

**ANALISIS DAN TEKNIK INTERPRETASI PERBANDINGAN
DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) ANTARA MINYAK MINERAL DAN
MINYAK ESTER MENGGUNAKAN METODE KROMATOGRAFI GAS**

(Skripsi)

Oleh

CITRA CAHYA NURANI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

ANALISIS DAN TEKNIK INTERPRETASI PERBANDINGAN *DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)* ANTARA MINYAK MINERAL DAN MINYAK ESTER MENGGUNAKAN METODE KROMATOGRAFI GAS

Oleh

Citra Cahya Nurani

Minyak isolasi transformator tenaga berfungsi sebagai isolasi dan pendingin. Minyak mineral merupakan minyak yang paling banyak digunakan pada transformator tenaga. Minyak mineral memiliki sifat elektrik dan sifat mekanik yang baik digunakan pada transformator tenaga. Minyak mineral ini berasal dari bahan tambang dimana bahan ini merupakan bahan yang tidak dapat diperbaharui. Upaya alternative yang dilakukan untuk mengganti minyak mineral menjadi minyak ester dari biji jarak pagar dibahas pada penelitian ini. Penelitian ini mencakup studi perbandingan DGA (*Dissolved Gas Analysis*) minyak mineral dengan minyak metil – ester (*Jatropha Curcas Metil Ester Oil /JMEO*). DGA (*Dissolved Gas Analysis*) merupakan suatu pendekatan yang dapat diterapkan pada semua jenis minyak (isolasi cair). Penelitian ini menggunakan dua keadaan sampel yaitu sampel minyak dalam kondisi baru dan sampel yang sudah diberi gangguan thermal pada suhu 120⁰C selama 64 jam. Sampel Minyak yang baru dan sudah diberi perlakuan pemanasan diuji dengan menggunakan metode kromatografi gas. Metode ini memisahkan gas yang terlarut dalam minyak isolasi. Kromatografi gas yang digunakan saat pengujian adalah metode stripping yang mengacu pada standar “ASTM D3612 metode B”. Pengujian sampel dengan metode kromatografi gas akan menunjukkan kandungan gas hidrokarbon dalam satuan ppm (part per million). Hasil pengujian kemudian dianalisis dengan menggunakan enam metode yaitu: *Key Gas Method (KGM)*, *Doernenburg Ratio Method (DRM)*, *Rogers Ratio Method (RRM)*, *IEC Ratio Method (IRM)*, *Total Combustible Gas (TDCG) IEEE C57 – 104 tahun 2008* dan *Duval Triangle Method (DTM)*. Hasil analisis DGA menunjukkan kedua sampel minyak mineral dan JMEO yang baru tidak mengandung gas hidrokarbon (0 ppm). Kandungan gas CH₄ yang muncul pada minyak JMEO yang sudah dipanasi adalah 1406,013 ppm. Hal ini mengindikasikan terjadinya gangguan thermal (kurang dari 300⁰C) pada sample JMEO yang dipanasi. Kandungan gas ini jauh lebih besar dibandingkan dengan minyak mineral yang sudah dipanasi, yakni 36,408 ppm. Hal ini menunjukkan minyak JMEO belum sebaik minyak mineral, sehingga proses pengolahan lebih lanjut masih diperlukan.

Kata kunci : *Dissolved Gas Analysis (DGA)*, Minyak mineral, *Jatropha Curcas Methyl Ester Oil (JMEO)*

ABSTRACT**COMPARATIVE ANALYSIS AND INTERPRETATION OF DISSOLVED
GAS ANALYSIS (DGA) BETWEEN MINERAL OIL AND OIL ESTER
USING GAS CROMATOGRPHY METHOD****By****Citra Cahya Nurani**

The transformer oil have functioned as insulation and coolant. Recently, mineral oil (MO) type is the most common oil insulation used in transformer. Mineral oil has good electric and mechanical characteristic as transformer oil insulation. However, mineral oil as mining product has limited resources thus it is not sustainable. A substitution for the mineral oil discussed in this thesis, is Jatropha Curcas Oil Methyl Ester / JMEO. The studies conducted in this thesis is a comparative study of DGA (Dissolved Gas Analysis) mineral oil and alternative to the mineral oil derived from the seed of Jatropha oil in the form of methyl – ester (Jatropha Curcas Oil Methyl Ester / JMEO). DGA (Dissolved Gas Analysis) is an analysis tool that can be applied to all types of oil (liquid insulation) by analyzing the contents of the dissolved gases in the transformer oil. The DGA analysis was done for both mineral and ester oil. Both samples have two conditions, i.e. untreated (new oil) and heated at temperature of 120⁰C for 64 hours. Both of samples are analyzed using gas chromatograph method. This method separate the dissolved gas from the transformer oil. The applied gas chromatography test in the analysis refers to the “ASTM D3612 method B” standard. The experiment results then analyze using 6 types method, such: Key Gas Method (KGM), Doernenburg Ratio Method (DRM), Rogers Ratio Method (RRM), IEC Ratio Method (IRM), Total Combustible Gas (TDCG) IEEE C57 – 104 in 2008 and Duval Triangle Method (DTM). The DGA analysis show both new MO and new JMEO have no hydrocarbons content (0 ppm). The CH₄ contents of the heated JMEO is CH 1406,013 ppm. It indicates thermal faults (less than 300⁰C) occurs for the heated JMEO. The gas content is also much higher compare to the heated MO i.e. 36,408 ppm. This result shows the JMEO used in the experiments is still not as good as the MO, thus further processing is needed.

Keywords : Dissolved Gas Analysis (DGA), Mineral Oil, Jatropha Curcas Methyl Ester Oil (JMEO)

**ANALISIS DAN TEKNIK INTERPRETASI PERBANDINGAN
DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA) ANTARA MINYAK MINERAL DAN
MINYAK ESTER MENGGUNAKAN METODE KROMATOGRAFI GAS**

Oleh

Citra Cahya Nurani

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **ANALISIS DAN TEKNIK INTERPRETASI
PERBANDINGAN *DISSOLVED GAS*
ANALYSIS (DGA) ANTARA MINYAK
MINERAL DAN MINYAK ESTER
MENGUNAKAN METODE
KROMATOGRAFI GAS**

Nama Mahasiswa : **Citra Cahya Nurani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031023

Jurusan : Teknik Elektro

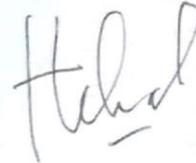
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

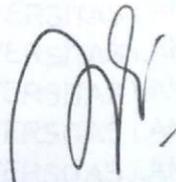


Dr. Henry Binsar H. Sitorus, S.T., M.T.
NIP 19721219 199903 1 002



Dr. Herman H Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19711130 199903 1 003

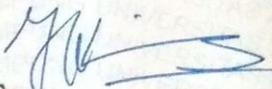
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

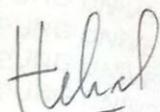


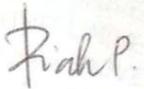
Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

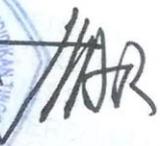
Ketua : **Dr. Henry Binsar H. Sitorus, S.T., M.T.** 

Sekretaris : **Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.** 

2. Dekan Fakultas Teknik




Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002 

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Mei 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juni 2017



Citra Cahya Nurani

NPM. 1315031023

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting, Tanggamus pada tanggal 3 Desember 1994. Penulis merupakan anak kedua dari ketiga bersaudara dari pasangan Bapak Subhan dan Ibu Trimulyani.

Riwayat pendidikan penulis yaitu TK Dharma Wanita, Bumi Dipasena Sejahtera, Rawajitu Tulang Bawang pada tahun 1997 hingga tahun 1999. SDN 01 Bumi Dipasena Sejahtera, pada tahun 2000 hingga tahun 2004, kemudian penulis menamatkan sekolah dasar di SDN 04 Gisting Bawah pada tahun 2005 – 2006, SMPN 01 Gisting, pada tahun 2007 hingga tahun 2009, SMA Muhammadiyah Gisting, pada tahun 2010 hingga tahun 2013.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2013 melalui SNMPTN Seleksi Undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Bahasa Indonesia, Rangkaian Listrik, Instrumentasi dan Pengukuran. Penulis juga terdaftar sebagai Bendahara asisten Laboratorium Pengukuran Besaran Elektrik sejak tahun 2014 hingga 2017, anggota Departemen Kaderisasi HIMATRO Unila pada tahun 2014 sampai 2016. Selama berkiprah dikampus, penulis mengikut sertakan diri dalam kegiatan akademik maupun non akademik seperti, peserta PKM-K 2016 dan

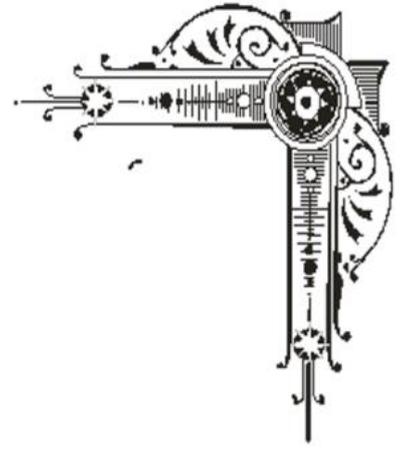
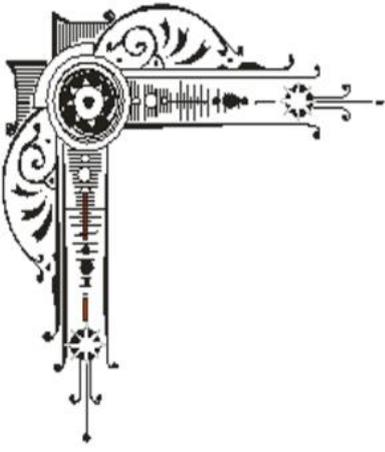
didanai dengan judul PKM “Lampias Merami” “Lampu Hias Hemat Energi Menggunakan Jerami”, peserta seminar internasional tentang perencanaan lingkungan yang diselenggarakan oleh fakultas teknik lingkungan universitas Kitakyushu, Jepang pada tahun 2015. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Bukit Asam pada bulan Februari – Maret 2016 dan mengambil judul “*Pemeliharaan Minyak Transformator Tenaga 80 MVA pada Transformator di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Bukit Asam*”.



MOTTO

Dan jadikanlah aku buah tutur yang baik bagi orang – orang (yang datang) kemudian (QS. Asy – Syuaraa 26 : 84)





Karya ini kupersumbahkan untuk

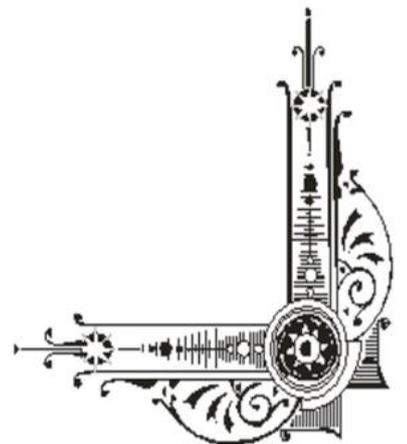
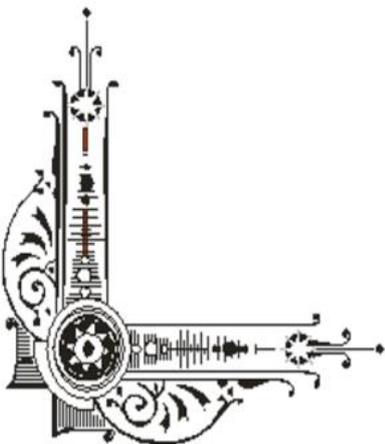
Ayah Tereinta dan Ibu Tereinta

Subhan dan Trimulyani

Kakak dan Adikku Tersayang

Zaenal Arifin dan Fiqih Anavia Insani

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater



SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas nikmat kesehatan dan kesempatan serta kemudahan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Tugas Akhir dengan judul “Analisis dan Teknik Interpretasi Data Perbandingan Dissilved Gas Analisis (DGA) Antara Minyak Mineral dan Minyak Ester Menggunakan Metode Kromatografi Gas” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M. P. selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Suharno, M. Sc., Pd.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S. T., M. Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas

4. Bapak Dr. Henry B. H. Sitorus, S. T., M. T. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
5. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S. T., M. T. selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.
6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S. T., M. T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan nasihat, kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini maupun selama mengabdikan di Laboratorium.
7. Ibu Umi Murdika, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan nasihat, arahan dan bimbingan yang membangun bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.
8. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman bagi penulis.
9. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal-hal lainnya terutama Mbak Dian Rustiningsih.
10. Ayah dan Ibu tercinta, Subhan dan Trimulyani, Kakak dan Adik tersayang, Zaenal Arifin dan Fiqih Anafia Insani atas kasih sayang, dukungan, serta doanya yang selalu diberikan kepada penulis.
11. Segenap Penghuni Laboratorium Pengukuran Besaran Elektrik, Pak Makmur, Muhammad Ikromi, Rasyid Hakim, Agus Surinanto, Ubaidah, Niken, Yona, Nurul, Rahma, Erik, Jofanda, Mas Ruri, Ega, dan Manda atas kerjasama dalam mengabdikan dan berkarya.

12. Rekan-rekan Himatro Unila, serta Kakak – Kakak dan Adik-Adik Tingkat di Jurusan Teknik Elektro.
13. Rekan-rekan KP P.T. PLN (Persero) Sektor Bukit Asam, Hana Nabila, Pitia Dani, Habi Bagus, dan Safaat Ma'ruf semoga kesolidan tetap terjaga.
14. Teman-teman kelompok KKN Desa Galumpay Lampung Barat, Kiki, Siska, Eria, Kholil, Diki dan Mardianto.

Semua Pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Penelitian Terdahulu	3
1.3. Tujuan Tugas Akhir	5
1.4. Perumuan Masalah	5

1.5. Batasan Masalah	6
1.6. Manfaat	6
1.7. Hipotesis	7
1.8. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Pengertian, Fungsi dan Prinsip Kerja Traformator Tenaga.....	10
2.2. Komponen Utama Traformator Tenaga.....	12
2.3. Pengaruh Pembebanan Transformator Tenaga	13
2.4. Minyak Transformator Tenaga	15
2.4.1. Minyak Mineral (<i>Mineral Oil</i>) Transformator Tenaga.....	18
2.4.2. Minyak Ester.....	18
2.4.3. Metode Esterifikasi	19
2.4.4. Metode Kromatografi Gas	20
2.4.5. Metode Interpretasi Data DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>) .	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1. Waktu dan Tempat.....	32
3.2. Alat dan Bahan.....	32
3.3. Tahap Pengujian Tugas Akhir	33
3.4. Diagram Blok Tugas Akhir.....	36
3.5. Pembuatan Minyak Ester	37
3.6. Pengujian, Analisis dan Interpretasi Data.....	42

3.7. Diagram Blok Interpretasi Data	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Spesifikasi Minyak Mineral dan Minyak Ester	44
4.1.1. Proses Kimia Pembuatan JMEO	48
a. Proses Pre – Esterifikasi	48
b. Proses Trans – Esterifikasi	51
4.2. Pemanasan Sampel Minyak	54
4.3. Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	55
4.4. Analisa dan Interpretasi Data Pebandingan Hasil Pengujian	58
4.4.1. Data Hasil Pengujian	58
4.4.2. Indikasi Pembentukan Gas	61
4.4.3. Analisa dan Interpretasi Data	62
1. <i>Key Gas Method</i>	63
2. <i>Doenrnburg Ratio Method</i>	63
3. <i>Rogers Ratio Method</i>	66
4. <i>IEC Ratio Method</i>	68
5. Standar TDCG IEEE C57-104	70
6. <i>Duval Triangle Method</i>	72
- <i>Classic Duval Triangle</i>	72
- <i>Low Thermal Fault Duval Triangle 3</i>	74
4.4.4. Perbandingan Interpretasi Data Hasil Pengujian	77

BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1. Simpulan	79
5.2. Saran	80

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1a. Induksi pada Kawat Konduktor.....	10
Gambar 2.1b. Induksi pada Trafo	10
Gambar 2.2 Inti Besi	11
Gambar 2.3. Belitan Tembaga	12
Gambar 2.4. Struktur Molekul Minyak Biji Jarak Mentah	18
Gambar 2.5. Reaksi Umum Proses Trans-esterifikasi	19
Gambar 2.6. Metode ekstraksi Gas Metode Vakum dan <i>Stripping</i>	21
Gambar 2.7. Metode Pengambilan Sampel.....	22
Gambar 2.8. Kondisi <i>Overheated Oil</i>	23
Gambar 2.9. Kondisi <i>Overheated Cellulose</i>	23
Gambar 2.10. Kondisi <i>Partial Discharge in Oil</i>	24
Gambar 2.11. Kondisi <i>Arcing in Oil</i>	25
Gambar 2.12 Segitiga Duval	29
Gambar 3.1. Diagram Blok Tugas Akhir	36
Gambar 3.2. Reaksi Ester dengan Alkohol	37
Gambar 3.3. Reaksi <i>Trilgyseride</i> dan Metanol	37
Gambar 3.4 Gambar Diagram Blok Interpretasi Data	43
Gambar 4.1. Name Plate Minyak Mineral	46
Gambar 4.2. Netralisasi Crude Oil.....	50

Gambar 4.3. Proses Trans – Esterifikasi	52
Gambar 4.4. Reaksi Trans – Esterifikasi Selama 2 Jam	53
Gambar 4.5. Pemisahan Metil Ester dan Gliserol	53
Gambar 4.6. Proses Pemanasan Sampel	55
Gambar 4.7. Alat Kromatografi Gas	56
Gambar 4.8. <i>One Line Diagram</i> Metode <i>Stripping</i>	57
Gambar 4.9. Mekanisme Metode <i>Stripping</i>	58
Gambar 4.10. Grafik Data Hasil Pengujian	60
Gambar 4.11. Diagram Pembentukan Gas Vs Dekomposisi Suhu	62
Gambar 4.12. <i>Flow Chart</i> Analisa Metode Rasio <i>Doernburgh</i>	64
Gambar 4.13. <i>Flow Chart</i> Metode Rasio <i>Rogers</i>	67
Gambar 4.14. Segitiga Interpretasi Data Metode Duval Klasik	74
Gambar 4.15. Interpretasi Data Segitiga Duval 3	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas Konsentrasi Minimum Metode Rasio <i>Doernenburg</i>	26
Tabel 2. Kunci Gas Standar Metode Rasio <i>Doernburgh</i>	26
Tabel 3. Metode Rasio <i>Rogers</i>	27
Tabel 4. Metode Rasio Menurut IEC	28
Tabel 5. Koordinat Sumbu Segitga Berdasarkan Persen Gas	30
Tabel 4.1. Data Sheet Nynas Nytro Libra	45
Tabel 4.2. Sifat Fisik dan Elektrik Crude Oil dari Biji Jarak Pagar.....	46
Tabel 4.3. Sifat Fisik dari JMEO	47
Tabel 4.4. Data Hasil Pengujian MO Baru	58
Tabel 4.5. Data Hasil Pengujian MO yang Sudah Dipanasi	59
Tabel 4.6. Data Hasil Pengujian JMEO Baru	59
Tabel 4.7. Data Hasil Pengujian JMEO yang Sudah Dipanasi	59
Tabel 4.8. Batas Konsentrasi L1 pada Metode Doernburg	64
Tabel 4.9. Rasio Kunci Gas pada Metode Doenburgh.....	65
Tabel 4.10. Kunci Gas Pada Rasio Rogers	67
Tabel 4.11. IEC Ratio pada Interpretasi DGA	69
Tabel 4.12. Kunci Gas Menurut Standar C57 – 104 Tahun 2008.....	70
Tabel 4.13. Tabel Perbandingan Parameter Masing – Masing Metode Interpretasi data	77
Tabel 4.14. Tabel Perbandingan Data Hasil Interpreasi	77

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan energi listrik makin hari semakin besar. Energi listrik yang dibangkitkan pada pembangkit yang sudah ada saat ini membutuhkan peralatan yang handal dan beroperasi dengan baik guna menunjang kebutuhan listrik masyarakat secara terus menerus. Salah satu peralatan utama dari sebuah pembangkit dan sekaligus dituntut keandalannya yaitu transformator tenaga atau yang sering disebut transformator daya. Transformator daya sebagai komponen utama pembangkitan energi listrik, transformator tenaga berfungsi sebagai alat penyalur daya dari pusat pembangkitan ke saluran transmisi, gardu induk dan distribusi daya ke masyarakat. Transformator daya memiliki komponen penyusun berupa intibesi, kumparan tembaga baik kumparan primer maupun skunder dan minyak isolasi. Transformator tenaga berkerja berdasarkan prinsip kerja induksi magnetik yang menginduksi inti besi secara bersamaan dan kemudian fluks magnetik yang terbentuk pada inti besi memotong kumparan primer dan akan menghasilkan fluks listrik sehingga pada kumparan skunder akan terjadi beda potensial. Komponen utama lain pada transformator tenaga yaitu minyak isolasi. Minyak dalam transformator ini selain berfungsi sebagai isolasi, juga berfungsi sebagai pendingin. Salah satu material yang digunakan secara konvensional yaitu minyak mineral. Sedangkan pembagian minyak trafo pada umumnya dibagi

menjadi dua yaitu minyak mineral, yaitu minyak yang berasal dari hasil tambang dan minyak yang alami yang berasal dari ekstrak nabati. Pengembangan penelitian dan studi khusus banyak dilakukan pada minyak trafo. Seperti pola pemikiran masa kini yang berupaya menggantikan minyak mineral (tidak dapat diperbaharui dan berasal dari bahan tambang) dan beralih menjadi minyak alami (yang dapat diperbaharui, seperti minyak jagung, minyak bunga matahari ataupun minyak ester) sebagai alternatif. Penelitian ini dilakukan berdasarkan latar belakang alam dan lingkungan serta ketersediaan sumber daya alam yang harus diwariskan oleh generasi berikutnya karena sifatnya yang terbatas.

Saat transformator tenaga dibebani, minyak akan menyerap panas dalam sistem kemudian menyalurkannya keluar sistem dengan bantuan sirip pada transformator. Fungsi lain dari minyak transformator ini juga dapat berfungsi sebagai indikator transformator dalam keadaan baik maupun buruk. Jika transformator dibebani dan dibiarkan beroperasi secara terus menerus maka tidak menutup kemungkinan material minyak akan mengalami perubahan fisik bahkan sifat kimiawinya. Perubahan ini tentunya akan memiliki perbedaan antara minyak mineral dan minyak alami.

Pengujian dan pengukuran parameter fisik dan kimiawi secara rutin, maka kita dapat mengetahui kondisi transformator tersebut misalnya kondisi gas yang terlarut dalam minyak transformator atau biasa disebut uji *DGA (Dissolved Gas Analysis)*. *DGA (Dissolved Gas Analysis)* merupakan suatu pendekatan yang dapat diterapkan pada semua jenis minyak (isolasi cair) dan dilakukan dalam rangka upaya keandalan sistem operasi transformator tenaga dengan menganalisa beberapa kandungan gas yang terlarut di dalam minyak trafo. Objek yang akan di peroleh

dari pendekatan ini adalah dapat mengetahui dan mendiagnosa keadaan transformator dalam kondisi baik atau tidak, dapat digunakan dalam pemantauan kondisi operasi transformator hingga transformator dilakukan perawatan dan dapat pula digunakan untuk mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan pada peralatan (*preventive*).

Minyak transformator konvensional yang sering digunakan merupakan minyak transformator yang berasal dari hasil tambang (Mineral). Minyak jenis ini memiliki karakteristik dari sebuah campuran kompleks dari molekul – molekul hidrokarbon. Ikatan kimia minyak jenis berbentuk linear (paraffinic) atau siklis (cycloaliphatic atau aromatic) dan mengandung kelompok molekul yang terikat dengan formula umum (dengan nilai n 20 sampai 40).

Reaksi yang terjadi saat transformator beroperasi secara terus menerus mengakibatkan pecahnya beberapa ikatan antar unsur C – H dan C – C sebagai hasil dari kegagalan thermal ataupun elektrik (tegangan tembus). Reaksi dari terurainya unsur tersebut akan menghasilkan fragmen – fragmen ion seperti H^* , CH_2^* , CH_3^* , CH^* dan C^* yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul – molekul gas seperti hydrogen ($H - H$), metana ($CH_3 - H$), etana ($CH_3 - CH_3$), etilen ($CH_2 = CH_2$) atau asitelen ($CH = CH$) [1]. Gas – gas yang demikian ini disebut dengan fault gas. Semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda, rangkap tiga) maka semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan ikatan tersebut. Fenomena penambahan ikatan karbon yang dijelaskan sebelumnya pada minyak transformator inilah yang akan menyebabkan warna minyak akan berubah menjadi menghitam.

Alternatif penggunaan dan pemilihan material minyak trafo dapat diterapkan dalam permasalahan ini. Dengan membandingkan komposisi dan hasil pengujian DGA maka akan menjadi alternatif pembangkit energi listrik dalam meningkatkan keandalan sistem kelistrikan.

Kecenderungan penggunaan bahan alternatif sebagai minyak transformator tenaga sudah banyak diteliti oleh ilmuan di seluruh dunia. Pemanfaatan material nabati seperti minyak ekstrak biji bunga matahari, biji kedelai, biji jagung bahkan biji jarak pagar pun mulai dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan terbesar di Indonesia yang masih populer adalah biji jarak pagar sebagai biodiesel dan tidak menutup kemungkinan sebagai minyak isolasi pada transformator tenaga.

1.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang terkait pemanfaatan minyak nabati sebagai isolasi listrik beserta interpretasinya pernah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain:

1. Henry B. H. Sitorus tahun 2016.[2]

Penelitian ini memfokuskan tentang pemanfaatan bahan nabati yang berbahan baku minyak biji jarak pagar menjadi isolasi cair pada transformator tenaga. Modifikasi ini telah dilakukan dengan merubah sifat kimia minyak mentah jarak pagar dengan proses kimia esterifikasi. Hasil modifikasi pada minyak biji jarak mentah dengan metode ini telah memberikan karakteristik fisik dan elektris dari minyak sebagai isolasi cair pada trafo. Dengan adanya penelitian tersebut, maka penulis berinisiatif melakukan penelitian yang menganalisa karakteristik sifat kimia berupa *Dissolved Gas Analysis* (DGA) pada minyak metil – ester berbahan dasar biji jarak pagar.

2. M. Duval tahun 2008.[3]

Secara teknis, interpretasi analisis DGA pada minyak isolasi transformator tenaga pernah dilakukan oleh M. Duval tahun 1989 tentang teknik interpretasi visual dalam bentuk segitiga. Teknik ini kini disebut segitiga duval (*Duval Triangle Classic*). Keterbatasan teknik yang pernah dilakukan M. Duval pada tahun 1989 ini terdapat pada jenis minyak isolasi yang hanya menggunakan minyak mineral. Pengembanganpun dilakukan oleh M. Duval pada tahun 2008 dengan mengklasifikasikan beberapa penggunaan metode segitiga duval pada berbagai jenis minyak isolasi transformator tenaga seperti minyak mineral dan minyak nabati.

3. C. Perier tahun 2012. [4]

Perbandingan metode DGA (*Disolved Gas Analyis*) yang akan digunakan pada penelitian ini juga pernah dilakukan oleh C. Perier pada tahun 2012 namun hanya terbatas pada gangguan secara *thermal*. Dalam penelitiannya C. Perier melakukan studi perbandingan DGA pada minyak ester dan minyak mineral. C. Perier melakukan beberapa perlakuan yang sama untuk menganalisis gas yang terbentuk dengan memberikan gangguan elektrik (*breakdown volatage*) dan *thermal* (pada suhu 120⁰C selama 64 jam). Ekstraksi gas pada penelitian ini pun sama dengan ekstraksi gas yang dilakukan pada penelitian C. Perier dimana ekstraksi gas yang digunakan adalah metode *stripping*. Metode interpretasi data yang digunakan pada kedua macam gas pada penelitian C. Perier meliputi segitiga duval klasik, segitiga duval 4 untuk *mineral oil* dan segitiga duval 6 untuk *ester oil*.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penusunan proposal tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui penggunaan metode ekstraksi dan kromatografi gas pada pengujian minyak mineral dan minyak ester alami.
2. Membandingkan dan menganalisa data hasil *DGA (Dissolved Gas Analysis)* antara minyak mineral dan minyak ester alami.
3. Menginterpretasi data hasil yang diperoleh pada pengujian *DGA (Dissolved Gas Analysis)* menggunakan beberapa enam metode pembanding yaitu *Key Gas Method (KGM)*, *Doernenburg Ratio Method (DRM)*, *Rogers Ratio Method (RRM)*, *IEC Ratio Method (IRM)*, *Standard IEEE C57 – 104 tahun 2008*, *Duval Triangle Method (DTM)*.

1.4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir ini terkait keandalan transformator dalam beroperasi yang meliputi minyak sebagai media pendingin dan isolasi yang masih menggunakan bahan mineral tambang. Ketersediaan bahan tambang yang semakin sedikit diproduksi, tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan menyebabkan adanya satu solusi alternatif penggunaan minyak ester sebagai isolasi dan pendinginnya. Minyak ester akan dibuat seoptimal mungkin dengan metode esterifikasi dan diberi pengujian terkait analisa gas yang terkandung antara minyak mineral dengan metode kromatografi gas. Dengan demikian data hasil pengujian akan diinterpretasikan dengan menggunakan software dan dibandingkan antara masing – masing minyak dan kemudian ditarik kesimpulan. Adapun metode interpretasi yang digunakan yaitu *Key Gas Method (KGM)*, *Doernenburg Ratio*

Method (DRM), Rogers Ratio Method (RRM), IEC Ratio Method (IRM), Standard IEEE C57 – 104 tahun 2008, Duval Triangle Method (DTM).

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu:

1. Proses pembentukan minyak ester dan proses esterifikasi secara mekanis.
2. Tugas akhir ini hanya membahas cara pengukuran dan pengujian *DGA (Dissolved Gas Analysis)* pada minyak mineral dan minyak ester alami.
3. Metode yang akan digunakan pada pengujian ini yaitu kromatografi gas.
4. Metode interpretasi data *DGA (Dissolved Gas Analysis)* yang didapat dari hasil pengujian akan digunakan untuk membandingkan sifat gas antara minyak mineral dan minyak ester alami.
5. Tidak membahas analisa kromatografi gas secara proses kimiawi dan hanya membahas berdasarkan proses fisis.
6. Metode interpretasi data yang dihasilkan dari pengujian *DGA (Dissolved Gas Analysis)* berupa metode *Key Gas Method (KGM), Doernenburg Ratio Method (DRM), Rogers Ratio Method (RRM), IEC Ratio Method (IRM), IEEE C57 – 104 tahun 2008, Duval Triangle Method (DTM).*

1.6. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan pemahaman kepada pembaca tentang metode pengujian dan pengukuran *DGA (Dissolved Gas Analysis)*.

2. Memberikan pemahaman kepada pembaca mengenai hasil pengujian tersebut sehingga didapatkan perbandingan kandungan gas antara minyak mineral dan minyak ester.
3. Memberikan pemahaman kepada pembaca mengenai metode yang digunakan dalam menginterpretasi data hasil pengujian tersebut.
4. Dapat menjadi acuan bagi mahasiswa lain dalam menyempurnakan tugas akhir ini.

1.7. Hipotesis

Analisa dan interpretasi data *DGA (Dissolved Gas Analysis)* antara minyak mineral dan minyak ester merupakan salah satu analisa dengan membandingkan 2 buah material isolasi yang digunakan dalam transformator tenaga. Perbandingan data ini nantinya akan disimpulkan. Metode perbandingan dari *interpretasi Key Gas Method (KGM)*, *Doernenburg Ratio Method (DRM)*, *Rogers Ratio Method (RRM)*, *IEC Ratio Method (IRM)*, *Duval Triangle Method (DTM)* antara minyak ester yang berbahan dasar nabati (minyak biji jarak pagar) dan minyak mineral mendapatkan nilai kandungan gas mana yang lebih baik saat minyak dalam keadaan baru maupun yang sudah dipanasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa minyak ester dapat menjadi alternatif isolasi transformator tenaga sesuai standar IEC (International Electrotechnical Commission) 296 tentang kriteria khusus minyak yang layak dijadikan sebagai minyak isolasi transformator.

1.8. Sistematika Penulisan

Laporan akhir ini dibagi menjadi lima bab yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini memaparkan latar belakang, masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi tugas akhir yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode, dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil data simulasi dan pembahasan dari tugas akhir ini.

BAB V. KESIMPULAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan dari tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian, Fungsi dan Prinsip Kerja Transformator Tenaga

Transformator tenaga atau transformator daya merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem penyaluran energi listrik AC (*Alternating Current*). Transformator tenaga memiliki fungsi sebagai penyalur daya dari sumber pembangkitan menuju gardu induk maupun beban. Dalam menyalurkan dayanya transformator tenaga dapat mengubah level tegangan rendah menjadi level tegangan yang lebih tinggi atau sebaliknya. Perubahan level tegangan pada sistem kelistrikan AC dibutuhkan karena keluaran tegangan generator tidak dapat langsung disalurkan ke pusat beban dan sebaliknya baik pada transmisi daya maupun pada distribusi daya elektrik, beban membutuhkan tegangan menengah ataupun rendah sehingga level tegangan harus diturunkan atau dinaikan.

Transformator tenaga memiliki prinsip kerja induksi elektromagnetik Faraday seperti gambar 2.1a dan 2.1b. Gambar 2.1a menunjukkan ilustrasi dari sebuah konduktor yang dialiri arus listrik dan terjadi induksi elektromagnetik. Gambar 2.1b merupakan ilustrasi dari Induksi Faraday pada transformator. Induksi Faraday adalah induksi listrik yang terbentuk akibat arus bolak balik yang meliputi inti besi dengan adanya arus pada inti maka terbentuk medan magnet. Medan magnet yang timbul akibat adanya arus bolak balik dan menghasilkan induksi bersama melalui inti besi. *Fluks* magnetik akan memotong lilitan tembaga sehingga di ujung – ujung

lilitan akan timbul beda potensial. Hubungan antara besar tegangan yang dihasilkan pada output transformator dengan banyak lilitan adalah berbanding lurus dimana semakin banyak lilitan transformator maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Hubungan arus dan tegangan output transformator tenaga adalah berbanding terbalik.

Dimana :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots 2.1$$

V_p = Tegangan input/primer (Volt)

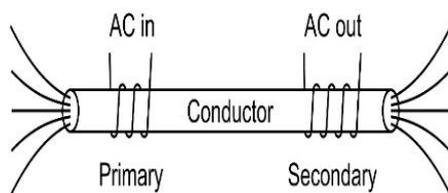
V_s = Tegangan output/ Skunder (Volt)

N_p = Jumlah lilitan primer

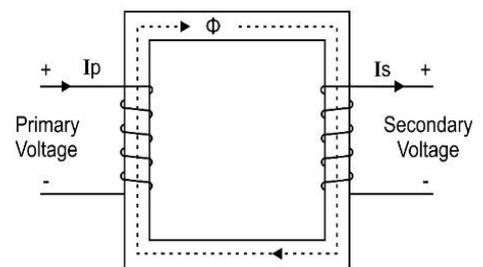
N_s = Jumlah lilitan skunder

I_p = Arus primer (Ampere)

I_s = Arus skunder (Ampere)



Gambar 2.1a. Induksi pada kawat konduktor



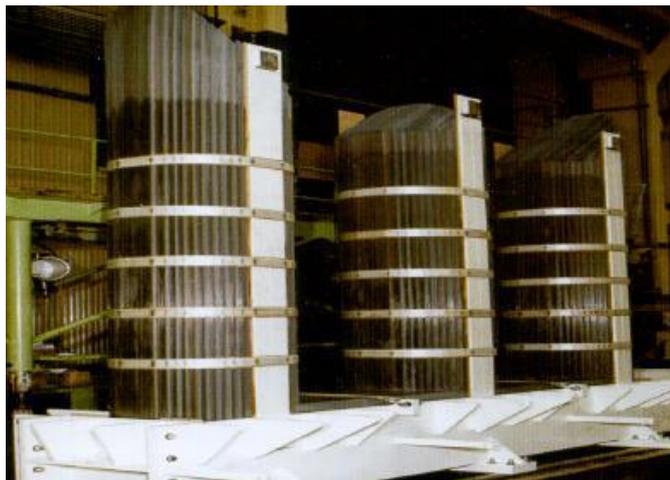
Gambar 2.1b. Induksi pada trafo

2.2. Komponen Utama Transformator Tenaga

Adapun komponen – komponen utama transformator tenaga beserta fungsinya dijelaskan sebagai berikut:

1. Inti Besi

Inti besi merupakan salah satu komponen utama dalam transformator tenaga yang berguna sebagai media perambatan dari fluks magnetik yang dihasilkan akibat adanya arus bolak balik yang mengalir pada transformator seperti gambar 2.2[5]. Sebagai media perambatan fluks, dan dengan sifat fluks magnetik yang cenderung merambat pada permukaan besi, maka inti besi di desain secara berlapis-lapis.

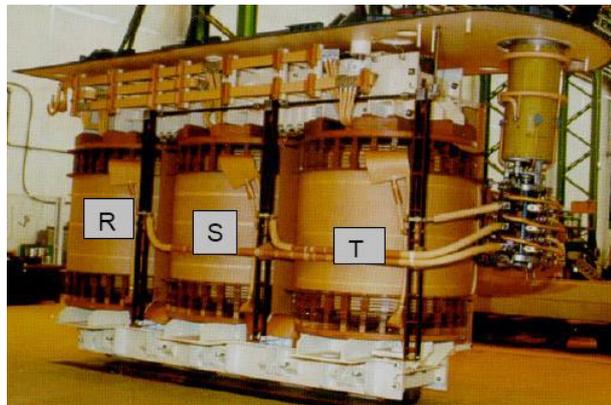


Gambar 2.2. Inti besi[5]

2. Belitan Tembaga

Belitan atau winding merupakan salah satu bagian dari transformator yang terbuat dari kawat tembaga dengan diameter yang disesuaikan dengan kapasitas arus yang hendak disalurkan. Kawat tembaga tersebut dililitkan mengelilingi inti besi transformator. Litatan pada transformator ada dua bagian, belitan primer dan

sekunder. Belitan primer disambungkan dengan sumber daya dan belitan sekunder dihubungkan dengan beban seperti gambar 2.3[5]. Jika pada belitan primer diberi tegangan sehingga mengalir arus, maka pada belitan primer akan dihasilkan fluks magnetik. Fluks magnetik tersebut kemudian akan ditransfer ke belitan sekunder dengan prinsip gandingan elektromagnetik (induksi bersama/*mutual inductance*). Jika belitan sekunder di hubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus sekunder dengan besar yang sesuai dengan perbandingan belitan primer dan sekunder dikalikan dengan besar arus pada belitan primer.



Gambar 2.3. Belitan Transformator tiga fasa[5]

2.3. Pengaruh Pembebanan Transformator Tenaga[6]

Sebagai salah satu peralatan listrik yang beroperasi secara terus menerus atau dibebani setiap saat, transformator tenaga akan mengalami pemanasan. Pemanasan akibat efek pembebanan inilah yang menjadi pengaruh penting operasional transformator tenaga. Beberapa indikator pengaruh normal pembebanan transformator tenaga adalah sebagai berikut :

- Batas Temperatur

Menurut standar ANSI, trafo distribusi modern beroperasi pada 65⁰C maksimum. Rata-rata kenaikan berliku atas suhu udara di lingkungan sekitar adalah 30⁰C di dinilai dari rating kVA. Satu pengecualian untuk ini adalah trafo distribusi submersible atau jenis kubah, di mana kenaikan 55⁰C selama suhu lingkungan sekitar 40⁰C. Suhu minyak *bulk* di dekat bagian atas tangki disebut "*top oil temperature*" yang tidak dapat lebih dari 65⁰C lebih dari suhu lingkungan sekitar dan biasanya suhu lingkungan akan menjadi sekitar 55⁰C lebih, 10⁰C lebih rendah dari kenaikan suhu lilitan transformator.

- Tempat Terjadinya Kenaikan Suhu Terpanas

Lokasi di gulungan trafo yang memiliki suhu tertinggi disebut "tempat terpanas". Standar tersebut mengharuskan bahwa suhu terpanas tidak melebihi 80⁰C dimana kenaikan suhu lingkungan hanya sekitar 30⁰C, atau 110⁰C. Ini adalah suhu yang konstan di rating kVA transformator. Tempat terpanas sangat menarik karena, mungkin ini adalah di mana degradasi termal terbesar dari sistem isolasi transformator akan berlangsung. Parameter yang digunakan untuk perhitungan degradasi ini adalah transien termal, kenaikan suhu *top-oil* melalui udara sekitar dan kenaikan suhu *hottest-spot* pada permukaan minyak.

- Siklus Beban

Jika semua beban distribusi yang konstan, maka menentukan pembebanan tepat transformator akan menjadi tugas sederhana. Beban pada trafo, bagaimanapun, bervariasi melalui jam sehari, hari dalam seminggu, dan melalui musim tahun.

Isolasi penuaan adalah fungsi yang sangat nonlinear suhu yang terakumulasi dari waktu ke waktu. Penggunaan terbaik dari sebuah transformator adalah untuk menyeimbangkan periode singkat suhu tempat terpanas (lilitan transformer) sedikit di atas 110°C dengan periode diperpanjang di tempat terpanas di bawah 110°C . Metode untuk menghitung transformator *loss – of – life* untuk siklus harian yang ada dalam standar ANSI untuk pembebanan (IEEE, 1995). Parameter yang diperlukan untuk membuat perhitungan ini adalah tanpa beban dan beban kerugian, kenaikan suhu *top – oil* , kenaikan *hottest – spot* , dan thermal waktu yang konstan.

- Waktu Suhu Konstan

trafo distribusi yang berisi cairan dapat mempertahankan overloads substansial waktu singkat karena massa dari minyak, baja, dan konduktor membutuhkan waktu untuk datang ke suhu operasi tunak (*steady state*). waktu yang konstan nilai-nilai dapat bervariasi dari dua sampai enam jam, terutama karena perbedaan dalam volume minyak vs permukaan tangk untuk produk yang berbeda.

2.4. Minyak Transformator Tenaga

Salah satu komponen penting dalam transformator tenaga yaitu minyak transformator tenaga. Minyak pada transformator tenaga adalah suatu material isolasi cair dengan viskositas (kekentalan) dan dengan kekuatan dielektrik yang mampu memikul besar tegangan tertentu sekaligus sebagai pendingin saat transformator tenaga beroperasi. Adapun fungsi dari minyak trafo adalah sebagai berikut :

1. Isolasi

Sebagai isolasi berarti minyak transformator sebagai media yang berfungsi memisahkan bagian yang berbeda tegangannya. Minyak trafo yang bersifat cair akan mengakibatkan minyak mampu mengisi rongga yang terdapat di antara kumparan. Minyak isolasi juga memisahkan bagian yang bertegangan dengan tangki transformator. Menurut IEC 296 minyak isolasi memiliki standar tegangan tembus yang berbeda – beda sesuai dengan kelas masing-masing. Kekuatan minyak isolasi juga akan berbeda saat minyak masih murni dengan minyak yang sudah beberapa kali difilter.

2. Pendingin

Jika transformator dibebani maka terdapat arus yang mengalir dalam rangkaian belitan transformator. Arus yang mengalir tersebut bersama-sama dengan medan magnetik yang berubah pada inti transformator akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan dalam proses ini dapat mengakibatkan isolasi kertas dan bahan pelapis lain yang dipergunakan mengisolasi belitan transformator akan terpapar panas yang tinggi. Jika panas yang terjadi sangat tinggi maka isolasi transformator tersebut akan mengalami pemburukan dan dapat bermuara pada kerusakan total isolasi tersebut, sehingga dibutuhkan upaya untuk mengatasi panas tersebut.

Minyak sebagai fluida cair, selain mengisolasi bagian yang bertegangan juga akan mendinginkan transformator. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat alami fluida cair (minyak isolasi) yang mampu menyerap panas yang terjadi saat transformator dibebani. Minyak isolasi juga akan bersirkulasi secara natural ataupun dengan bantuan pengendali lain untuk menyeragamkan panas yang terjadi. Menurut hukum

mekanika fluida, jika terdapat temperatur yang berbeda pada sistem maka fluida akan bersirkulasi dan menukar panas dari tempat yang lebih panas ke lokasi yang memiliki temperatur lebih rendah. Proses pendinginan pada transformator biasanya juga dibantu dengan mempergunakan sirip-sirip yang ditempatkan bersisian dengan tangki transformator. Minyak isolasi yang bersuhu lebih tinggi di dalam tangki transformator akan mengalir ke sirip-sirip pendingin tersebut dan sirip tersebut akan membuang panas pada minyak isolasi ke lingkungan sekitar. Berdasarkan standard *IEC 296*, minyak dapat berfungsi sebagai media penyalur panas dari dalam ke bagian luar sistem dan harus memiliki standar sebagai penghantar panas yang baik dengan viskositas yang rendah.

3. Pelindung

Penyebab dari berlangsungnya reaksi korosi dan oksidasi adalah adanya senyawa oksigen (O_2) dan air (H_2O) dalam material isolasi. Salah satu karakteristik kandungan minyak transformator adalah tidak diperbolehkan adanya kandungan senyawa tersebut sehingga tingkat korosi dan oksidasi pada komponen transformator dapat dikurangi. Hal tersebutlah yang menyebabkan kenapa minyak transformator dapat digunakan menjadi pelindung.

Penjabaran dari salah karakteristik minyak transformator tenaga inilah yang menjadikan minyak memiliki fungsi sebagai pelindung bagian atau komponen transformator dari korosi dan tingkat degradasi isolasi kertas.

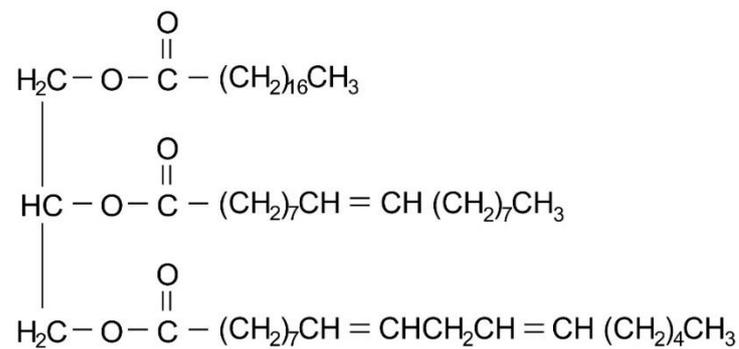
Material minyak transformator tenaga berdasarkan sumbernya dibagi menjadi 2 yaitu minyak mineral (minyak yang berasal dari bahan tambang) dan minyak nabati (minyak yang berasal dari tumbuhan).

2.4.1. Minyak mineral (*Mineral Oil*) pada Transformator Tenaga

Minyak mineral pada transformator tenaga merupakan produk dari penyulingan minyak mentah yang berasal dari tambang. Minyak mineral memiliki ikatan kimia linier dengan struktur ikatan rantai kimia terbuka (misalnya *paraffinic*) atau siklik dengan struktur kimia tertutup (misalnya *cycloaliphatic* atau *aromatic*) dan mengandung senyawa hidrokarbon dengan unsur C (karbon) dan H (hydrogen). Rumus kimia pada minyak mineral (dengan nilai $n = 20$ s.d. 40). Dikarenakan hasil tambang, minyak jenis ini ketersediannya di alam terbilang terbatas dan tidak ramah lingkungan.

2.4.2. Minyak Ester

Minyak ester merupakan salah satu jenis minyak alternatif yang berasal dari tumbuhan. Minyak ini merupakan jenis minyak nabati yang melalui proses esterifikasi. Sebelum minyak ester ini digunakan sebagai minyak isolasi pada transformator, minyak ini berasal dari minyak nabati biji wijen, biji bunga matahari, jarak pagar dll. Salah satu contoh dari ikatan kimia minyak nabati yang berasal dari jarak pagar terlihat dari gambar 2.4.[2]



Gambar 2.4. Struktur molekul minyak biji jarak mentah[2]

Gambar 2.4. menunjukkan adanya ikatan unsur – unsur C, H dan O yang berikatan linear dengan beberapa senyawa seperti $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$ (*Tetradecanoic*) , $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ (*Hexadecanoic*), $\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$ (*Cis-9 Octadecanoic*) dan sebagainya.

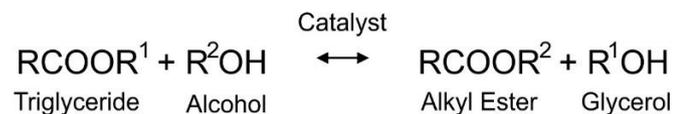
Minyak biji jarak yang mentah ini kemudian diesterifikasi dengan mengganti sebagian grup organik R' dari ester dengan grup organik lain R'' dari alkohol agar menjadi minyak ester. Dimana R merupakan struktur grup dari asam lemak dan tanda aksen merupakan jumlah ikatan tunggal, rangkap 2 atau rangkap 3.

2.4.3. Metode Esterifikasi

Proses esterifikasi merupakan proses pengurangan asam lemak bebas atau *free fatty acid (FFA)* dan mengubahnya menjadi ester. Untuk memproses minyak nabati esterifikasi dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu proses esterifikasi dan proses trans-esterifikasi dimana proses ini merupakan proses perubahan *triglycerides* menjadi *fatty acids methyl esters (FAME)*. Pembuatan minyak metil ester sendiri menggunakan metode trans-esterifikasi.

Metode esterifikasi merupakan proses reaksi alkohol dan asam sebagai katalisnya. Reaksi ini ditentukan berdasarkan rasio masing – masing komponen. Rasio perbandingan metanol dengan minyak adalah 16:1 dan katalis adalah 1% [7].

Metode trans-esterifikasi merupakan metode yang lebih baik dibandingkan dengan metode sebelumnya. Metode ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan katalis atau tanpa katalis. Produk yang dihasilkan dari proses ini disebut metil ester. Katalis yang digunakan proses ini yaitu NaOH. Perbandingan molar minyak dan alkohol adalah 6 : 1 dan 9 : 1 dengan reaksi seperti gambar 2.5 [7].



Gambar 2.5. Reaksi umum proses transesterifikasi [2]

2.4.4. Metode Kromatografi Gas

Minyak mineral dan minyak ester yang akan digunakan dalam transformator, kemudian akan diuji kandungan gasnya. Untuk mengetahui kandungan gas dalam minyak tersebut, masing – masing minyak akan melewati proses uji kromatografi dengan metode kromatografi gas [4]. Kromatografi gas merupakan suatu metode analisa gas dalam material cair.

Metode yang digunakan dalam analisa DGA merupakan metode ekstraksi yang telah dipaparkan oleh standar IEC 60567 [8]. Beberapa metode DGA tersebut merupakan metode ekstraksi minyak dengan gas dan memiliki perbedaan dengan metode

kromatografi gas. Adapun perbedaan dari metode ekstraksi dan kromatografi adalah :

1. *Multi – cycle vacuum (Toepler)*

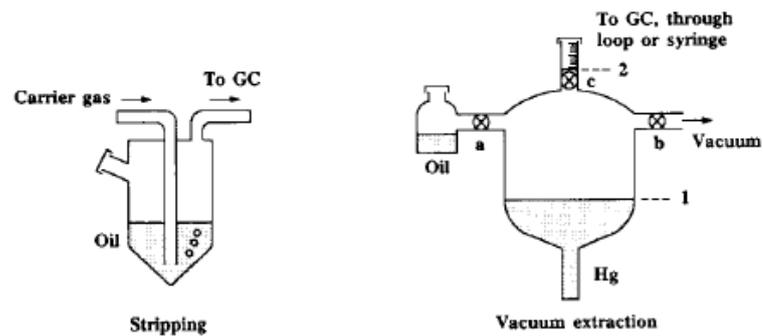
Metode ini merupakan metode yang terdiri dari ekstraksi, di mana gas yang terkandung dalam minyak diekstrak dengan menggunakan pompa vakum. Mekanisme vakum dilakukan berulang – ulang dan metode pengulangan inilah yang mampu mengumpulkan ekstraksi total dan mendeteksi konsentrasi gas yang paling rendah. Biasanya metode ini dapat digunakan oleh berbagai jenis/tipe minyak.

2. *Single-cycle vacuum (Penghilangan Gas Sebagian)*

Metode ini dilakukan dengan satu kali vakum dimana efisiensi dari komponen minyak hanya terlihat dari sifat dan larutannya. Koreksi lengkap dari ekstraksi gas ini dapat dihitung dari koefisien dari gas yang terlarut dari minyak trafo itu sendiri.

3. *Stripping method*

Menurut Duval [9], Metode ini merupakan metode yang mana gas yang terkandung dalam minyak terbawa keluar oleh gelembung gas itu sendiri dengan volume ruang ekstraksi yang sempit. Ekstraksi ini dianggap sebagai total sebagian koefisien yang tidak dipakai seperti yang dijelaskan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Metode ekstraksi gas metode vakum dan *stripping*[9]

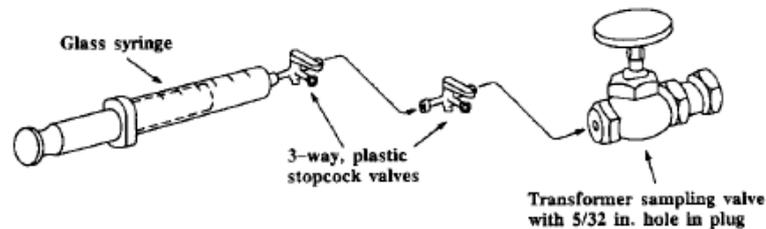
4. *Headspace method*

Headspace method merupakan metode yang memanfaatkan volume kecil minyak yang diletakkan di botol vial yang disegel dalam keadaan kontak dengan gas inert. Sebagian dari gas-gas terlarut dalam minyak ditransfer ke dalam fase gas. Dalam kondisi keseimbangan suhu, tekanan dan agitasi, bagian dari fase gas disuntikkan ke gas kromatografi. Konsentrasi dalam minyak dihitung dengan berarti koefisien partisi. Nilai ini tergantung pada jenis minyak.

2.4.5. Metode Interpretasi Data *DGA (Dissolved Gas Analysis)*

Adanya gejala pada transformator yang beroperasi secara terus menerus dapat menyebabkan kondisi minyak menjadi buruk. Pemburukan ini dapat dikenali dengan salah satu cara yaitu dengan mendeteksi gas yang terkandung dalam minyak. Komposisi gas yang menyebabkan kegagalan (*fault gas*) merupakan gas yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Teknik pengambilan minyak ini pun harus dilakukan dengan benar agar minyak yang akan di tes benar – benar mengandung

komposisi minyak trafo dan belum terkontaminasi gas lain dari luar seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7. Metode Pengambilan Sampel[9]

Teknik ini digunakan pada gambar 2.7. bertujuan agar tidak ada komponen lain yang mencemari minyak trafo yang akan diuji. Setelah sampel minyak diambil maka selanjutnya tes akan dilakukan dan data hasilnya diinterpretasikan. Metode interpretasi data pada analisa *DGA (Dissolved Gas Analysis)* minyak trafo, memungkinkan operator pengelola dan pemeliharaan alat mengetahui kondisi trafo dari analisa *fault gas* yang terkandung dalam minyak. Pada kasus tertentu hasil dari analisa *DGA (Dissolved Gas Analysis)* dapat berupa rekomendasi perawatan pada transformator tersebut.

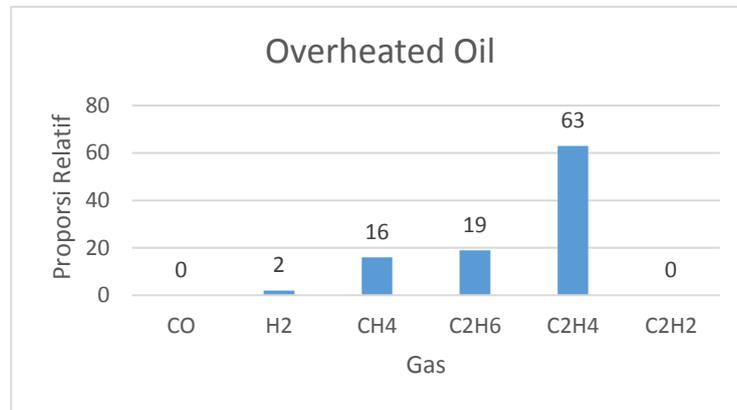
Beberapa metode interpretasi data telah dijelaskan oleh beberapa ilmuan dan dapat dijadikan sebagai metode yang dipakai [10]. Adapun metode yang digunakan untuk menginterpretasi data gas tersebut antara lain :

1. *Key Gas Method (KGM)*

Metode ini merupakan metode interpretasi dengan mengidentifikasi enam macam gas yang terlarut dalam minyak transformator tenaga. Interpretasi dengan metode ini menggunakan konsentrasi keenam gas yang didasarkan oleh analisa para analis.

Adapun grafik dan jenis kegagalan yang ditetapkan menurut standar *key gas* terlihat pada gambar 2.8 sampai 2.11 yaitu:

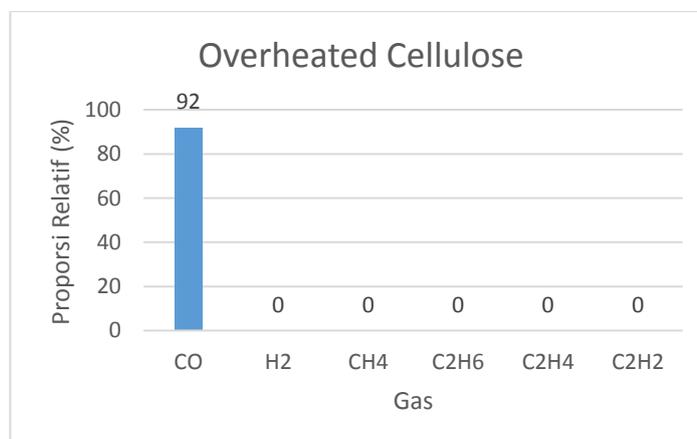
a. Gambar 2.8. kondisi *Overheated Oil*



Gambar 2.8. Grafik Standar Keadaan *Overheated Oil* [11]

Gambar 2.8. diatas menunjukkan adanya jenis gas utama berupa **etilen** yang menyebabkan timbulnya panas berlebih pada minyak. Kondisi ini dipengaruhi oleh adanya pemanasan. Pemburukan ini juga disertai dengan adanya penambahan gas etana dan hidrogen. Konsentrasi yang ada pada etilen ini minimal 63% pada gejala pemanasan minyak.

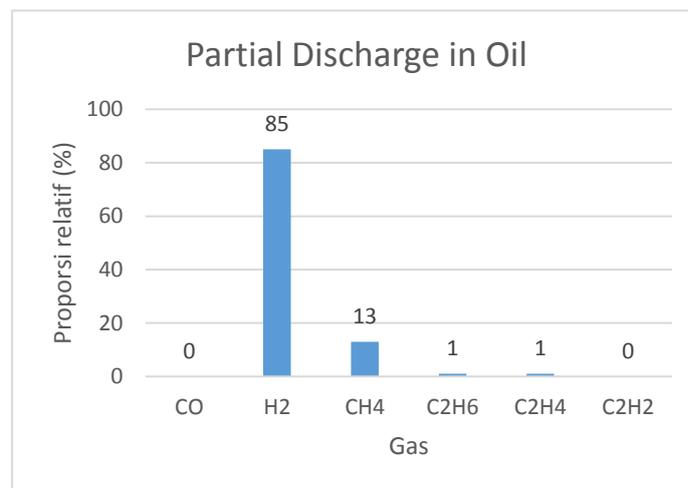
b. Gambar 2.9. *Overheated Cellulose*



Gambar 2.9. Grafik Standar Keadaan *Overheated Cellulose* [11]

Gambar 2.9. menunjukkan adanya adanya gas utama yang terbentuk yaitu **karbon monoksida**. Gas ini terbentuk dengan persentase 92% persen. Angka tersebut menunjukkan bahwa terjadi pemanasan berlebih pada selulosa (isolasi kertas).

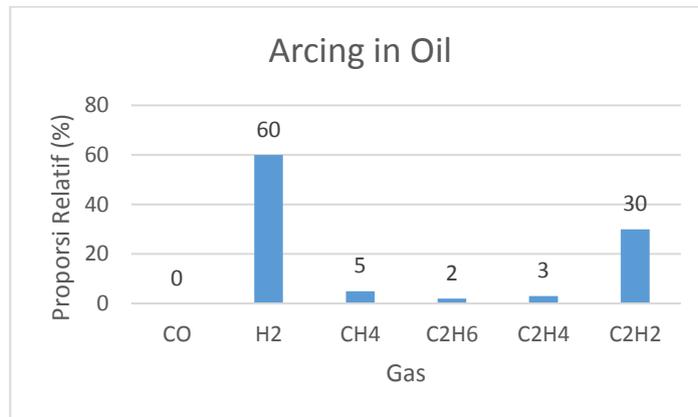
c. Gambar 2.10. Partial Discharge in Oil



Gambar 2.10. Grafik Standar Keadaan *Partial Discharge in Oil*[11]

Gambar 2.10. Menunjukkan adanya gas utama berupa **hidrogen** senilai 85%. Gas tersebut pada metode *key gas* mengindikasikan adanya gangguan listrik berupa *partial discharge*. Partial discharge tipe ini merupakan partial discharge dengan energi rendah. Gas lain juga timbul akibat gejala ini seperti metana, etana dan etilen namun dalam jumlah yang sedikit.

d. Gambar 2.11. Arcing in Oil

Gambar 2.11. Grafik Standar Keadaan *Arcing in Oil*[11]

Grafik ini menunjukkan adanya beberapa gas. Gas utama yang menyebabkan terjadinya arcing menurut metode ini merupakan gas asitilena. Gas ini minimal bernilai 30%. Gas lain juga diproduksi pada saat gejala ini terjadi yaitu hydrogen. Gas lain selain kedua gas tersebut juga ada pada gejala ini seperti metana dan etilen namun dengan kuantitas minor. Dalam kasus ini minyak juga dapat terjadi karbonisasi. Namun dengan mengacu standar dari *IEC*, metode ini hanya terdiri dari 42% saja diagnosis yang benar. Hal ini mengacu pada metode dengan ketelitian analisis.

2. *Doernenburg Ratio Method (DRM)*

Metode ini menggunakan konsentrasi gas untuk mengindikasikan adanya kegagalan dalam minyak transformator. Perbandingan molekul gas dalam rasio ini dibentuk menyerupai batas – batas rasio antara gas tertentu. Rasio gas – gas ini yaitu CH_4/H_2 , $\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$, C_2H_4 , $\text{C}_2\text{H}_6/ \text{C}_2\text{H}_2$. Misalnya terdapat rasio konsentrasi yang yang tidak relevan pada konsentrasi yang di tetapkan, maka minyak tersebut sudah

terjadi fault gas. Diagnosis kesalahan yang muncul pada rentang empat gas tersebut setidaknya muncul salah satu dari keempatnya. Adapun batas konsentrasi gas yang harus memenuhi analisa interpretasi menurut metode *doernburgh* adalah seperti tabel 1. Dan kunci gas standar diagnosa pada ratio doernburgh tertera pada tabel 2.

Tabel 1. Batas Konsentrasi Minimum Rasio *Doernenburg* [11]

<i>Key Gas</i>	<i>Concentration LI (ppm)</i>
Hidrogen (H ₂)	100
Metana (CH ₄)	120
Karbon monoksida (CO)	350
Asitelen (C ₂ H ₂)	1
Etilana (C ₂ H ₄)	50
Etana (C ₂ H ₆)	65

Tabel 2. Kunci Gas Standar Metode Rasio Doernburgh[11]

<i>Suggested fault Diagnosis</i>	<i>Ratio R1 (CH₄/H₂)</i>		<i>Ratio R2 (C₂H₂ / C₂H₄)</i>		<i>Ratio R3 (C₂H₂/ CH₄)</i>		<i>Ratio R5 (C₂H₆/ C₂H₂)</i>	
	<i>oil</i>	<i>Gas space</i>	<i>Oil</i>	<i>Gas space</i>	<i>oil</i>	<i>Gas space</i>	<i>Oil</i>	<i>Gas Space</i>
<i>Thermal Decomposition</i>	>1.0	>0.1	<0.75	<1.0	<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
<i>Partial Discharge (low-intensity PD)</i>	<0.1	<0.01	<i>Not Significant</i>		<0.3	<0.1	>0.4	>0.2
<i>Arcing (high intensity PD)</i>	>0.1 - <1.0	>0.01 - < 0.1	>0.75	>1.0	>0.3	>0.1	<0.4	<0.2

3. Rogers Ratio Method (RRM)

Rogers Ratio Method (RRM) memiliki persamaan diagnosa yang dilakukan dengan Doernenburg Ratio Method (DRM). Perbedaannya itu terletak pada ketelitian dan banyaknya rasio konsentrasi yang akan dianalisa. Rasio gas tersebut antara lain C_2H_4/CH_4 , C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 . Rasio ini sudah dihilangkan dalam revisi standar *IEEE C57.104* dalam hal interpretasi data gas seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Metode Rasio Rogers[11]

<i>Case</i>	<i>R2 (C₂H₂ / C₂H₄)</i>	<i>R1 (CH₄/H₂)</i>	<i>R5 (C₂H₄ / C₂H₆)</i>	<i>Suggested Fault Diagnosis</i>
0	<0.1	>0.1 - <1.0	<1.0	<i>Unit normal</i>
1	<0.1	<0.1	<1.0	<i>Low energy density arcing</i>
2	0.1 – 0.3	0.1 – 1.0	>3.0	<i>Arcing – high energy discharge</i>
3	<0.1	>0.1 - <1.0	1.0 – 3.0	<i>Low temperature thermal</i>
4	<0.1	>1.0	1.0 – 3.0	<i>Thermal <700^oC</i>
5	<0.1	>1.0	>3.0	<i>Thermal >700^oC</i>

4. IEC Ratio Method (IRM)

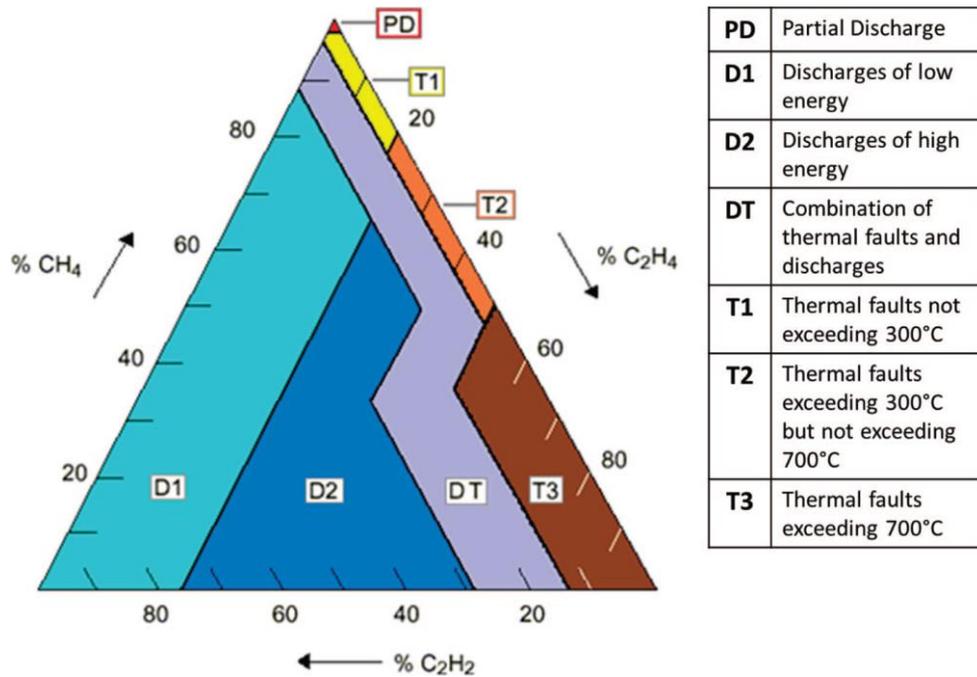
Merupakan metode interpretasi yang sangat sering digunakan dan mengacu pada satandar IEC. Adapun tabel yang menjadi rasio gas standar IEC yaitu terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Metode rasio menurut IEC[12]

No	Jenis Kegagalan	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
1.	<i>Partial Discharge (PD)</i>	NS	<0,1	<0,2
2.	<i>Discharge of Low Energy (D1)</i>	>1	0,1 – 0,5	>1
3.	<i>Discharge of High Energy (D2)</i>	0,5 – 2,5	0,1 – 1	>2
4.	<i>Thermal Fault of Low T°C (T1)</i>	NS	>1	<1
5.	<i>Thermal Fault of Medium T°C (T2)</i>	<0,1	>1	1 – 4
6.	<i>Thermal Fault of High T°C (T3)</i>	0,2	>1	>4

5. Metode Segitiga Duval

Metode ini pertama kali dikemukakan oleh Micheal Duval dengan mengolah data hasil analisa gas ke dalam interpretasi gambar. Representasi gas ini diubah dalam bentuk konsentrasi per tiap persen[13]. Metode ini menggunakan tabel rasio IEC dimana konsentrasi per tiap persen gas dibentuk dalam sumbu – sumbu segitiga. Adapun gambaran umum dari segitiga duval terlihat pada gambar 3. Beberapa gas yang dijadikan sumbu segitiga ini adalah metana, asitilen dan etilen. Pada jurnal yang dipublikasikan oleh M. Duval pada tahun 1989, gas seperti etilen dapat menyebabkan titik panas (hot spot) pada suhu 150⁰C – 1000⁰C. Sedangkan asitilen menyebabkan terjadinya arcing pada transformator tenaga.[9]



Gambar 2.12. Segitiga Duval [10]

Adapun bentuk formulasi matematis perhitungan persentasi gas yaitu [7] :

$$CH_4\% = \frac{100x}{x+y+z} \text{ untuk } x = [CH_4] \text{ dalam ppm} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$C_2H_4\% = \frac{100y}{x+y+z} \text{ untuk } y = [C_2H_4] \text{ dalam ppm} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$C_2H_2\% = \frac{100z}{x+y+z} \text{ untuk } z = [C_2H_2] \text{ dalam ppm} \dots\dots\dots (2.3)$$

Segitiga duval ini sendiri dibentuk berdasarkan percobaan ribuan sampel minyak dari berbagai kondisi minyak pada transformer tenaga. Penyusunan kondisi ini interpretasikan pada titik koordinat pembentuk segitiga. Adapun koordinat pada zona segitiga duval ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 5. Koordinat Sumbu Segitia Berdasarkan Persen Gas [13]

Area	Points	CH ₄ (%)	C ₂ H ₄ (%)	C ₂ H ₂ (%)
PD	PD1	98	2	00
	PD2	100	00	00
	PD3	98	00	2
D1	D11	0	0	100
	D12	0	23	77
	D13	64	23	13
	D14	87	00	13
D2	D21	00	23	77
	D22	0	71	29
	D23	31	40	29
	D24	47	40	13
	D25	64	23	13
DT	DT1	00	71	29
	DT2	00	85	15
	DT3	35	50	15
	DT4	46	50	4
	DT5	96	00	4
	DT6	87	00	13
	DT7	47	40	13
	DT8	31	40	29
T1	T11	76	20	4
	T12	80	20	00
	T13	98	2	00
	T14	98	00	2
	T15	96	00	4
T2	T21	46	50	4
	T22	50	50	00
	T23	80	20	00
	T24	76	20	4
T3	T31	00	85	15
	T32	00	100	00
	T33	50	50	00
	T34	35	50	15

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Tugas akhir ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 – Desember 2016. Adapun tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
2. Laboratorium Terpadu Kimia, Jurusan MIPA Kimia, Universitas Lampung.
3. PT. PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat, Depok, Jakarta Timur.
4. PT. PLN (Persero) APP Cawang, Jln. Mayjend Sutoyo no. 1 Jakarta Timur.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu:

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Satu unit Laptop dengan spesifikasi Intel Inside Core I3, prosesor 2.58GHz, dan sistem operasi Windows 8.1 Pro 64 bit sebagai media pengolahan data. | 3. 200 gram KOH PA (pro analysis) |
| 2. Lima liter minyak jarak pagar | 4. NAOH |
| | 5. Methanol |
| | 6. Air Aquades (pure water) |
| | 7. Satu unit Magnetic Stirer |
| | 8. Buret |
| | 9. Corong pemisah |
| | 10. Gelas ukur |

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 11. Gelas becker | 18. Syrenge |
| 12. Timbangan Digital | 19. Oven vakum |
| 13. Termometer | 20. Gelas Stainless |
| 14. Tabung Erlemenyer | 21. Gelas ukur |
| 15. Watch Glass | 22. Selang hisap |
| 16. Corong | 23. Universal Paper |
| 17. Sendok kimia | |

3.3. Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut ini adalah langkah kerja yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir yaitu:

1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari materi yang berkaitan dengan tugas akhir. Materi tersebut berasal dari berbagai referensi atau sumber – sumber ilmiah lainnya seperti jurnal ilmiah, skripsi – skripsi, buku – buku yang terkait dengan tugas akhir.

2. Studi Bimbingan

Penulis juga melakukan studi bimbingan yaitu dengan cara berdiskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing untuk menambah wawasan dan menyelesaikan kendala yang terjadi saat melaksanakan tugas akhir.

3. Pembuatan minyak ester dan persiapan minyak mineral

Pada tahap ini material yang akan dibuat yaitu minyak jarak kemudian diesterifikasi menjadi methyl ester. Minyak mineral disiapkan untuk membandingkan hasil pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis).

4. Pengujian dengan Metode Ekstraksi Gas

Sampel yang telah diberikan perlakuan pemanasan atau gangguan thermal kemudian di pisahkan komponen gas – gas terlarutnya atau diekstraksi. Ekstraksi gas yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode kromatografi gas. Kromatografi gas dipilih karena metode ini sesuai untuk sampel yang berupa cairan dan telah distandarkan oleh standar ASTM D3612 untuk ekstraksi gas pada minyak transformator tenaga. Acuan ekstraksi gas ini juga memberikan beberapa bagian jenis ekstraksi. Ekstraksi tersebut adalah *single cycle vakum*, *multi cycle vacuum*, *stripping* dan *head space method*. Penelitian yang dilakukan penulis hanya menggunakan kromatografi gas dengan metode striping sesuai dengan standar ASTM D3612 metode b.

Pemilihan metode ekstraksi gas secara *stripping* pada penelitian ini didasarkan pada teknik ekstraksi yang sedikit lebih cepat dibandingkan dengan metode ekstraksi lain dan aman secara proses kimia (tidak terdapat bahan kimia yang membahayakan peneliti dan lingkungan) serta dapat digunakan oleh masing – masing sampel baik minyak mineral dan minyak ester.

5. Pengolahan Data Hasil Ekstraksi

Pada tahap ini, penulis melakukan pengujian material dan mengambil data yang nantinya akan diolah dan dianalisa menggunakan perangkat lunak untuk diinterpretasikan. Adapun metode interpretasi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Doernburgh Ratio Method* , *Rogers Ratio*

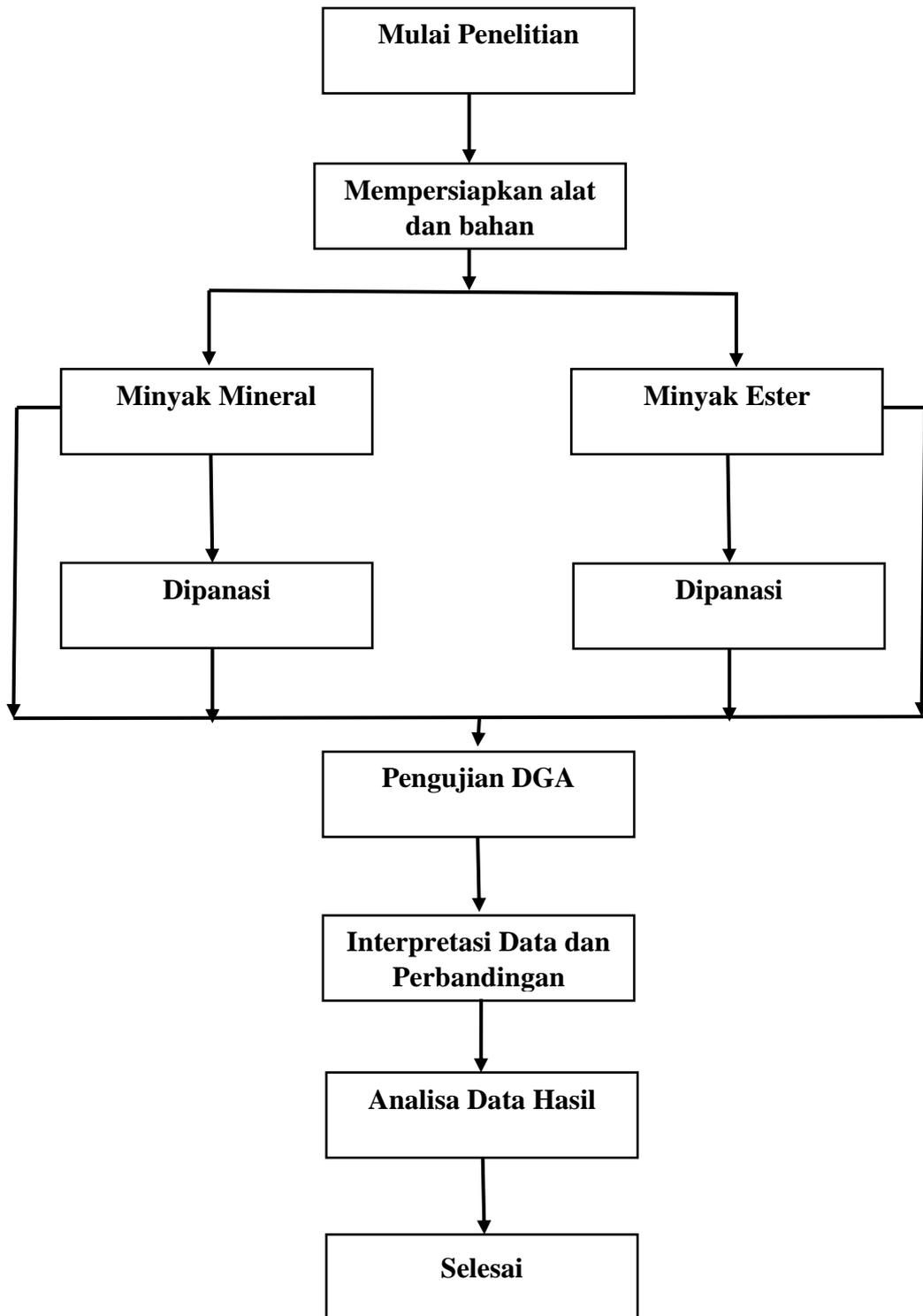
Method, *Keygas Method*, *IEC Ratio Method*, *TDCG Standart IEEE C57 – 104 Method*, *Duval Triangle Method*. Data yang akan digunakan yaitu :

1. Data pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) meliputi C₂H₂ (Asitelen), CH₄ (Metana), C₂H₆ (Etana), C₂H₄ (Etilana), CO (Karbon monoksida), CO₂ (Karbon dioksida), O (Oksigen) dan H₂ (Hidrogen) pada minyak mineral baru.
2. Data pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) meliputi C₂H₂ (Asitelen), CH₄ (Metana), C₂H₆ (Etana), C₂H₄ (Etilana), CO (Karbon monoksida), CO₂ (Karbon dioksida), O (Oksigen) dan H₂ (Hidrogen) pada minyak mineral yang telah dipanasi.
3. Data pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) meliputi C₂H₂ (Asitelen), CH₄ (Metana), C₂H₆ (Etana), C₂H₄ (Etilana), CO (Karbon monoksida), CO₂ (Karbon dioksida), O (Oksigen) dan H₂ (Hidrogen) pada minyak ester baru.
4. Data pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) meliputi C₂H₂ (Asitelen), CH₄ (Metana), C₂H₆ (Etana), C₂H₄ (Etilana), CO (Karbon monoksida), CO₂ (Karbon dioksida), O (Oksigen) dan H₂ (Hidrogen) pada minyak ester yang telah dipanasi. Kemudian data tersebut akan diolah dan diinterpretasikan menggunakan program yang ada.

6. Pembuatan Laporan

Tahap ini berfungsi untuk menuliskan hasil yang telah didapat dan sebagai sarana pertanggungjawaban terhadap tugas akhir yang telah dilakukan. Laporan dibagi kedalam dua tahap, yaitu laporan awal yang digunakan untuk seminar usul dan laporan akhir yang digunakan untuk seminar hasil.

3.4. Diagram Blok Tugas Akhir

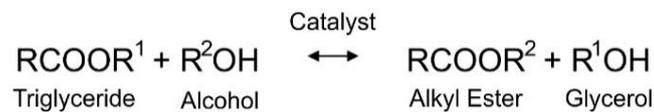


Gambar 3.1. Diagram blok penelitian

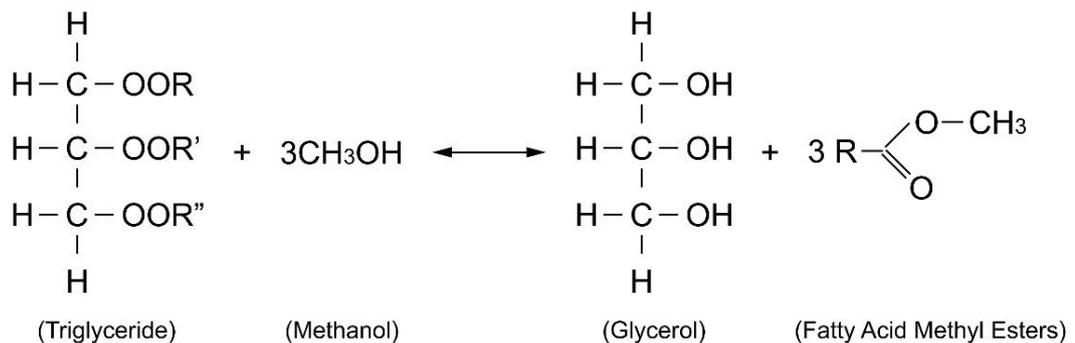
3.5. Pembuatan Minyak Ester

Minyak ester yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan minyak ester yang berasal dari ekstrak biji jarak pagar. Pembuatan minyak ester ini melibatkan proses kimia esterifikasi. Esterifikasi yaitu proses pengurangan ikatan lemak R tunggal dari ester menjadi ikatan R rangkap 2 dari alkohol.

Proses ini sendiri terdiri dari 2 jenis yaitu proses esterifikasi dan trans – esterifikasi. Adapun persamaan reaksi kimia dari esterifikasi seperti gambar 3.1 dan gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Reaksi ester dengan alcohol[2]



Gambar 3.3. Reaksi Triglyceride dan methanol[2]

Dari gambar tersebut maka dalam penelitian ini pembuatan minyak ester akan dilakukan dengan mereaksikan minyak jarak dengan methanol kemudian memberikan katalis berupa basa KOH dan NaOH.

Adapun prosedur dan metode yang dilakukan dalam pembuatan minyak methyl – ester ini adalah sebagai berikut :

1. Proses Netralisasi (Pra – Esterifikasi)

Proses netralisasi dilakukan sebelum proses esterifikasi. Proses ini bertujuan untuk mereduksi kandungan asam lemak bebas (FFA) yang terdapat dalam minyak biji jarak mentah. Adapun tahapan prosesnya yaitu

- a. Memastikan minyak biji jarak mentah dalam kondisi baik (tidak berbau tengik, tidak terlalu kental dan berwarna kuning bening)
- b. Mencampurkan 0,2 N NaOH atau 125 ml air aquades per tiap satu gr NaOH.
- c. Mencampurkan larutan alkali (pada point b) dengan minyak biji jarak mentah kedalam tabung erlemeyer sesuai perhitungan.
- d. Memanaskan dan mengaduk campuran pada point c dengan kecepatan 200 Rpm selama 5 menit dengan suhu 70⁰C.
- e. Setelah pengadukan selesai, kemudian letakkan larutan dalam corong pemisah selama 2 jam.
- f. Proses pemisahan ini akan menghasilkan 2 jenis larutan yang terpisah masing – masing, bagian bawah berupa air dan sabun dan bagian atas merupakan minyak.

2. Proses Pencucian Tahap 1

Proses ini merupakan proses yang dilakukan setelah proses netralisasi. Proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan NaOH yang tersisa pada proses netralisasi sebelumnya. Metode yang digunakan dalam proses ini yaitu metode *stir washing*. Adapun tahapan proses *stir washing* yaitu :

- a. Menentukan takaran air aquades sebanyak 50% volume minyak hasil netralisasi.
- b. Memanaskan air aquades tersebut sampai suhu 50⁰C (hal ini bertujuan agar tidak terjadi penggumpalan larutan saat proses pencucian).
- c. Mencampurkan minyak hasil netralisasi dengan air aquades yang telah dipanaskan.
- d. Melakukan pengadukan selama 5 menit.
- e. Setelah pengadukan selesai, kemudian letakkan larutan dalam corong pemisah selama 2 jam.
- f. Memisahkan larutan, dimana bagian atas merupakan minyak dan bagian bawah merupakan *impurities* (pengotor).
- g. Mengukur tingkat keasaman minyak hasil pencucian dengan universal paper sampai universal paper menunjukkan indikasi netral (pH = 7). Jika tidak menunjukkan indikasi tersebut maka dilakukan proses pencucian ulang.

3. Proses Trans – Esterifikasi

Proses trans – esterifikasi merupakan salah satu proses utama dalam pembuatan minyak methyl ester. Adapun tahapan proses trans – esterifikasi adalah sebagai berikut :

- a. Memastikan minyak dalam keadaan netral ($\text{pH} = 7$), $\text{FFA} \leq 2\%$ dan tidak mengandung *impurities*.
- b. Menentukan takaran methanol sebesar 1 : 6 antara mol minyak berbanding mol methanol.
- c. Menentukan takaran katalis KOH sebesar 4 % dari berat minyak netral.
- d. Mencampurkan larutan KOH dan Metanol kedalam minyak secara perlahan – lahan menggunakan buret.
- e. Mereaksikan larutan tersebut pada suhu 63°C dengan putaran 400 Rpm selama 4 jam.
- f. Setelah pengadukan selesai, masukan larutan dalam corong pemisah selama 2 jam.
- g. Melakukan proses selanjutnya yaitu pencucian tahap 2.

4. Melakukan Pencucian Tahap 2

Proses ini merupakan proses yang dilakukan setelah proses netralisasi. Proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan NaOH yang tersisa pada

proses netralisasi sebelumnya. Metode yang digunakan dalam proses ini yaitu metode *stir washing*. Adapun tahapan proses *stir washing* yaitu :

- a. Menentukan takaran air aquades sebanyak 50% volume minyak hasil netralisasi.
- b. Memanaskan air aquades tersebut sampai suhu 50⁰C (hal ini bertujuan agar tidak terjadi penggumpalan larutan saat proses pencucian).
- c. Mencampurkan minyak hasil trans - esterifikasi dengan air aquades yang telah dipanaskan.
- d. Melakukan pengadukan selama 5 menit.
- e. Setelah pengadukan selesai, kemudian letakkan larutan dalam corong pemisah selama 2 jam.
- f. Memisahkan larutan, dimana bagian atas merupakan minyak dan bagian bawah merupakan *impurities* (pengotor).
- g. Mengukur tingkat keasaman minyak hasil pencucian dengan universal paper sampai universal paper menunjukkan indikasi netral (pH = 7). Jika tidak menunjukkan indikasi tersebut maka dilakukan proses pencucian ulang.
- h. Setelah didapatkan indikasi minyak dalam keadaan netral kemudian masukan minyak dalam oven vakum selama 10 menit dengan suhu 110⁰C (bertujuan untuk menghilangkan kadar air dalam minyak).

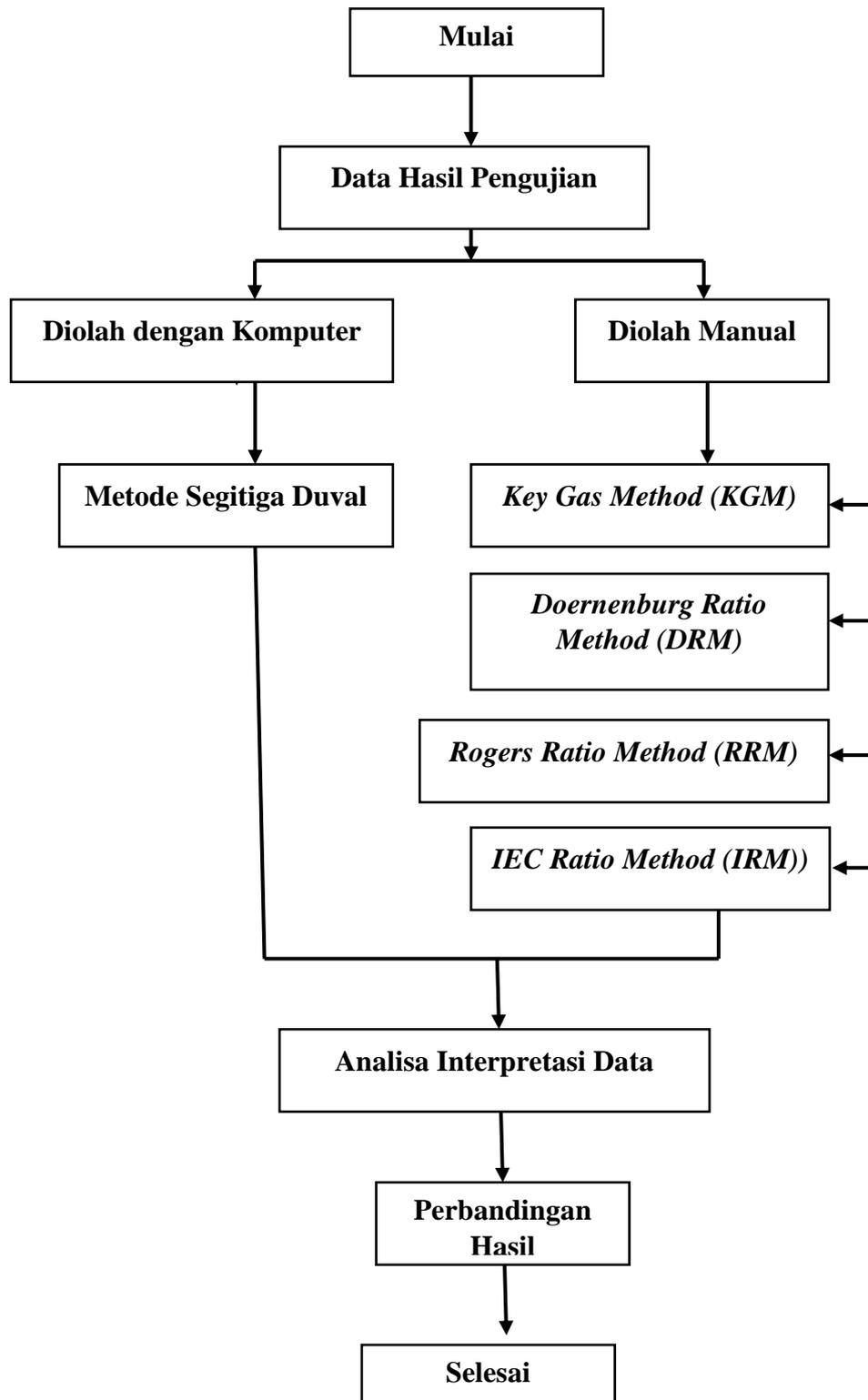
Memastikan ulang minyak hasil esterifikasi (Metil Ester) sesuai dengan standart IEEE C57-147 dan ASTM D6871

3.6. Pengujian, Analisa dan Interpretasi Data

Pengujian dilakukan dengan metode gas kromatografi. Metode ini memungkinkan adanya pemisahan gas yang terkandung dalam cairan. Cairan yang akan dilakukan pengujian merupakan cairan yang terdiri dari 4 sampel masing – masing 12 ml. Adapun cairan sampel ini adalah minyak mineral baru, minyak mineral yang sudah dipanaskan (penuan paksa), minyak ester baru dan minyak ester yang sudah dipanasi (penuan paksa/*thermal fault*). Proses penuan paksa dilakukan dengan cara memanaskan masing – masing sampel minyak. Suhu yang diberikan pada sampel minyak adalah 120⁰C dan dilakukan selama 64 jam.

Analisa akan dilakukan setelah data hasil pengujian didapatkan. Data hasil pengujian akan diinterpretasikan dengan beberapa metode seperti *Key Gas Method (KGM)*, *Doernenburg Ratio Method (DRM)*, *Rogers Ratio Method (RRM)*, *IEC Ratio Method (IRM)*, *Duval Triangle Method (DTM)*. Analisa tersebut kemudian akan dibandingkan per masing – masing sampel.

3.7. Diagram Blok Interpretasi Data



Gambar 3.4. Diagram Blok Interpretasi Data

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang diperoleh pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai data hasil pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) pada sampel minyak mineral baru dan minyak ester baru tidak menunjukkan kegagalan apapun dari keenam metode interpretasi data.
2. Hasil interpretasi data pada metode segitiga duval klasik dan metode *low thermal energy* untuk sampel minyak JMEO dan mineral oil yang sudah dipanasi menunjukkan kegagalan thermal $< 300^{\circ}\text{C}$.
3. Kegagalan thermal yang terjadi pada minyak mineral dan minyak JMEO mengakibatkan gas yang timbul sebagian besar adalah gas CH_4 .
4. Kandungan gas terbesar terdapat pada minyak JMEO yang sudah dipanasi, dimana gas tersebut adalah CH_4 dengan nilai 1406,013 ppm. Kandungan gas ini jauh lebih besar dibandingkan minyak mineral yang sudah dipanasi yaitu 36,408 ppm. Kondisi ini dapat dikatakan kualitas DGA minyak mineral lebih baik dibanding minyak JMEO.
5. Data hasil perbandingan interpretasi pada keempat sampel menunjukkan beberapa gejala yang hampir menyerupai satu sama lain. Dimana hasil

interpretasi dengan metode *keygas*, *rasio rogers*, *rasio doernburg*, rasio IEC dan standar IEEE C57 – 104 tahun 2008 menunjukkan thermal fault.

5.2. Saran

Adapun saran pada penelitian tugas akhir ini diharapkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji lebih dalam tentang standar penelitian terkait perlakuan pemanasan yang diberikan pada minyak seperti waktu dan suhu yang sesuai dengan kondisi transformator tenaga yang sebenarnya.
2. Diharapkan lebih mengkaji lebih dalam pemilihan material, pengkombinasian dan penyempurnaan material tambahan pembentuk JMEO agar DGA (*Dissolved Gas Analisis*) yang ada pada minyak JMEO memiliki sifat yang sama bahkan lebih baik dari minyak mineral.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iwa Garniwa and Galih Ilham Mey, "Analisis Kondisi Minyak Transformator Berdasarkan Uji Parameter Utama," *J. UI*, 2013.
- [2] Henry. B. H. S. Rudy Setiabudy, and Setijo Bismo, "Jatropha Curcas Methyl Ester Oil Obtaining as Vegetable Insulating Oil," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 23, Aug. 2016.
- [3] Micheal Duval, "The Duval Triangle for Load Tap Changers, Non-Mineral Oils and Low Temperature Faults in Transformers," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 24, Nov. 2008.
- [4] Christophe Perrier. Marielle Marugan and Abderrahmane Beroual, "DGA Comparison Between Ester and Mineral Oils," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 19, Oct. 2012.
- [5] Yustinus Pranata Sinuhaji, "Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo." Fakultas Teknik Universitas Jember, 2012.
- [6] James H. Harlow, *Electric Power Transformer Engineering*. CRC Press LLC, 2004.
- [7] Nor Hazwani binti Abdullah, Sulaiman bin Hj Hasan, and Nurrul Rahmah Binti Mohd Yusoff, "Process to Produce Biodiesel Using Jatropha Curcas Oil (JCO)," *Int. J. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1, Dec. 2013.
- [4] IEC 60567, Ed. 3, "Oil filled electrical equipment – Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases." 2005.
- [9] Micheal Duval, "Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 5, Dec. 1989.
- [10] Norhazar Abu Bakar. Abu Siada and S. Islam, "A Review of Dissolved Gas Analysis Measurement and Interpretation Techniques," *IEEE*, vol. 30, Jun. 2014.
- [11] IEEE Standard Association, "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers." 2008.
- [12] Abu Bakar Suleiman and Ali Saed, "DGA Interpretation of Oil Filled Transformer Condition Diagnosis," *Trans. Electr. Electron. Mater.*, vol. 13, Oct. 2012.
- [13] Bandyopadhyay and Sukhbir Singh, "Duval Triangle: A Noble Technique for DGA in Power Transformers," *Int. J. Electr. Power Eng.*, vol. 4, no. 3, 2010.
- [14] "Standard Grade of Transformer Oil Nynas Nytro Lirbra ED.4." www.nynas.co, 2014. Diakses tanggal 28 Desember 2016.
- [15] Mappirat. Ijirana, "Penelitian Pembuatan Metil Ester Asam Lemak Rantai Sedang dan Pemurnian Gliserol dari Minyak Kelapa Murni," *Univ. Tadulaku*.

- [16] Chenmeng Xiang, Zhaotao Zhang, "Comparison of Dissolved Gases in Mineral and Vegetable Insulating Oils under Typical Electrical and Thermal Faults," *Energ. J.*, vol. 9, p. 22, 2016.
- [17] F. F. Andrianasy and Mercredi, "Source Code Matlab.
https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31317-duval-triangle?s_tid=srchtitle. Diakses pada tanggal 22 Desember 2016