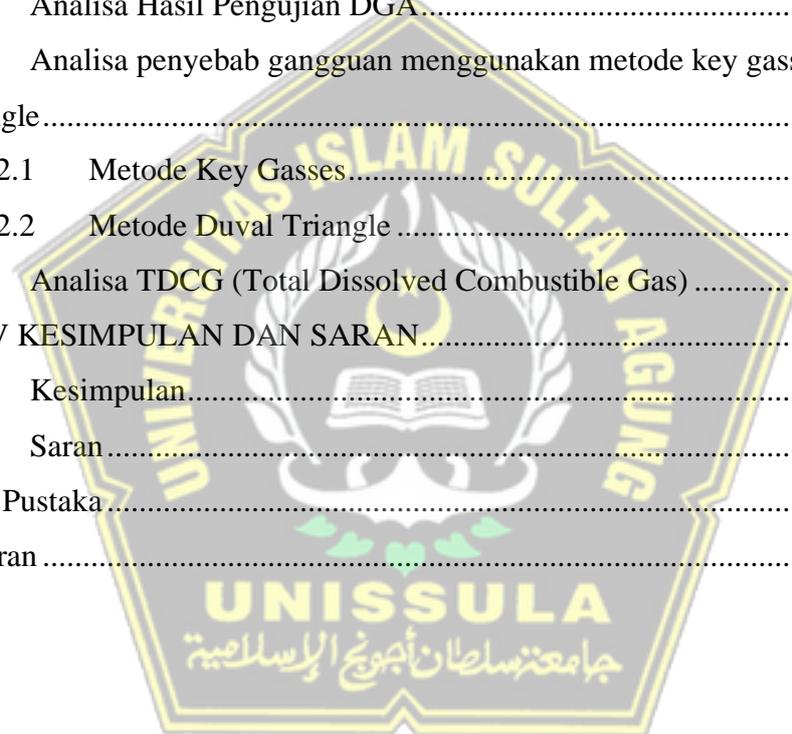
Muhammad Yogi Setiawan



Daftar Isi

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
<i>FINAL PROJECT</i>	ii
Lembar Pengesahan Pembimbing.....	iii
Lembar Pengesahan Penguji.....	iv
Surat Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	v
Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah.....	vi
Halaman Persembahan.....	vii
Halaman Motto.....	viii
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xiv
Abstrak.....	xv
<i>Abstract</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang Masalah.....	17
1.2 Rumusan Masalah.....	18
1.3 Pembatasan Masalah.....	18
1.4 Tujuan.....	18
1.5 Manfaat.....	18
1.6 Sistematika Penulisan.....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKAN DAN LANDASAN TEORI	20
2.1 Tinjauan Pustaka.....	20
2.2 Landasan Teori.....	22
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	22
2.2.2 Transformator Daya.....	23
2.2.3 Bagian Bagian Transformator.....	24
2.2.4 Minyak Transformator.....	25
2.2.5 Fault Gas.....	26
2.2.6 Dissolved Gas Analysis.....	27

2.2.7	Metode Analisa DGA.....	28
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1	Lokasi dan Objek Penelitian.....	36
3.2	Alat	36
3.3	Data Penelian.....	36
3.4	Tahapan Penelitian	38
3.5	Flowchart Penelitian.....	39
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Analisa Hasil Pengujian DGA.....	41
4.2	Analisa penyebab gangguan menggunakan metode key gasses dan duval triangle.....	42
4.2.1	Metode Key Gasses.....	42
4.2.2	Metode Duval Triangle	46
4.3	Analisa TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)	52
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
	Daftar Pustaka.....	56
	Lampiran	58



Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik.....	22
Gambar 2. 2 Transformator.....	23
Gambar 2. 3 Minyak Transformator	25
Gambar 2. 4 Diagram Fault Gas Terhadap Temperatur Trafo.....	26
Gambar 2. 5 Syringe	28
Gambar 2. 6 DGA Analyzer.....	28
Gambar 2. 7 Diagram Overheated Thermal Oil.....	31
Gambar 2. 8 Diagram Overheated Thermal Selulosa	32
Gambar 2. 9 Diagram Partial Discharge pada Minyak Trafo	32
Gambar 2. 10 Diagram Arching pada Minyak Trafo.....	33
Gambar 2. 11 Segitiga Duval.....	34
Gambar 3. 1 Diagram Analisa Hasil Pengujian DGA.....	39
Gambar 3. 2 Diagram Analisa Lanjutan Hasil Pengujian DGA	40
Gambar 4. 1 Hasil Key Gasses 18 Agustus 2021.....	42
Gambar 4. 2 Hasil Key Gasses 1 Maret 2022	43
Gambar 4. 3 Hasil Key Gasses 13 Februari 2023	44
Gambar 4. 4 Hasil Key Gasses 6 September 2023.....	44
Gambar 4. 5 Hasil Key Gasses 29 September 2023.....	45
Gambar 4. 6 Hasil Key Gasses 1 Januari 2024	45
Gambar 4. 7 Duval Triangle 18 Agustus 2021	46
Gambar 4. 8 Duval Triangle 1 Maret 2022.....	47
Gambar 4. 9 Duval Triangle 13 Februari 2023	48
Gambar 4. 10 Duval Triangle 6 September 2023	49
Gambar 4. 11 Duval Triangle 29 September 2023	50
Gambar 4. 12 Duval Triangle 1 Januari 2024	51
Gambar 4. 13 Trend Gas TDCG	54

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Level Kondisi Operasi Transformator	29
Tabel 2. 2 Limitasi Konsentrasi Gas Terlarut pada Minyak Trafo	29
Tabel 2. 3 Rekomendasi Operasi Transformator berdasarkan TDCG	30
Tabel 2. 4 Diagnosa Fault Duval Triangle	34
Tabel 2. 5 Zona Batasan Duval Triangle	35
Tabel 3. 1 Data Pengujian 18 Agustus 2021	36
Tabel 3. 2 Data Pengujian 1 Maret 2022.....	36
Tabel 3. 3 Data Pengujian 13 Februari 2023.....	37
Tabel 3. 4 Data Pengujian 6 September 2023	37
Tabel 3. 5 Data Pengujian 29 September 2023	37
Tabel 3. 6 Data Pengujian 1 Januari 2024.....	37
Tabel 3. 7 Data Pengujian TDCG	38
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian DGA.....	41
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Duval Triangle 18 Agustus 2021	46
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Duval Triangle 1 Maret 2022	47
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Duval Triangle 13 Februari 2023	48
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Duval Triangle 6 September 2023.....	49
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Duval Triangle 29 September 2023.....	50
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Duval Triangle 1 Januari 2024	51
Tabel 4. 8 Action Based on TDCG	52
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian TDCG	53

Abstrak

Semakin bertambahnya usia pemakaian sebuah transformator dan semakin bertambahnya beban listrik yang di transformasikan setiap tahunnya membuat kinernja sebuah transformator akan semakin berat, begitu pula dengan system isolasi yang ada di dalam transformator. System isolasi yang sejatinya digunakan sebagai pemisah antara bagian satu dengan lainnya yang secara elektris tidak boleh terhubung dapat mengalami penurunan performa seiring dengan bertambahnya waktu pemakaian. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisa gangguan beserta penyebabnya dari system isolasi minyak transformator. Untuk dapat menganalisa gangguan beserta penyebabnya digunakan 2 metode yaitu metode Key Gasses dan metode Duval Triangle, dimana kedua metode tersebut menganalisa gangguan berdasarkan konsentrasi gas pengotor yang terlarut dalam minyak transformator. Hasil dari analisa pada transformator daya Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi Ungaran IBT 1 Fasa T menunjukkan transformator dalam keadaan yang normal namun dengan beberapa catatan, diantara catatan tersebut adalah umur isolasi kertas yang sudah sangat tua mengakibatkan banyaknya kandugan gas karbon monoksida yang terdeteksi dengan konsentrasi tertinggi sebesar 119 Ppm pada tanggal pengujian 13 Februari 2023. pada pengujian tanggal 1 Maret 2022 juga di dapati konsentrasi gas hydrogen dan etilen yang tinggi yang mengindikasikan terjadinya overheating dan gejala awal terjadinya partial discharge pada transformator tersebut. Oleh karenanya akan lebih baik jika pengujian DGA dilakukan dengan intensitas yang lebih sering pada tahun tahun selanjutnya.

Kata kunci : Minyak Tranformator, DGA, Key Gasses, Duval Triangle

Abstract

As the use age of a transformer increases and the electrical load that is transformed each year increases, the performance of a transformer becomes increasingly difficult, as does the isolation system within the transformer. An isolation system that is actually used as a separator between parts that are not electrically connected can experience a decrease in performance as usage time increases. This research aims to analyze disturbances and their causes in the transformer oil isolation system. To be able to analyze disturbances and their causes, 2 methods are used, namely the Key Gasses method and the Duval Triangle method, where both methods analyze disturbances based on the concentration of impurity gases dissolved in the transformer oil. The results of the analysis on the power transformer of the Ungaran IBT 1 Phase T Extra High Voltage Substation show that the transformer is in normal condition but with several notes, among these notes is that the paper insulation is very old resulting in a large amount of carbon monoxide gas being detected with the highest concentration of 119 Ppm on the test date, February 13 2023. On the test on March 1 2022, high concentrations of hydrogen and ethylene gas were also found, indicating overheating and early symptoms of partial discharge in the transformer. Therefore, it would be better if DGA testing was carried out more frequently in the following years.

Keyword : *Oil Transformer, DGA, Key Gasses, Duval Triangle*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang dibangun untuk menghasilkan energi listrik yang efisien untuk dapat digunakan oleh konsumen, sistem tenaga listrik terdiri dari unit pembangkit yang memiliki fungsi membangkitkan tegangan listrik sehingga arus dapat mengalir ke potensial yang lebih rendah, kemudian energi listrik dialirkan menuju pusat-pusat beban melalui jalur transmisi tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi demi mengurangi rugi-rugi yang terjadi selama pengaliran energi listrik. Untuk menaikkan tegangan dari rating tegangan generator menuju tegangan transmisi digunakan transformator penaik tegangan. Energi listrik dapat digunakan oleh konsumen dengan syarat tegangan listrik sumber harus sama dengan rating tegangan konsumsi peralatan konsumen, maka dari itu tegangan transmisi diturunkan menjadi 20 kV (tegangan distribusi) untuk didistribusikan menuju konsumen dan diturunkan kembali menuju tegangan rendah 380/220 V apabila konsumen adalah pengguna tegangan rendah.[1]

Transformator penurun tegangan pada GITET 500 kV ungaran memegang peranan penting sebagai pengatur rating tegangan yang sesuai agar penyaluran energi listrik di jaringan transmisi menjadi efisien. Untuk menjaga performa transformator tetap optimal diperlukan perhatian khusus dalam hal perawatan transformator agar tidak terjadi kegagalan operasi.

Kinerja transformator bergantung pada beberapa faktor, salah satunya adalah umur dan kualitas transformator tersebut.[2] Salah satu langkah untuk menjamin keberlangsungan kinerja transformator adalah dengan memastikan kualitas sistem isolasi transformator tersebut. Minyak transformator memiliki peran sebagai media isolasi sekaligus media pendingin bagi transformator.[3] Pengoperasian transformator yang terus menerus akan membebani minyak transformator yang menyebabkan panas berlebih, kondisi tersebut akan menyebabkan timbulnya gas-gas yang terlarut pada minyak transformator tersebut. Gas-gas yang timbul tersebut

mengindikasikan kondisi transformator. Transformator yang menghasilkan panas berlebih akan mempercepat penurunan usia dan kinerja isolasi transformator. Menurunnya kemampuan isolasi transformator dapat menyebabkan kerusakan komponen atau terjadinya *breakdown* pada transformator.

Dikarenakan usia transformator sangat bergantung pada kondisi isolasinya, maka perlu dilaksanakan pengujian terhadap isolasi minyak transformator. Pengujian isolasi dilakukan dengan metode *Dissolved Gas Analysis*.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Berapa konsentrasi gas terlarut pada transformator GITET 500 kV Ungaran?
- b. Gas apa yang dominan muncul pada transformator GITET 500 kV Ungaran?
- c. Tindakan apa yang direkomendasikan berdasarkan standar IEEE C57.104-2008 pada kondisi transformator tersebut?

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dibahas sebelumnya, dapat diambil batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penulis tidak membahas harmonisa dan pembebanan transformator
2. Analisa DGA yang dibahas sebatas minyak mineral

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur konsentrasi gas yang muncul pada minyak transformator
2. Menganalisa gas dominan yang muncul pada minyak transformator menggunakan metode TDCG, Key Gasses dan Duval Triangle
3. Menganalisa kondisi transformator berdasarkan gas pengotor yang muncul dan rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan berdasarkan standar IEEE C57.104-2008

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai presentase kandungan gas pengotor yang dianalisa menggunakan metode

duval triangle, key gasses dan TDCG untuk mendapatkan penyebab penurunan kualitas dan akibat dari penurunan kualitas pada minyak transformator kemudian dapat menentukan langkah yang dapat diambil untuk mempertahankan kualitas minyak transformator.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari 5 bagian yang masing-masing terdiri dari:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini mencakup beberapa aspek, yaitu latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan akhir, manfaat tugas akhir serta sistematika penulisan laporan.

BAB II : TINJUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berfokus pada tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi pendukung dalam pembuatan tugas akhir.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci metode penelitian yang dipakai dalam tugas akhir ini serta menjabarkan secara detail data apa saja yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS

Bab ini menjabarkan analisa dari data yang didapatkan menggunakan metode yang dipakai dalam bab 3 sehingga mendapatkan hasil objektif kondisi minyak transformator.

BAB V : PENUTUP

Bab ini akan membahas kesimpulan dan saran dari pengujian yang telah dilakukan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKAN DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada berbagai referensi penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai pembanding. Berikut beberapa penelitian yang digunakan sebagai sumber referensi:

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Tasya Sandiri, Lily S. Patras dan Maickel Tuegeh dengan judul **Analisa Kondisi Transformator Daya Menggunakan Dissolved Gas Analysis (DGA)**. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kerusakan minyak transformator dan menginterpretasikan hasil analisis menggunakan metode TDCG, Key Gas, dan Duval's Triangle. Hasil dari penelitian ini adalah hasil pengujian minyak transformator dan hasil perhitungan transformator unit 1 dapat disimpulkan bahwa kondisi minyak transformator memiliki indikasi kegagalan, maka dari itu disarankan untuk mengaktifkan filter, namun karena sudah terdapat nilai CO dan CO₂ yang cukup tinggi, maka filter tidak dapat dilakukan dan minyak harus segera diganti. Dari hasil pengujian dan perhitungan minyak transformator unit 2 dapat disimpulkan bahwa kondisi oli transformator dalam keadaan cukup baik, berbeda dengan trafo unit 1, namun transformator perlu dilakukan penyelidikan dan pemantauan lebih lanjut, ini dilakukan untuk mencegah kondisi minyak mengalami kegagalan dan kerusakan yang lebih.[4]
- b. Penelitian yang dilakukan oleh Handoko Rusiana Iskandar, Een Taryana, M. Reza Hidayat dan Gilang Sahara Putra dengan judul **Studi Kelayakan Operasi Berdasarkan Uji Dissolve Gas Analysis Pada Transformator Distribusi 150 kV Gardu Induk Cibabat Cimahi**. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju pertumbuhan gas pada isolasi minyak transformator. Hasil dari penelitian ini adalah Hasil pengujian DGA di laboratorium PT. PLN (persero) UPT Bandung menunjukkan hasil TDCG unit transformator 1 dalam kondisi 2 dengan jumlah gas mudah terbakar sebesar 821 ppm, untuk unit transformator 2 dalam kondisi 1 dengan jumlah gas mudah terbakar 694 ppm dan unit transformator 3 dalam kondisi 2 dengan gas mudah terbakar 1117 ppm sehingga

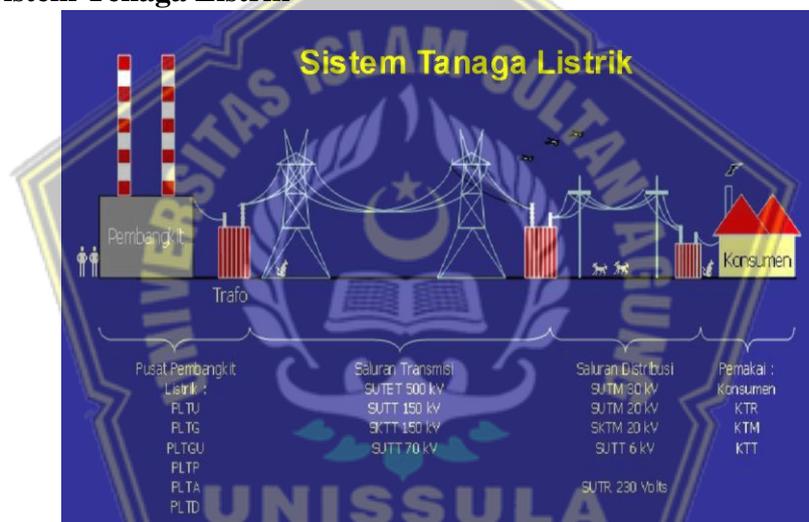
masing-masing laju pertumbuhan gas untuk unit transformator unit 1 sebesar -1,36 ppm/hari, unit transformator 2 sebesar -1,03 ppm/hari dan unit transformator 3 sebesar 0,95 ppm/hari.[1]

- c. Penelitian yang dilakukan oleh Agus Siswanto, Abdul Rohman, Sugeng Suprijadi, Mudofar Baehaqi, Arifudin dengan judul **Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada IBT 1 Gardu Induk**. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan gas-gas terlarut pada minyak trafo dan kemudian menganalisa dengan menggunakan tiga metode indikasi gangguan yaitu Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) Method, Roger Ratio, dan Duval Triangle. Hasil Analisis menggunakan ketiga metode tersebut untuk menentukan tindakan perbaikan sesuai dengan kondisi trafo. minyak. Tindakan korektif untuk mengembalikan gas-gas terlarut di dalam minyak trafo kembali normal. Penyaringan minyak transformator Penyaringan minyak trafo bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi gas-gas yang berpotensi merusak dari kandungan minyak trafo. Pada tanggal 29 Desember 2020 trafo mengalami peningkatan kandungan gas hidrogen yang mudah terbakar dan gas asetilena, nilai TDCG sebesar 1520 ppm dan setelah dilakukan tindakan perbaikan kandungan gas terlarut menurun menjadi 481 ppm, sehingga kondisi minyak trafo kembali normal.[2]
- d. Penelitian yang dilakukan oleh Nazarudin Ahmad, H.M. Taqijudin A, Sugiono dengan judul **Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Solasi Trafo Daya Sebagai Indikator Kegagalan Kerja Dengan Uji Dissolved Gas Analysis Di Gardu Induk Probolinggo**. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis dan jumlah konsentrasi gas yang terlarut dalam minyak dapat memberikan informasi adanya indikasi kegagalan yang terjadi pada transformator. Hasil dari penelitian ini adalah kesimpulan bahwa semua metode dapat saling melengkapi suatu analisa gas terlarut pada minyak isolasi trafo, dengan adanya aplikasi ini diharapkan dapat membantu dengan cepat dan akurat untuk memperkirakan jadwal pengambilan sample minyak di berbagai lokasi trafo tersebar.[5]

- e. Penelitian yang dilakukan oleh Obhi Thiessaputra, Muhammad Haddin, Sri Arttini Dwi Prasetyowati dengan judul **DGA Method Based on Fuzzy for Determination of Transformer Oil Quality**. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kualitas minyak transformator dengan menggunakan metode DGA berbasis fuzzy. Hasil dari penelitian ini adalah metode DGA berbasis fuzzy mampu untuk menentukan kualitas minyak transformator dan berdasarkan pengujian DGA sampel dari 4 unit transformator diindikasikan mengalami *overheat*. [6]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem yang dibangun untuk menyediakan sumber energi listrik yang sesuai dengan kebutuhan. Sistem tenaga listrik meliputi pembangkit listrik, transformator penaik tegangan, jaringan transmisi, transformator penurun tegangan, jaringan distribusi dan beban listrik.

Tegangan listrik pada sistem tenaga listrik dibuat bervariasi menyesuaikan dengan kondisi yang ada, seperti pada jalur transmisi yang sangat Panjang dibuat tegangan dengan rating yang tinggi untuk mengurangi arus yang mengalir pada jaringan sehingga mengurangi rugi rugi yang terjadi pada jalur transmisi, sebaliknya pada jalur distribusi digunakan tegangan yang lebih

rendah dengan maksud meningkatkan faktor safety dan mengurangi biaya. Untuk mengubah tegangan dengan tetap mempertahankan daya dan frekuensi pada sistem maka digunakanlah transformator daya.

2.2.2 Transformator Daya

Transformator daya adalah mesin listrik yang digunakan untuk merubah energi listrik menjadi energi listrik kembali dengan daya yang sama namun dengan tegangan dan arus yang berbeda.[5] Transformator daya sangat luas penggunaannya untuk menyesuaikan kebutuhan tegangan yang diinginkan sesuai dengan kondisi yang terjadi, transformator daya yang digunakan untuk menaikkan tegangan pada transformator daya pembangkit memiliki fungsi untuk menurunkan arus yang akan dialirkan pada jalur transmisi untuk mengurangi rugi-rugi yang terjadi pada jalur transmisi.

Sebuah transformator bekerja dengan konsep induksi elektromagnetik dimana kumparan pada sisi primer akan menghasilkan gelombang elektromagnetik yang disalurkan melalui inti trafo yang terbuat dari besi menuju kumparan sekunder. Perubahan tegangan yang ada pada transformator disebabkan oleh perbedaan jumlah lilitan pada kumparan primer dan kumparan sekunder.



Gambar 2. 2 Transformator

2.2.3 Bagian Bagian Transformator

1. Badan Transformator

Badan transformator merupakan bagian dimana perangkat pada transformator menempel atau diletakkan, badan transformator juga berfungsi sebagai kerangka pada transformator

2. Bushing

Bushing merupakan perangkat yang berfungsi untuk menghubungkan belitan dengan jaringan luar. Bagian bagian dari bushing antara lain: konduktor, isolator keramik dan klem konektor.

3. Tangki Konservator

Tangki konservator memiliki fungsi sebagai tempat penampungan minyak transformator dan juga akomodasi ketika terjadi kenaikan level minyak trafo akibat adanya pemanasan yang terjadi di dalam trafo. Selain itu tangki konservator umumnya terdapat bagian transparan yang berfungsi sebagai tempat memantau level minyak pada transformator. Pada tangki konservator umumnya dilengkapi dengan saluran pernafasan yang memiliki fungsi sebagai jalur untuk keluarnya udara ketika mengalami tekanan akibat suhu minyak transformator yang naik.

4. Kumparan Transformator

Transformator memiliki 2 buah kumparan, yaitu kumparan *high voltage* dan kumparan *low voltage*. Fungsi dari kumparan pada transformator adalah untuk mengubah daya listrik menjadi fluks magnet dan mengembalikannya menjadi daya listrik kembali dengan nilai besaran tegangan yang dirubah sesuai dengan banyaknya lilitan pada transformator. Kumparan transformator terbuat dari kawat email. Kawat email sendiri merupakan kawat tembaga yang memiliki lapisan isolasi email.

5. Inti Besi

Inti besi pada transformator memiliki fungsi sebagai penghantar fluks magnet dari kumparan primer menuju kumparan sekunder.

6. Tap Changer

Tap changer adalah perangkat yang berfungsi merubah rasio belitan pada transformator dengan tujuan supaya output tegangan dari transformator tetap stabil.

7. Pendingin

Kumparan pada transformator ketika dialiri oleh listrik akan menimbulkan panas, untuk meredam panas tersebut digunakanlah pendingin, pendingin pada transformator dengan berbagai macam tipe antara lain ONAN, ONAF, OFAN, pendingin udara.

2.2.4 Minyak Transformator

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan degradasi tahanan isolasi 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.[7]



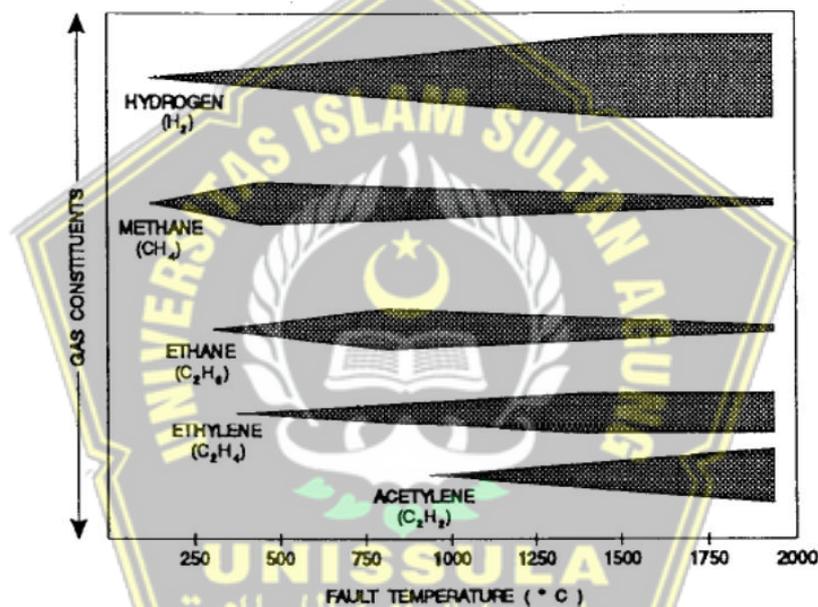
Gambar 2. 3 Minyak Transformator

Minyak isolasi pada trafo 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.

2.2.5 Fault Gas

Fault gas adalah gas pengotor yang timbul akibat dari reaksi panas yang diberikan oleh transformator ke minyak transformator sehingga menyebabkan minyak trafo memuai dan mengeluarkan sejumlah jenis gas dengan konsentrasi berbeda bergantung pada temperatur dari transformator tersebut. 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 asetilen.[8]



Gambar 2. 4 Diagram Fault Gas Terhadap Temperatur Trafo

Gambar 3 memperlihatkan perbandingan antara konsentrasi gas yang muncul pada minyak dengan temperatur transformator. Gas hydrogen (H₂) menjadi gas yang bisa muncul di temperatur operasi yang paling rendah, kemudian diikuti oleh gas metana (CH₄). Gas metana akan semakin menurun konsentrasinya seiring dengan bertambahnya temperatur transformator. Ketika temperatur mulai tinggi beberapa jenis gas lain juga dapat muncul seperti gas etana (C₂H₆) dan gas etilen (C₂H₄). Apabila gas asetilen (C₂H₂) telah muncul maka dapat diindikasikan transformator tersebut mengalami arching pada minyaknya.

2.2.6 Dissolved Gas Analysis

Dissolved Gas Analysis atau biasa disebut DGA adalah pengambilan sampel minyak pada transformator untuk diuji kandungan gas yang terdapat di dalam minyak tersebut.[4] Masing masing dari kandungan gas tersebut berperan untuk merusak kualitas dari minyak transformator, oleh karena itu gas gas tersebut sering disebut dengan gas pengotor pada minyak transformator.

Trafo sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana pemicunya dapat berasal dari internal maupun external trafo. Ketidaknormalan ini akan menimbulkan dampak terhadap kinerja trafo. Secara umum, dampak/akibat ini dapat berupa overhear, corona dan arcing. Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada trafo adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan trafo itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada trafo digunakan metoda DGA (Dissolved gas analysis).[6]

Pada saat terjadi ketidaknormalan pada trafo, minyak isolasi sebagai rantai hydrocarbon akan terurai akibat besarnya energi ketidaknormalan dan akan membentuk gas – gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri. Pada dasarnya DGA adalah proses untuk menghitung kadar / nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar / nilai gas - gas itulah dapat diprediksi dampak – dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam trafo, apakah overhear, arcing atau corona.

Gas gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah H₂ (hidrogen), CH₄ (Methane), N₂ (Nitrogen), O₂ (Oksigen), CO (Carbon monoksida), CO₂ (Carbondioksida), C₂H₄ (Ethylene), C₂H₆ (Ethane), C₂H₂ (Acetylene). Untuk mengambil sample minyak untuk pengujian DGA harus menggunakan syringe, selang sampling dan konektor sampling pada valve trafo.

Untuk mendapatkan sample minyak digunakan alat yang bernama syringe. Alat ini digunakan pada bagian *bottom tank* transformator untuk mengambil sample minyak yang ada di dalam transformator, selanjutnya dilakukan proses pada alat DGA analyzer hingga keluar hasil konsentrasi gas.[7]



Gambar 2. 5 Syringe



Gambar 2. 6 DGA Analyzer

DGA analyzer memiliki fungsi yang sangat penting sebagai berikut untuk mendapatkan data konsentrasi gas pada minyak transformator

1. Mengklasifikasikan data gas metana, gas etilen dan gas asetilen
2. Menghitung presentase gas metana, gas etilen dan gas asetilen
3. Menganalisis data presentase dengan metode duval triangle

2.2.7 Metode Analisa DGA

1. Metode TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)

Berdasarkan standar IEEE trafo dengan kondisi baik adalah trafo yang memiliki kandungan gas mudah terbakar dengan konsentrasi dibawah 720 ppm.[9] Gas mudah terbakar yang dimaksud adalah hydrogen (H_2), metana (CH_4), etana (C_2H_6), etilen (C_2H_4), asetilen (C_2H_2). Menurut

IEEE C57-104-2008 serta ASTM D-3612 TDCG dan gas gas individual dapat dianalisa dengan parameter seperti berikut

Tabel 2. 1 Level Kondisi Operasi Transformator

Condition 1	TDCG dibawah level ini menandakan transformator beroperasi dalam keadaan yang baik. Apabila salah satu gas melebihi batas level ini maka segera dilakukan investigasi
Condition 2	TDCG pada level ini memberikan tanda gas mudah terbakar yang terkandung dalam minyak trafo sudah melebihi batas normal. Apabila salah satu gas melebihi level ini harus segera melakukan investigasi. Lakukan tindakan untuk mendapatkan tren (kecenderungan). Kemungkinan telak terjadi gangguan
Condition 3	TDCG pada level ini memberikan indikasi telah terjadi dekomposisi tingkat tinggi. Bila terjadi salah satu gas yang melebihi batas level ini maka harus segera dilakukan investigasi. Lakukan 29 tindakan untuk mendapatkan tren (kecenderungan). Kemungkinan telak terjadi gangguan
Condition 4	TDCG pada level ini menandakan telah terjadi pemburukan pada tingkat yang sangat tinggi. Melanjutkan operasi trafo dapat merusak trafo tersebut

Tabel 2. 2 Limitasi Konsentrasi Gas Terlarut pada Minyak Trafo

Status	Dissolved key gas concentration limits [$\mu\text{L/L}(\text{ppm})$]					
	Hydrogen (H_2)	Methane (CH_4)	Acetylene (C_2H_2)	Ethane (C_2H_6)	Carbon Monoxide (CO)	TDCG
Condition 1	100	120	1	50	350	720
Condition 2	101-700	121-400	2-9	51-100	351-570	721-1920
Condition 3	701-1800	401-1000	10-35	101-200	571-1400	1921-4630
Condition 4	>1800	>1000	>35	>200	>1400	>4630

Sumber : IEEE C57. 104-2008

Tabel dibawah ini akan memberikan rekomendasi awal interval sampling dan prosedur operasi yang sebaiknya dilakukan untuk berbagai level TDCG. Kenaikan laju pembentukan gas mengindikasikan terjadinya kerusakan yang semakin parah, maka disarankan untuk mempersingkat interval sampling.

Tabel 2. 3 Rekomendasi Operasi Transformator berdasarkan TDCG

Kondisi	Level TDCG (ppm)	TDCG Rate (ppm/hari)	Interval Sampling	Prosedur Operasi
Kondisi 1	≤720	>30	Bulanan	- Analisis gas individual - Tentukan pengaruh pembebanan terhadap laju pembentukan gas
		10-30	Setiap 4 bulan	Operasi secara normal
		<10	Tahunan	
Kondisi 2	721-1920	>30	Bulanan	- Analisis gas individual
		10-30	Bulanan	- Tentukan pengaruh pembebanan terhadap laju pembentukan gas
		<10	Setiap 4 bulan	
Kondisi 3	1921-4630	>30	Mingguan	- Analisis gas individual
		10-30	Mingguan	- Rencanakan pemadaman
		<10	Bulanan	- Informasikan ke pabrikan
Kondisi 4	>4630	>30	Harian	
		10-30	Harian	- Pertimbangkan untuk penggantian - Informasikan kepada pabrikan
		<10	Mingguan	- Analisis gas individual

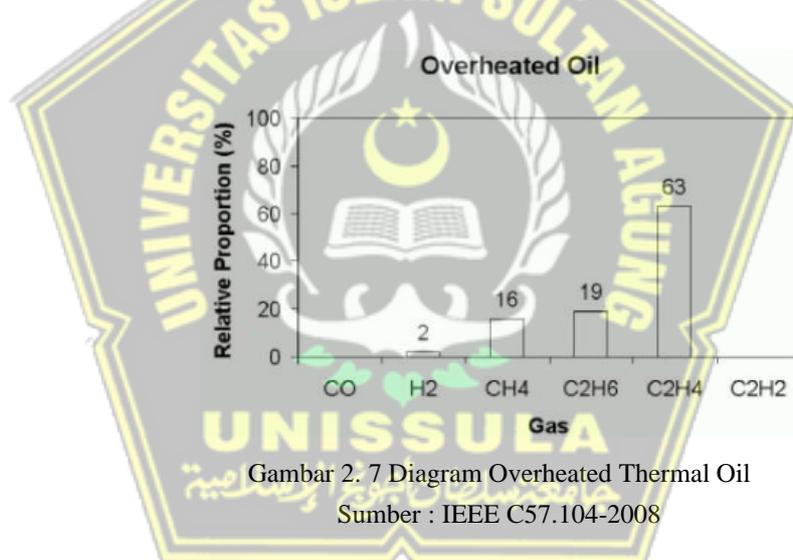
				<ul style="list-style-type: none"> - Rencanakan pemadaman - Informasikan ke pabrikan
--	--	--	--	--

Sumber : IEEE C57.104-2008

2. Metode Key Gasses

Keterkaitan antara temperature minyak dan dekomposisi selulosa memberikan panduan untuk menentukan jenis gangguan secara kualitatif berdasarkan gas dominan yang muncul pada temperatur yang bervariasi. Gas signifikan dan proporsinya itu disebut dengan key gasses.

1. Thermal - Oil

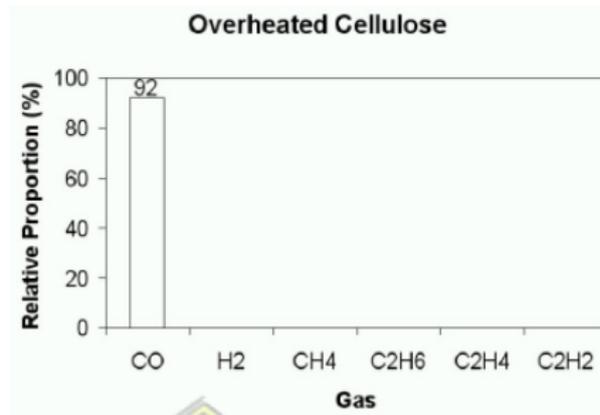


Gambar 2. 7 Diagram Overheated Thermal Oil

Sumber : IEEE C57.104-2008

Dekomposisi produk termasuk *ethylene* dan *methane* dengan sedikit kuantitas *hydrogen* dan *ethane*. Tanda keberadaan *acetylene* mungkin terbentuk jika *fault* yang terjadi parah atau diikuti dengan kontak elektrik. Gas dominan : Ethylene

2. Thermal - Selulosa



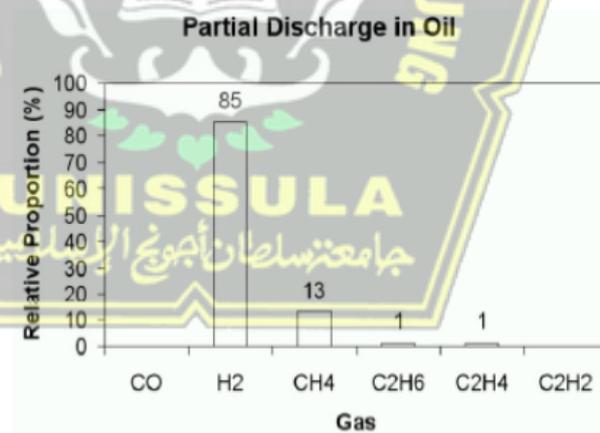
Gambar 2. 8 Diagram Overheated Thermal Selulosa

Sumber : IEEE C57.104-2008

Sejumlah karbon dioksida dan karbon monoksida terlibat akibat pemanasan selulosa. Gas hidrokarbon, seperti methane dan ethylene akan terbentuk jika fault melibatkan struktur minyak.

Gas dominan : Karbon Monoksida

3. Electrical – Partial Discharge



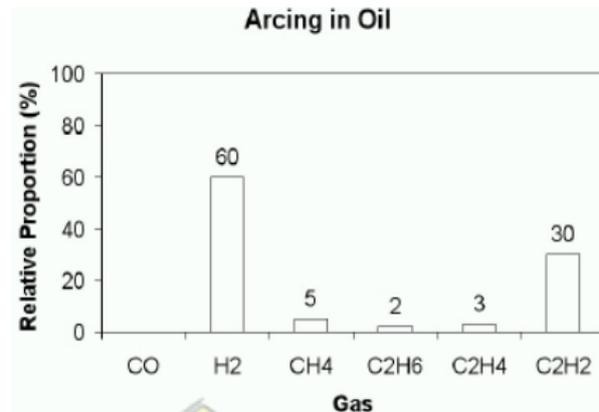
Gambar 2. 9 Diagram Partial Discharge pada Minyak Trafo

Sumber : IEEE C57.104-2008

Discharge elektrik tenaga rendah menghasilkan hydrogen dan methane dengan sedikit kuantitas ethane dan ethylene. Jumlah yang sebanding antara karbon monoksida dan karbon dioksida mungkin dihasilkan dari discharge pada selulosa.

Gas dominan : Hidrogen

4. Electrical - Arching



Gambar 2. 10 Diagram Arching pada Minyak Trafo
Sumber : IEEE C57.104-2008

Sejumlah hydrogen dan acetylene terproduksi dan sejumlah methane dan ethylene. Karbon dioksida dan karbon monoksida akan selalu dibentuk jika melibatkan fault selulosa. Minyak mungkin terkarbonasi.

Gas dominan : Acetylene

3. Metode Duval Triangle

Duval triangle merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi kemungkinan terjadinya partial discharge dengan menganalisa 3 jenis gas yang terukur dari pengujian dissolved gas analysis yaitu gas metana (CH₄), gas etilen (C₂H₄) dan gas asetilen (C₂H₂).[10]

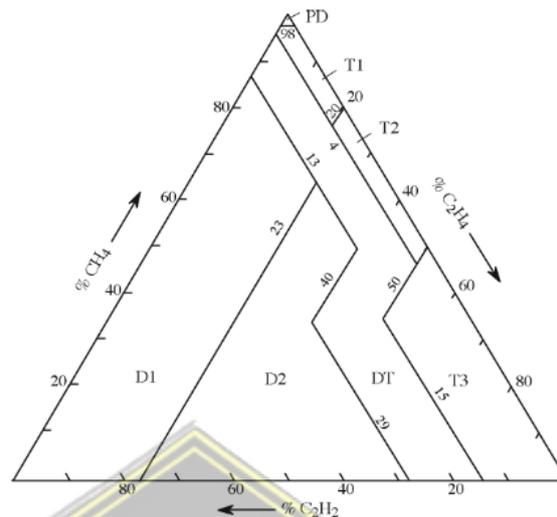
Parameter yang diambil adalah dari banyaknya kandungan gas yang terkandung dalam minyak transformator dalam bentuk persen.[11] Data DGA yang merupakan hasil pengujian konsentrasi gas pada minyak trafo masih menggunakan satuan ppm (part per million), untuk menentukan presentase dari gas tersebut digunakan rumus :

$$\text{Total Gas} = \text{Metana} + \text{Etilen} + \text{Asetilen} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\% \text{Metana (CH}_4\text{)} = \frac{\text{CH}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\% \text{Etilen (C}_2\text{H}_4\text{)} = \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{Total Gas}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\% \text{Asetilen (C}_2\text{H}_2\text{)} = \frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{Total Gas}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2. 11 Segitiga Duval

Sumber : SK. Dir PLN No. 0520-2014

Hasil dari perhitungan presentase perhitungan masing-masing gas dimasukkan ke dalam segitiga duval dan diambil titik persimpangan dari ketiga presentase gas tersebut untuk menentukan area pada kondisi tersebut. Titik potong pada diagram segitiga duval triangle bisa didapatkan karena presentase masing masing gas yang dicari dengan persamaan rumus 2.1 sampai 2.4 yang merupakan hasil pembagian antara konsentrasi gas yang akan dicari presentasenya dengan jumlah total dari konsentrasi ketiga gas tersebut.

Tabel 2. 4 Diagnosa Fault Duval Triangle

Area	Diagnosa Fault
(PD)	<i>Partial Discharge</i>
(D1)	<i>Low Energy Discharge</i>
(D2)	<i>High Energy Discharge</i>
(T1)	<i>Thermal Fault temperature dibawah 300^oC</i>
(T2)	<i>Termal Fault temperature antara 300^oC dan 700^oC</i>
(T3)	<i>Thermal Fault temperature diatas 700^oC</i>

Sumber : SK. Dir PLN No. 0520-2014

Tabel 2. 5 Zona Batasan Duval Triangle

Zona Batasan				
PD	98% CH_4			
D1	23 % C_2H_4	13% C_2H_2		
D2	23 % C_2H_4	13% C_2H_2	38 % C_2H_4	29% C_2H_2
T1	4% C_2H_2	10 % C_2H_4		
T2	4% C_2H_2	10 % C_2H_4	50 % C_2H_4	
T3	15% C_2H_2	50 % C_2H_4		

Sumber : SK. Dir PLN No. 0520-2014



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi 500kV Ungaran yang berlokasi di Jalan Jendral Sudirman Nomor 23 Ungaran Timur Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah. Objek yang digunakan untuk penelitian ini adalah transformator daya IBT 1 Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi Ungaran fasa T berkapasitas 500 MVA

3.2 Alat

Dalam pelaksanaan pengambilan data DGA Transformator digunakan beberapa alat seperti berikut :

1. Syringe
2. DGA Analyzer Morgan Scaffer
3. Microsoft Exel

3.3 Data Penelian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengujian Dissolved Gas Analysis transformator daya GITET Ungaran IBT 1 fasa T yang didapatkan dengan metode data sekunder dengan hasil pengujian sebagai berikut.

1. Data pengujian DGA tanggal 18 Agustus 2021

Tabel 3. 1 Data Pengujian 18 Agustus 2021

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
0	33	111	2	86	0

2. Data pengujian DGA tanggal 01 Maret 2022

Tabel 3. 2 Data Pengujian 1 Maret 2022

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
352	81	41	111	25	0

3. Data pengujian DGA tanggal 13 Februari 2023

Tabel 3. 3 Data Pengujian 13 Februari 2023

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
0	57	119	3	129	0

4. Data pengujian DGA tanggal 06 september 2023

Tabel 3. 4 Data Pengujian 6 September 2023

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
0	51	106	3	113	0

5. Data pengujian DGA tanggal 29 September 2023

Tabel 3. 5 Data Pengujian 29 September 2023

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
0	51	115	3	113	0

6. Data pengujian DGA tanggal 01 Januari 2024

Tabel 3. 6 Data Pengujian 1 Januari 2024

H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)
12	39	88	2	89	0

7. Data Dissolved Combustible Gas

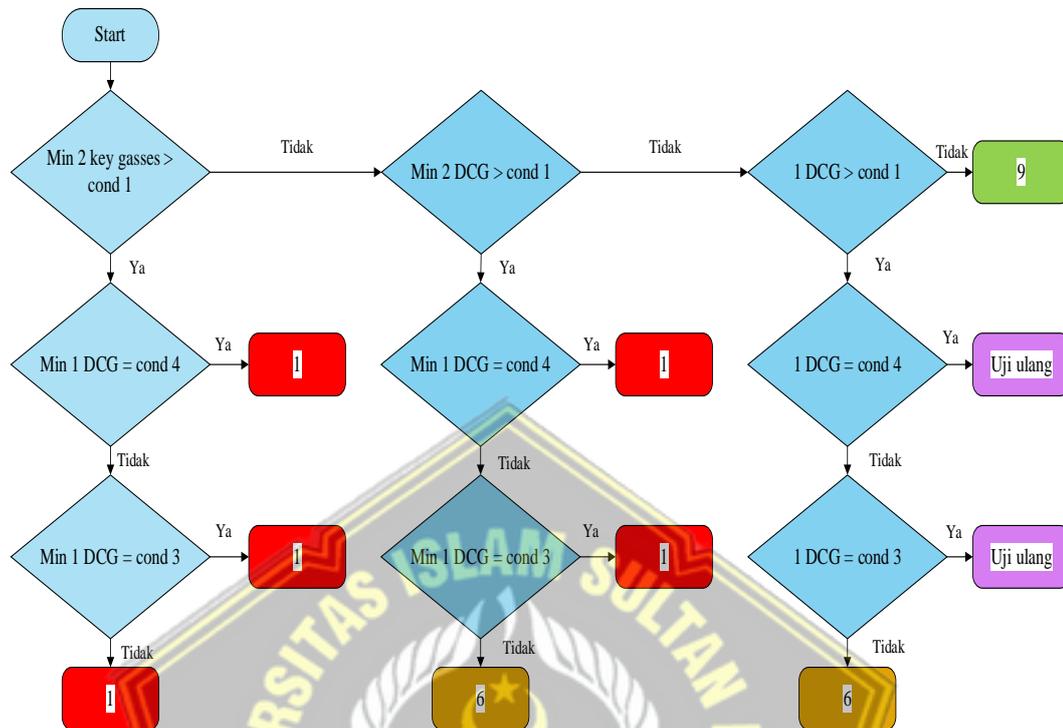
Tabel 3. 7 Data Pengujian TDCG

Tanggal Pengujian	H ₂ (hidrogen)	CH ₄ (metana)	CO (karbon monoksida)	C ₂ H ₄ (etilen)	C ₂ H ₆ (etana)	C ₂ H ₂ (asetilen)	TDCG
18 agustus 2021	0	33	111	2	86	0	232
1 maret 2022	352	81	41	111	25	0	610
13 februari 2023	0	57	119	3	129	0	308
06 September 2023	0	51	106	3	113	0	273
29 September 2023	0	51	115	3	113	0	282
1 januari 2024	12	39	88	2	89	0	230

3.4 Tahapan Penelitian

1. Mengumpulkan data hasil pengujian DGA
2. Melakukan Analisa level kondisi gas yang termasuk dalam key gasses
3. Melakukan analisa level kondisi gas yang termasuk dalam Dissolved Combustible Gas (DCG)
4. Melakukan Analisa lanjutan level kondisi gas CO
5. Melakukan Analisa penyebab menggunakan TDCG, Key Gasses dan Duval Triangle
6. Selesai

3.5 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Analisa Hasil Pengujian DGA

Condition (cond) pada diagram diatas menggunakan acuan data pada Tabel 2.2 Konsentrasi Gas Terlarut pada Minyak Trafo.

Keterangan :

1. Key Gasses : H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄
2. DCG : H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆

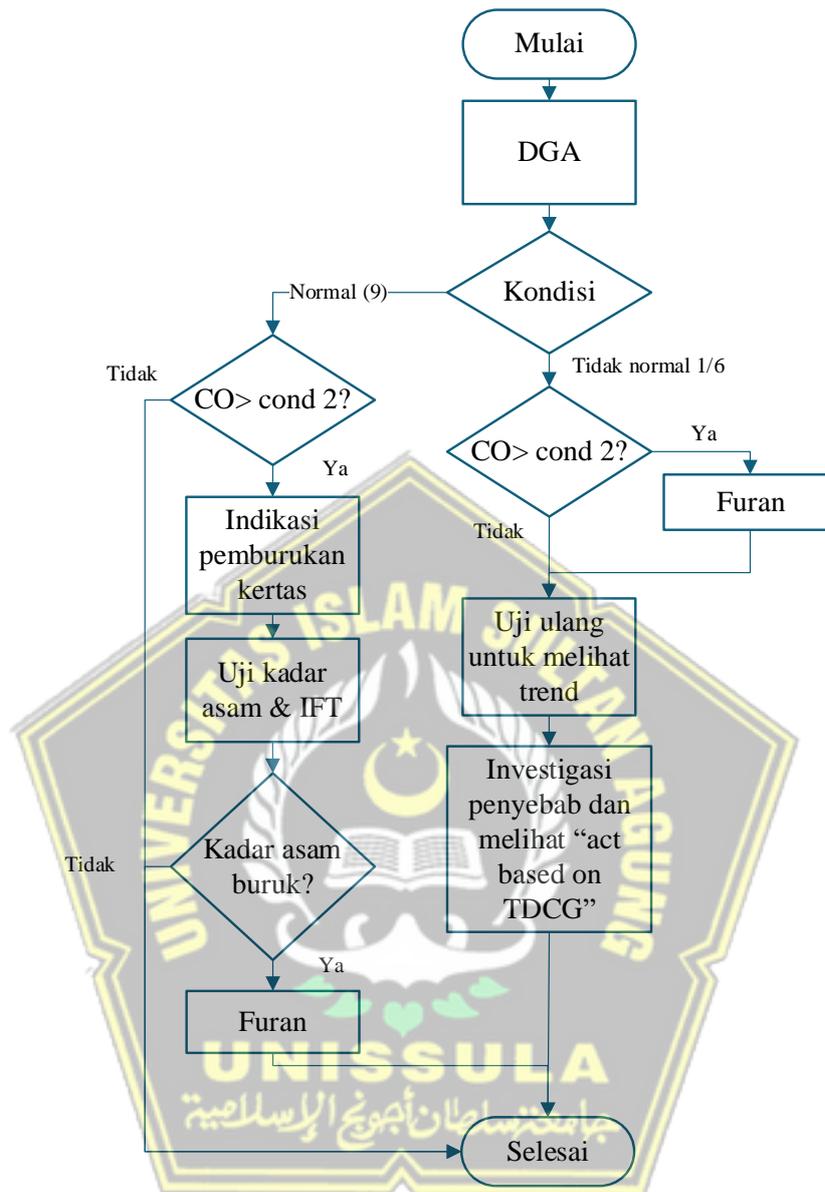
■ : Kondisi 1

■ : Kondisi 6

■ : Kondisi 9

■ : Uji Ulang

Sumber: SK. Dir PLN No. 0520-2014



Gambar 3. 2 Diagram Analisa Lanjutan Hasil Pengujian DGA

Condition (cond) pada diagram diatas menggunakan acuan data pada Tabel 2.2 Konsentrasi Gas Terlarut pada Minyak Trafo.

Sumber: SK. Dir PLN No. 0520-2014

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Pengujian DGA

Analisa hasil pengujian DGA pada transformator daya IBT 1 GITET Ungaran fasa T menggunakan acuan standar IEEE C57.104-2008. Pada diagram analisa hasil pengujian DGA (Gambar 3.1) menunjukkan hasil minyak transformator berada pada kondisi 1 dengan 1 key gasses yaitu H₂ berada pada kondisi 2 dan 1 key gasses yaitu C₂H₄ berada pada kondisi 3 dengan besaran konsentrasinya masing-masing adalah 352 ppm untuk hidrogen dan 111 ppm untuk etilen. Karena diagram analisa hasil menunjukkan kondisi 1 (tidak normal) maka analisa dilanjutkan menggunakan diagram analisa lanjutan DGA (Gambar 3.2)

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian DGA

Tanggal Pengujian	H ₂ (hidrogen)	CH ₄ (metana)	CO (karbon monoksida)	C ₂ H ₄ (etilen)	C ₂ H ₆ (etana)	C ₂ H ₂ (asetilen)	TDCG
18 agustus 2021	0	33	111	2	86	0	232
1 maret 2022	352	81	41	111	25	0	610
13 februari 2023	0	57	119	3	129	0	308
06 September 2023	0	51	106	3	113	0	273
29 September 2023	0	51	115	3	113	0	282
1 januari 2024	12	39	88	2	89	0	230

Hasil pada analisa lanjutan menunjukkan uji ulang untuk melihat trend dan investigasi penyebab serta melihat *action based on TDCG* untuk operasional transformator, hal ini karena konsentrasi gas CO yang hanya berada pada angka 41 ppm yang berarti konsentrasi gas tersebut berada dibawah kondisi 2

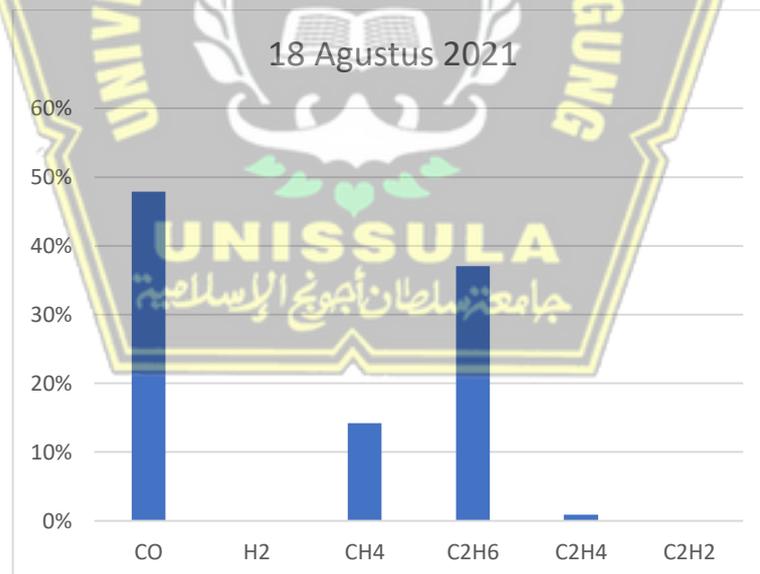
Namun kondisi tersebut tidak berlangsung pada semua pengujian dan hanya pada pengujian tanggal 1 Maret 2022 yang berada pada kondisi tersebut. Untuk pengujian setelah tanggal tersebut semuanya berada pada kondisi 9 atau normal.

Untuk melakukan investigasi penyebab dilakukan dengan menggunakan metode key gasses dan duval triangle.

4.2 Analisa penyebab gangguan menggunakan metode key gasses dan duval triangle

4.2.1 Metode Key Gasses

Analisa gas secara individual dilakukan dengan menggunakan metode key Gasses, metode ini menjabarkan kondisi transformator dengan merujuk besaran konsentrasi gas terukur pada transformator tersebut secara individu. Gas yang digunakan sebagai rujukan adalah gas karbon monoksida (CO), Hidrogen (H₂), Metana (CH₄), Etana (C₂H₆), Etilen (C₂H₄) dan Asetilen (C₂H₂).



Gambar 4. 1 Hasil Key Gasses 18 Agustus 2021

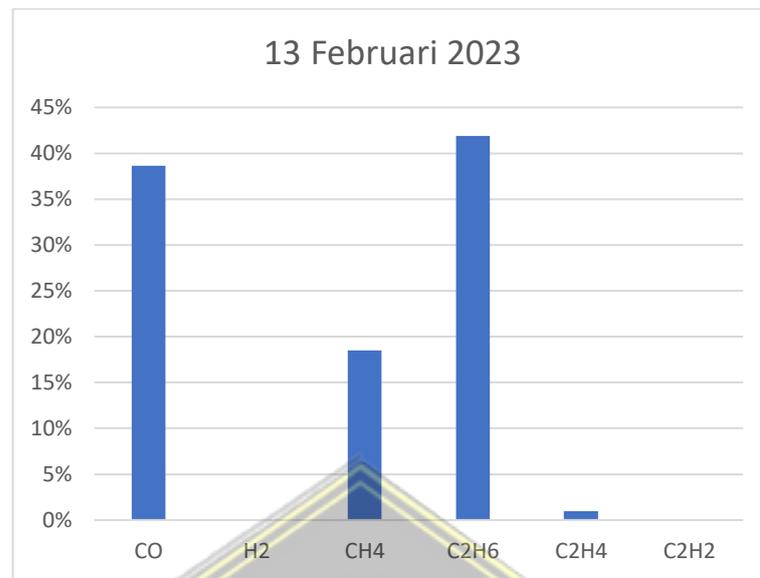
Menurut standar IEEE C57.104-2008 gas CO dapat terbentuk karena kerusakan pada selulosa, pada pengujian tanggal 18 Agustus 2021 gas dominan yang terbentuk adalah karbon monoksida, hal ini menandakan mulai

adanya kerusakan pada selulosa (isolasi kertas) karena pemanasan yang berasal dari transformator.



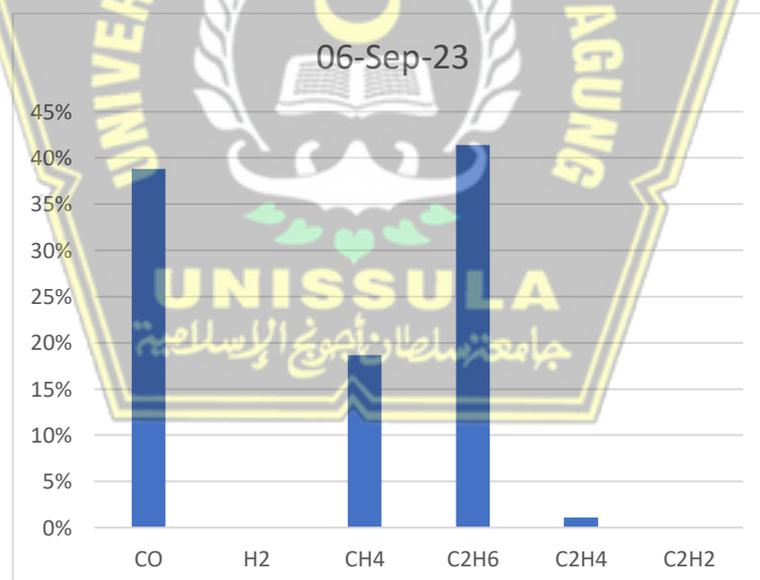
Gambar 4. 2 Hasil Key Gasses 1 Maret 2022

Pengujian yang dilakukan pada tanggal 1 Maret 2022 menunjukkan hasil pembentukan gas hydrogen yang tinggi diikuti dengan terbentuknya gas etilen dengan konsentrasi yang cukup tinggi. Hal ini menandakan mulai ada discharge elektrik tenaga rendah (Partial Discharge) pada minyak transformator. Dengan adanya gas karbon monoksida yang terbentuk juga menandakan adanya pemburukan pada isolasi kertas.



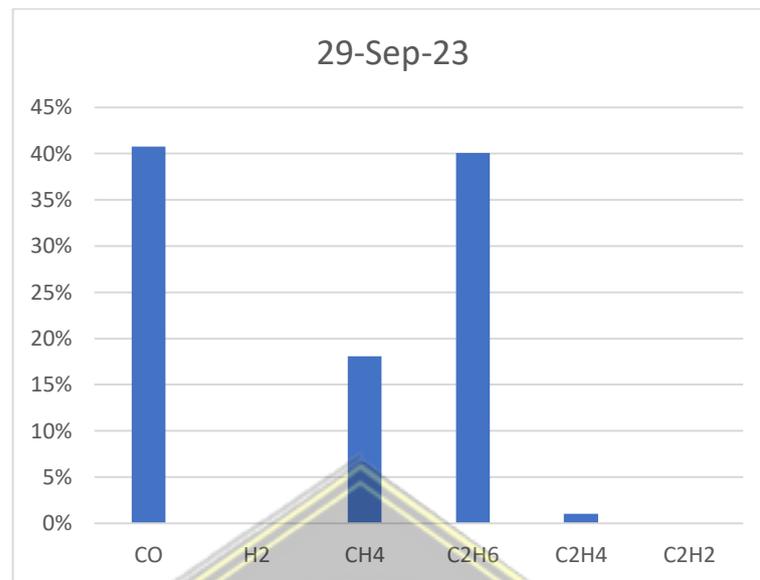
Gambar 4. 3 Hasil Key Gasses 13 Februari 2023

Konsentrasi gas CO yang masih tinggi terlihat pada pengujian tanggal 13 Februari 2023 menandakan pemburukan pada isolasi kertas masih berlanjut.



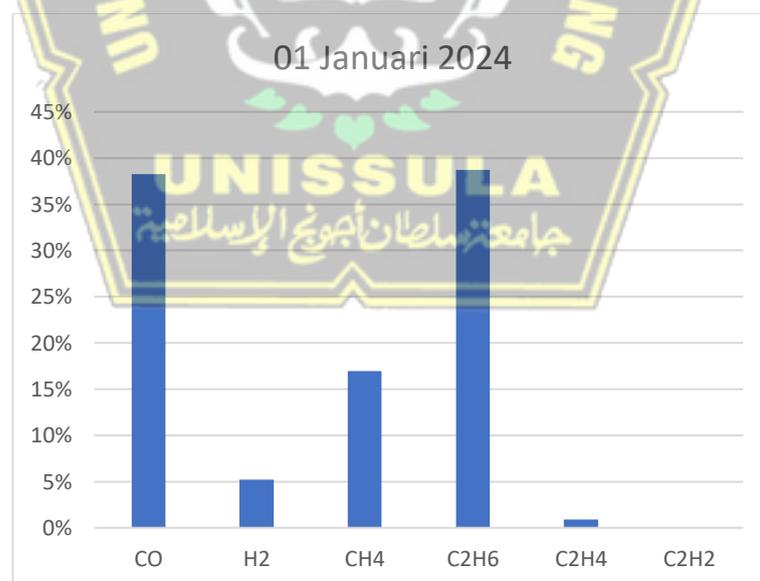
Gambar 4. 4 Hasil Key Gasses 6 September 2023

Pada pengujian tanggal 6 september 2023 menunjukkan gas CO yang masih terukur tinggi persentasenya, dominasi gas CO yang terukur menunjukkan pemburukan pada isolasi kertas transformator.



Gambar 4. 5 Hasil Key Gasses 29 September 2023

Pengujian pada tanggal 29 september 2023 juga menunjukkan hasil yang menyerupai pengujian sebelumnya, yaitu dominasi gas CO yang terukur lebih dari 40%. Indikasi ini sudah menjadi peringatan untuk isolasi kertas pada transformator tersebut.



Gambar 4. 6 Hasil Key Gasses 1 Januari 2024

Pengujian terakhir yang dilakukan menunjukkan presentase gas karbon monoksida yang masih besar diikuti dengan terbentuknya gas metana dan sedikit gas etilen yang masih mengindikasikan adanya pemburukan dari

isolasi kertas. Namun pada pengujian terakhir ini konsentrasi dari masing-masing gas tersebut lebih kecil dari hasil pengujian beberapa waktu sebelumnya dengan hasil konsentrasi gas CO sebesar 88 ppm, gas CH₄ sebesar 39 ppm dan gas C₂H₄ sebesar 2 ppm. Penurunan konsentrasi gas yang terukur pada pengujian DGA tanggal 1 Januari 2024 mengindikasikan sudah adanya perbaikan pada isolasi transformator.

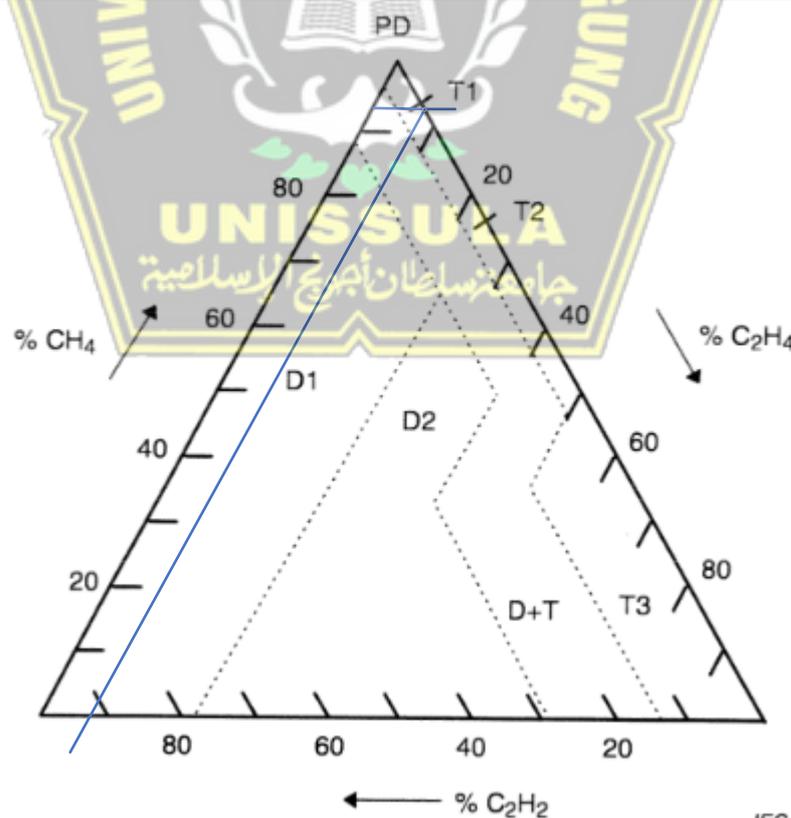
4.2.2 Metode Duval Triangle

Analisa menggunakan metode Duval Triangle secara spesifik mencari penyebab gangguan berdasarkan presentase gas dari 3 jenis gas, timbulnya gas ini mengindikasikan adanya ketidaknormalan operasi pada transformator.

1. Pengujian tanggal 18 Agustus 2021

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Duval Triangle 18 Agustus 2021

GAS	CH ₄ (Metana)	C ₂ H ₄ (Etilen)	C ₂ H ₂ (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	33	2	0
Hasil Presentase	94%	6%	0%



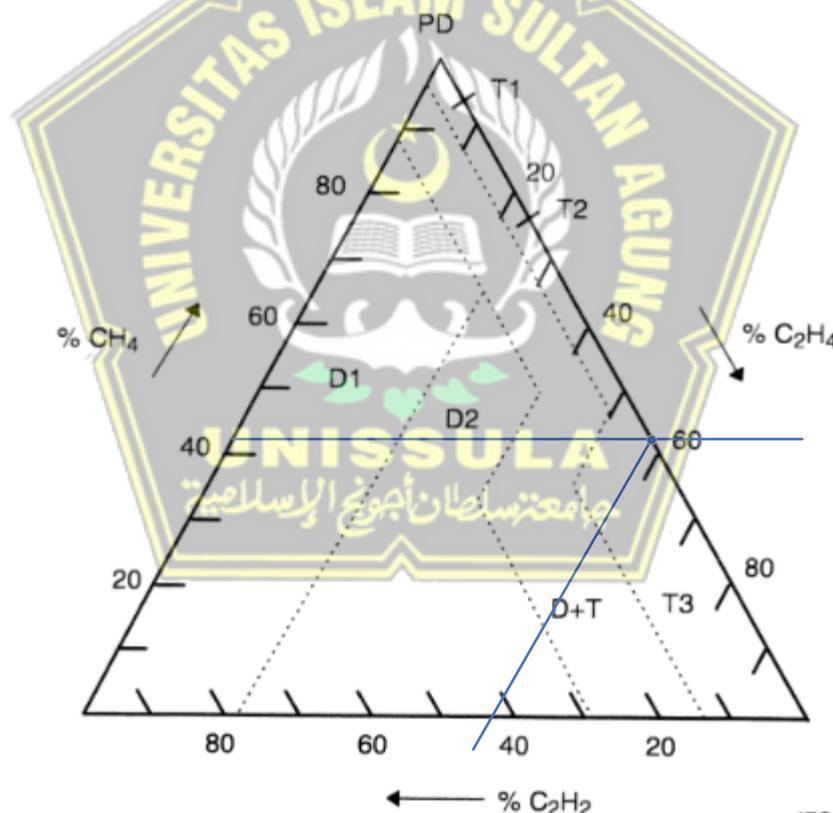
Gambar 4. 7 Duval Triangle 18 Agustus 2021

Gambar diatas menunjukkan perpotongan garis yang berada pada titik T1. Titik ini adalah thermal fault 1 yang berarti kegagalan thermal yang berada di bawah 300°C . secara normal minyak transformator akan beroperasi pada temperature dibawah 65°C . Namun dengan konsentrasi gas terukur yang kecil mengindikasikan kegagalan tidak terjadi dan kemungkinan transformator masih beroperasi secara normal.

2. Pengujian tanggal 1 Maret 2022

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Duval Triangle 1 Maret 2022

GAS	CH ₄ (Metana)	C ₂ H ₄ (Etilen)	C ₂ H ₂ (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	81	111	0
Hasil Presentase	42%	58%	0%



Gambar 4. 8 Duval Triangle 1 Maret 2022

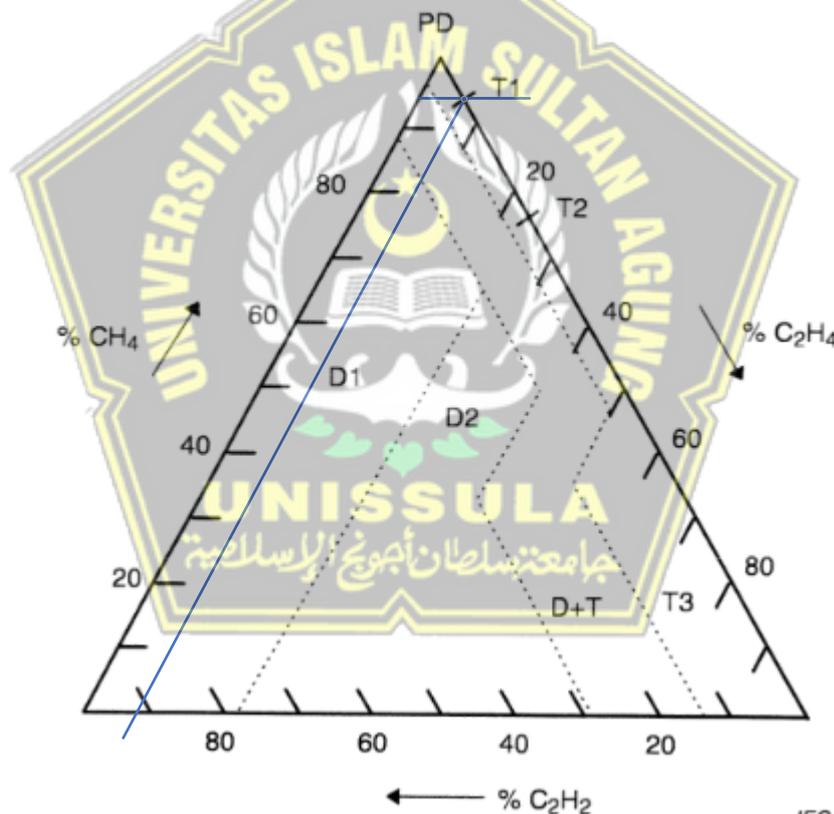
Gambar diatas menunjukkan titik persimpangan yang berada pada zona T3 yang berarti transformator mengalami kegagalan thermal dengan temperature diatas 700°C . Analisa ini diperkuat dengan analisa menggunakan metode key gasses pada pengujian dengan tanggal yang sama dimana transformator

mengalami overheating selulosa, ketika selulosa isolasi kertas mengalami overheat akan menghasilkan gas karbon monoksida yang disertai dengan munculnya sejumlah gas metana dan etilen ketika struktur minyaknya terganggu. Kondisi overheat seperti ini sangat tidak ideal untuk operasi transformator.

3. Pengujian tanggal 13 Februari 2023

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Duval Triangle 13 Februari 2023

GAS	CH ₄ (Metana)	C ₂ H ₄ (Etilen)	C ₂ H ₂ (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	57	3	0
Hasil Presentase	95%	5%	0%



Gambar 4. 9 Duval Triangle 13 Februari 2023

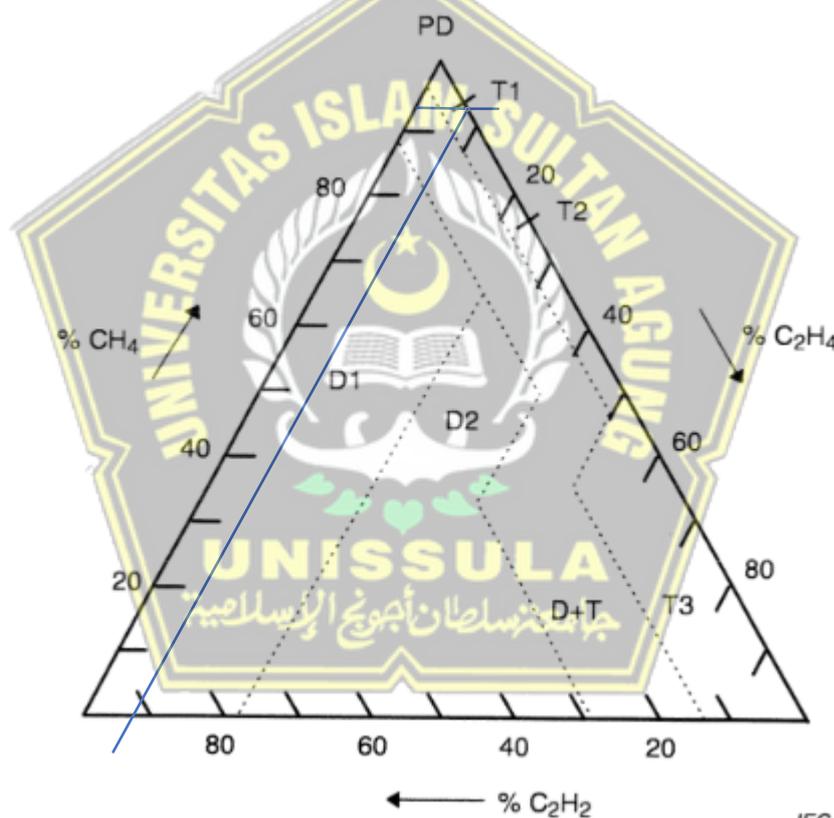
Gambar diatas menunjukkan perpotongan garis yang berada pada titik T1. Titik ini adalah thermal fault 1 yang berarti kegagalan thermal yang berada di bawah 300° C. kondisi minyak transformator dapat diindikasi mengalami temperature yang diatas normalnya namun belum sampai membahayakan kondisi tranformator tersebut apabila transformator tersebut dijalankan

sebagaimana mestinya. Kandungan gas etilen yang terukur juga sudah mengalami penurunan konsentrasinya dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, hal ini mengindikasikan sudah adanya upaya perbaikan untuk mengembalikan kondisi transformator Kembali pada kondisi ideal.

4. Pengujian tanggal 6 September 2023

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Duval Triangle 6 September 2023

GAS	CH ₄ (Metana)	C ₂ H ₄ (Etilen)	C ₂ H ₂ (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	51	3	0
Hasil Presentase	94%	6%	0%



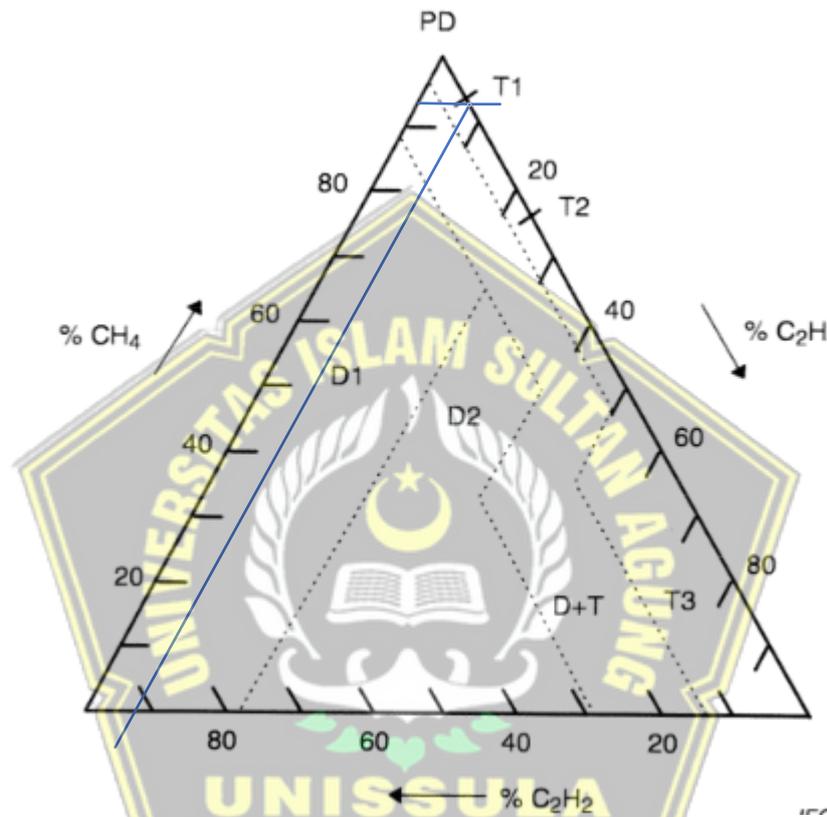
Gambar 4. 10 Duval Triangle 6 September 2023

Hasil dari pengujian pada tanggal 6 september 2023 ini menunjukkan hasil yang menyerupai hasil pengujian sebelumnya dimana konsentrasi gas etilen yang terukur cukup kecil sehingga kondisi transformator berada pada area T1 yang menandakan hanya terjadi overheating dibawah 300 C pada minyak transformator tersebut.

5. Pengujian tanggal 29 September 2023

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Duval Triangle 29 September 2023

GAS	CH ₄ (Metana)	C ₂ H ₄ (Etilen)	C ₂ H ₂ (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	51	3	0
Hasil Presentase	94%	6%	0%



Gambar 4. 11 Duval Triangle 29 September 2023

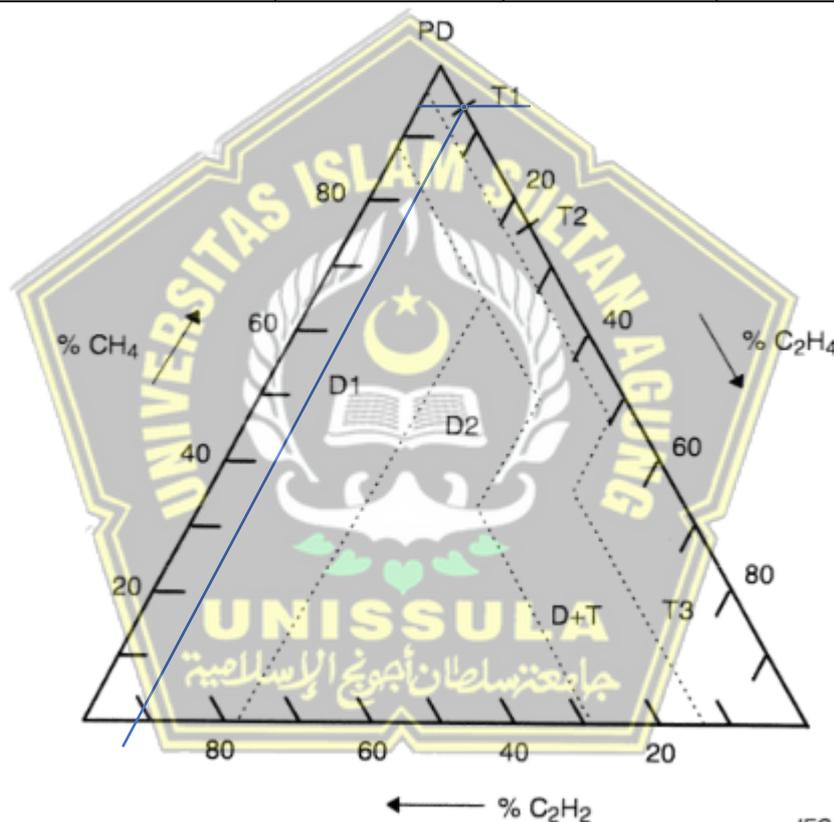
Hasil pengujian pada tanggal 29 september 2023 ini sama dengan pengujian tanggal 6 september 2023, dimana gas metana yang terbentuk sebesar 51 ppm dan gas etilen yang terbentuk sebesar 3 ppm dengan presentase gas metana terhitung 94% dan presentase gas etilen terhitung 6%. Hal ini menunjukkan konsistensi kondisi pada transformator tersebut. Namun disisi lain tingginya presentase gas metana yang terhitung mengindikasikan transformator mendekati area discharge energi rendah (partial discharge) dimana partial discharge diindikasikan terjadi apabila gas metana yang terhitung mencapai presentase 98%.

Kondisi presentase perhitungan gas pada transformator ini menunjukkan konsistensi pada 3 pengujian terakhir yang dikhawatirkan bisa meningkat presentase gas metananya pada tahun tahun yang akan datang.

6. Pengujian tanggal 1 Januari 2024

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Duval Triangle 1 Januari 2024

GAS	CH4 (Metana)	C2H4 (Etilen)	C2H2 (Asetylen)
Konsentrasi (ppm)	39	2	0
Hasil Presentase	95%	5%	0%



Gambar 4. 12 Duval Triangle 1 Januari 2024

Hasil pengujian terakhir yang dilakukan menunjukkan perbaikan dari pengujian-pengujian sebelumnya dimana gas metana yang terukur menurun sampai 39 ppm dan gas etilen yang terukur menurun di angka 2 ppm. Meskipun hasil perhitungan presentase memiliki kemiripan dengan pengujian-pengujian sebelumnya namun indikasi kegagalan yang dapat terjadi semakin sedikit karena konsentrasi gas terukurnya menurun.

4.3 Analisa TDCG (Total Dissolved Combustible Gas)

Analisa tindakan yang dianjurkan pada kondisi transformator berdasarkan besarnya TDCG (Total Dissolved Combustible Gas) dapat dilakukan dengan mengacu pada standar IEEE C57.104-2008 dengan tabel analisa sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Action Based on TDCG

Kondisi	Level TDCG (ppm)	TDCG Rate (ppm/hari)	Interval Sampling	Prosedur Operasi
Kondisi 1	≤720	>30	Bulanan	- Analisis gas individual - Tentukan pengaruh pembebanan terhadap laju pembetukan gas
		10-30	Setiap 4 bulan	Operasi secara normal
		<10	Tahunan	
Kondisi 2	721-1920	>30	Bulanan	- Analisis gas individual
		10-30	Bulanan	- Tentukan pengaruh pembebanan terhadap laju pembetukan gas
		<10	Setiap 4 bulan	- Analisis gas individual - Tentukan pengaruh pembebanan terhadap laju pembetukan gas
Kondisi 3	1921-4630	>30	Mingguan	- Analisis gas individual
		10-30	Mingguan	- Rencanakan pemadaman
		<10	Bulanan	- Informasikan ke pabrikan
Kondisi 4	>4630	>30	Harian	
		10-30	Harian	- Pertimbangkan untuk penggantian - Informasikan kepada pabrikan
		<10	Mingguan	- Analisis gas individual

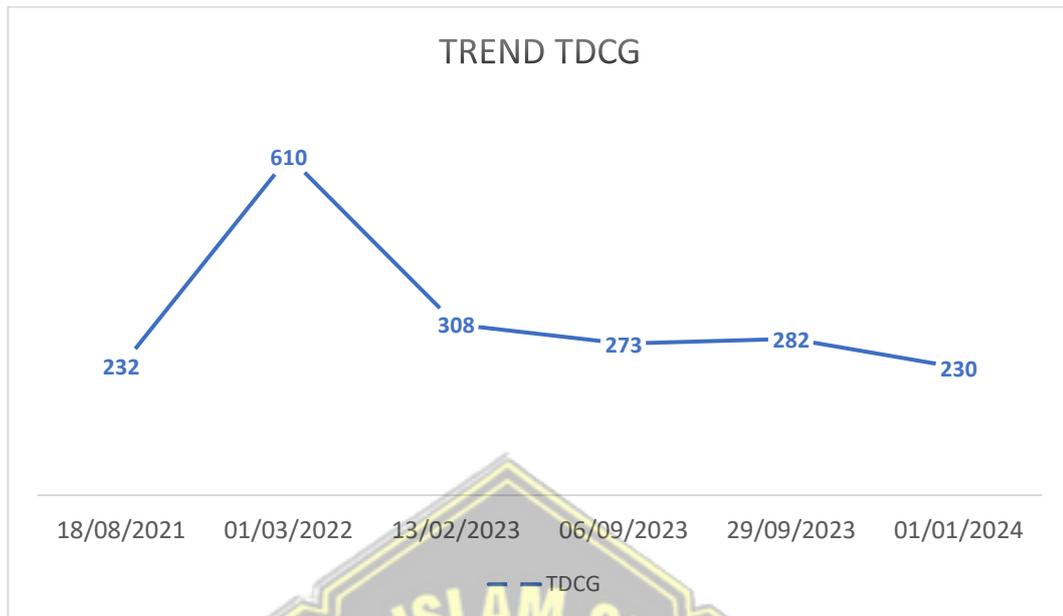
				<ul style="list-style-type: none"> - Rencanakan pemadaman - Informasikan ke pabrikan
--	--	--	--	--

Dengan mengacu pada tabel diatas, dapat diambil saran presedur operasi yang dapat dilakukan untuk kondisi transformator yang terjadi sesuai dengan pengukuran TDCG yang dilakukan.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian TDCG

Tanggal Pengujian	H2 (hidrogen)	CH4 (metana)	CO (karbon monoksida)	C2H4 (etilen)	C2H6 (etana)	C2H2 (asetilen)	TDCG
18 agustus 2021	0	33	111	2	86	0	232
1 maret 2022	352	81	41	111	25	0	610
13 februari 2023	0	57	119	3	129	0	308
06 September 2023	0	51	106	3	113	0	273
29 September 2023	0	51	115	3	113	0	282
1 januari 2024	12	39	88	2	89	0	230

Berdasarkan tabel rekomendasi operasi, hasil pengujian TDCG tidak ada yang melebihi 720 ppm, yang berarti transformator dapat beroperasi secara normal dengan mempertimbangkan pengaruh pembebanan terhadap laju pembetukan gas dan menganalisa gas secara individual untuk mencari potensi terjadinya keadaan yang tidak normal pada transformator. Analisa gas secara individual sudah dijabarkan pada sub bab 4.2 dengan menggunakan metode key gasses dan metode duval triangle.



Gambar 4. 13 Trend Gas TDCG

Pada grafik trend TDCG berikut dapat dilihat bahwa ada kenaikan yang cukup signifikan pada pengujian tanggal 1 maret 2022 dengan hasil pengujian sebesar 610 ppm. Hasil pengujian tersebut belum mencapai batas kondisi 1 dimana batas kondisi 1 TDCG adalah 720 ppm, namun kenaikan yang signifikan tersebut perlu diperhatikan agar tidak terjadi kenaikan yang sama pada tahun tahun selanjutnya.

Pada pengujian setelah tanggal 1 maret 2022 TDCG yang terukur konsisten mengalami penurunan sampai pada angka 230 ppm pada pengujian terakhir pada tanggal 1 januari 2024, hal ini mengindikasikan adanya perbaikan atau penanganan yang baik pada transformator untuk menjaga keandalan dari transformator tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Agus Siswanto, Abdul Rohman, Sugeng Suprijadi, Mudofar Baehaqi dan Arifudin di Transformator IBT 1 Gardu Induk 150 kV Suryanagi, nilai konsentrasi gas pengotor dapat diturunkan dengan cara filtrasi minyak transformator sehingga kandungan gas terlarut yang tadinya sebesar 1520 ppm dapat diturunkan menjadi 481 ppm pada pengujian 4 maret 2021 di Transformator IBT 1 Gardu Induk 150 kV Suryanagi.[2]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Gas karbon monoksida (CO) dan gas etana (C₂H₆) menjadi gas yang dominan muncul pada Sebagian besar pengujian minyak transformator dan gas hydrogen dominan muncul pada pengujian tanggal 1 maret 2022.
2. Transformator mengalami indikasi pemburukan isolasi kertas pada mayoritas pengujian dan indikasi sedikit partial discharge pada pengujian tanggal 1 maret 2022.
3. Berdasarkan *Action Based on TDCG* IEEE C57.104-2008 transformator masih dapat beroperasi secara normal dengan TDCG yang terukur tidak ada yang melebihi 720 ppm.

5.2 Saran

1. Dengan kondisi isolasi kertas yang sudah sangat tua disarankan untuk memperhatikan keandalan isolasi kertas pada transformator sehingga tidak terjadi tegangan tembus pada isolasi tersebut.
2. Purifikasi atau pergantian minyak disarankan lebih diperpendek jeda waktunya untuk menjaga kondisi isolasi minyak transformator tetap dalam keadaan yang handal.

Daftar Pustaka

- [1] H. R. Iskandar, E. Taryana, M. R. Hidayat, and G. S. Putra, “Studi Kelayakan Operasi Berdasarkan Uji Dissolve Gas Analysis pada Transformator Distribusi 150 kV Gardu Induk Cibabat Cimahi,” vol. 10, no. 1, pp. 10–21, 2021.
- [2] A. Siswanto *et al.*, “ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN PENGUJIAN DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) PADA IBT 1 GARDU INDUK,” pp. 30–42, 2022.
- [3] U. Islam *et al.*, “ANALISIS KONDISI TRANSFORMATOR DAYA 20KV / 150KV DENGAN METODE UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) DI PT . PJB PLTU,” pp. 337–344, 2020.
- [4] T. Sandiri, L. S. Patras, and M. Tuegeh, “Analysis of Transformer Condition Used Dissolved Gas Analysis (DGA),” pp. 1–8, 2022.
- [5] N. Ahmad and H. M. A. Taqijudin, “INDIKATOR KEGAGALAN KERJA DENGAN UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS DI GARDU INDUK PROBOLINGGO 1 Mahasiswa Teknik Elektro Fakultas Teknik UNISMA 2 , 3 Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik UNISMA,” 1991.
- [6] O. Thiessaputra, M. Haddin, and S. A. D. Prasetyowati, *DGA Method Based on Fuzzy for Determination of Transformer Oil Quality*, vol. 149, no. Smartcyber. 2021.
- [7] PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014.
- [8] Trisna Wati, Dany Arianto, and Santi Triwijaya, “Partial Discharge Analysis of UBJOM Rembang PLTU Using Roger’s Ratio Method,” *J. E-Komtek*, vol. 6, no. 1, pp. 36–46, 2022, doi: 10.37339/e-komtek.v6i1.928.
- [9] T. Committee of the IEEE Power Engineering Society, *IEEE Std C57.14-2005, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Silicone-Immersed Transformers*, vol. 2008, no. February. 2006.
- [10] M. Duval, “The Duval Triangle for Load Tap Changers , Non-Mineral Oils and Low,” pp. 22–29.

- [11] International Electrotechnical Commission, *IEC std 60599-1999, Mineral Oil Impregnated Electrical Equipment in Service*, 1999.

