

**ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA)
DAN PURIFIKASI
(Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)**

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T)
Dalam Bidang Ilmu Teknik Elektro

Oleh :

RASTRA FURQORANDA
NPM : 2020080001



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN TESIS

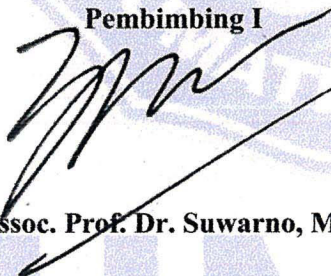
Nama : RASTRA FURQARANDA
Nomor Pokok Mahasiswa : 2020080001
Program Studi : MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
Judul Tesis : ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN PURIFIKASI (Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)

Pengesahan Tesis

Medan, 9 November 2022

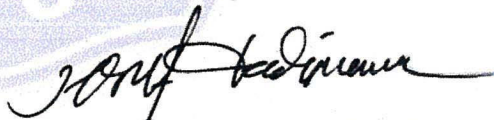
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Assoc. Prof. Dr. Suwarno, M.T

Pembimbing II



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc

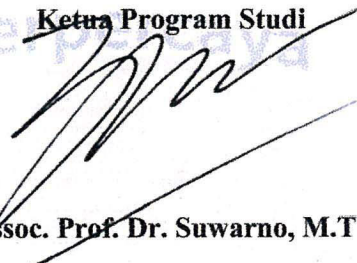
Diketahui

Direktur



Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., M.Hum

Ketua Program Studi



Assoc. Prof. Dr. Suwarno, M.T

PENGESAHAN

ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN PURIFIKASI (Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)

Tesis Ini Telah Dipertahankan Di Hadapan Panitia Penguji Yang Terbentuk Oleh
Magister Teknik Elektro PPs UMSU Dan Dinyatakan Lulus Dalam Ujian

Pada Hari, Tanggal : Sabtu, 3 September 2022

Panitia Penguji

1. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc 1

Ketua

2. Rohana, ST., M.T 2

Sekretaris

3. Assoc. Prof. Dr. Syafruddin Hasan, M.Sc 3

Anggota

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN PURIFIKASI (Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 9 November 2022

Penulis,



RASTRA FURQARANDA

NPM : 2020080001

**ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN
METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN PURIFIKASI
(Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)**

**RASTRA FURQRANDA
NPM : 2020080001**

ABSTRAK

Salah satu komponen terpenting dalam sistem pembangkitan listrik yaitu transformator daya. Transformator daya memiliki minyak isolator cair sebagai pendingin maka kualitas minyak merupakan hal yang harus sangat diperhatikan karena memiliki kondisi ketidaknormal jika terjadinya gangguan panas berlebih pada transformator daya yang mengakibatkan kebakaran. Metode yang dapat digunakan untuk mengetahui gangguan yang terjadi pada minyak isolasi transformator daya adalah dengan metode pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Dalam tesis ini, pengujian DGA menggunakan interpretasi dari IEEE Std C57-104-2008. Metode yang digunakan untuk mencari analisa gangguan ketidaknormalan minyak trafo ialah dengan 4 metode yaitu metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle*. Dari hasil analisa yang dilakukan menunjukkan metode TDCG memiliki kandungan gas 1565 ppm berada pada kondisi 2, metode *Rogers Rasio* menghasilkan gejala panas berlebih yang mencapai temperature 300-700°C, metode *Key Gas* menyebabkan gangguan *Overheating Oil*, dan metode *Duval Triangle* menghasilkan D1 = *Discharge of Low Energy*, T2 = *Thermal Fault 300-700°C*, dan T3 = *Thermal Faults Exceeding 700°C*. Untuk menghilangkan berbagai jenis gangguan gas ketidaknormalan serta memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya dapat dilakukan dengan menggunakan purifikasi. Dari hasil purifikasi minyak trafo penurunan kandungan gas menjadi 243 ppm berada pada kondisi 1, sehingga kualitas minyak isolasi transformator daya tersebut dalam keadaan murni dan layak untuk digunakan kembali di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.

Kata kunci : *Minyak Isolasi Trafo, DGA, Purifikasi.*

**ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA DENGAN
METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA)
DAN PURIFIKASI
(Studi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe)**

**RASTRA FURQRANDA
NPM : 2020080001**

ABSTRACT

The most important part in a system of electrical is power transformers. The power transformer having oil an insulator liquid as a coolant so qualities of oil is must be very consider, because having the condition abnormality if disruption remains in the heat power transformer resulting in fire. A method that can be used to know the problems that occurred on oil isolation of power transformer by Dissolved Analysis Gas (DGA). In this thesis, testing DGA use interpretation of IEEE Std C57-104-2008. Methods used to looking for analysis that abnormality disorder a oil transformer is that by 4th methods which is a method of TDGC (Total Dissolved Combustible Gas), Rogers Ratio, Key Gas, and Duval Triangle. From the analysis carried out show TDGC method has any gas 1565 ppm at the 2nd condition, Rogers ratio method of excess produce symptoms heat at temperature 300 – 7000C, Key gas causing disorder overheating oil , and duval triangel methods produce D1 = discharge of low energy, T2 = thermal fault 300-7000C , and T3 = thermal faults exceeding 7000C. To deprive of various types of disorder that abnormality gas and to improve quality of an insulating transformer power can be conducted using purifikasi. From the results of purifikasi oil transformer the decline in the womb a gas into 243 ppm in 1st condition, resulting in the isolation oil transformer resources in a pure state and useful for used of the back in PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.

Keywords : *Transformer Insulating Oil, DGA, Purification.*

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum wr wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Analisis Minyak Isolasi Transformator Daya Dengan Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Purifikasi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe**”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam melakukan penelitian dan penyusunan tesis ini penulis telah mendapatkan banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T. Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis.
2. Bapak Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan kepada penulis.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro yang telah membantu dan memberikan masukan kepada penulis.
4. Bapak dan Ibu Dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
5. Seluruh Staf Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Suharto Karim, S.T selaku Assisten Manager dan seluruh Staf Pegawai PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe yang telah mengizinkan untuk penelitian,

terkhusus pada bagian teknik pemeliharaan dan laboratorium yang telah memberikan masukan dan informasi dalam penyelesaian tesis ini.

7. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Program Pasacsarjana, khususnya Program Studi Magister Teknik Elektro angkatan 2020 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.
8. Teristimewa kepada kedua orang tua saya yaitu Alm. Ayahanda Taliono, S.Ag dan Ibunda Nurjannah, S.Pd serta Abangda Nanda Prawira, S.Kom dan Kakanda tersayang Anggi Pramudita Yunda, A.Md, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
9. Calon pendamping saya Debby Veronica Nst, S.AB serta sahabat saya Ibnu, Ilham, Vakkur, Zenion, Suhairi, Irfan, Agil, Yudi, Wahyu, Telong, dan teman kerja PT. Prima Multi Peralatan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini jauh dari kata sempurna, untuk itu semua jenis saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri.

Wassalamu'alakum wr.wb.

Medan, 22 Juli 2022
Penulis,

Rastra Furqaranda
2020080001

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN SATUAN.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian.....	7
1.6 Manfaat Penelitian.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 Transformator Daya	10
2.1.2 Sistem Pendingin Transformator Daya	13
2.1.3 Syarat Minyak Isolasi Sebagai Media Isolator Cair.....	15
2.1.4 Faktor Penyebab Pemburukan Pada Minyak Isolasi.....	16
2.1.5 Gangguan Minyak Isolasi Transformator Daya.....	17
2.1.6 Pembentukan Gas Terlarut Pada Minyak Trafo.....	18
2.1.7 Metode Dissolved Gas Analysis (DGA).....	24
2.1.8 Purifikasi Minyak Isolasi Transformator	30
2.2 Kajian Penelitian	32
2.3 Kerangka Berfikir.....	35
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2 Rancangan / Desain Penelitian	36

3.3	Populasi dan Sampel	39
3.4	Teknik Pengumpulan Data Penelitian	40
3.4.1	Pengumpulan Data	40
3.4.2	Pengujian Data DGA.....	41
3.5	Teknik Analisis Data	42
3.5.1	Tahap Penelitian.....	43
3.5.2	Instrumen Penelitian.....	43
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		44
4.1.	Hasil Penelitian.....	44
4.1.1	Deskripsi Data.....	45
4.1.2	Hasil Uji Persyaratan Analisis	45
4.2	Pembahasan	45
4.2.1	Data Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA).....	46
4.3	Purifikasi Minyak Isolasi Transformator Daya	60
BAB 5 PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN 1		68
LAMPIRAN 2.....		69
LAMPIRAN 3.....		70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Macam-Macam Pendingin Pada Transformator	14
Tabel 2.2. Gangguan Ketidaknormalan Gas Pada Minyak Isolasi Trafo.....	22
Tabel 2.3. Batasan Kondisi Minyak Isolasi Trafo.....	25
Tabel 2.4. Gangguan Pada Minyak Trafo Dengan <i>Rogers Rasio</i>	26
Tabel 2.5. Gas Yang Lebih Dominan Dengan <i>Key Gas</i> [18].....	28
Tabel 2.6. Gangguan Pada Minyak Trafo Dengan <i>Duval Triangle</i> [23]	30
Tabel 4.1. Hasil Pengujian <i>Dissolved Gas Analysis</i> (DGA) Pada Minyak Trafo .	44
Tabel 4.2. Hasil Data Pengujian DGA Pada Minyak Trafo	46
Tabel 4.3. Batasan Kondisi Ketidaknormalan Dengan Metode TDCG.....	49
Tabel 4.4. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode TDCG.....	50
Tabel 4.5. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode <i>Rogers Rasio</i>	51
Tabel 4.6. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode <i>Rogers Rasio</i>	52
Tabel 4.7. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode <i>Key Gas</i>	53
Tabel 4.8. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode <i>Key Gas</i>	54
Tabel 4.9. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode <i>Duval Triangle</i>	55
Tabel 4.10. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode <i>Duval Triangle</i> ...	57
Tabel 4.11. Hasil Data Purifikasi Minyak Isolasi Transformator Daya.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Transformator PLTG Jakabaring meledak dan terbakar [30]	3
Gambar 2.1..Transformator daya PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.....	11
Gambar 2.2. Tangki wiring diagram transformator daya.....	12
Gambar 2.3. Dekomposisi minyak isolasi [2].....	19
Gambar 2.4. Reaksi panas pada gas minyak isolasi trafo [16].....	23
Gambar 2.5. Gangguan pada minyak trafo dengan <i>Key Gas</i> [18].....	28
Gambar 2.6. Gangguan pada minyak trafo dengan <i>Duval Triangle</i> [16].....	29
Gambar 2.7. Mesin purifikasi minyak isolasi transformator.....	31
Gambar 2.8. Flowchart kerangka berfikir	35
Gambar 3.1. Diagram alur rancangan/desain penelitian	37
Gambar 3.2. Proses pengambilan minyak isolasi trafo	41
Gambar 3.3. Pengujian sampel minyak trafo daya dengan alat transport-x.....	42
Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian DGA pada minyak trafo	48
Gambar 4.2. Presentasi titik koordinat gas minyak trafo pada <i>Duval Triangle</i>	57
Gambar 4.3. Pembentukan gas saat panas pada minyak trafo	59
Gambar 4.4. Grafik sebelum dan sesudah purifikasi minyak isolasi trafo.....	62

DAFTAR SINGKATAN DAN SATUAN

DGA	: Dissolved Gas Analysis
TDCG	: Total Dissolved Combustible Gases
IEEE	: Institute of Electrical and Electronic Engineering
IEC	: International Electrotechnical Commission
PPM	: Part Per Million
H ₂	: Hidrogen
CH ₄	: Methane
C ₂ H ₄	: Ethylene
C ₂ H ₂	: Acetylene
C ₂ H ₆	: Ethane
CO	: Carbon Monoxide

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tahun demi tahun kemajuan kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat, untuk itu dibutuhkan pembangkit listrik dengan skala besar untuk mencukupi kebutuhan konsumen di Indonesia. Salah satu komponen terpenting dalam sistem pembangkitan listrik yaitu transformator daya.

Transformator adalah mesin listrik yang bisa mentransformasikan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya melalui gandingan magnet dengan dasar prinsip induksi magnet. Pada umumnya transformator digunakan untuk mengubah energi listrik dari penaik tegangan atau penurunan tegangan. Salah satu bagian paling utama pada transformator daya adalah isolasi cair yaitu minyak isolasi transformator daya [1].

Transformator daya memiliki suatu batasan umur yang efektif, dimana dalam hal ini akan menunjukkan apakah transformator tersebut masih layak dan juga handal untuk dioperasikan dalam sistem tenaga listrik atau tidak memungkinkan untuk dioperasikan. Hal ini dikarenakan transformator daya tersebut bekerja secara terus menerus selama 24 jam. Menurut standar pada *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) Std C57.104-2008 [18] umur untuk pemakaian transformator daya mencapai 180.000 jam atau sama dengan 20 tahun. Sehingga dalam hal ini kelangsungan kinerja dari transformator daya tersebut sangatlah bergantung pada

kualitas sistem minyak isolasinya. Minyak transformator daya juga berfungsi sebagai isolasi dan berfungsi sebagai pendingin.

Penggunaan transformator dalam waktu yang panjang dapat menyebabkan kenaikan suhu panas yang tinggi sehingga menimbulkan gangguan pada transformator. Gangguan kerusakan pada transformator akan mengakibatkan terputusnya tegangan listrik ke perusahaan maupun konsumen masyarakat. Masalah penyebab munculnya kerusakan gangguan pada transformator adalah panas berlebih yang mengakibatkan minyak isolasi lilitan trafo lebih cepat rusak dan mengalami beban yang tidak stabil. Selain itu juga menyebabkan timbulnya ketidaknormalan yang terjadi karena adanya gangguan seperti *Overheating Oil*, *Partial Discharge*, *Arcing*, dan *Thermal Faults* yang akan menimbulkan dampak buruk terhadap kinerja transformator daya. Maka sebab dari pada itu, pemeliharaan dan analisa pengujian transformator daya perlu dilakukan secara bertahap supaya transformator daya bisa beroperasi semaksimal mungkin [2].

Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Normaliaty & Januar tentang *Dissolved Gas Analysis* (DGA) pada transformator 27 MVA di PLTG 1 Jakabaring ditemukan bahwa hasil pengukuran menggunakan metode segitiga duval pada Transformator 27 MVA PLTG 1 Jakabaring berada pada keadaan T3 : Thermal Fault > 700°C. Mengacu pada IEC 60599 (2007) kondisi ini merupakan dari terbentuknya sejumlah besar karbon pada minyak, korosi metal (800°C) atau *metal fusion* (>1000°C) karena arus sirkulasi yang besar pada tangki dan inti atau *short circuit* pada laminasi. Sehingga minyak transformator perlu dilakukan perawatan dan

purifikasi untuk menurunkan kadar karbon yang tinggi namun tidak dilakukan proses purifikasi sehingga pada tahun 2021 transformator tersebut meledak [3].

Sesuai dengan penelitian dan saran untuk dilakukannya purifikasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) di Jakabaring namun saran tersebut tidak dilaksanakan sehingga pada hari Jum'at tanggal 16 April 2021 salah satu trafo (PLTG) di Jakabaring, Sumatera Selatan meledak dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Transformator PLTG Jakabaring meledak dan terbakar [30]

Untuk menghindari peristiwa tersebut terulang di wilayah lain dan untuk mengantisipasi dampak yang akan ditimbulkan jika transformator meledak maka perlu dilakukan pengujian terhadap minyak isolasi pada transformator daya PT-8801-B PLTG di PT Perta Arun Gas Lhokseumawe.

Metode pengujian DGA merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menguji keadaan suatu minyak isolasi dengan cara mengambil sampel minyak dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi tersebut dengan tujuan untuk mengetahui kondisi kinerja dan dapat menentukan indikasi gangguan/kegagalan pada transformator serta menentukan tindakan pencegahan kegagalan transformator [4].

Akbar [5] melakukan penelitian DGA pada dua transformator di Pertamina RU-II Dumai dengan hasil pengujian pada kondisi transformator 1 memiliki kandungan gas CH_4 yang banyak. Hal ini dapat menyebabkan *arching*, *partial discharge* serta gangguan suhu termal rendah dan menengah. Berbeda dengan kondisi pada transformator 2 yang cukup baik tetapi menunjukkan beberapa indikasi kegagalan yaitu overheating yang disebabkan C_2H_4 yang cukup banyak sehingga perlu dilakukan pengawasan dan purifikasi [5].

A.A.Dimas [6] dengan judul “Analisis Kegagalan Transformator di PT Asahimas Chemical Banten Berdasarkan Hasil Uji DGA dengan metode *Ratio Rogers*” yang memfokuskan pengujian terhadap minyak isolasi cair trafo baru, minyak isolasi cair trafo masih dalam pemakaian, dan minyak isolasi cair trafo yang rusak. Hasil uji DGA pada minyak-minyak tersebut digunakan untuk menemukan penyebab kegagalan transformator dengan metode analisa *Ratio Rogers* [6].

A.Faris [7] telah melakukan penelitian dengan judul “Analisis Hasil Uji DGA Untuk Memprediksi Rentang Waktu Purifikasi Minyak Transformator Dengan Metode TDGC Dan *Ratio Rogers* di PLN Paya Pasir Medan” dengan hasil analisis

hasil pengujian DGA dengan metode TDCG pada transformator yang diuji menunjukkan kadar TDCG berada dalam kondisi 2 dengan nilai 1722 ppm, dimana transformator harus diwaspadai dan perlu dilakukan pengawasan berkala. Analisis menggunakan metode *Key Gas* pada transformator menunjukkan nilai persentasi gas CO pada minyak 94,7 % yang mengindikasikan adanya pemanasan berlebih pada isolasi padat transformator yang diuji. Analisis menggunakan metode *Ratio Rogers* didapat kode 0 0 1 yang berarti transformator berindikasi kegagalan termal pada suhu dibawah 150°C dan tidak melibatkan dekomposisi pada isolasi padat kertas. Hasil prediksi waktu purifikasi minyak transformator dengan menggunakan Dev C++ yaitu ± 153 hari yaitu pada tanggal 21 maret. Berdasarkan prediksi tersebut nilai TDCG memasuki kondisi ketiga (>1921) dimana minyak mulai terdekomposisi dan perlu diwaspadai [7].

Maka berdasarkan permasalahan di atas, peneliti menganalisis kondisi minyak isolasi pada transformator dan melakukan purifikasi untuk memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya tersebut. Maka sebab dari pada itu, judul yang diangkat oleh penelitian ini adalah “Analisis Minyak Isolasi Transformator Daya Dengan Menggunakan Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan Purifikasi Pada PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagian paling kritis pada transformator daya adalah minyak isolasi cair.
2. Pemakaian minyak isolasi transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan pengurangan kemampuannya sebagai bahan isolasi cair yang mengakibatkan timbulnya ketidaknormalan terhadap transformator.
3. Purifikasi dapat memperbaiki kualitas minyak transformator.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Transformator yang menjadi penelitian adalah transformator daya step up dengan kapasitas 34,5 KV PT-8801-B PLTG PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.
2. Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) yang digunakan adalah *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle*.
3. Minyak transformator yang digunakan dalam penelitian adalah kandungan gas H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, dan CO.

1.4 Rumusan Masalah

Maka berdasarkan uraian permasalahan di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis minyak isolasi cair transformator daya dengan menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA)?
2. Bagaimana cara memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya?

1.5 Tujuan Penelitian

Maka berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis minyak isolasi transformator daya dengan menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA).
2. Memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya dengan cara purifikasi.

1.6 Manfaat Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan untuk mendapatkan manfaat yang berguna bagi semua pihak yang membutuhkan. Manfaat pada pihak-pihak ini antara lain sebagai berikut:

1. Pada Peneliti

Penelitian analisa diharapkan bermanfaat untuk menambah ilmu dan wawasan pemahaman penulis mengenai gangguan permasalahan yang teliti yaitu kegagalan minyak isolasi dengan menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan purifikasi.

2. Pada Perusahaan

Penelitian ini bermanfaat karena menjadi bahan sumber dilakukan perawatan rutin dan terhindar dari kerusakan pada trafo serta untuk memperbaiki kualitas minyak isolasi trafo pada perusahaan.

3. Pada Program Studi Magister Teknik Elektro.

Penelitian ini bermanfaat untuk referensi masukan pada program studi magister teknik elektro UMSU dan menambah sumber informasi pada mahasiswa/i untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan permasalahan atau objek yang sama dengan minyak isolasi cair transformator daya dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan purifikasi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pembangkit tenaga listrik di Indonesia pada umumnya seperti, Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA), Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dimana semua pembangkit tenaga listrik tersebut menggunakan transformator daya. Transformator adalah peralatan listrik yang sangat vital dalam pembangkit energi listrik, untuk itu keandalannya dalam pengoperasiannya harus tetap dijaga agar proses penyaluran energi listrik tetap berjalan dengan baik. Untuk menjaga keandalannya, pemakaian minyak isolasi trafo dalam jangka panjang dapat menyebabkan pengurangannya sebagai bahan isolator cair yang mengakibatkan timbulnya ketidaknormalan yang akan terjadi karena adanya gangguan. Untuk itu maka perlu dilakukan pengecekan secara rutin, pengujian, dan analisa untuk mengetahui keadaan dari transformator tersebut [8]. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik, transformator daya dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal secara terus menerus tanpa berhenti pengoperasian dari suatu transformator, sehingga pemeliharaannya juga dituntut sebaik mungkin [9]. Penggunaan transformator daya berfungsi sebagai penaik tegangan (*Step Up*) kemudian energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi dan distribusi sehingga harus terjaga keandalannya.

2.1.1 Transformator Daya

Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Transformator adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan frekuensi yang sama. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya [10].

Transformator merupakan bagian perangkat listrik elektromagnetik statis yang bertugas mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya, menggunakan frekuensi yang sama dan berbanding transformasi tertentu. Transformator bekerja sesuai prinsip hukum induksi Faraday dan hukum Lorentz, dimana bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, akan mengalir arus dalam kumparan primer sehingga fluks magnetik dalam inti besi mengalami perubahan arus listrik, sehingga pada sisi primer terjadi induksi dan sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan. [11].

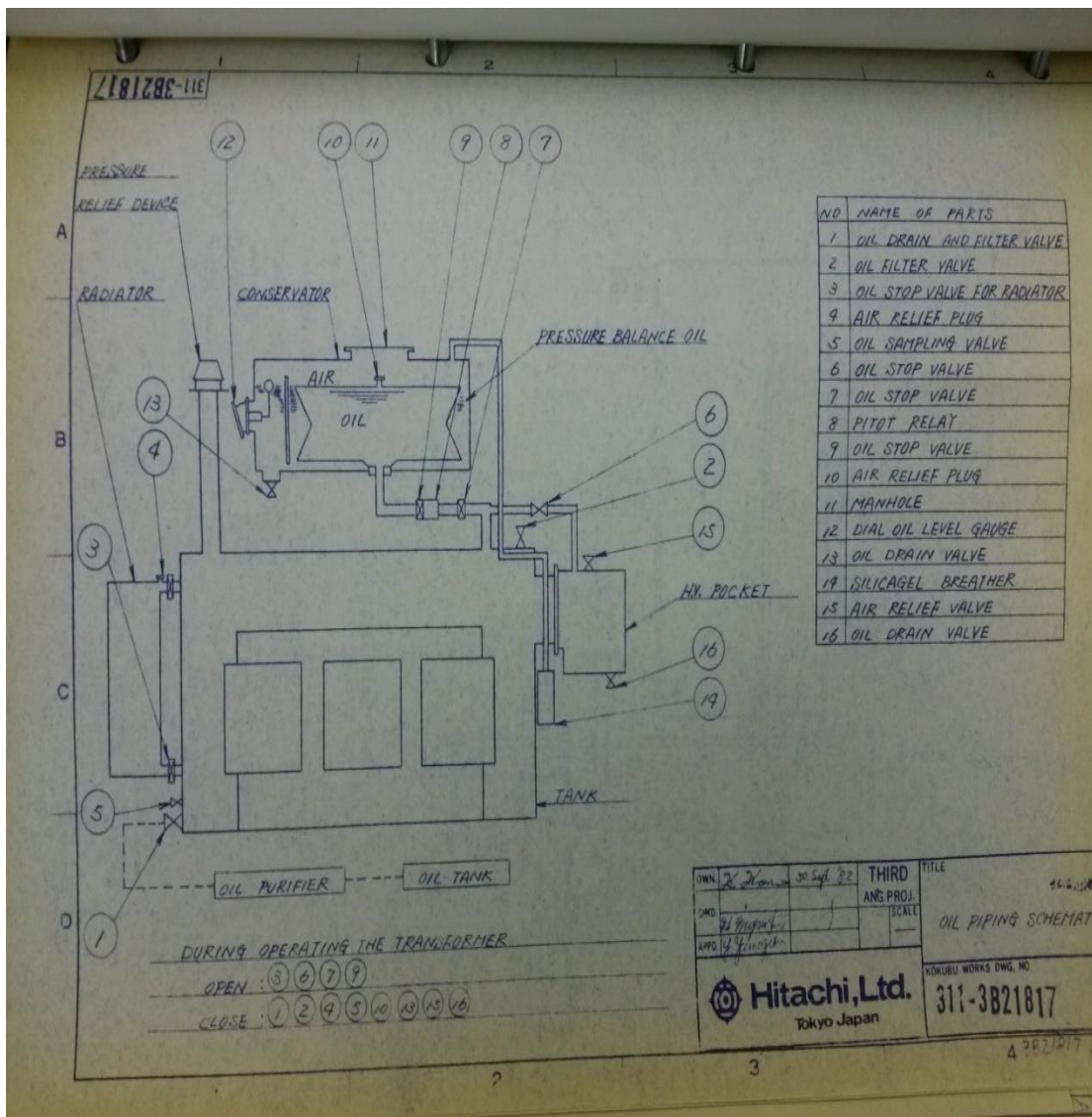
Sistem transformator tiga fasa dibangun dengan menghubungkan tiga buah transformator satu fasa ke sistem suplai listrik tiga fasa. Ada beberapa konfigurasi rangkaian primer dan sekunder transformator tiga fasa, yaitu : hubungan bintangbintang, hubungan segitiga-segitiga, hubungan bintang-segitiga dan hubungan segitigabintang. Konfigurasi hubungan kumparan transformator tiga fasa akan mempengaruhi arus dan tegangannya. Pengaturan konfigurasi hubungan transformator tiga fasa perlu dilakukan untuk dapat menggunakan transformator tiga fasa secara tepat.

Berikut ini adalah kondisi transformator daya di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Transformator daya PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe

Pada gambar 2.1 merupakan transformator daya PT-8801-B yang terletak pada *Power Plant* di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe untuk menyalurkan tegangan listrik ke setiap bagian pembangkit energi listrik. Transformator ini berfungsi sebagai (*Step Up*) yaitu dari 11,5 kV menjadi 34,5 kV membuat tegangan rendah ke tegangan tinggi yang dibutuhkan pasokan listrik di wilayah Aceh.



Gambar 2.2. Tangki wiring diagram transformator daya

Pada gambar 2.2 merupakan tangki wiring diagram trafo dimana dalam tangki tersebut terdapat minyak isolasi cair sebagai pendingin komponen inti belitan trafo dan nama bagian-bagian peralatan pada transformator daya di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe. Minyak transformator adalah suatu bahan isolasi cair yang digunakan sebagai pendingin yang harus bisa meredam panas yang timbul, maka diharapkan penggunaan minyak trafo dapat melindungi trafo dari gangguan-gangguan yang tidak diharapkan. Ketentuan ini sesuai dengan sifat dasar minyak trafo yaitu semakin lama beroperasi maka akan semakin banyaknya kandungan-kandungan gas berbahaya, kotoran debu, dan kandungan air pada trafo.

2.1.2 Sistem Pendingin Transformator Daya

Dalam inti besi dan kumparan akan menimbulkan panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Panas ini akan menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan yang dapat merusak isolasi kertas pada transformator. Untuk mengurangi peningkatan suhu transformator tersebut maka perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin yang bisa menyalurkan keluar panas transformator tersebut. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa udara atau gas, minyak, air dan lain sebagainya. Pada cara alamiah, pengaliran pendingin sebagai akibat adanya perbedaan suhu media untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut diperlukan bidang perpindahan yang lebih luas antar media minyak, udara, gas dengan cara melengkapi trafo dengan sirip-sirip radiator. Sedangkan dengan cara

paksa, penyaluran panas dipercepat dengan peralatan bantu yaitu kipas. Menurut cara pendinginannya dapat dilihat dalam Tabel sebagai berikut [12]:

Tabel 2.1. Macam-Macam Pendingin Pada Transformator

No.	Macam-Macam Sistem Pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

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.

2.1.3 Syarat Minyak Isolasi Sebagai Media Isolator Cair

Minyak isolasi cair digunakan sebagai pendingin untuk trafo dan bahan pelindung isolasi pada trafo karena minyak isolasi cair memiliki 2 fungsi utama tersebut, maka minyak isolasi memiliki syarat-syarat sebagai media isolator cair pada trafo [13] sebagai berikut:

a) Kejernihan (*Appearance*)

Minyak isolasi tidak mengalami suspensi atau endapan (sedimen).

b) Massa jenis (*Density*)

Massa jenis minyak lebih kecil dibandingkan air. Hal ini sangat membantu dalam mempertahankan homogenitas minyak isolasi.

c) Kekentalan (*Viscosity*)

Minyak isolasi harus memiliki viskositas yang rendah agar lebih mudah dialirkan atau bersirkulasi sehingga dapat mendinginkan trafo lebih baik.

d) Titik nyala (*Flash point*)

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat yang mudah terbakar. Karakteristik titik nyala menentukan terjadinya penguapan dalam minyak. Jika titik nyala minyak rendah, maka minyak mudah menguap, ketika minyak menguap volumenya berkurang, minyak semakin kental dan campuran dengan udara di atas permukaan minyak membentuk bahan yang dapat meledak.

e) Titik ruang (*Pour point*)

Minyak dengan titik tuang yang rendah akan berhenti mengalir pada suhu yang rendah.

f) Tegangan tembus

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air dan kotoran atau partikel dalam minyak.

g) Unsur kimia

Unsur kimianya harus stabil agar usia pelayanannya panjang.

h) Faktor kebocoran dielektrik (*dielectric dissipation factor*)

Harga yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan (*deterioration product*).

2.1.4 Faktor Penyebab Pemburukan Pada Minyak Isolasi

Untuk mengetahui apakah suatu bahan isolasi seperti minyak isolasi telah mengalami pemburukan maka perlu dilakukan pengujian – pengujian. Kegagalan minyak isolasi sebagai bahan dielektrik pada peralatan tegangan tinggi pada umumnya disebabkan oleh pemburukan minyak isolasi tersebut. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan memburuknya minyak isolasi adalah sebagai berikut:

a) Penurunan kemurnian bahan isolasi

Ketidakhurnian bahan dielektrik cair mempunyai pengaruh besar terhadap sifat bahan isolasi tersebut. Hal ini dapat kita lihat pada minyak trafo. Jumlah uap air yang ada pada trafo akan mempengaruhi tegangan tembusnya.

b) Panas

Panas yang terjadi cukup lama secara terus-menerus untuk minyak isolasi cair akan merubah struktur kimia dari minyak isolasi, sehingga merubah sifat dasarnya sebagai bahan isolasi.

c) Kontak dengan udara

Jika minyak isolasi mengalami kontak dengan udara maka minyak isolasi akan teroksidasi. Jika hal ini terus terjadi akan menyebabkan penurunan kualitas minyak yang berdampak pada turunnya kekuatan dielektrik minyak isolasi.

d) Korona

Percikan bunga api korona akan meningkatkan kadar karbon pada minyak isolasi dan menimbulkan gelembung – gelembung gas yang bisa membuat minyak isolasi mengalami tembus listrik.

e) Faktor alamiah

Dalam hal ini adalah faktor umur dari minyak isolasi, biasanya semakin lama minyak isolasi digunakan maka kualitas dari minyak isolasi tersebut akan berangsur-angsur menurun, sehingga pemburukan minyak isolasi lebih mudah terjadi.

2.1.5 Gangguan Minyak Isolasi Transformator Daya

Suhu tinggi pada saat trafo yang beroperasi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Maka untuk itu minyak isolasi cair sebagai pendinginan yang harus dijaga kemurniaannya. Gangguan-gangguan yang terjadi pada

transformator daya dapat dikelompokkan 2 bagian [14] sebagaimana dijelaskan berikut:

Gangguan dalam yang bersumber dari dalam transformator adalah:

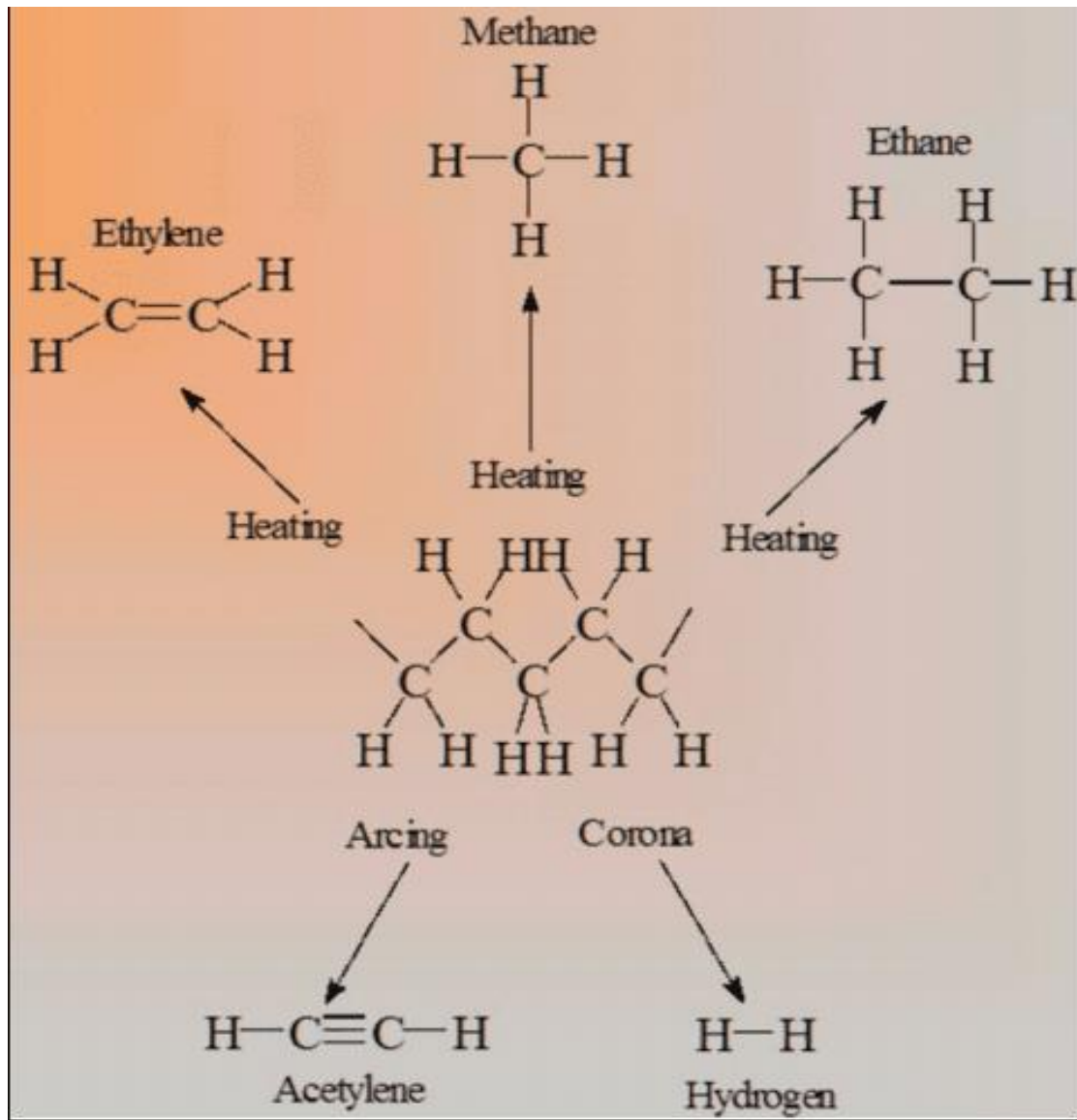
1. Gangguan pada minyak isolasi trafo.
2. Gangguan pada inti besi disebabkan kerusakan isolasi kertas.
3. Hubung singkat yang timbul gas-gas berbahaya.
4. Gangguan terminal bushing disebabkan kontaminasi keretakan dan penuaan.

Gangguan luar yang bersumber dari luar transformator adalah:

1. Gangguan beban lebih (*Overload*).
2. Gangguan antar fasa.
3. Gangguan sambaran petir.

2.1.6 Pembentukan Gas Terlarut Pada Minyak Trafo

Material isolasi transformator terdiri dari isolasi kertas atau selulosa dan minyak. Kedua jenis material dapat mengalami degradasi akibat pengaruh tekanan temperatur (*Thermal stresses*) dan tekanan elektrikal (*Electrical Stresses*). Pengaruh dari tekanan tersebut akan menimbulkan dekomposisi gas yang bervariasi. Berikut adalah gas-gas terlarut yang biasa dihasilkan saat minyak transformator bekerja dapat dilihat pada Gambar 2.3 [15].



Gambar 2.3. Dekomposisi minyak isolasi [2]

Gas terlarut (*Dissolved Gas*) di minyak trafo terdiri dari beberapa macam senyawa seperti gas hidrokarbon (C-H) yaitu senyawa yang tersusun atas ikatan -C dan -H dengan pembagian terdiri dari 3 jenis yaitu alkana (ikatan rantai 1), alkena (ikatan rantai 2) dan alkuna (ikatan rantai 3). Selain itu juga terdapat gas CO dan CO₂

sebagai akibat dari degradasi selulosa. Pada rantai hidrokarbon, semakin tinggi rantai maka semakin tinggi pula energi untuk melepaskannya. Minyak trafo mengandung berbagai macam gas hidrokarbon jika didalam operasinya terdapat kontaminan atau pola operasi yang kurang tepat atau memang sudah pada life time pemakaiannya. Didalam trafo terdapat 2 isolasi yaitu padat (isolasi kertas/selulosa) dan cair (minyak). Fungsi dari isolasi adalah menjadi penghalang percikan listrik/tegangan ketika terjadi kebocoran ketika trafo beroperasi sehingga fungsi kedua isolasi tersebut cukup vital.

Lembaran kertas yang digulung pada komponen didalam trafo. Struktur molekul selulosa adalah $(C_6H_{10}O_5)_n$ dengan kandungan unsur dominan jika selulosa terdegradasi adalah C, H dan O. Jika -C bertemu -H maka akan terbentuk gas hidrokarbon tentunya pembentukan disertai temperatur yang mendukung untuk prosesnya dan jika -C bertemu -O maka akan terbentuk gas CO dan CO_2 sedangkan jika -H bertemu dengan -O maka bisa terbentuk H_2O . berikut pembentukan gas saat terjadi reaksi panas pada minyak isolasi trafo [16]:

1. Methane (CH_4)

Bisa terbentuk sesuai reaksi : $CO_2 + 8H^+ \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

Terbentuk pada temperatur $150^\circ C$. Pada minyak trafo kondisi tersebut bisa disebabkan oleh unsur hasil degradasi selulosa dan kondisi operasi asam.

2. Ethane (C₂H₆)

Bisa terbentuk sesuai reaksi : $\text{CH}_3\text{COO}^- \rightarrow \text{CH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$

Terbentuk pada temperatur 250°C. Dari uraian metana dengan bantuan panas kondisi diatas bisa disebabkan karena keberadaan zat kimia asam yang didukung dengan adanya percikan listrik di minyak trafo sehingga mendukung terjadinya elektrolisis.

3. Ethylene (C₂H₄)

Bisa terbentuk sesuai reaksi : $4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2$

Terbentuk pada temperatur 350°C. Keberadaan senyawa akibat degradasi selulosa dan air yang didukung pada kondisi operasi.

4. Acetylene (C₂H₂)

Bisa terbentuk sesuai reaksi : $\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$

Terbentuk pada temperatur 500-700°C. Dari reaksi batu kapur dan arang sehingga menghasilkan calcium carbida kemudian direaksikan dengan air membentuk gas asetilen.

5. Karbonmonoksida (CO) dan Karbondioksida (CO₂)

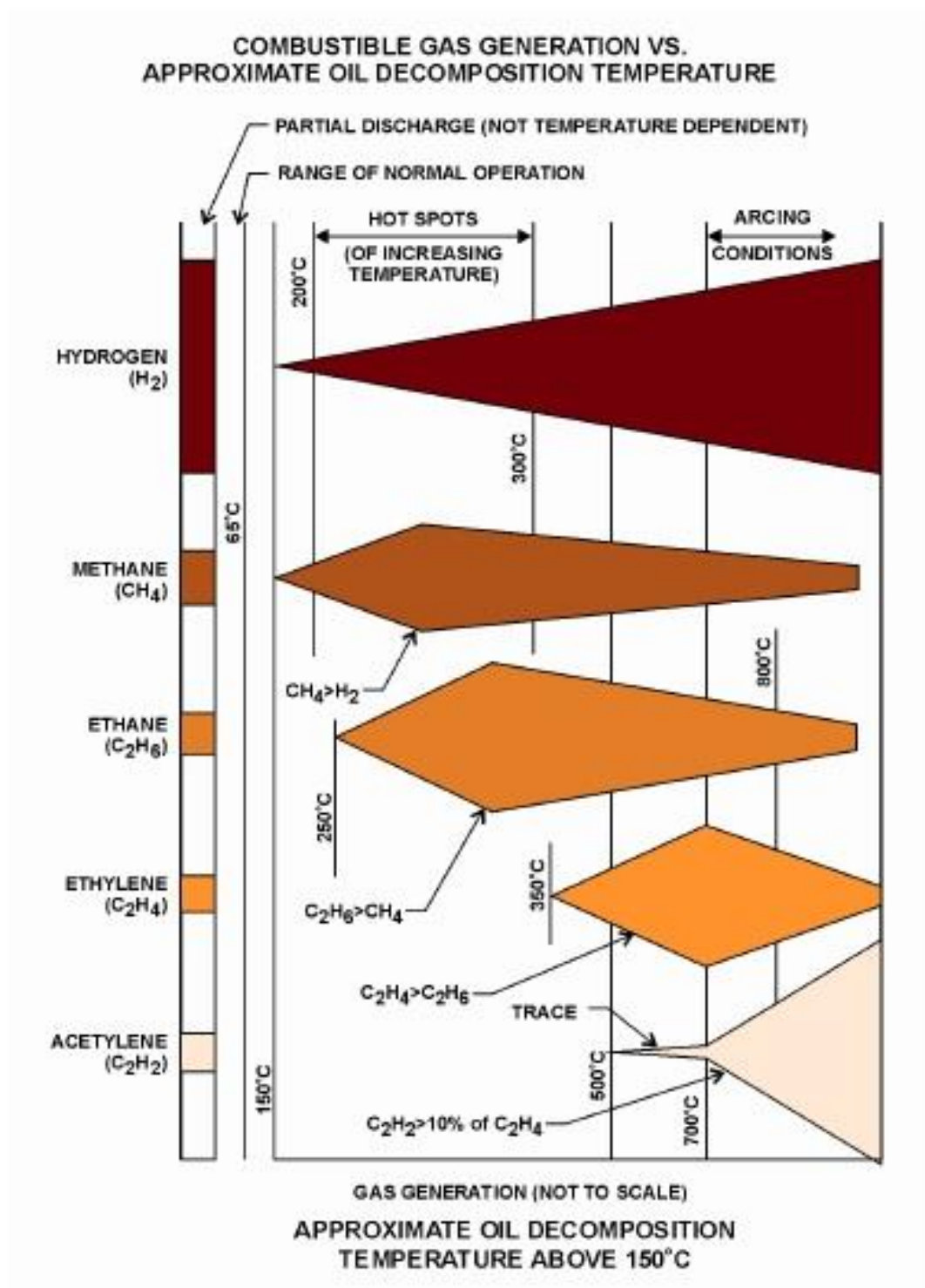
Bisa terbentuk dari hasil degradasi selulosa, karena setiap bahan organik jika terurai pasti menghasilkan unsur -C, -H, -O, -N dan -S. Keberadaan gas tersebut umumnya disertai dengan peningkatan kandungan air di minyak trafo.

Pembentukan kandungan-kandungan gas dalam proses *heating* pada minyak isolasi transformator daya tersebut terjadinya indikasi-indikasi gangguan ketidaknormalan yang dapat dilihat pada Table 2.2.

Tabel 2.2. Gangguan Ketidaknormalan Gas Pada Minyak Isolasi Trafo

Kegagalan Gas	Indikasi Gangguan
Hidrogen (H ₂)	<i>Partial Discharge, Heating, Arcing</i>
Etilen (C ₂ H ₄), Etana (C ₂ H ₆), Metana (CH ₄)	<i>Hot Metal</i>
Asetilen (C ₂ H ₂)	<i>Arcing</i>
Karbonmonoksida (CO), Karbondioksida (CO ₂)	<i>Cellulose Insulation Degradation</i>

Table 2.2 merupakan indikasi gas-gas saat proses pemanasan dimana gas Hidrogen (H₂) indikasinya adalah *Partial Discharge, Heating, Arcing*. Etilen (C₂H₄), Etana (C₂H₆), Metana (CH₄) indikasinya adalah *Hot Metal*. Asetilen (C₂H₂) indikasinya adalah *Arcing*. Dan Karbonmonoksida (CO), Karbondioksida (CO₂) indikasinya adalah *Cellulose Insulation Degradation*.



Gambar 2.4. Reaksi panas pada gas minyak isolasi trafo [28]

Pengoperasian transformator daya secara terus menerus membuat temperature semakin meningkat pada minyak isolasi yang akan membentuk Gas Hidrogen (H_2) dan Metana (CH_4) mulai saat temperatur $150^\circ C$, Gas Etana (C_2H_6) terbentuk pada temperatur sekitar $250^\circ C$, Gas Etilen (C_2H_4) terbentuk pada temperatur $350^\circ C$, dan Asetilen (C_2H_2) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi $500^\circ C$. Menjelaskan kandungan gas yang terbentuk saat temperaturnya semakin meningkat. Pembentukan tingkat temperature pada gas minyak isolasi dapat dilihat pada Gambar 2.4 [17].

2.1.7 Metode Dissolved Gas Analysis (DGA)

Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) adalah pengujian untuk menentukan jumlah kandungan gas-gas mudah terbakar yang terbentuk akibat ketidaknormalan yang dideteksi seperti H_2 (*Hidrogen*), C_2H_2 (*Acetylene*), CH_4 (*Methane*), C_2H_6 (*Ethane*), C_2H_4 (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*) pada minyak isolasi cair transformator daya. Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) terbagi 4 yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle* untuk menganalisa ketidaknormalan dan gangguan terhadap kinerja trafo yang akan terjadi seperti *Overheating*, *Partial Discharge*, *Arcing*, *Hot Metal*, *Cellulose Insulation Degradation*, dan *Corona* [18] yang berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) Std C57-104-2008 seperti berikut:

1) Metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*)

Metode ini memiliki 4 batasan kondisi untuk minyak isolasi trafo dimana dilihat dari jumlah kandungan gas-gas yang dihitung dan dapat dilihat pada Table 2.3.

Tabel 2.3. Batasan Kondisi Minyak Isolasi Trafo

No.	Parameter Uji Gas	IEEE Std C57.104-2008			
		Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
1	Hidogen (H ₂)	100	101-700	701-1800	>1800
2	Methane (CH ₄)	120	121-400	401-1000	>1000
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	1	>2-9	>10-35	>35
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	50	51-100	101-200	>200
5	Ethane (C ₂ H ₆)	65	66-100	101-150	>150
6	Carbon Monoxide (CO)	350	351-570	570-1400	>1400
7	Carbon Dioxide (CO ₂)*	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
TDCG*)		720	721-1920	1921-4630	>4630
Kondisi 1 = Jumlah kandungan gas normal					
Kondisi 2 = Jumlah kandungan gas tidak normal					
Kondisi 3 = Jumlah kandungan gas sangat tidak normal					
Kondisi 4 = Jumlah kandungan gas lebih sangat tidak normal					

*Nilai TDCG tidak termasuk gas CO₂ karena bukan merupakan jenis gas yang combustible yang dapat menyebabkan kebakaran pada transformator.

Kondisi 1: TDCG di bawah level ini mengindikasikan bahwa transformator beroperasi dengan baik. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level ini, maka harus segera dilakukan investigasi.

Kondisi 2: TDCG pada level ini menandakan level gas mudah terbakar sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level ini, maka harus segera dilakukan investigasi. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend (kecenderungan). Kemungkinan telah terjadi gangguan.

Kondisi 3: TDCG pada level ini mengindikasikan terjadinya dekomposisi tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level ini, maka harus segera dilakukan investigasi. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend (kecenderungan). Kemungkinan telah terjadi gangguan.

Kondisi 4: TDCG melebihi batasan nilai ini mengindikasikan terjadinya pemburukan pada tingkat yang sangat tinggi. Melanjutkan operasi transformator dapat mengakibatkan kerusakan transformator.

2) Metode *Rogers Rasio*

Metode *Rogers Rasio* merupakan analisis kandungan gas untuk penyebab gangguan pada minyak isolasi trafo dengan perhitungan jumlah dari gas-gas $C_2H_2/.C_2H_4$, $CH_4/.H_2$, dan $C_2H_4/.C_2H_6$, kemudian hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.4 [19].

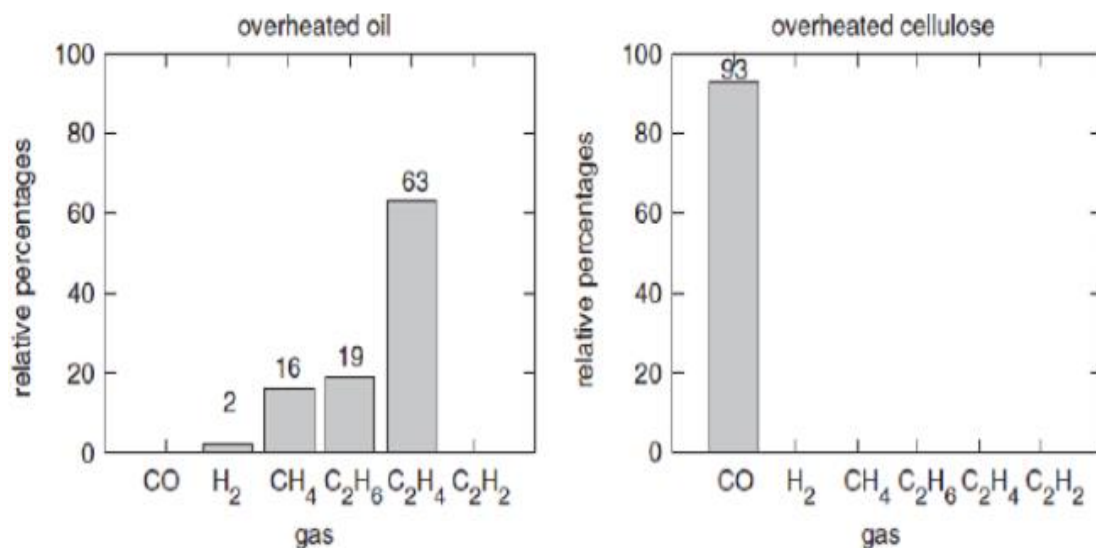
Tabel 2.4. Gangguan Pada Minyak Trafo Dengan *Rogers Rasio*

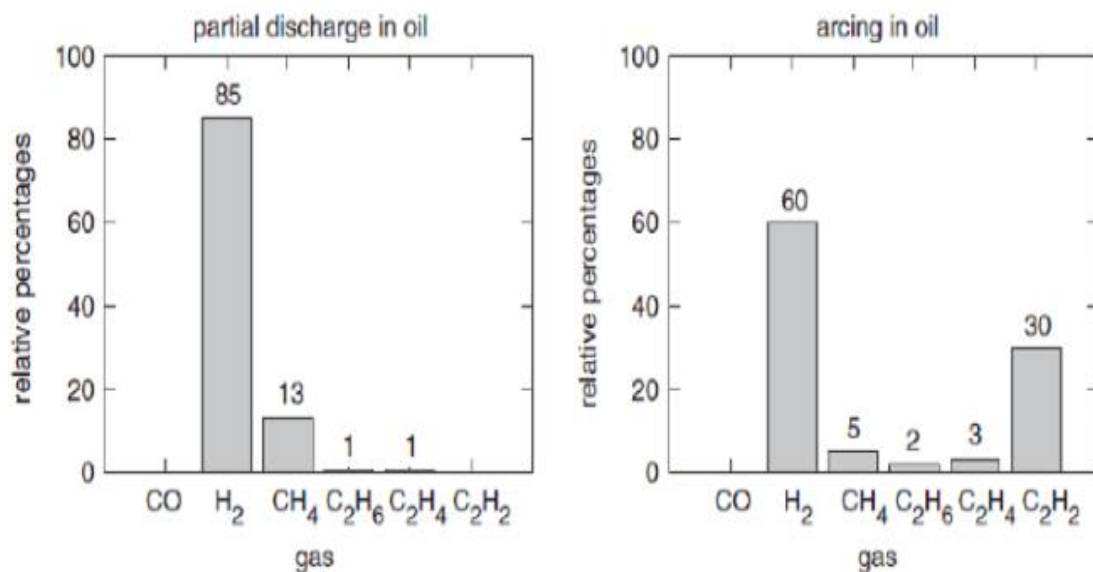
<i>Range Code Rasio</i>		<u>Acetylene</u>	<u>Methane</u>	<u>Ethylene</u>
		Ethylene	Hidrogen	Ethane
<0.1		0	1	0
0.1-1		1	0	0
1-2		1	2	1
>3		2	2	2
Case	Tipe Gangguan			
0	No fault	0	0	0
1	Low energy partial discharge	1	1	0
2	High energy partial discharge	1	1	0

<i>Range Code Rasio</i>		<u>Acetylene</u>	<u>Methane</u>	<u>Ethylene</u>
		Ethylene	Hidrogen	Ethane
3	Low energy discharges, spaking, arcing	>2	0	>2
4	High energy discharges, arcing	1	0	2
5	Thermal fault less than 150 °C	0	0	1
6	Thermal fault temp. 150-300 °C	0	2	0
7	Thermal fault temp. 300-700 °C	0	2	1
8	Thermal fault temp. over 700 °C	0	2	2

3) Metode *Key Gas*

Metode *Key Gas* adalah cara perhitungan jumlah kandungan gas untuk mencari gangguan pada minyak isolasi trafo dengan jenis gas yang lebih dominan atau lebih banyak [20]. Metode *Key Gas* yang dijadikan indikator antara lain H₂ (*Hidrogen*), C₂H₂ (*Acetylene*), CH₄ (*Methane*), C₂H₆ (*Ethane*), C₂H₄ (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*) dapat dilihat pada Gambar 2.5 [21].





Gambar 2.5. Gangguan pada minyak trafo dengan Key Gas [18]

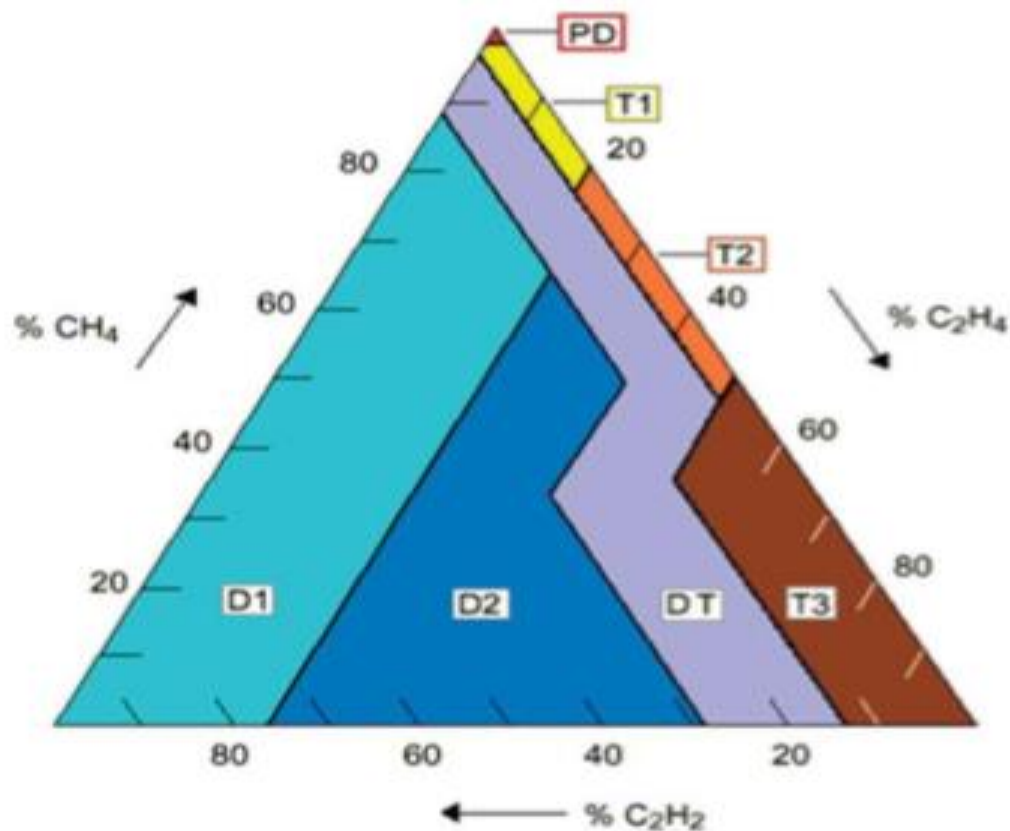
Pada gambar 2.5 diatas adalah kandungan gas yang lebih dominan atau lebih banyak pada minyak isolasi transformator daya untuk mengetahui indikasi gangguan ketidaknormalan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Gas Yang Lebih Dominan Dengan Key Gas [18]

Gas	Gas yang lebih dominan	Gangguan
<i>Etilen</i> (C ₂ H ₄)	Konsentrasi C ₂ H ₄ dalam jumlah sangat besar, C ₂ H ₆ , CH ₄ besar, dan H ₂ dalam jumlah kecil	<i>Overheating Oil</i>
<i>Karbon Monoksida</i> (CO)	Konsentrasi CO dalam jumlah besar. Gas-gas hidrokarbon dapat juga timbul.	<i>Overheating Cellulose</i>
<i>Hidrogen</i> (H ₂)	Konsentrasi H ₂ dalam jumlah yang besar, CH ₄ jumlah yang kecil, C ₂ H ₆ dan C ₂ H ₄ dalam jumlah sangat kecil.	<i>Partial Discharge in Oil</i>
<i>Asetilen</i> (C ₂ H ₂)	Konsentrasi gas H ₂ dalam jumlah yang besar sangat besar, C ₂ H ₂ jumlah yang besar, disertai timbulnya gas CH ₄ , C ₂ H ₄ , dan C ₂ H ₆ dalam jumlah kecil	<i>Arching</i>

4) Metode *Duval Triangle*

Metode *Duval Triangle* untuk mengetahui penyebab diagnosa gangguannya dengan analisa berdasarkan standard IEC 60599-2007-05 seperti gangguan temperature pada minyak isolasi trafo dapat dilihat pada Gambar 2.6 [22].



Gambar 2.6. Gangguan pada minyak trafo dengan *Duval Triangle* [28]

Pada gambar 2.6 adalah peningkatan atau penurunan persen Methane (CH_4), Ethylene (C_2H_4), dan Acetylene (C_2H_2) dengan simbol-simbol seperti PD, D1, D2, DT, T1, T2, T3, merupakan titik koordinat gangguan kerusakan pada minyak trafo dengan *Duval Triangle* dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Gangguan Pada Minyak Trafo Dengan *Duval Triangle* [23]

Simbol	Diagnosa
PD	<i>Partial Discharge</i>
D1	<i>Discharge of Low Energy</i>
D2	<i>Discharge of High Energy</i>
DT	<i>Combination of Thermal Faults and Discharges</i>
T1	<i>Thermal Faults Not Exceeding 300 °C</i>
T2	<i>Thermal Faults Not Exceeding 300 °C but Not Exceeding 700 °C</i>
T3	<i>Thermal Faults Exceeding 700 °C</i>

Gambar tersebut menunjukkan letak titik koordinat presentasi *Duval Triangle* ialah koordinat % Methane (CH₄), % Ethylene (C₂H₄), dan % Acetylene (C₂H₂).

Dengan perhitungan dibawah ini [23]:

$$a) \text{ Methane \% CH}_4 = \frac{\text{Methane}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\%$$

$$b) \text{ Ethylene \% C}_2\text{H}_4 = \frac{\text{Ethylene}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\%$$

$$c) \text{ Acetylene \% C}_2\text{H}_2 = \frac{\text{Acetylene}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\%$$

2.1.8 Purifikasi Minyak Isolasi Transformator

Pada minyak isolasi transformator bekas terdapat kandungan unsur gas kimia yang banyak terkontaminasi ataupun kotoran debu dan air yang terus-menerus beroperasi pada temperature yang semakin meningkat, menyebabkan ketahanan minyak isolasi cair berkurang. Metode purifikasi yaitu pemurnian minyak trafo sebagai penyaringan atau pemisah gas-gas dan kotoran debu yang terkandung untuk

mengurangi nilai yang terkandung supaya kembali sesuai dengan standarisasi yang diizinkan oleh IEEE Std. C57.104-2008 [24]. Prinsip kerja purifikasi dengan cara dipanaskan untuk memisahkan air dan minyak kemudian divakum sehingga uap dan kandungan asam dapat terurai dan terpisah dari minyak lalu terakhir difilter untuk mengangkat debu atau kotoran yang ada pada minyak isolasi oleh mesin yang digunakan untuk purifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.7 [25].



Gambar 2.7. Mesin purifikasi minyak isolasi transformator

Adapun beberapa peralatan utama yang digunakan pada mesin purifikasi pada minyak isolasi transformator daya adalah [26]:

1. Filter

Dalam proses purifikasi diperlukan filter yang berguna untuk menyaring minyak dari butiran-butiran pengotor yang dapat mempercepat terjadinya tegangan tembus.

2. Tabung Vacum

Selain peralatan filter, tabung vacum juga diperlukan. Di dalam tabung ini berisi alat pemanas (heater) yang berfungsi memansakan minyak sehingga butiran-butiran zat lain seperti air dan gelembung gas menguap.

3. Indikator Permukaan Minyak Dalam Tabung Vacum

Indikator ini berfungsi sebagai pengatur ketinggian permukaan minyak yang terdapat dalam tabung vacum. Sehingga dalam tabung tersebut masih terdapat rongga yang digunakan untuk pernapasan. Indikator ini berbentuk sensor inframerah yang ditembakkan dari satu ujung tabung ke ujung tabung yang lain.

4. Motor Vacum

Dalam mesin purifikasi, motor vacum digunakan untuk menyedot udara keluar dari dalam tabung vacum.

5. Motor Induksi 3 Fasa

Pada purifikasi minyak trafo digunakan motor induksi 3 phasa. Motor ini berfungsi menyedot dan memompa minyak.

2.2 Kajian Penelitian

Adapun beberapa penelitian mengenai analisa minyak isolasi trafo yang telah dilakukan sebelumnya yaitu:

1. Menurut Nugroho [2], telah dilakukan penelitian DGA pada transformator daya di PLTGU PT. PLN (Persero) Belawan dengan hasil analisa DGA diagnosis gangguan yang terjadi pada transformator dengan rujukan standar IEEE C57.104

dengan metode total dissolved combustible gas (TDCG) memberikan hasil level gas seperti C_2H_2 , C_2H_6 , CO dan CO_2 sudah melebihi batas normal. Sedangkan metode Key Gas, dan Doernenburg Ratio memberikan hasil diagnosis yang hampir sama yaitu transformator mengalami gangguan termal. Diagnosis gangguan transformator dengan rujukan standar IEC 60599 dengan metode Duval Triangle, dan Basic Gas Ratio memberikan hasil diagnosis yang hampir sama yaitu transformator mengalami gangguan termal dimana perlu dilakukan perawatan dan purifikasi [2].

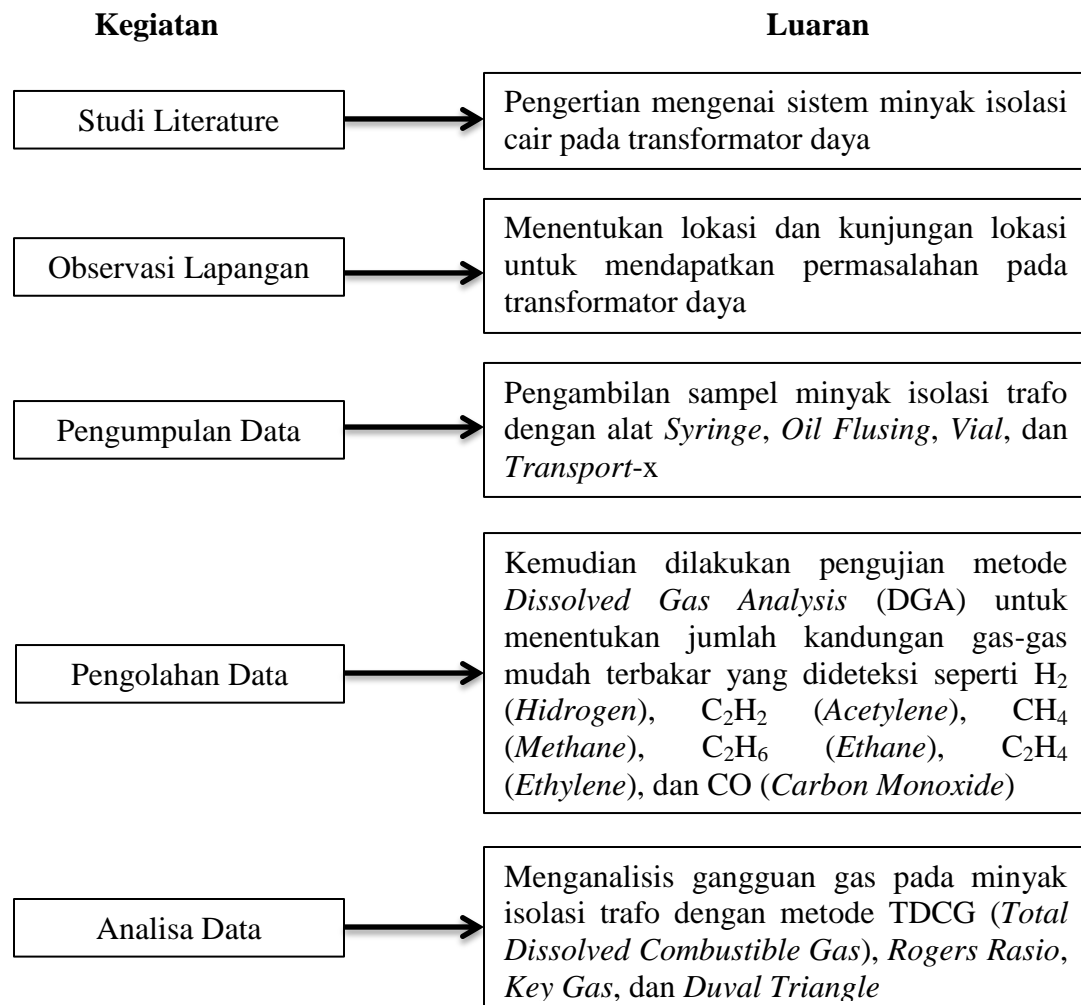
2. Menurut Surawijaya [21], telah dilakukan penelitian DGA pada transformator daya generator step up di PLTP di Indonesia dengan hasil analisa T11 mengalami kesalahan termal, dan hasil ini adalah relatif konsisten di antara metode DGA yang berbeda. Ini diikuti dengan peningkatan C_2H_6 dan CH_4 . Hasil ini menyoroti pentingnya melacak sejarah DGA dan menggunakan beberapa metode interpretasi DGA untuk menambahkan kepercayaan terhadap hasil oleh peneliti yang perlu melakukan perawatan khusus [21].
3. Menurut F.A.Muhammad [5], telah dilakukan penelitian DGA pada dua transformator di Pertamina RU-II Dumai dengan hasil pengujian pada kondisi transformator 1 memiliki kandungan gas CH_4 yang banyak. Hal ini dapat menyebabkan corona, partial discharge serta gangguan suhu termal rendah dan menengah. Berbeda dengan kondisi pada transformator 2 yang cukup baik tetapi menunjukkan beberapa indikasi kegagalan yaitu toverheat yang disebabkan

C₂H₄ yang cukup banyak sehingga perlu dilakukan pengawasan dan purifikasi [5].

4. Menurut Januar [3], telah dilakukan penelitian DGA pada transformator 27 MVA di PLTG 1 Jakabaring dengan hasil pengukuran menggunakan metode segitiga duval didapatkan Transformator 27 MVA PLTG 1 Jakabaring pada keadaan T3 : Thermal Fault > 700°C. Mengacu pada IEC 60599 (2007) kondisi ini merupakan dari terbentuknya sejumlah besar karbon pada minyak, korosi metal (800°C) atau metal fusion (>1000°C) karena arus sirkulasi yang besar pada tangki dan inti atau short circuit pada laminasi. Maka pada minyak transformator perlu dilakukan perawatan dan purifikasi untuk menurunkan kadar karbon yang tinggi [3].
5. Menurut Munajad [27], telah dilakukan penelitian DGA pada transformator analisis gas terlarut yang menunjukkan peningkatan nilai CO dan CO₂ karena terhadap reaksi oksidasi yang terjadi selama penuaan suhu. Sampel mengalami tekanan pada suhu 120°C dan 150°C. Konsentrasi masing-masing gas terlarut ditunjukkan bahwa penuaan suhu pada isolasi kertas gas CH₄ (Metana), C₂H₆ (etana), dan CO (Karbon Monoksida) [27].
6. Menurut A.Fitria [13], telah dilakukan penelitian DGA pada transformator TM 5 di PLTG Payapasar dengan hasil total kandungan gas terlarut yang meningkat setiap bulannya seperti Februari 539 ppm, Maret 807 ppm, April 867 ppm memungkinkan timbulnya gejala-gejala kegagalan pada trafo yang menurunkan kinerja trafo tersebut. Diketahui terdapat kandungan gas hydrogen, metana, karbon monoksida, dan ethane yang mengalami kenaikan setiap bulannya [13].

2.3 Kerangka Berfikir

Untuk membantu dalam penyusunan penelitian ini, maka perlu adanya susunan kerangka berpikir yang jelas tahapannya. Kerangka ini merupakan langkah yang akan dilakukan dalam penyelesaian masalah yang akan dibahas. Adapun sistematika dari penelitian ini dapat dilihat pada kerangka berpikir yang dijelaskan dalam bentuk alur diagram flowchart, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Flowchart kerangka berfikir

BAB 3 METODE PENELITIAN

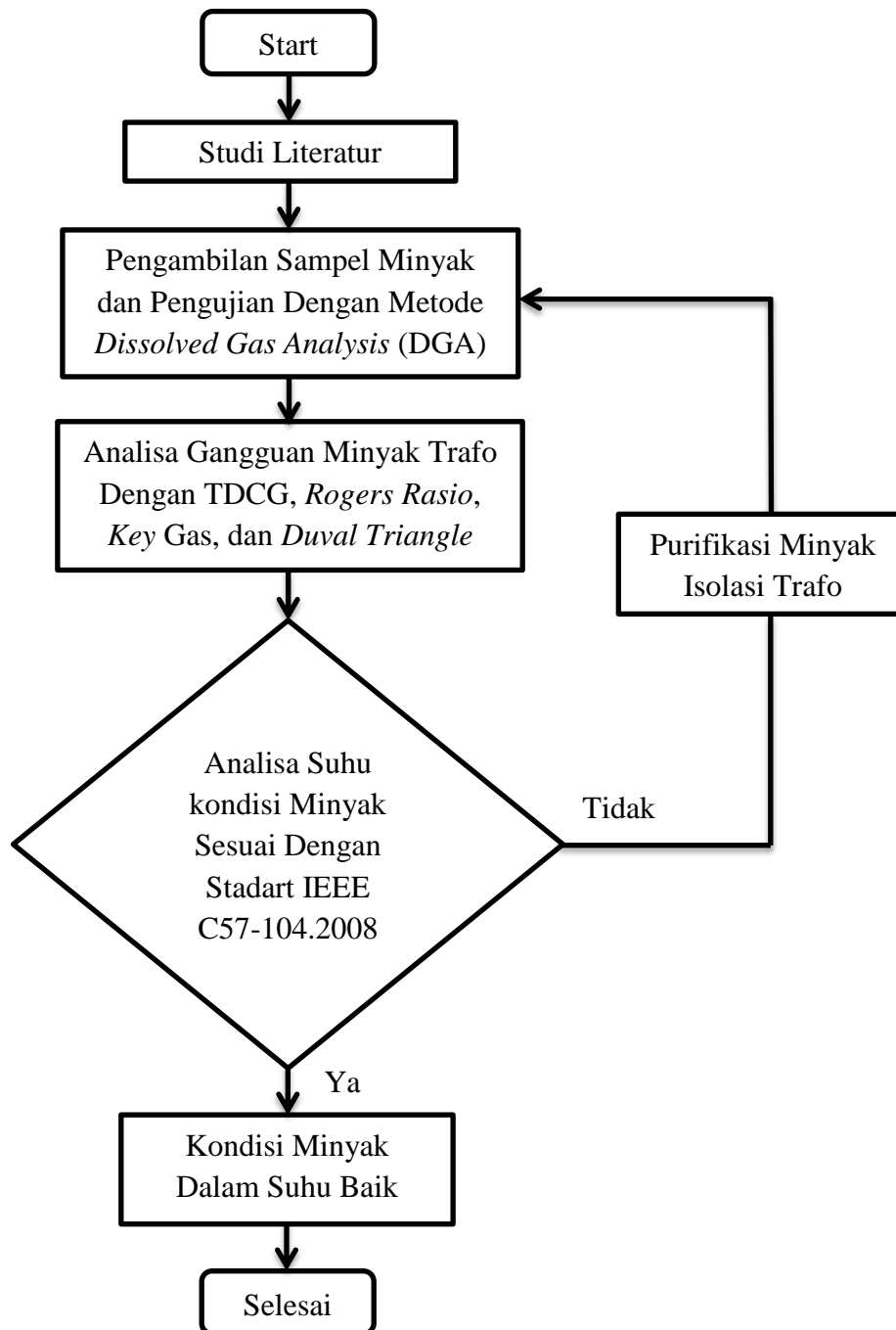
Pada bab 3 metode penelitian ini akan membahas tentang bagaimana langkah-langkah dalam melakukan penelitian mengenai minyak isolasi transformator daya dan memperbaiki minyak isolasi transformator daya tersebut.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe. Beralamat di Jl. Blang lancang, Kecamatan Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh. Penelitian dilakukan selama 3 bulan terhitung bulan Maret 2022 – Mei 2022.

3.2 Rancangan / Desain Penelitian

Adapun proses berlangsungnya rancangan/desain penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alur rancangan/desain penelitian

Berikut merupakan langkah dan tahapan yang dapat dijelaskan:

- 1) Studi Literatur
- 2) Mengambil sampel minyak isolasi dari transformator daya PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe dan sampel minyak isolasi dilakukan pengujian dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) untuk mendapatkan hasil jumlah kandungan gas pada minyak isolasi trafo berupa H_2 (*Hydrogen*), C_2H_2 (*Acetylene*), CH_4 (*Methane*), C_2H_6 (*Ethane*), C_2H_4 (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*).
- 3) Setelah itu dilakukan analisa data kandungan gas untuk mencari gangguan ketidaknormalan yang terjadi pada minyak isolasi trafo dengan 4 cara yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Ratio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle*.
- 4) Analisa suhu minyak isolasi trafo dalam keadaan tidaknormal sesuai standart yang dipakai IEEE Std C57-104.2008.
- 5) Tidak jika kondisi suhu minyak trafo masih dalam keadaan ketidaknormalan maka dilakukan purifikasi minyak isolasi trafo.
- 6) Ya jika setelah purifikasi suhu minyak isolasi trafo dalam kondisi yang baik sesuai dengan standart yang dipakai IEEE Std C57-104.2008.
- 7) Selesai.

3.3 Populasi dan Sampel

Populasi adalah keseluruhan obyek atau subyek penelitian. Sedangkan Sampel adalah bagian dari jumlah yang dimiliki oleh populasi serta cara mengambil sampel yang mewakili dari populasi.

a) Populasi

Svante Arrhenius mendefinisikan bahwa : “Yang menghubungkan laju reaksi dengan suhu banyak reaksi kimia berlipat ganda untuk setiap kenaikan 10 derajat Celcius atau Kelvin”. Reaksi gas pada suhu tinggi dapat menyebabkan ketidaknormalan pada minyak isolasi cair yang mengakibatkan kerusakan transformator daya dimana reaksi kimia akan berlipat ganda disetiap kenaikan suhunya di Perusahaan PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.

b) Sampel Data Sheet Trafo

Adapun sampel transformator daya step-up 11,5 KV – 34,5 KV yang akan diteliti penulis adalah:

Type	: Oil Filled
Specification	: 10715-P-6
Rated KVA	: 30.000 KVA
Frekuensi	: 50 Hz
Phases	: 3 phasa
Voltage rating : - High.voltage	: 34.500 V (Y)
- Low.voltage	: 11.500 V (Δ)
Oil Tank	: 16.500 Liter
Rated current : - High voltage	: 502 Ampere
- Low voltage	: 1.510 Ampere

Insulating Class : B

Tipe Oil : Shell Diala

Transformator ini sering digunakan disebabkan unit tersebut yang paling baik pada keadaan transformatornya, namun keseringan terpakainya transformator daya tersebut membuat kinerja pada transformator tersebut akan melemah maka diperlukan analisa dan penanganan khusus sebagai perawatannya dapat dilihat pada lampiran 3.

3.4 Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data dan proses minyak isolasi transformator daya PT-8801-B di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe dapat dilihat pada Gambar 3.2 [12].



Gambar 3.2. Proses pengambilan minyak isolasi trafo

Pada gambar 3.2 adalah pengambilan sampel minyak isolasi trafo daya PT-8801-B untuk dilakukan pengujian lebih lanjut.

3.4.2 Pengujian Data DGA

Melakukan pengujian dengan alat Transport-X yang sampelnya adalah minyak isolasi trafo daya PT-8801-B untuk mendapatkan hasil data tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 [2].



Gambar 3.3. Pengujian sampel minyak trafo daya dengan alat transport-x

Pada gambar 3.3 setelah pengujian mendapatkan hasil data jumlah kandungan gas berupa H_2 (*Hydrogen*), C_2H_2 (*Acetylene*), CH_4 (*Methane*), C_2H_6 (*Ethane*), C_2H_4 (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*). Dimana hasil kandungan gas pada minyak isolasi akan dianalisa untuk mencari gangguan ketidaknormalan yang terjadi pada minyak isoalasi trafo dengan 4 cara yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle* [28].

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan suatu langkah yang paling menentukan dari suatu penelitian, karena analisa data berfungsi untuk menyimpulkan hasil penelitian. Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

3.5.1 Tahap Penelitian

Pada tahap ini peneliti melakukan proses penelitian yang berupa pengambilan sampel dan pengujian sampel agar mendapatkan data kandungan gas pada minyak isolasi trafo daya untuk dianalisa dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) agar mendapatkan hasil gangguan ketidaknormalan dengan berbagai sumber ilmu yang di baca pada perpustakaan, buku, jurnal, dan data *Sheet* Transformator Daya PT-8801-B di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.

3.5.2 Instrumen Penelitian

Dalam proses instrument penelitian yang dibutuhkan dalam pengambilan sampel dan pengujian data yang didapat dianalisa minyak isolasi transformator daya dan purifikasi adalah sebagai beriku:

1. *Syringe* (Suntikan berbahan kaca).
2. *Oil Flusing* (Selang pengambilan minyak isolasi trafo).
3. *Vial* (Botol kimia wadah minyak isolasi trafo).
4. Alat *Transport-X* (Alat pengujian minyak isolasi trafo).
5. Mesin Purifikasi (Mesin pemurnian minyak isolasi trafo).

BAB 4
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Hasil pengujian dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) yang didapat pada penelitian ini yaitu data minyak isolasi trafo daya dapat dilihat pada Table 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Pada Minyak Trafo

	Parameter Uji Gas	Hasil Uji (ppm)	IEEE Std C57.104-2008				Kondisi Minyak Isolasi Trafo PT-8801-B
			Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	
1	Hydrogen (H ₂)	157	100	101-700	701-1800	>1800	Kondisi 2
2	Methane (CH ₄)	451	120	121-400	401-1000	>1000	Kondisi 3
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	21	1	>2-9	>10-35	>35	Kondisi 3
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	212	50	51-100	101-200	>200	Kondisi 4
5	Ethane (C ₂ H ₆)	153	65	66-100	101-150	>150	Kondisi 4
6	Carbon Monoxide (CO)	571	350	351-570	570-1400	>1400	Kondisi 3
7	Carbon Dioxide (CO ₂)*	2512	2500	2500-4000	4001-10000	>10000	Kondisi 2
TDCG*)		1565	720	721-1920	1921-4630	>4630	Kondisi 2

Catatan: *) CO₂, tidak termasuk dalam hitungan *Total Dissolved Combustible Gases* TDCG

Pada table 4.1 menunjukkan hasil data pengujian yang nantinya akan dianalisa untuk mencari gangguan ketidaknormalan yang terjadi pada minyak isolasi trafo dengan 4 cara yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle* dapat dilihat pada lampiran 1.

4.1.1 Deskripsi Data

Data untuk penelitian ini diambil dari PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe yang meliputi data pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) minyak isolasi transformator daya. Setelah data terkumpul kemudian data dianalisa untuk mendapatkan hasil gangguan ketidaknormalan pada minyak isolasi transformator daya dengan 4 cara yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle* serta memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya dengan purifikasi yang harus dilakukan di PT. Perta Arun Gas Lhokseumawe.

4.1.2 Hasil Uji Persyaratan Analisis

Pengujian prasyarat terdiri dari pemilihan data terbaru minyak isolasi transformator daya PT-8801-B pada tahun 2019 yang meliputi gangguan-gangguan ketidaknormalan dan perbaikan kualitas minyak isolasi transformator daya.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini membahas tentang pengujian metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) [8] serta analisa gangguan-gangguan ketidaknormalan pada minyak isolasi transformator daya dengan 4 cara yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*),

Rogers Ratio, *Key Gas*, dan *Duval Triangle* dan perbaikan kualitas minyak isolasi transformator daya dengan purifikasi [26].

4.2.1 Data Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA)

Dari hasil pengujian metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) [8] kandungan gas pada minyak isolasi transformator daya PT-8801-B sudah terindikasi kandungan gas-gas berbahaya yang dapat menjadi gangguan ketidaknormalan minyak isolasi trafo sebagai isolator cair. Hal ini terlihat dari jumlah kandungan *Part Per Milion* (Ppm) yang dihasilkannya H_2 (*Hydrogen*), C_2H_2 (*Acetylene*), CH_4 (*Methane*), C_2H_6 (*Ethane*), C_2H_4 (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*) yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Data Pengujian DGA Pada Minyak Trafo

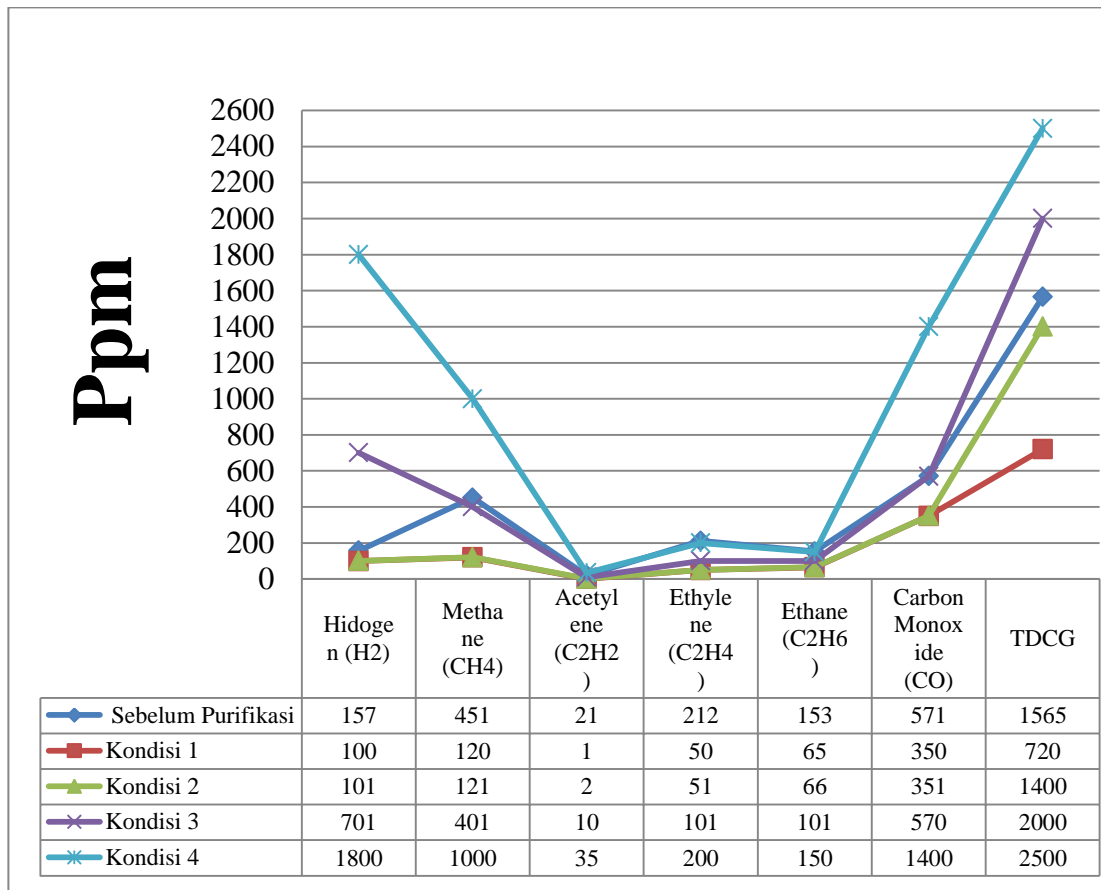
No.	Parameter Uji Gas	Hasil Uji (ppm)	IEEE Std C57.104-2008				Kondisi Minyak Isolasi Trafo PT-8801-B
			Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	
1	Hydrogen (H_2)	157	100	101-700	701-1800	>1800	Kondisi 2
2	Methane (CH_4)	451	120	121-400	401-1000	>1000	Kondisi 3
3	Acetylene (C_2H_2)	21	1	>2-9	>10-35	>35	Kondisi 3
4	Ethylene (C_2H_4)	212	50	51-100	101-200	>200	Kondisi 4
5	Ethane	153	65	66-100	101-150	>150	Kondisi 4

No.	Parameter Uji Gas	Hasil Uji (ppm)	IEEE Std C57.104-2008				Kondisi Minyak Isolasi Trafo PT-8801-B
			Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	
	(C ₂ H ₆)						
6	Carbon Monoxide (CO)	571	350	351-570	570-1400	>1400	Kondisi 3
7	Carbon Dioxide (CO ₂)*	2512	2500	2500-4000	4001-10000	>10000	Kondisi 2
	TDCG*)	1565	720	721-1920	1921-4630	>4630	Kondisi 2

Catatan: *) CO₂, tidak termasuk dalam hitungan *Total Dissolved Combustible Gases* TDCG

Dapat dilihat pada data lampiran 1 kandungan gas ppm hasil data pengujiannya:

1. Hidrogen (H₂) dengan (157 ppm) berada pada kondisi 2
2. Methane (CH₄) dengan (451 ppm) berada pada kondisi 3
3. Acetylene (C₂H₂) dengan (21 ppm) berada pada kondisi 3
4. Ethylene (C₂H₄) dengan (212 ppm) berada pada kondisi 4
5. Ethane (C₂H₆) dengan (153 ppm) berada pada kondisi 4
6. Carbon Monoxide (CO) dengan (571 ppm) berada pada kondisi 3
7. TDCG dengan (1565 ppm) berada pada kondisi 2



Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian DGA pada minyak trafo

Dari gambar grafik hasil pengujian dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) jumlah kandungan gas pada minyak trafo yaitu 1565 ppm batasan jumlah kandungan gasnya sudah melebihi kondisi 1 yaitu 720 ppm ini dapat mengakibatkan gangguan ketidaknormalan minyak isolasi cair pada transformator daya dikarenakan sudah melebihi batas kondisi standarisasi IEEE std C57.104-2008 [18], maka perlu dilakukan analisa untuk mengetahui gangguan ketidaknormalan tersebut dengan 4 metode yaitu TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*), *Rogers Rasio*, *Key Gas*, dan *Duval Triangle*.

1) Metode TDCG (Total Dissolved Combustible Gases)

Untuk menganalisa gangguan ketidaknormalan minyak trafo dengan metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) [29] dapat dilihat batasan kondisi gasnya pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Batasan Kondisi Ketidaknormalan Dengan Metode TDCG

Status	Batasan TDCG	Gangguan Ketidaknormalan	Prosedur Penanganan
Kondisi 1	< 720 ppm	Transformator beroperasi dengan baik.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak perlu penanganan khusus. 2. Lanjutkan pengoperasian.
Kondisi 2	721-1920 ppm	Menunjukkan tingkat gas yang mudah terbakar lebih besar dari normal.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lakukan tindakan pencegahan. 2. Lakukan penyelidikan tambahan.
Kondisi 3	1921-4630 ppm	Menunjukkan telah terjadi dekomposisi tingkat tinggi gas yang mudah terbakar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Segera lakukan tindakan pencegahan 2. Segera Lakukan penyelidikan.
Kondisi 4	> 4630 ppm	Terjadi dekomposisi yang sangat berlebihan dan menyeluruh dalam minyak mudah terbakar.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Harus segera melakukan tindakan pencegahan. 2. Tidak dapat dioperasikan.

Hasil analisa gas minyak isolasi transformator daya dengan metode *Total Dissolved Combustible Gases* (TDCG) yaitu sudah berada pada kondisi 2 dimana jumlah kandungan gas 1565 ppm yang menunjukkan tingkat gas mudah terbakar lebih besar dari normal yang ditetapkan dengan IEEE Std C57.104-2008. Maka hasil analisa gangguan ketidaknormalan dapat dilihat pada Table 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode TDCG

Status	Batasan TDCG	Gangguan Ketidaknormalan
Kondisi 2	721-1920 ppm	Menunjukkan tingkat gas yang mudah terbakar lebih besar dari normal

Sebelum terjadi batas kondisi yang dapat mempengaruhi gejala kerusakan minyak isolasi cair pada transformator daya yang lebih besar maka perlu dilakukan diagnosa pada kondisi 2 dengan melakukan tindakan pencegahan dan melakukan penyelidikan tambahan.

2) Metode Rogers Rasio

Penyebab gangguan ketidaknormalan minyak trafo dengan metode *Rogers Rasio* dengan cara perhitungan jumlah dari gas-gas C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , dan C_2H_4/C_2H_6 , kemudian hasil tersebut [23] dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode *Rogers Rasio*

<i>Range Code Rasio</i>		<u>Acetylene</u>	<u>Methane</u>	<u>Ethylene</u>
		Ethylene	Hidrogen	Ethane
<0.1		0	1	0
0.1-1		1	0	0
1-2		1	2	1
>3		2	2	2
Case	Tipe Gangguan			
0	No fault	0	0	0
1	Low energy partial discharge	1	1	0
2	High energy partial discharge	1	1	0
3	Low energy discharges, spaking, arcing	>2	0	>2
4	High energy discharges, arcing	1	0	2
5	Thermal fault less than 150 °C	0	0	1
6	Thermal fault temp. 150-300 °C	0	2	0
7	Thermal fault temp. 300-700 °C	0	2	1
8	Thermal fault temp. over 700 °C	0	2	2

Berdasarkan data sampel hasil pengujian gas terlarut dalam minyak transformator PT-8801-B didapat: $\text{CH}_4 = 451$ ppm, $\text{H}_2 = 157$ ppm, $\text{C}_2\text{H}_6 = 153$ ppm, $\text{C}_2\text{H}_4 = 212$ ppm, $\text{C}_2\text{H}_2 = 21$ ppm. Sehingga dapat ditentukan gangguan ketidaknormalan transformator dengan menganalisa menggunakan metode *Rogers Rasio* dengan perhitungan masing-masing dari jumlah kandungan gasnya.

Perhitungan metode *Rasio Rogers* :

$$a) \frac{\text{Acetylene}}{\text{Ethylene}} = \frac{21 \text{ ppm}}{212 \text{ ppm}} = 0,09 \text{ ppm}$$

Dengan melihat *Range Code Rasio* nilai < 0.1 maka bernilai 0

$$b) \frac{\text{Methane}}{\text{Hidrogen}} = \frac{451 \text{ ppm}}{157 \text{ ppm}} = 2,8 \text{ ppm}$$

Dengan melihat *Range Code Rasio* nilai 1-2 maka bernilai 2

$$c) \frac{\text{Ethylene}}{\text{Ethane}} = \frac{212 \text{ ppm}}{153 \text{ ppm}} = 1,3 \text{ ppm}$$

Dengan melihat *Range Code Rasio* nilai 1-2 maka bernilai 1

Maka setelah mengetahui hasil nilai perhitungan dari jumlah masing-masing kandungan gas dengan metode *Rogers Rasio* dapat diketahui gangguan ketidaknormalannya seperti terlihat pada Table 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode *Rogers Rasio*

Sampel	Nilai Rasio			Diagnosa
	$\frac{\text{Acetylene}}{\text{Ethylene}}$	$\frac{\text{Methane}}{\text{Hidrogen}}$	$\frac{\text{Ethylene}}{\text{Ethane}}$	
PT-8801-B	0	2	1	Thermal Fault Temp. 300-700 ⁰ C

Dari table diatas dapat dilihat gangguan ketidaknormalan minyak isolasi transformator daya PT-8801-B, sudah terjadi gejala panas berlebih yang dapat mencapai temperature 300-700⁰C dengan memakai perhitungan metode *Rogers Rasio*.

3) Metode Key Gas

Penyebab gangguan minyak isolasi transformator daya dengan metode *Key Gas* didasarkan pada IEEE Std C57.104-2008 adalah sebagai gas-gas yang terbentuk berdasarkan jumlah kandungan gas ppm yang lebih dominan menghasilkan gas mudah terbakar. Yang menjadikan indikator antara lain H₂ (*Hidrogen*), C₂H₂ (*Acetylene*), CH₄ (*Methane*), C₂H₆ (*Ethane*), C₂H₄ (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*). Komposisi jumlah kandungan gas ppm tersebut dapat merepresentasikan kondisi minyak [20] dapat dilihat pada Table 4.7.

Tabel 4.7. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode *Key Gas*

<i>Key Gas</i>	Gas Dominan	Gangguan Ketidaknormalan
<i>Etilen</i> (C ₂ H ₄)	Konsentrasi C ₂ H ₄ dalam jumlah sangat besar, C ₂ H ₆ , CH ₄ besar, dan H ₂ dalam jumlah kecil	<i>Overheating Oil</i>
<i>Karbon Monoksida</i> (CO)	Konsentrasi CO dalam jumlah besar. Gas-gas hidrokarbon dapat juga timbul.	<i>Overheating Cellulose</i>
<i>Hidrogen</i> (H ₂)	Konsentrasi H ₂ dalam jumlah yang besar, CH ₄ jumlah yang kecil, C ₂ H ₆ dan C ₂ H ₄ dalam jumlah sangat kecil.	<i>Partial Discharge in Oil</i>
<i>Asetilen</i> (C ₂ H ₂)	Konsentrasi gas H ₂ dalam jumlah yang besar sangat besar, C ₂ H ₂ jumlah yang besar, disertai timbulnya gas CH ₄ , C ₂ H ₄ , dan C ₂ H ₄ dalam jumlah kecil	<i>Archling</i>

Untuk mengetahui gangguan ketidaknormalan dengan metode *Key Gas* yang terjadi didasarkan pada IEEE Std C57.104-2008. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 hasil pengujian DGA jumlah kandungan gas yang lebih dominan adalah:

1. Hidrogen (H_2) dalam jumlah kecil 157 ppm (Kondisi 2)
2. Methane (CH_4) dalam jumlah besar 451 ppm (Kondisi 3)
3. Acetylene (C_2H_2) dalam jumlah kecil 21 ppm (Kondisi 3)
4. Ethylene (C_2H_4) dalam jumlah sangat besar 212 ppm (Kondisi 4)
5. Ethane (C_2H_6) dalam jumlah sangat besar dengan 153 ppm (Kondisi 4)
6. Carbon Monoxide (CO) dalam jumlah besar 571 ppm (Kondisi 3)

Dengan hasil data sampel pengujian DGA minyak trafo yang diperoleh maka metode *Key Gas* ini dalam gangguan ketidaknormalan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode *Key Gas*

<i>Key Gas</i>	Kriteria	Diagnosa
<i>Etilen</i> (C_2H_4)	Konsentrasi C_2H_4 dalam jumlah sangat besar, C_2H_6 , CH_4 besar, dan H_2 dalam jumlah kecil	<i>Overheating Oil</i>
<i>Karbon Monoksida</i> (CO)	Konsentrasi CO dalam jumlah besar. Gas-gas hidrokarbon dapat juga timbul.	<i>Overheating Cellulose</i>

Hasil analisa kandungan gas yang lebih dominan akan menyebabkan gangguan *Overheating Oil* dikarenakan konsentrasi C_2H_4 dalam jumlah sangat besar,

C₂H₆, CH₄ besar, H₂ dalam jumlah kecil dan *Overheating Cellulose* konsentrasi CO dalam jumlah besar, Gas-gas hidrokarbon dapat juga timbul.

4) Metode Duval Triangle

Untuk mengetahui gangguan ketidaknormalan dengan metode *Duval Triangle* dilakukan analisa menggunakan rumus kemudian hasil tersebut menunjukkan letak titik koordinat % Methane (CH₄), % Ethylene (C₂H₄), dan % Acetylene (C₂H₂) yang berdasarkan standard IEC 60599-2007-05 pada minyak trafo [23]. Berikut adalah penjelasan gangguan ketidaknormalan yang dapat dilihat pada Table 4.9.

Tabel 4.9. Gangguan Ketidaknormalan Dengan Metode *Duval Triangle*

Gangguan Ketidaknormalan	
PD	Partial Discharge
D1	Discharge of Low Energy
D2	Discharge of High Energy
DT	Combination of Thermal Faults and Discharges
T1	Thermal Faults Not Exceeding 300 °C
T2	Thermal Faults Not Exceeding 300 °C but Not Exceeding 700 °C
T3	Thermal Faults Exceeding 700 °C

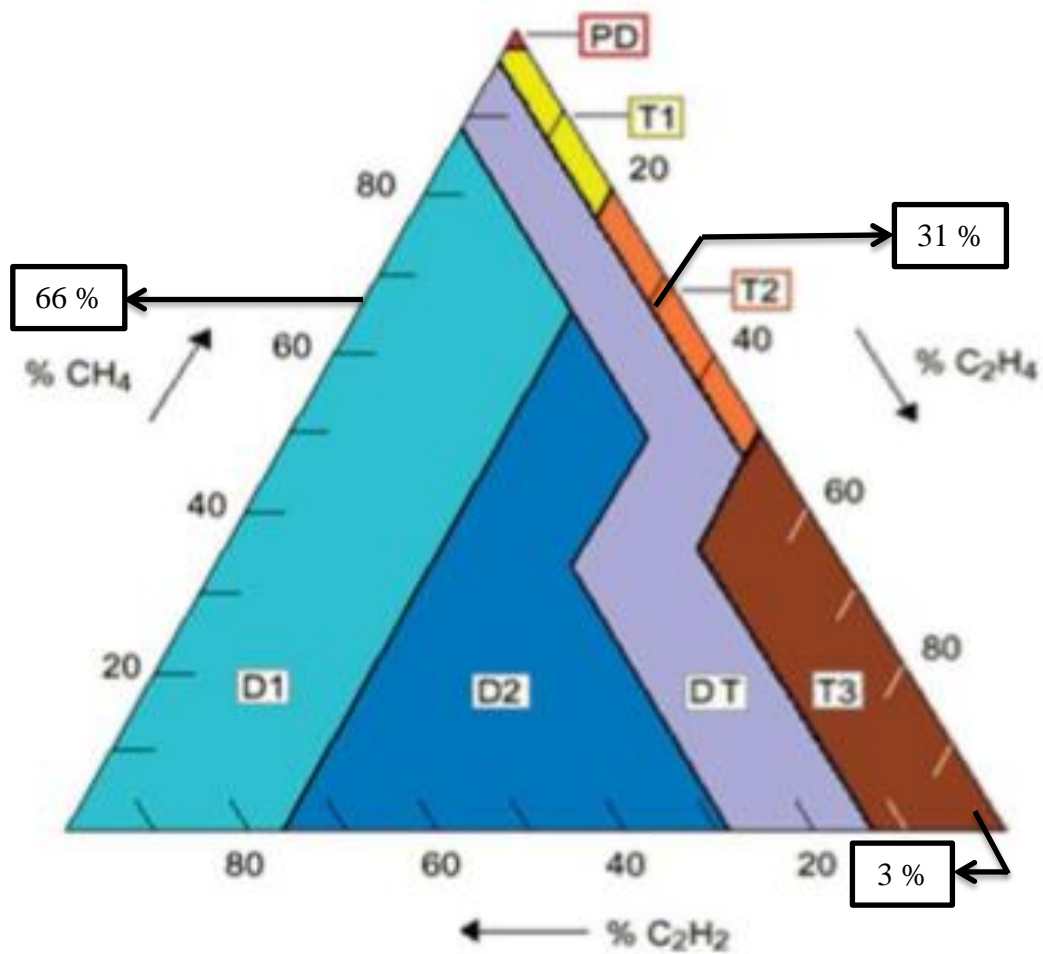
Maka dengan perhitungan menggunakan rumus metode *Duval Triangle* didapatkan letak titik koordinat gangguan ketidaknormalan yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{a) Methane \% CH}_4 &= \frac{\text{Methane}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\% \\
 &= \frac{451}{451+212+21} \times 100\% \\
 &= 66 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Ethylene \% C}_2\text{H}_4 &= \frac{\text{Ethylene}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\% \\
 &= \frac{212}{451+212+21} \times 100\% \\
 &= 31 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Acetylene \% C}_2\text{H}_2 &= \frac{\text{Acetylene}}{\text{Methane+Ethylene+Acetylene}} \times 100\% \\
 &= \frac{21}{451+212+21} \times 100\% \\
 &= 3 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga pada analisa perhitungan menggunakan rumus metode *Duval Triangle* didapatkan hasil CH₄ (Methane) = 66 %, C₂H₄ (Ethylene) = 31 %, dan C₂H₂ (Acetylene) = 3 %. Maka presentasi letak titik koordinat yang terjadi pada minyak trafo ini ialah pada Gambar 4.2.



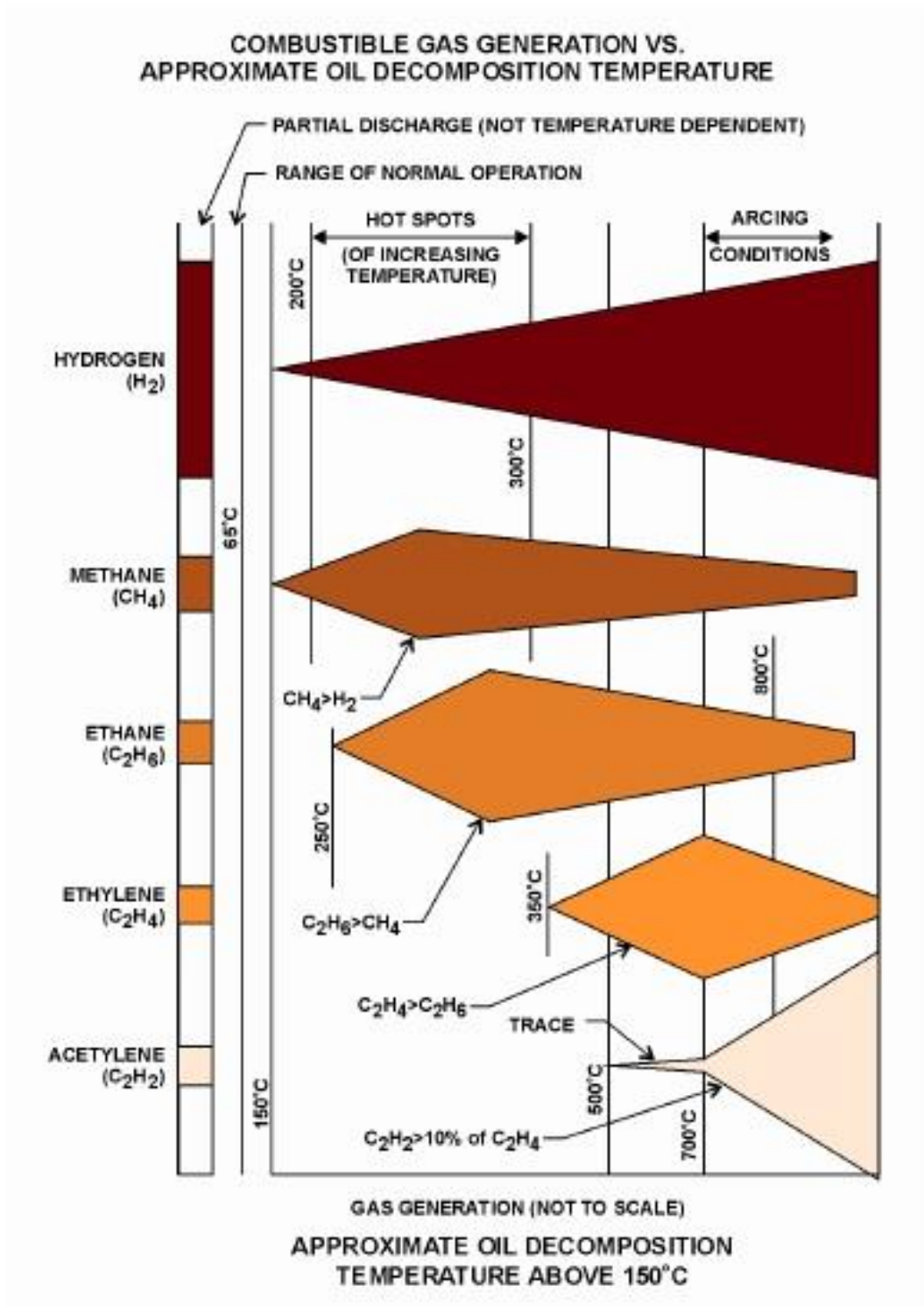
Gambar 4.2. Presentasi titik koordinat gas minyak trafo pada *Duval Triangle*

Tabel 4.10. Hasil Analisa Minyak Trafo Berdasarkan Metode *Duval Triangle*

Kandungan Gas	Diagnosa	
<i>Methane</i> (CH ₄)	D1	Discharge of Low Energy
<i>Ethylene</i> (C ₂ H ₄)	T2	Thermal Faults Not Exceeding 300 °C but Not Exceeding 700 °C
<i>Acetylene</i> (C ₂ H ₂)	T3	Thermal Faults Exceeding 700 °C

Penjelasan titik koordinat diagnosa gangguan yang dapat dianalisa dengan menggunakan metode *Duval Triangle* ini yaitu:

1. D1 = *Discharge of Low Energy* (Pelepasan energi yang rendah).
2. T2 = *Medium-range Thermal Fault 300-700°C* (Gangguan suhu termal rendah dan menengah 300-700°C).
3. T3 = *Thermal Faults Exceeding 700 °C* (Gangguan suhu melebihi 700°C).



Gambar 4.3. Pembentukan gas saat panas pada minyak trafo

Analisa menggunakan rumus metode *Duval Triangle* didapatkan hasil temperature sebesar 300-700°C [17] maka dapat dilihat pada gambar 4.3 pembentukan kandungan gas temperaturenya pada *Acetylene* (C₂H₂).

Dari keempat metode analisa yaitu TDCG, *Key Gas*, *Rogers Rasio*, dan *Duval Triangle* hasil uji kandungan gas yang berdasarkan IEEE Std C57.104-2008 dan IEC 60599-2007-05 dalam minyak isolasi transformator daya PT-8801-B telah mengalami gangguan yang serius yaitu minyak isolasi sudah tidak berfungsi lagi sebagai pendingin dan gangguan panas berlebih sudah mencapai 300-700°C yang dapat membahayakan transformator terbakar oleh kandungan-kandungan gas yang berbahaya pada minyak trafo tersebut. Maka dari itu perlu melakukan penyelidikan tambahan dan tindakan pencegahan agar dapat memperbaiki kualitas minyak isolasi transformator daya dengan cara purifikasi.

4.3 Purifikasi Minyak Isolasi Transformator Daya

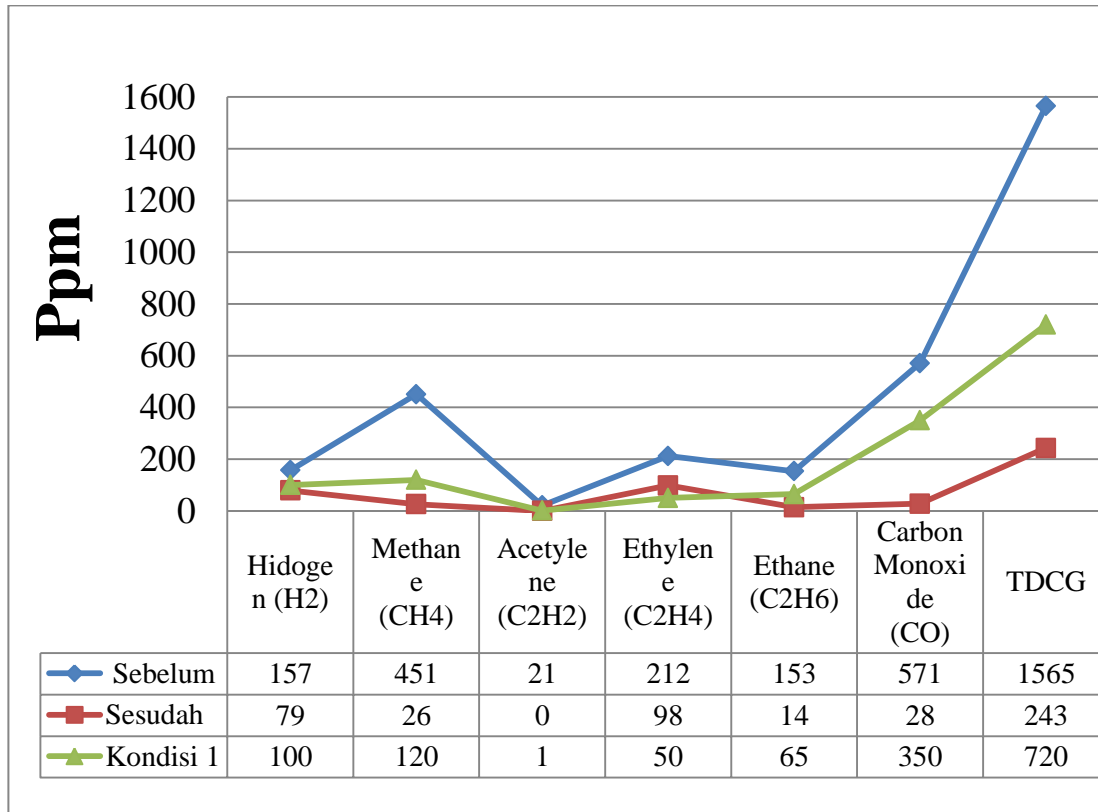
Purifikasi merupakan suatu proses pemurnian minyak isolasi transformator daya untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminasi berupa kandungan gas-gas yang berbahaya, dan kontaminasi fisik lainnya melalui alat model KLVC-4AXCT-IA yang disebut Transformer Oil Purification Plant dengan proses penyaringan (filter) dan proses pemanasan (heating) dimana proses itu untuk memperbaiki kualitas minyak isolasi trafo dengan cara penyaringan dan pemanasan kandungan gas-gas yang berbahaya pada minyak isolasi trafo tersebut [26]. Maka hasil data setelah purifikasi minyak isolasi transformator daya PT-8801-B yaitu pada Table 4.11.

Tabel 4.11. Hasil Data Purifikasi Minyak Isolasi Transformator Daya

No.	Parameter Uji Gas	Hasil Uji (ppm) Sebelum Purifikasi	Hasil Uji (ppm) Sesudah Purifikasi	IEEE Std C57.104-2008 Kondisi 1	Kondisi Minyak Isolasi Trafo PT-8801-B
1	Hidrogen (H ₂)	157	79	100	Kondisi 1
2	Methane (CH ₄)	451	26	120	Kondisi 1
3	Acetylene (C ₂ H ₂)	21	0	1	Kondisi 1
4	Ethylene (C ₂ H ₄)	212	98	50	Kondisi 2
5	Ethane (C ₂ H ₆)	153	14	65	Kondisi 1
6	Carbon Monoxide (CO)	571	28	350	Kondisi 1
7	Carbon Dioxide (CO ₂)*	2512	819	2500	Kondisi 1
	TDCG*)	1565	243	720	Kondisi 1

Catatan: *) CO₂, tidak termasuk dalam TDCG

Dengan proses penyaringan dan pemanasan purifikasi didapatkan hasil data sampel diatas dengan nilai TDCG berkurang pada nilai 243 ppm dari hasil sebelum dipurifikasi sebesar 1565 ppm. Maka dari itu hasil nilai pemurniaan setelah purifikasi jauh lebih baik yang berdasarkan IEEE Std C57.104-2008 pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik sebelum dan sesudah purifikasi minyak isolasi trafo

Gambar grafik diatas minyak isolasi trafo PT-8801-B pada masing-masing gas yang sudah dipurifikasi seperti H₂ (*Hydrogen*), C₂H₂ (*Acetylene*), CH₄ (*Methane*), C₂H₆ (*Ethane*), C₂H₄ (*Ethylene*), dan CO (*Carbon Monoxide*) sudah terjadi pengurangan dibawah batasan kondisi I yang diizinkan yaitu berjumlah 243 ppm yang sudah memenuhi syarat IEEE std C57.104-2008 yaitu < 720 ppm pada minyak isolasi transformator daya PT-8801-B berarti minyak sudah dalam kualitas yang sangat baik dan sesuai untuk memenuhi standar tersebut sebagai isolasi cair dan dapat digunakan kembali [18] dapat dilihat pada lampiran 2.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian yang telah didapat, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian minyak isolasi transformator daya dengan menggunakan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) sudah mengalami gangguan ketidaknormalan dengan analisa menggunakan *Total Dissolved Combustible Gases* (TDCG) sudah berada pada kondisi 2 yaitu 1565 ppm. Dengan metode *Rogers Rasio* ditemukan bahwa sudah terjadi gejala panas berlebih yang dapat mencapai temperature 300-700C. Dengan metode *Key Gas* menyebabkan gangguan *Overheating Oil* dan *Overheating Cellulose*. Dengan metode *Duval Triangle* hasil penelitian yaitu *Methane* (CH₄) pada D1 = *Discharge of Low Energy* (Pelepasan energi yang rendah), *Acetylene* (C₂H₂) pada T2 = *Medium-range Thermal Fault* 300-700°C (Gangguan suhu panas rendah dan menengah 300-700°C), dan *Ethylene* (C₂H₄) pada T3 = *Thermal Faults Exceeding 700°C* (Gangguan suhu panas melebihi 700°C) berdasarkan standard IEC 60599-2007-05.
2. Setelah dilakukan analisa ketidaknormalan terhadap kualitas minyak isolasi transformator maka satu-satunya cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki minyak isolasi tersebut adalah dengan melakukan purifikasi. Dimana sebelum purifikasi jumlah kandungan Part Per Milion (Ppm) yang dihasilkan gas mudah

terbakar yaitu 1565 ppm dan setelah dilakukan purifikasi jumlah kandungan Part Per Milion (Ppm) menjadi 243 ppm kondisi kualitas minyak jauh lebih baik yang berdasarkan IEEE Std C57.104-2008 pada kondisi 1.

5.2 Saran

1. Untuk melaksanakan perawatan kondisi transformator daya sebaiknya dilakukan pengujian minyak isolasi transformator daya kemudian dianalisis terlebih dahulu dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) agar kondisi transformator dapat diambil langkah penanganannya segera sehingga kerusakan yang lebih fatal dapat dihindari.
2. Untuk melakukan pengecekan minyak isolasi transformator daya tersebut minimal 1 tahun sekali agar diketahui jumlah kandungan *Part Per Milion* (Ppm) gas berbahaya yang mudah terbakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Badaruddin and F. A. Firdianto, “ANALISA MINYAK TRANSFORMATOR PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA DI PT X,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 7, no. 2, 2016, doi: 10.22441/jte.v7i2.828.
- [2] H. Syafruddin and H. P. Nugroho, “Dissolved Gas Analysis (DGA) for diagnosis of fault in oil-immersed power transformers : AA case study,” 2020, doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230491.
- [3] R. A. Januar and & F. N., “ANALISIS KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR 27 MVA PLTG 1 JAKABARING BERDASARKAN HASIL UJI DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA),” *Ilm. Tekno*, vol. 15, no. 1, pp. 23–33, 2018.
- [4] F. A. R. M. S. Tejo &, “Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analysis,” *Transmisi*, vol. 13, no. 3, p. 96, 2011.
- [5] F.A.Muhammad, “ANALISA KARAKTERISTIK MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA 11KVA MENGGUNAKAN METODE DGA DAN BREAKDOWN VOLTAGE PADA GARDU KILANG PERTAMINA RU-II DUMAI.”
- [6] A.A.Dimas, “Analisis Kegagalan Transformator Di PT Asahimas Chemical Banten Berdasarkan Hasil Uji DGA Dengan Metode Roger’s Ratio.”
- [7] A.Faris, “ANALISIS HASIL UJI DGA UNTUK MEMPREDIKSI RENTANG WAKTU PURIFIKASI MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN METODE TDCG DAN ROGER’S RATIO (STUDI KASUS PLN PAYAPASIR MEDAN),” vol. 2019.
- [8] N. Naibaho, “Analisis Kegagalan Transformator Berdasarkan Hasil Pengujian DGA,” *Ft Semin. Nas. Sinergi Energi Teknol.*, 2018.
- [9] PT.PLN 0520-3.K/DIR/2014, *Buku Pedoman Trafo Arus*, no. 0520–2.K/DIR. 2010.
- [10] W. K. Adi, “Deteksi Dini Kerusakan Minyak Transformator Daya Distribusi Berbasis Analisis Fitur Spektrum Arus Menggunakan Transformasi Wavelet & Probabilistic Neural Networks,” 2017.
- [11] H. Sutikno, R. A. Prasojjo, and Suwarno, “Integration of Duval Pentagon to the Multi-Method Interpretation to Improve the Accuracy of Dissolved Gas Analysis Technique,” in *2021 IEEE International Conference on the*

- Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)*, Jul. 2021, vol. 2021-July, pp. 298–301, doi: 10.1109/ICPADM49635.2021.9493929.
- [12] P. Neuzil, *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, vol. 34, no. 11. 2014.
- [13] A. Fitria, “ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KINERJA TRANSFORMATOR TM 5 PADA PLTG PAYA PASIR,” 2016.
- [14] A. Windarto, S. Suharyanto, and T. Haryono, “Pengaruh Kadar Air terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan Dielektrik Isolasi Kertas-Minyak,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 2, 2015, doi: 10.22146/jnteti.v4i2.153.
- [15] H. Rahmat, “DAMPAK CAIRAN NANODIELEKTRIK TERHADAP MINYAK DEDAK PADI SEBAGAI ALTERNATIF ISOLASI CAIR TRANSFORMATOR,” 2021.
- [16] Feriyanto, “Proses Pembentukan Gas-Gas Terlarut di Minyak Trafo,” pp. 5–7, 2019, [Online]. Available: <https://www.caesarvery.com/2019/05/proses-pembentukan-gas-gas-terlarut-di.html>.
- [17] A. Syakur, “Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator,” *TEKNIK*, vol. 40, 2019.
- [18] IEEE, *IEEE Std C57.104-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991)*, vol. 2008, no. February. 2009.
- [19] T. B. Shanker, H. N. Nagamani, D. Antony, and G. S. Punekar, “Case studies on transformer fault diagnosis using dissolved gas analysis,” in *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 2018, vol. 2017-November, doi: 10.1109/APPEEC.2017.8309010.
- [20] D. Paul, P. Sen, and A. K. Goswami, “A Probabilistic Approach of Fault Detection through Dissolved Gas Analysis in Transformer and Reactor,” 2020, doi: 10.1109/PESGRE45664.2020.9070495.
- [21] S. Surawijaya, R. A. Prasajo, W. Riga Tamma, I. G. Ngurah Mahendrayana, and Suwarno, “Diagnosis of Power Transformer Condition using Dissolved Gas Analysis Technique: Case Studies at Geothermal Power Plants in Indonesia,” 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011106.
- [22] N. Pattanadech, K. Sasomponsawatline, J. Siriworachanyadee, and W. Angsusatra, “The conformity of DGA interpretation techniques: Experience from transformer 132 units,” in *Proceedings - IEEE International Conference on Dielectric Liquids*, 2019, vol. 2019-June, doi:

10.1109/ICDL.2019.8796588.

- [23] M. H. A. Hamid, M. T. Ishak, M. M. Ariffin, N. I. A. Katim, N. A. M. Amin, and N. Azis, "Dissolved gas analysis (DGA) of vegetable oils under electrical stress," in *International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2017 - Proceeding*, 2017, vol. 2017-January, doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225862.
- [24] S. Nisworo, D. Pravitasari, and L. Pukasari, "The Effect of Harmonics on Purification Scheduling of Transformer Oil to Restrain the Degradation Rate," 2020, doi: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570614589.
- [25] M. Ali, N. K. Deenesh, G. Kadir, K. Hasnan, and N. Nayan, "Effect of purification process on the thermal conductivity and breakdown voltage of inhibited, isoparaffinic transformer oil used in electric train," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1878, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1878/1/012009.
- [26] M. Bahroinuddin and Sukirno, "Techno Economic Analysis of Online and Closed Loop Transformer Oil Purification System for Offshore Oil and Gas Platform," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1912, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1912/1/012031.
- [27] Suwarno, A. Munajad, and C. Subroto, "Dissolved gas analysis (DGA) and fourier transform infra red (FTIR) spectroscopy of thermal-aged natural ester-paper composite," in *2017 52nd International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2017*, 2017, vol. 2017-January, doi: 10.1109/UPEC.2017.8231890.
- [28] M. Duval, *IEC 60559 Segitiga Duval Minyak Trafo* .
- [29] M. Misto and H. Haryono, "Analisis Gas Terlarut pada Minyak Isolasi sebagai Indikator Kegagalan Transformator Daya dengan Metode Dissolved Gas Analysis," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 1, no. 2, 2019, doi: 10.32528/elkom.v1i2.3091.
- [30] News.detik.com, "Trafo PLTG Jakabaring Palembang Meledak," p. 6, 2021, [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita/d-5534549/trafo-pltg-cng-jakabaring-palembang-meledak>.

LAMPIRAN 1

SEBELUM PUIFIKASI



PT. SANGGDELIMA NUSANTARA
 Service & Testing Engineering Division
 Kodau, Jl. Pendidikan Kav. PDK 92, Jatiasih -Jatimekar 17422 Bekasi
 Phone. 62 21 8296208 Fax. 62 21 83791906
 E-mail. service@sanggadelima.com



Insulating Oil Analysis Report

Client Name : PT MARAJASA
Site : PT PERTA ARUN GAS - ACEH
Client Ref. No : tba
Sample ID : -

Sample Reference Data

Transformer ID : PT 8801 B
Serial Number/ SN : 731779-2
Rating Voltage : 19920 / 11500 v
Manufacture : HITACHI

Sampling Date : 24 September 2019
Analysis Date : 24 September 2019
Delivery to Lab :

Sample Type : Transformer Oil - Mineral
Sampling Point : Bottom

Test Result

Dissolved Gas Analysis (DGA) - ASTM D3612-B

Parameter	Result	Unit	LIMIT				Comments
			Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	
IEEE C57.104-2008 Standard							
Hydrogen	H ₂	157	100	101-700	701-1800	>1800	Warning gases : None
Methane	CH ₄	451	120	121-400	401-1000	>1000	
Acetylene	C ₂ H ₂	21	1	2-9	10-35	>35	
Ethylene	C ₂ H ₄	212	50	51-100	101-200	>200	
Ethane	C ₂ H ₆	153	65	66-100	101-150	>150	
Carbon Monoxide	CO	571	350	351-570	571-1400	>1400	
Carbon Dioxide*	CO ₂	2512	2500	2500-4000	4001-10000	>10000	Caution gases : Ethane
Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)	1565		720	721-1920	1921-4630	>4630	

Note. * N₂, O₂, CO₂ Not Include in combustible gas

General Information

* Rating Voltage (kV)
 O = > 400
 A = 170-400
 B = 72.5-170
 C = ≤ 72.5

* All result(s) are on sample as received

LAMPIRAN 2

SESUDAH PUIFIKASI



PT. SANGGDELIMA NUSANTARA
 Service & Testing Engineering Division
 Kodau, Jl. Pendidikan Kav. PDK 92, Jatiasih - Jatimekar 17422 Bekasi
 Phone. 62 21 8296208 Fax. 62 21 83791906
 E-mail. service@sanggdelima.com



Insulating Oil Analysis Report

Client Name : PT MARAJASA Client Ref. No : tba
 Site : PT PERTA ARUN GAS - ACEH Sample ID : -

Sample Reference Data

Transformer ID : PT 8801 B
 Serial Number/ SN : 731779-2
 Rating Voltage : 19920 / 11500 v
 Manufacture : HITACHI
 Sampling Date : 4 Oktober 2019
 Analysis Date : 4 Oktober 2019
 Delivery to Lab :
 Sample Type : Transformer Oil - Mineral
 Sampling Point : Bottom

Test Result

Dissolved Gas Analysis (DGA) - ASTM D3612-B

Parameter	Result	Unit	LIMIT				Comments
			Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	
IEEE C57.104-2008 Standard							
Dissolved Gas Analysis (DGA)							
Hydrogen	H ₂	79	100	101-700	701-1800	>1800	Warning gases : None
Methane	CH ₄	26	120	121-400	401-1000	>1000	
Acetylene	C ₂ H ₂	0	1	2-9	10-35	>35	
Ethylene	C ₂ H ₄	98	50	51-100	101-200	>200	
Ethane	C ₂ H ₆	14	65	66-100	101-150	>150	
Carbon Monoxide	CO	28	350	351-570	571-1400	>1400	
Carbon Dioxide*	CO ₂	819	2500	2500-4000	4001-10000	>10000	Caution gases : Ethane
Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)		243	720	721-1920	1921-4630	>4630	

Note : * N₂, O₂, CO₂ Not include in combustible gas
 Trafo Energize 24 September 2019

General Information

* Rating Voltage (kV)
 O = > 400
 A = 170-400
 B = 72,5-170
 C = ≤ 72,5

* All result(s) are on sample as received

LAMPIRAN 3
DATA SHEET

TECHNICAL REQUIREMENTS		
SPECIFICATION	: 10715-P-6 <i>SEE NOTE 1</i>	MANUFACTURER : HITACHI, LTD.
TYPE	: OIL-FILLED, AIR-SEAL CONSERVATOR.	OUTLINE DRAWING : 311-3807891
RATED KVA	: 30,000	SERIAL NO : 731780-1
VOLTAGE RATIO	: 11,500 / 34,500 V. (STEP UP)	EFFICIENCY 100% F.L.O.S.P.F. : 99.21%
PHASES	: 3	75% F.L.O.S.P.F. : 99.35%
FREQUENCY	: 50 HZ	50% F.L.O.S.P.F. : 99.48%
NUMBER OF WINDINGS	: 2	IRON LOSSES - KW : 30
VECTOR GROUP	: Yd, 11	COPPER LOSSES - KW : 160
ELECTRICAL SYSTEM - HV	: 34,500 V (NO LOAD)	EXACT TURNS RATIO AT RATED VOLTS :
		REGULATION - O.S.P.F. : 8.9%
		IMPEDANCE VOLTAGE : 12.5%
		FLUX DENSITY : APPROX 17,500
		MAGNETISING CURRENT : 1%
INSULATION CLASS & LEVEL	: A. SEE SHEET 2	INRUSH CURRENT AMPS : 800-900%
	- UNIFORM/GRADED: UNIFORM.	DURATION : LESS THAN 1 SEC.
PARALLEL OPERATION	: YES.	RESISTANCE PER PHASE - HV : 0.07045 OHMS.
IMPEDANCE VOLTAGE	: 12.5%	- LV : 0.01907 OHMS.
TERMINALS - HV	: 39.5 KV. <i>SEE NOTES</i>	WEIGHTS - CORE & WINDINGS : 27,000 kg.
	- LV : 11.5 KV. <i>IN SHEETS</i>	- TANK & FITTINGS : 21,000 kg.
	- NEUTRAL : 33 KV. <i>283</i>	- TOTAL :
COOLING METHOD	: OIL-TO-AIR (NATURAL)	OIL QUANTITIES - TANK : 15,500 L.
TAPPING RANGE	: ± 5% ± 2 1/2%	- CONSERVATOR : 1,000 L.
TAPPING METHOD	: OFF-CIRCUIT. MANUAL	- DISCONNECTING CHAMBERS : 1030L
SKIDS/ROLLERS	: SKIDS. OMNI-DIRECTIONAL	LENGTH - WIDTH - HEIGHT : 5,800 x 4,200 x 4,100
DISCONNECTING CHAMBERS	: YES. SEE NOTES SH. 2 & 3.	THICKNESS WALLS / BASE / COVER : 9 x 12 x 16 mm
RAIN/SUN SHIELDS	: SEE NOTE 2. PAGE 3.	
DRAIN VALVES	: YES. FORTANK, RADATOR, DIS CHAMBER	
JACKING LUGS	: YES.	
GAS RELAY	: PITOT (PC-175 R)	
C.T.S	: NO.	
R.T.S	: NO.	
CONSERVATOR	: YES, AIR-SEAL CELL B TYPE	
BREATHER	: YES. SILICA GEL TYPE.	
FILTER VALVES	: YES. TOP & BOTTOM. GLOBE TYPE.	
PRESSURE RELIEF	: YES. SELF-RESETTING TYPE.	
OIL TEMP - TYPE	: DIAL INDICATOR, MI-1HXX.	
	- CONTACTS : 1-ALARM, 1-TRIP.	
WIND. TEMP - TYPE	: DIAL INDICATOR, MI-1HXX.	
	- CONTACTS : 1-ALARM, 1-TRIP.	
VENDOR PRINT NO	: 88-P-11D-4.	REF. JOB. 10715 DWG : 88-EP-130



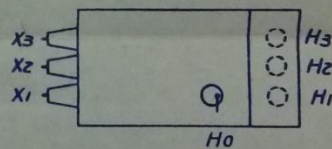
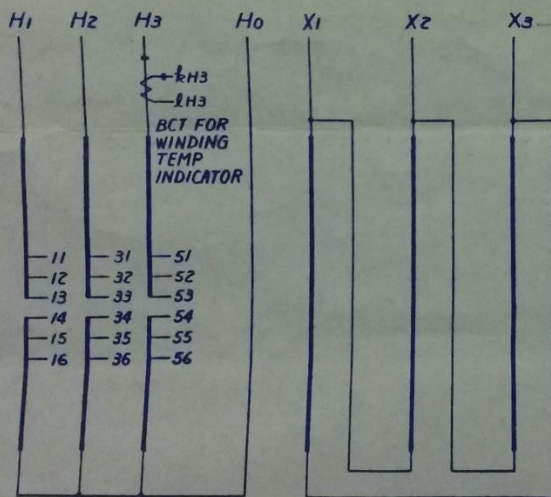
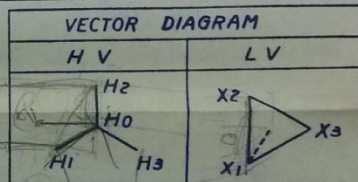
TRANSFORMER

kVA RATING	30 000	THREE PHASE	50 Hz	ANSI C57, 12-1980
WINDING	VOLTAGE RATINGS	RATED CURRENTS	FULL WAVE IMPULSE LEVELS	
H V	34 500Y/19 920 V	502 A	200 BIL	
L V	11 500 V	1 510 A	NEUTRAL 200 BIL	
			110 BIL	

PERCENT IMPEDANCE	%
CLASS	0A
INSULATING LIQUID	MINERAL OIL
SERIAL NUMBER	
YEAR OF MANUFACTURE	(M)

APPROXIMATE WEIGHTS	TOTAL WEIGHT	kg
	UNTANKING WEIGHT	kg
	CORE AND COILS	kg
	TANK AND FITTINGS	kg
	OIL IN MAIN TANK	kg
OIL QUANTITY	OIL IN TERM. COMPT	kg
	MAIN TANK	l
	TERM. COMPT	l

H V			
NO-VOLTAGE TAP-CHANGER			
POSITION	CONNECT	VOLTS	AMPERES
1	14-13, 34-33, 54-53	36 225	478
2	13-15, 33-35, 53-55	35 363	490
3	15-12, 35-32, 55-52	34 500	502
4	12-16, 32-36, 52-56	33 638	515
5	16-11, 36-31, 56-51	32 775	528



TANK WITHSTAND : FULL VACUUM

Hitachi, Ltd. Tokyo Japan

INSTRUCTION BOOK KT-0406

BIT-1805065-A



