



**ANALISIS KELAYAKAN MINYAK TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
AKIBAT PEMBEBANAN MENGGUNAKAN METODE DGA
(DISSOLVED GAS ANALYSIS) DAN BREAKDOWN VOLTAGE**

SKRIPSI

Oleh

Edwin Andi Lelono

NIM 141910201059

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**ANALISIS KELAYAKAN MINYAK TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
AKIBAT PEMBEBANAN MENGGUNAKAN METODE DGA
(*DISSOLVED GAS ANALYSIS*) DAN *BREAKDOWN VOLTAGE***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Edwin Andi Lelono
NIM 141910201059

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2019

PERSEMBAHAN

Pada Kesempatan Kali ini, saya ingin mengucapkan rasa terimakasih yang besar kepada

1. Tuhan Yesus Kristus,
2. Ibu Saya RR.TM Handayani
3. Kedua Kakak saya Alfredo Bayu Satria dan Alfons Erick Perkasa
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko., S.T., M.T. dan Dr. Triwahju H., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi saya,
5. Bapak Suprihadi P., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik saya selama kuliah di Fakultas Teknik Universitas Jember,
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di Fakultas Teknik Universitas Jember, untuk segala Ilmu dan bimbingan selama saya menjadi mahasiswa,
7. Keluarga Besar UKMS Kolang Kaling FT Universitas Jember.,
8. Sahabat saya Pur, Nova, Deny, Fabian, Aziz, Raka, Dhamas, Ujek,
9. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2014 "KETEK UJ" dan seluruh warga Teknik dan semua pihak yang telah membantu.

MOTTO

Diberkatilah orang yang mengandalkan Tuhan, yang menaruh harapannya pada Tuhan!

(Yeremia 17: 7)

Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur.

(Filipi 4 : 6)

Mengeluhlah jika menurutmu itu berat, beristirahatlah jika itu membuatmu lelah, tapi YAKINlah dalam segala hal dan lakukanlah semua itu sampai SELESAI.

(Edwin Andi L.)

Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia.

(Nelson Mandela)

Apabila anda berbuat baik kepada orang lain, maka anda telah berbuat baik terhadap diri anda sendiri.

(Benyamin Franklin)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Edwin Andi Lelono

NIM : 141910201059

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” Analisis Kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Menggunakan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Dan *Breakdown Voltage* ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Januari 2019

Yang menyatakan

Edwin Andi Lelono
NIM 1419102059

SKRIPSI

**ANALISIS KELAYAKAN MINYAK TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
AKIBAT PEMBEBANAN DAN PENUAAN MENGGUNAKAN METODE
DGA (*DISSOLVED GAS ANALYSIS*) DAN *BREAKDOWN VOLTAGE***

Oleh

Edwin Andi Lelono
NIM 141910201059

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko., S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto., S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis Kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Menggunakan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Dan *Breakdown Voltage*" Karya Edwin Andi Lelono telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 5 Desember 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP 19710402 200312 1 001

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 19700826 199702 1 001

Anggota II,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP 19631201 199402 1 002

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

NIP 19690608 199903 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Analisis kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Menggunakan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Dan *Breakdown Voltage*;

Edwin Andi Lelono, 141910201059; 2018; 64 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam teknik tegangan tinggi, hal yang paling vital dalam sebuah peralatan adalah system isolasi. Apabila system isolasi buruk maka akan berdampak buruk juga pada system kerja peralatan tersebut. Di dalam trafo system isolasi dibentuk dari dua bagian penting, yaitu minyak transformator dan kertas selulosa. Ada empat fungsi utama minyak trafo, yaitu sebagai pelindung, insulator, pendingin, dan pelarut gas.

Minyak sebagai pendingin adalah mengambil panas yang ditimbulkan sewaktu trafo berbeban lalu melepaskannya. Minyak sebagai pelindung adalah melindungi komponen-komponen dalam trafo dari korosi dan oksidasi. Dan minyak juga melarutkan gas-gas hasil dari proses pemburukan minyak dan isolasi kertas. Di dalam pengoperasiannya transformator minyak (*oil immersed*), menghasilkan senyawa-senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan dampak dari gangguan dan ketidaknormalan operasi trafo. Sangatlah penting untuk mendeteksi dan mengenali senyawa-senyawa gas tersebut sebagai dasar untuk mengetahui dampaknya terhadap operasi suatu Trafo.

Salah satu metode indentifikasi kandungan gas adalah *Dissolved Gas Analysis* (DGA) merupakan metode konvensional yang populer untuk mengidentifikasi kandungan gas yang terlarut dalam minyak isolasi. Salah satu tes yang dilakukan untuk DGA adalah dengan tes kromatografi, dengan adanya tes kromatografi ini akan diperoleh jumlah kandungan gas yang terlarut dalam minyak transformator. Hasil tes kromatografi DGA di dapatkan berbagai macam gas yang terkandung pada minyak transformator seperti oksigen (O₂), karbondioksida (CO₂), karbonmonoksida (CO), hidrogen (H₂), etana (C₂H₆), metana (CH₄), etilen (C₂H₄), dan asetilen (C₂H₂). Gas yang dihasilkan diukur dalam satuan ppm (part

per million). Sedangkan pengujian DGA pada setiap minyak isolasi transformator hanya untuk mengetahui keadaan minyak isolasi pada setiap transformator, analisis hasil DGA yang dilakukan dalam pengujian hanya mempertimbangkan hasil *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) Tanpa mempertimbangkan jenis dan konsentrasi gas-gas lain yang terkandung dalam minyak isolasi transformator seperti gas hidrogen, metana, etana, etilena, asetilena, karbon dioksida dan karbon monoksida.

Senyawa gas yang dilihat dalam metode tersebut adalah senyawa gas yang berbahaya dan yang mudah terbakar, untuk itu dilihat total gas yang mudah terbakar dalam minyak tersebut untuk menentukan kualitas minyak.

Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis akan membuat suatu penelitian yang mana akan melihat kualitas minyak transformator yang sudah mengaami pembebanan yang berbeda-beda menggunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) untuk melihat kandungan gas dan *breakdown voltage* untuk mengetahui kekuatan dielektrik pada minyak transformator yang dijadikan bahan pengujian dalam penelitian.

. Dari proses kerja transformator selalu menimbulkan temperature yang tinggi, dari suhu panas yang ditimbulkan dari pembebanan dan faktor yang lain akibat proses kerja transformator menimbulkan kandungan gas kimia yang menyebabkan minyak transformator mudah terbakar. Penelitian kali ini menggunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan *Breakdown Voltage*. Analisis kualitas minyak pada metode DGA menggunakan interpretasi data TDCG, didapatkan nilai dari total gas yang mudah terbakar pada minyak jenis APAR tahun 2007 yaitu sebesar 1890.53 ppm, dari hasil TDCG tersebut adalah nilai yang paling baik daripada jenis APAR tahun 2016, tetapi masih masuk dalam golongan waspada dekomposisi isolasi.

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, karena berkat dari perlindungan, kasih, penyertaan dan kuasa Tuhan sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian saya yang berjudul “ Analisis Kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Menggunakan Metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) Dan *Breakdown Voltage* “ yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Sarjana Strata 1 Teknik Elektro.

Pada Kesempatan Kali ini, saya ingin mengucapkan rasa terimakasih yang besar kepada

1. Tuhan Yesus Kristus, untuk segala cinta kasihNya dan untuk setiap penyertaan dan perlindungan yang selalu tepat pada waktunya,
2. Ibu Saya RR.TM Handayani, yang telah membesarkan, merawat, menasihati, mendukung dan selalu mendoakan saya dengan penuh cinta kasih dan perjuangan yang begitu keras sehingga saya bisa ada sampai sekarang,
3. Kedua Kakak saya Alfredo Bayu Satria dan Alfons Erick Perkasa, untuk semua dukungan, kasih sayang dan doa kepada saya, dan selalu menjadi panutan saya dalam hidup,
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko., S.T., M.T. dan Dr. Triwahju H., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi saya,
5. Bapak Suprihadi P., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik saya selama kuliah di Fakultas Teknik Universitas Jember,
6. Seluruh Dosen dan Karyawan di Fakultas Teknik Universitas Jember, untuk segala Ilmu dan bimbingan selama saya menjadi mahasiswa,
7. Teman Hidup saya Ester Riyanti Supriadi,
8. Keluarga Besar UKMS Kolang Kaling FT Universitas Jember.,
9. Sahabat saya Pur, Nova, Deny, Fabian, Aziz, Raka, Dhamas, Ujek,
10. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2014 ”KETEK UJ” dan seluruh warga Teknik dan semua pihak yang telah membantu.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
LEMBAR MOTTO	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Transformator	5
2.1.1 Bagian-Bagian Transformator	6
2.2 Minyak Transformator	10
2.2.1 Struktur Minyak Transformator.....	11
2.2.2 Karakteristik Minyak Transformator.....	11
2.3 Sifat-Sifat Kimia Bahan Isolasi Cair	14
2.4 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator	16
2.5 Penuaan (<i>Aging</i>) Isolasi Minyak Transformator	17
2.6 Pengujian Tegangan Tembus	17
2.7 Pengujian Gas <i>Chromatography</i>	18
2.8 Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	19
2.8.1	20

2.9 Mekanisme Pembentukan Gas	23
2.9.1 Dekomposisi Minyak	23
2.9.2 Dekomposisi Isolasi Kertas	23
2.10 Jenis Gangguan Yang Terjadi Pada Transformator	24
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2 Diagram Alir Penelitian	26
3.3 Alat Dan Bahan Pengujian Kekuatan Dielektrik Cair	28
3.3.1 Alat Pengujian Kekuatan Dielektrik Cair	28
3.3.2 Rangkaian Pengujian	31
3.3.3 Diagram Alir/ <i>Flowchart</i> Pengujian Tegangan Tembus	32
3.4 Alat Dan Bahan Pengujian DGA	34
3.4.1 Alat Uji DGA.....	34
3.4.2 Prosedur Kerja DGA	35
3.5 Rumus Dasar Pengujian	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	40
4.1.1 Pengujian DGA Pada Minyak APAR Tahun 2007	41
4.1.2 Pengujian DGA Pada Minyak APAR Tahun 2016	44
4.1.3 Parameter Pembanding Untuk Pengujian DGA	47
4.1.4 Analisa Hubungan Pembebanan Dengan Hasil Uji DGA	49
4.2 Pengujian <i>Breakdown Voltage</i> (Tegangan Tembus)	55
4.2.1 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak APAR Tahun 2007	56
4.2.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak APAR Tahun 2016	57
4.2.3 Parameter Pembanding Untuk Hasil Pengujian <i>Breakdown Voltage</i>	58
4.2.4 Analisa Hubungan <i>Breakdown Voltage</i> Dengan Pembebanan	59
4.2.5 Perhitungan Kekuatan Dielektrik.....	60
BAB 5. PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya	5
Gambar 2.2 Inti Besi Transformator	6
Gambar 2.3 Belitan Transformator	7
Gambar 2.4 <i>Bushing</i>	7
Gambar 2.5 Minyak Transformator	8
Gambar 2.6 Konservator	8
Gambar 2.7 Tempat Minyak Isolasi Pada Trafo	9
Gambar 2.8 NGR (<i>Neutral Grounding Resistor</i>).....	10
Gambar 2.9 Elektroda Untuk Mengukur Tegangan Tembus	18
Gambar 2.10 Langkah Pengujian DGA	20
Gambar 2.11 Segitiga Duval	22
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Transformator <i>Step-Up</i>	28
Gambar 3.3 Panel Kontrol	29
Gambar 3.4 Multimeter.....	29
Gambar 3.5 Mangkok Pengujian.....	30
Gambar 3.6 Elektrode Setengah Bola.	30
Gambar 3.7 Tongkat Pentanahan.	31
Gambar 3.8 Rangkaian Pengukuran kekuatan dielektrik.....	31
Gambar 3.9 <i>Flowchart</i> Tegangan Tembus.....	33
Gambar 3.10 <i>Syringe</i>	34
Gambar 3.11 <i>Vial</i>	35
Gambar 3.12 Alat Uji DGA dengan <i>Gas Chromatography</i>	35
Gambar 3.13 Struktur <i>Gas Chromatography</i>	36
Gambar 4.1 <i>Sample</i> Minyak Trafo Yang Akan Diuji	41
Gambar 4.2 Spesifikasi Transformator Voltra 20 KV	42
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Jumlah Gas Uji DGA dengan Jumlah Gas ppm Standart Pada Minyak APAR 2007	43
Gambar 4.4 Spesifikasi Transformator Trafoindo 20 KV	44

Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Jumlah Gas Uji DGA dengan Jumlah Gas ppm Standart Pada Minyak APAR 2016	46
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Jumlah Gas Uji DGA dengan Jumlah gas ppm standart Minyak APAR tahun 2008	48
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Gas H ₂ dengan persentase pembebanan	50
Gambar 4.8 Grafik Parameter Pembanding Gas H ₂ Untuk Hasil Uji DGA dari Minyak Trafo Godean	50
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Gas CO ₂ dengan persentase pembebanan	51
Gambar 4.10 Grafik Parameter Pembanding Gas CO ₂ Untuk Hasil Uji DGA dari Minyak Trafo Godean	51
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Gas CH ₂ dengan Persentase Pembebanan	52
Gambar 4.12 Grafik Parameter Pembanding Gas CH ₂ Untuk Hasil Uji DGA dari Minyak Trafo Godean	52
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Gas CO dengan Persentase Pembebanan	53
Gambar 4.14 Grafik Parameter Pembanding Gas CO Untuk Hasil Uji DGA dari Minyak Trafo Godean	53
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Gas C ₂ H ₆ dengan Persentase Pembebanan	54
Gambar 4.16 Grafik Parameter Pembanding Gas C ₂ H ₆ Untuk Hasil Uji DGA dari Minyak Trafo Godean	54
Gambar 4.17 Thermoeter Ruangan Digital	55
Gambar 4.18 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak jenis APAR tahun 2007.....	56
Gambar 4.19 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak jenis APAR tahun 2016	57
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan <i>Breakdown Voltage</i> dengan Persentase Pembebanan	59
Gambar 4.21 Grafik Parameter Pembanding <i>Breakdown Voltage</i>	60
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kekuatan Dielektrik Minyak dengan TDCG	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Minyak Isolasi Menurut IEC 60296-2003.....	14
Tabel 2.2 Standart <i>Dielectric Strength</i> Minyak Isolasi.....	18
Tabel 2.3 Jenis Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Transformator.....	19
Tabel 2.4 Batas Konsentrasi Gas Terlarut Berdasarkan IEEE std.C57-104.1991 .20	
Tabel 2.5 Tabel Jenis Kegagalan Menurut Analisis <i>Key Gas</i>	21
Table 2.6 Tabel <i>Ratio Roger's</i>	22
Tabel 4.1 Persentase Pembebanan Minyak Transformator.....	39
Tabel 4.2 Standart Batas Konsentrasi Gas Terlarut Berdasarkan IEEE std.C57-104.1991.....	40
Table 4.3 Hasil Pengujian DGA Pada Minyak APAR Tahun 2007	42
Table 4.4 Hasil Pengujian DGA Pada Minyak APAR Tahun 2016	45
Table 4.5 Hasil Pengujian DGA pada Minyak APAR 20 KV tahun 2008	47
Tabel 4.6 Perbandingan Persentase Pembebanan Dengan TDCG	49
Tabel 4.7 Data Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak APAR 2007.....	57
Tabel 4.8 Data Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak APAR 2016.....	58
Tabel 4.9 Data pengujian Tegangan Tembus Pada minyak Trafo Gombong 30 KV Sebagai Parameter Pembanding.....	59

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri dan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat harus diimbangi dengan sumber energi yang memadai. Pada saat ini listrik merupakan salah satu bagian penting dalam kehidupan sehari-hari baik dalam sektor perindustrian maupun kehidupan masyarakat. Dalam pengolahan menjadi energi listrik, sebagian memakai sumber energi yang bersasal dari mineral bumi, sebagai contoh yaitu batu bara dan minyak bumi. Adapun produk hasil pengolahan minyak bumi dimanfaatkan untuk bahan bakar PLTD dan minyak isolasi untuk transformator. (Rahmawati, 2014)

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan induksi elektromagnetik. Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, sementara kumparan sekunder dalam keadaan tak berbeban, maka pada kumparan tersebut mengalir arus yang disebut arus beban nol (I_0). Arus ini akan membangkitkan fluks bolak-balik pada inti. Fluks bolak-balik ini dilingkupi oleh kumparan primer dan sekunder, sehingga pada kedua kumparan timbul gaya gerak listrik. Jika kumparan sekunder dibebani, maka pada kumparan tersebut mengalir arus sekunder yang besarnya (I_2). Arus sekunder yang akan menimbulkan fluks pada inti trafo yang berlawanan dengan fluks yang ditimbulkan arus I_0 , dengan kata lain menimbulkan demagnetisasi pada inti trafo. Untuk mengimbangnya, maka arus dikumparan primer harus bertambah menjadi I_1 , Gaya gerak listrik pada kumparan akan menimbulkan medan elektrik yang kuat, teristimewa di sekitar belitan kumparan tegangan tinggi. Arus yang mengalir pada kumparan akan menimbulkan rugi-rugi tembaga (i^2r), sedangkan fluks pada inti menimbulkan rugi-rugi arus eddy dan rugirugi histerisis. Kedua rugi-rugi ini disebut rugi-rugi inti. Semua rugi-rugi tersebut akan menimbulkan panas pada isolasi trafo. Selain itu arus pada kumparan akan menimbulkan gaya mekanik, yang dalam keadaan hubung singkat gaya tersebut akan menimbulkan tekanan yang berat pada isolasi

Dalam teknik tegangan tinggi, hal yang paling vital dalam sebuah peralatan adalah sistem isolasi. Apabila sistem isolasi sebuah peralatan buruk

maka akan berdampak buruk juga pada operasi peralatan tersebut. Di dalam trafo, sistem isolasi utama dibentuk dari dua bagian penting, yaitu minyak isolasi dan kertas selulosa. Ada 4 fungsi utama minyak isolasi trafo yaitu sebagai insulator, pendingin, pelindung dan pelarut gas. Sebagai insulator yang dimaksud adalah mengisolasi komponen di dalam trafo agar tidak terjadi loncatan bunga api (*arcing*) atau hubungan pendek akibat tegangan tinggi. Minyak sebagai pendingin adalah mengambil panas yang ditimbulkan sewaktu trafo berbeban lalu melepaskannya. Minyak sebagai pelindung adalah melindungi komponen-komponen dalam trafo dari korosi dan oksidasi. Dan minyak juga melarutkan gas-gas hasil dari proses pemburukan minyak dan isolasi kertas. Di dalam pengoperasiannya transformator minyak (*oil immersed*), menghasilkan senyawa-senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan dampak dari gangguan dan ketidaknormalan operasi trafo. Sangatlah penting untuk mendeteksi dan mengenali senyawa-senyawa gas tersebut sebagai dasar untuk mengetahui dampaknya terhadap operasi suatu Trafo. Minyak isolasi mineral dibentuk dari beberapa molekul hidrokarbon yang mengandung gugus kimia CH_3 , CH_2 dan CH yang dihubungkan oleh ikatan molekul karbon. Pemutusan beberapa ikatan C-H dan C-C dapat terjadi sebagai akibat gangguan elektrik dan thermal, dengan bentuk pecahan kecil yang tidak stabil, dalam bentuk radikal atau ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* atau C^* yang terkombinasi dengan cepat melalui reaksi kompleks menjadi molekul gas seperti Hidrogen (H-H), Methane ($\text{CH}_3\text{-H}$), Ethane ($\text{CH}_3\text{-CH}_3$), Ethylene ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) atau Acetylene ($\text{CH}_3\equiv\text{CH}_3$). Data hasil perhitungan dengan data hasil uji DGA yang menggunakan gas chromatography dan melakukan tindakan yang diambil berdasarkan IEEE std. C57.104-1991. (Agus Pramono, 2016)

Kelangsungan operasi transformator juga sangat bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasinya. Salah satunya adalah kualitas sistem isolasi minyak transformator. Minyak transformator selain berfungsi sebagai isolasi juga sebagai pendingin, serta mempunyai sifat dapat melarutkan gas-gas yang timbul akibat kerusakan sistem isolasi baik isolasi padat (*cellulose*) maupun cair (minyak). Selama transformator beroperasi maka minyak transformator di dalamnya akan

mengalami beban berupa medan listrik dan beban thermal yang berasal baik dari belitan maupun inti trafo. Pemakaian transformator dalam jangka Panjang dapat menyebabkan penurunan kualitas minyak transformator dengan mengukur gas-gas terlarut. Untuk itu diperlukan analisis mengenai kualitas isolasi transformator akibat penuaan dengan mengukur parameter gas terlarut untuk mengetahui kondisi transformator dan menentukan perkiraan sisa umur efektif minyak isolasi transformator. (Hermawan, 2011)

Salah satu metode indentifikasi kandungan gas adalah *Dissolved Gas Analysis* (DGA) merupakan metode konvensional yang populer untuk mengidentifikasi kandungan gas yang terlarut dalam minyak isolasi. Salah satu tes yang dilakukan untuk DGA adalah dengan tes kromatografi, dengan adanya tes kromatografi ini akan diperoleh jumlah kandungan gas yang terlarut dalam minyak transformator. Hasil tes kromatografi DGA di dapatkan berbagai macam gas yang terkandung pada minyak transformator seperti oksigen (O₂), karbondioksida (CO₂), karbonmonoksida (CO), hidrogen (H₂), etana (C₂H₆), metana (CH₄), etilen (C₂H₄), dan asetilen (C₂H₂). Gas yang dihasilkan diukur dalam satuan ppm (part per million). Sedangkan pengujian DGA pada setiap minyak isolasi transformator hanya untuk mengetahui keadaan minyak isolasi pada setiap transformator, analisis hasil DGA yang dilakukan dalam pengujian hanya mempertimbangkan hasil *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) Tanpa mempertimbangkan jenis dan konsentrasi gas-gas lain yang terkandung dalam minyak isolasi transformator seperti gas hidrogen, metana, etana, etilena, asetilena, karbon dioksida dan karbon monoksida.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kelayakan minyak transformator berdasarkan hasil pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dengan interpretasi data TDCG?
2. Bagaimana kelayakan sebuah minyak transformator yang telah mengalami pembebanan yang diukur dengan pengujian DGA dan *Breakdown Voltage*?

3. Bagaimana hubungan kandungan gas dalam minyak transformator dengan besar kekuatan dielektrik minyak ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian yang dilakukan adalah DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dengan interpretasi data TDCG dan pengujian *breakdown voltage*.
2. Pengujian dilakukan hanya sebatas untuk menentukan nilai tegangan tembus, kekuatan dielektrik, kandungan gas dan total gas terlarut yang mudah terbakar yang berada dalam minyak transformator yang diuji
3. Faktor atau parameter lain yang menyebabkan pengaruh terhadap kelayakan minyak isolasi transformator selain pembebanan dianggap tetap.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kandungan gas, total kandungan gas yang mudah terbakar, besar nilai tegangan tembus, dan kekuatan dielektrik pada minyak isolasi transformator menggunakan pengujian *breakdown voltage* dan pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dengan Interpretasi data TDCG .
2. Mengetahui kelayakan minyak isolasi transformator akibat faktor pembebanan suatu minyak transformator.

1.5 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui sebuah kelayakan suatu minyak isolasi transformator yang sudah mengalami pembebanan. Dalam penelitian ini juga dapat mengetahui faktor kegagalan isolasi minyak transformator dilihat dari kandungan gas yang terdapat dalam minyak tersebut.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini, dibuat sebagai bahan dasar acuan penulis untuk melakukan sebuah penelitian tugas akhir. Selain tinjauan pustaka juga sebagai tambahan wawasan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang telah ada sehingga bidang yang akan diteliti akan mengalami perkembangan.

2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial

Penggunaan dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban. Untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain. Untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian. (Rahmawati,2014)

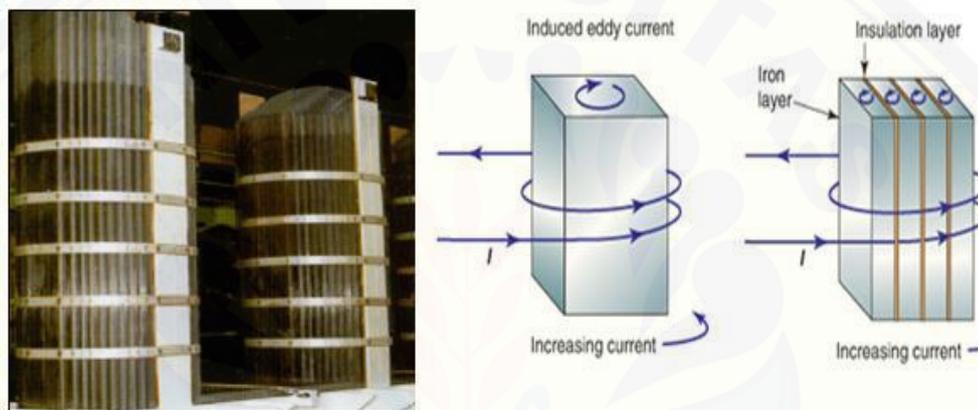


Gambar 2.1 Transformator Daya
(Setiawan Saputra, 2014)

2.1.1 Bagian-Bagian Transformator

1. Inti Besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi *eddy current* yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi - rugi (losses).

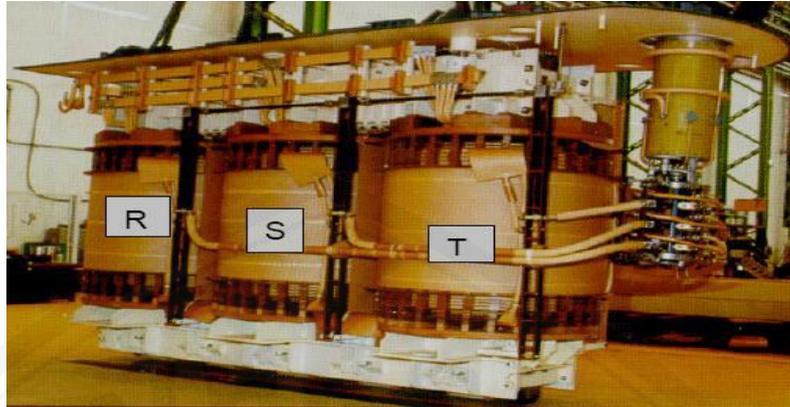


Gambar 2.2 Inti besi Transformator

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

2. Belitan / Kumparan Transformator

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



Gambar 2.3 Belitan Transformator

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

3. *Bushing*

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body main tank* trafo.



Gambar 2.4 *Bushing*

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

4. Minyak Transformator

Minyak didalam transformormator tenaga yang berfungsi sebagai isolasi dan media pendingin



Gambar 2.5 Minyak Transformator

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

5. Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.6 Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe

konservator tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.7 Tempat Minyak Isolasi Pada Trafo
(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

6. *Tap Charger*

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Trafo dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan sehingga dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/ sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/ primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer. Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off Circuit tap changer/ De Energize Tap Charger*).

7. NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada trafo sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah

untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah.



Gambar 2.8 NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

(Sumber : Buku Pedoman Trafo Tenaga, 2014)

2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Sebagai bahan isolasi, minyak transformator harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Selain itu minyak ini berfungsi sebagai media pendingin yaitu untuk mengantisipasi kenaikan temperatur (suhu) pada transformator, adanya kenaikan temperatur yang terlalu tinggi bisa merusak isolasi kertas pada gulungan (*coil*) di dalam transformator, dan suhu yang terlalu panas dapat menurunkan tahanan isolasi yang dapat mengakibatkan hubung singkat antara fasa dengan fasa dan fasa dengan *body* di dalam transformator sehingga dapat kerusakan transformator. Sedangkan fungsi minyak sebagai media isolasi adalah merupakan sesuatu yang mutlak untuk menghindari terjadinya *short circuit* atau hubung singkat di dalam transformator baik antara fasa maupun sisi fasa dengan *body*, dimana hubung singkat tersebut akan mengakibatkan transformator meledak.

2.2.1 Struktur Minyak Transformator

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan organik, misalnya minyak piranol dan silicon, beberapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai di lapangan adalah minyak transformator jenis Diala A, Diala B dan Mectrans. Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon. Yang terkandung dalam minyak transformator ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa di atas, minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut aditif, meskipun sangat kecil. Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa yang hanya mengandung unsur karbon dan hydrogen (C dan H). Senyawa hidrokarbon ini merupakan bagian terbesar dari minyak transformator. Senyawa hidrokarbon alifatik adalah senyawa hidrokarbon dengan struktur rantai karbon terbuka. Senyawa yang termasuk hidrokarbon alifatik, yaitu: 1). Alkana (C_nH_{2n+2}), 2). Alkena (C_nH_{2n}), 3). Alkuna (C_nH_{2n-2}) Senyawa hidrokarbon alisiklik menyatakan adanya rantai lingkaran (siklik), yang memiliki struktur rantai karbon tertutup atau struktur berbentuk cincin. (Adib Chumaidy, 2015)

2.2.2 Karakteristik Minyak Transformator

Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

- 1). Kejernihan (*appearance*) Minyak transformator tidak boleh ada suspensi atau endapan (sedimen),
- 2). Massa jenis (*density*); Massa jenis adalah perbandingan massa suatu volume cairan pada 15,56°C dengan massa air pada volume dan suhu yg sama. Massa jenis minyak transformator lebih kecil dibanding air, oleh karena itu adanya air dalam minyak transformator akan mudah dipisahkan, karena air akan turun ke bawah, sehingga akan lebih mudah dikeluarkan dari tanki minyak transformator,
- 3). Viskositas kinematik (*Kinematic viscosity*); Viskositas merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinyu dan merata tanpa adanya turbulensi dan gaya-gaya lain. Viskositas minyak biasanya diukur dari waktu

alir minyak dengan volume tertentu dan pada kondisi yang diatur. Sebagai media pendingin maka viskositas minyak transformator merupakan factor penting dalam aliran konveksi memindahkan panas. Berdasarkan ASTM D-445 dan IEC 296 A besar kekenyalan minyak atau viskositas kinematik yang dianjurkan adalah 16 cSt pada suhu 400 C. Viskositas kinematik minyak trafo 10/85933 cSt,

4). Titik Nyala (*Flash point*); Ini menunjukkan bahwa minyak dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Titik nyala yang rendah juga menunjukkan bahwa minyak mengandung zat yang berbahaya, seperti zat yang mudah menguap dan terbakar,

5). Titik tuang (*pour point*); Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi,

6) Angka Kenetralan (*neutralization number*); Angka kenetralan dinyatakan dalam mg KOH yang dibutuhkan pada titrasi 1 gram minyak. Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam dan dapat mendeteksi adanya kontaminasi dalam minyak, kecenderungan perubahan kimia atau cacat/indikasi perubahan kimia tambahan. Selain itu angka kenetralan merupakan petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak yang sedang dipakai harus diganti atau diolah kembali dengan melakukan penyaringan,

7). Korosi Belerang (*corrosive sulphur*); Minyak transformator dalam pemakaiannya, secara kontinyu atau terus menerus kontak / terhubung langsung dengan bahan-bahan logam seperti tembaga, besi yang dapat mengalami korosi,

8). Tegangan tembus (*Breakdown voltage*); Tegangan tembus minyak transformator perlu diukur karena menyangkut kesanggupan minyak menahan *electric stress*, tanpa kerusakan. Tegangan tembus dapat diukur dengan cara memasukan 2 buah elektroda bola (setengah bola) ke dalam minyak yang akan diukur. Kalau didapat tegangan tembus yang rendah, maka dapat dikatakan minyak transformator telah terkontaminasi,

9). Faktor kebocoran dielektrik (*dielectric dissipation factor*); Nilai yang tinggi dari faktor ini menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan (*deterioration product*) misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali koloid bermuatan dan sebagainya,

10). Stabilitas / kemantapan oksidasi (*Oxydation stability*); Kestabilan ini penting terutama terhadap oksidasi, sehingga dapat dievaluasi kecenderungan minyak membentuk asam dan kotoran zat padat. Asam dan kotoran zat padat yang terbentuk akibat oksidasi dan akan menurunkan tegangan tembus. Selain itu air dan asam menyebabkan korosi terhadap logam yang ada di dalam transformator, sedang kotoran zat padat akan menyebabkan perpindahan (*heat transfer*) dalam proses pendinginan transformator terganggu,

11). Kandungan air (*water content*); Adanya air dalam minyak menyebabkan turunnya tegangan tembus minyak dan tahanan jenis minyak isolasi dan juga adanya air akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi (*isolasi paper*),

12). Resistans jenis (*resistivity*); Resistans jenis yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi yang bersifat konduktif (*conductive contaminants*),

13). Tegangan permukaan (*interfacial tension*); Adanya kontaminasi dengan zat yang terlarut (*soluble contamination*) atau hasil hasil kerusakan minyak, umumnya menurunkan nilai tegangan permukaan. Penurunan tegangan permukaan juga menurunkan indikator yg peka bagi awal kerusakan minyak,

14). Kandungan gas (*gas content*); (a). Adanya gas terlarut dan gas bebas dalam minyak isolasi dapat digunakan untuk mengetahui kondisi transformator dalam operasi, (b). Adanya gas H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂ menunjukkan terjadinya dekomposisi minyak isolasi pada kondisi operasi, sedangkan adanya CO₂ dan CO menunjukkan adanya kerusakan pada bahan isolasi.

Tabel 2.1 Spesifikasi Minyak isolasi Menurut IEC 60296-2003

No	Sifat Minyak Isolasi	Tegangan Peralatan	Batas yang diperbolehkan	Metode Uji	Tempat Uji
1	Tegangan tembus	> 170 kV 70-170 kV	> 50 kV/2.5 mm	IEC 156 ISO 760	Di tempat/ Lab
2	Kandungan Air	< 70 kV > 170 kV < 170 kV	> 30 kV/2,5 mm < 20 mg/L < 30mg/L	IEC 93 & IEC 250 (90°)	Lab
3	Faktor	All Voltage	< 0,2 - 2,0	IEC 93& IEC 247	Lab
4	Dielektrik Tahanan Jenis	All Voltage	G/mm	IEC 93 & IEC 247	Ditempat/ Lab
5	Angka Kenetralan	All Voltage	< 0,5mg/KOH	IEC 296	Lab
6	Sedimen		Tidak terukur penurunan	IEC 296	Lab
7	Titik Nyala		maximum 15°C	IEC 296	Lab
8	Tegangan Permukaan	> 170kV	>15 x10 ³ Nm ⁻¹	Sedang dikerjakan IEC	Sedang dikerjakan IEC
9	Kandungan Gas			Sedang dikerjakan IEC	Sedang dikerjakan IEC

2.3 Sifat-Sifat Material Bahan Isolasi Cair

1. Sifat Kimia

Minyak transformator diperoleh dengan mengolah minyak bumi. Minyak bumi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda sesuai dengan sumbernya sehingga minyak transformator juga akan memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda pula. Struktur kimia minyak transformator sangat kompleks sehingga sangat sukar untuk mengetahui sifat dan jumlah unsur-unsur kimia yang terkandung didalamnya. Pada umumnya minyak transformator tersusun atas senyawa-senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon.

a. Kandungan Asam

Kandungan asam (Bilangan asam) adalah jumlah miligram *Potassium Hydroxide* (KOH) yang dibutuhkan untuk menitrasi semua unsur-unsur asam yang ada pada 1 gram sampel minyak. Proses oksidasi pada cairan minyak isolasi transformator akan menghasilkan produk-produk dari senyawa asam. Pengukuran berkala keasaman memberikan sebuah cara untuk memonitoring

perkembangan oksidasi. Pembentukan endapan pada transformator yang merupakan hasil akhir dari proses oksidasi sebelumnya didahului oleh penambahan jumlah kandungan asam.

b. Kandungan Gas

Adanya gas terlarut pada minyak di dalam transformator sudah ada sejak minyak masih baru, ada beberapa hal yang mempengaruhi volume gas di dalam minyak salah satunya terjadi karena adanya perubahan suhu, pada temperatur tinggi di dalam minyak trafo, gas-gas tersebut akan mudah terbakar, pada suhu yang tinggi, akibat rugi-rugi yang terjadi didalam transformator. Akibat dari kandungan gas di dalam minyak trafo meningkat sampai menyebabkan kegagalan isolasi.

c. Kandungan Air

Adanya air dalam minyak transformator dapat membahayakan transformator. Kandungan air dan oksigen yang tinggi akan mengakibatkan korosi, menghasilkan asam, endapan dan cepat menurunkan usia transformator. Kandungan air dalam transformator dapat berasal dari udara saat transformator dibuka untuk keperluan inspeksi dan apabila terjadi kebocoran maka uap air akan masuk ke dalam transformator karena perbedaan tekanan parsial uap air.

2. Sifat Fisika

Sifat- sifat fisika minyak transformator yang penting antara lain sebagai berikut :

- a. Kejernihan (*Appearance*)
- b. Mempunyai Massa jenis (*Density*)
- c. Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity*)
- d. Mempunyai Titik Nyala (*Flash Point*)
- e. Mempunyai Titik Tuang (*Pour Point*)
- f. Mempunyai Tegangan Antar Muka (*Interfacial Tension*)
- g. Daya melarutkan (*Solvent Power*).

3. Sifat Listrik

Agar minyak dapat berfungsi dengan isolasi yang baik maka diperlukan adanya perhatian pada sifat listriknya. Karakteristik yang perlu diketahui adalah.

a. Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus adalah tegangan dalam kV yang diperlukan untuk menembus lapisan minyak setebal 1 cm diantara 2 buah elektroda dan dinyatakan dalam kV/cm dalam kondisi suhu kamar. Tegangan tembus yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel yang tidak dikehendaki. Metode uji yang dipakai adalah standar IEC 156

b. Tahanan jenis (*Resistivity*)

Nilai tahanan jenis yang tinggi menunjukkan minyak tidak mengandung bahan-bahan yang bersifat penghantar listrik. Tahanan jenis dari minyak isolasi berhubungan langsung dengan bahan isolasi dari trafo. Bila suhu kerja trafo mengalami kenaikan maka tahanan jenis isolasi minyak akan turun dan juga berhubungan dengan kadar asam, bilamana kadar asam semakin rendah maka tahanan jenis isolasi minyak akan semakin besar.

c. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Faktor kebocoran dielektrik ($\tan \delta$). Karakteristik $\tan \delta$ merupakan alat yang berharga untuk mengevaluasi efisiensi dielektrik dan cukup peka untuk mendeteksi serta menilai kerusakan dielektrik karena telah dipergunakan untuk waktu yang lama.

2.4 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator

Kegagalan isolasi disebabkan oleh pemakaian yang cukup lam serta berkurangnya kekuatan dielektrik karena tegangan lebih.berikut ini dijelaskan beberapa hal yang berpengaruh pada kegagalan minyak transformator :

1. Partikel Padat

Partikel debu yang tercampur dalam minyak lama kelamaan akan terpolarisasi dan membentuk jembatan dimana arus listrik dapat mengalir dan menyebabkan pemanasan didalam tansformator,

2. Uap Air

Didalam minyak trafo terkandung air, air ini jumlahnya akan bertambah banyak seiring pemakaian dan membentuk jembatan dan kanal-kanal dimana akan terpolarisasi dan menyebabkan kegagalan transformator.

3. Kegagalan Gelembung

Didalam minyak terbentuk gelembung-gelembung gas yang terjadi karena dekomposisi pada minyak dan juga adanya pengaruh medan listrik yang kuat antara elektroda sehingga menghubungkan gelembung tersebut hingga membentuk jembatan yang menjadi awal terjadinya kegagalan.

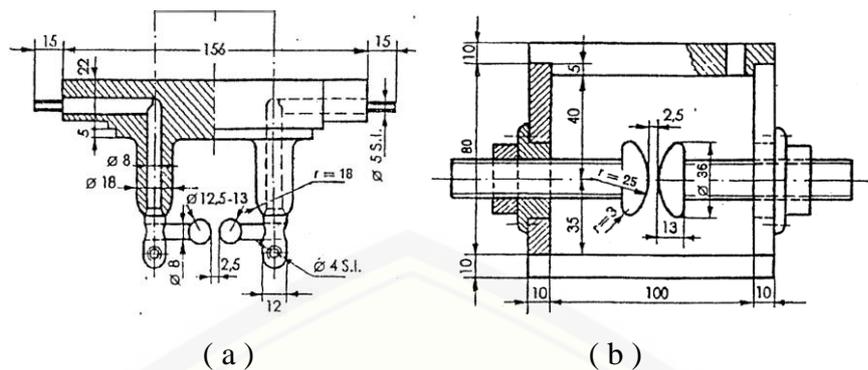
2.5 Penuaan (*Aging*) Isolasi Minyak Transformator

Penuaan isolasi suatu transformator dipengaruhi oleh berbagai faktor yang ditimbulkan selama pengoperasian transformator tersebut. Penuaan atau proses *aging* ini dapat diakibatkan oleh terjadinya pemanasan minyak isolasi, kerusakan yang berkelanjutan dari isolasi minyak dan kertas pada belitan serta pembebanan transformator. Model Penuaan dari isolasi minyak trafo salah satunya dapat didasarkan pada model matematis penuaan termal secara eksponensial.

(Hermawan, 2016)

2.6 Pengujian tegangan Tembus

Standarisasi tingkat internasional dikerjakan oleh komisi teknik IEC. Pada tingkat nasional di Indonesia standarisasi dibuat dan diterbitkan oleh PLN yaitu SPLN yang mengacu pada IEC. Elektroda pada pengujian tegangan tembus pada media isolasi cair yang digunakan adalah pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Elektroda untuk mengukur tegangan tembus (Hanung Sayogi, 2015)

(a) Elektroda bola-bola.

(b) Elektroda setengah bola.

Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan elektroda bola-bola seperti terlihat pada gambar 6.9 (a) dengan diameter 12,5 mm hingga 13 mm atau dengan elektroda setengah bola seperti terlihat pada gambar 6.9 (b) Elektroda yang digunakan dalam pengujian terbuat dari kuningan, perunggu atau stainless stell. Panjang celah antara kedua elektroda adalah $2,5 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$. Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju $2,0 \text{ kV/s} \pm 0,2 \text{ kV/s}$ hingga terjadi tembus.

Tabel 2.2 Standar *Dielectric Strength* Minyak Isolasi

Kategori Tegangan (kV)	Tegangan Tembus (kV/2,5 mm)		
	Baik	Wajar/Cukup	Buruk
500	>60	50 – 60	<50
150	>50	40 – 50	<40
70	>40	30 - 40	<30

2.7 Pengujian Gas Chromatography

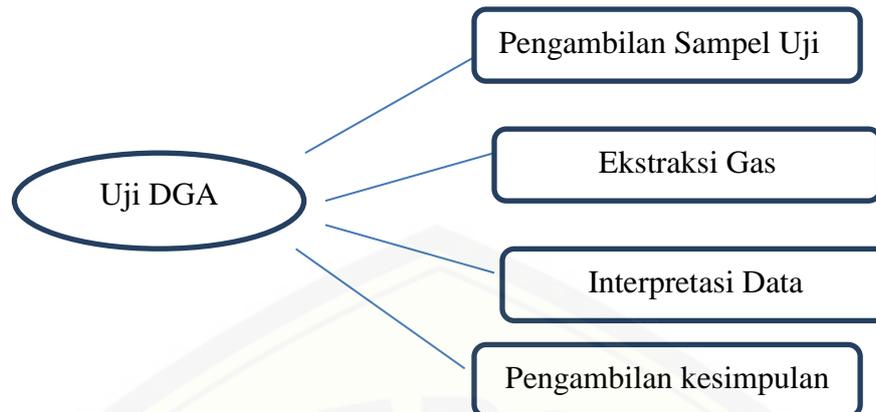
Secara umum, *chromatography* merupakan suatu istilah yang menggambarkan teknik yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari suatu campuran / sampel. *Gas chromatography (GC)*, adalah suatu alat yang digunakan untuk memisahkan dan mendeteksi jenis-jenis gas yang telah diekstrak dari minyak sampel. Dalam minyak transformator terdapat berbagai macam gas, yang terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) dan gas-gas yang tidak mudah terbakar (*uncombustible gas*). Adapun jenis gas yang dapat mempengaruhi kinerja transformator ada 9 jenis seperti yang terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jenis Gas yang Terlarut Dalam Minyak Transformator

Jenis Gas	Simbol	Sifat
Hidrogen	H ₂	Uncombustible
Oksigen	O ₂	Uncombustible
Nitrogen	N ₂	Uncombustible
Metana	CH ₄	Combustible
Karbon Monoksida	CO	Uncombustible
Karbon dioksida	CO ₂	Uncombustible
Etana	C ₂ H ₆	Combustible
Etena	C ₂ H ₄	Combustible
Etuna	C ₂ H ₂	Combustible

2.8 Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Definisi DGA : “ analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo” Pengujian DGA adalah salah satu langkah perawatan preventif (*preventive maintenance*) yang wajib dilakukan dengan interval pengujian paling tidak satu kali dalam satu tahun (*annually*). Dilakukan dengan mengambil sampel minyak dari unit transformator kemudian gas-gas terlarut tersebut diekstrak untuk diidentifikasi komponen-komponen individualnya. Pengujian DGA akan memberikan informasi-informasi terkait akan kesehatan dan kualitas kerja transformator secara keseluruhan. Keuntungan Uji DGA : Deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada transformator yang diujikan Kelemahan Uji DGA : Diperlukan tingkat kemurnian yang tinggi dari sampel minyak yang diujikan. Dalam pengujian DGA ini melihat kandungan-kandungan gas kimia yang terdapat dalam minyak tersebut. Dalam kandungan minyak tersebut ada beberapa kandungan gas yang mudah terbakar, apabila kandungan gas yang mudah terbakar itu melewati batas standart maka akan menyebabkan kerusakan isolasi cair.



Gambar 2.10 Langkah Pengujian DGA

(Sumber : Muhammad Faishal, 2011)

2.8.1 Metode Interpretasi Data Uji DGA

Terdapat beberapa metode untuk melakukan interpretasi data dan analisis seperti yang tercantum pada IEEE std.C57 – 104.1991 dan IEC 60599, yaitu

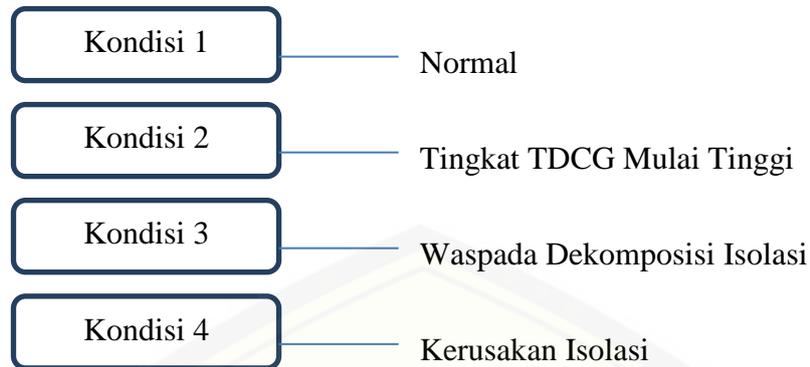
1. Standar IEEE (TDCG)

Analisa jumlah total gas terlarut yang mudah terbakar / TDGC (*Total Dissolved Gas Analysis*) akan menunjukkan keadaan transformator

Tabel 2.4 Batas konsentrasi Gas Terlarut berdasarkan IEEE std.C57-104.1991

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

*) karbondioksida (CO₂) saja yang tidak termasuk kategori TDCG



Standar IEEE akan menetapkan tindakan operasi yang harus dilakukan pada berbagai kondisi.

2. Key Gas

Key gas didefinisikan oleh IEEE std.C57 – 104.1991 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada berbagai temperatur.

Tabel 2.5 Tabel jenis kegagalan menurut analisis key gas

Gangguan	Gas Kunci	Kriteria	Jumlah Prosentase Gas
Busur api (<i>Arcing</i>)	Asetilen (C_2H_2)	Hidrogen (H_2) dan Asetilen (C_2H_2) dalam jumlah besar dan sedikit metana (CH_4) dan etilen (C_2H_4)	Hidrogen (H_2) : 60% Asetilen (C_2H_2) : 30%
Korona (<i>Partial Discharge</i>)	Hidrogen (H_2)	Hidrogen dalam jumlah besar, metana jumlah sedang, dan sedikit etilen	Hidrogen : 85% Metana : 13%
Pemanasan lebih minyak	Etana	Etana dalam jumlah besar dan etilen dalam jumlah kecil	Etana : 63% Etilen : 20%
Pemanasan lebih selulosa	Karbon monoksida	CO dalam jumlah besar	CO : 92%

3. Roger's Ratio

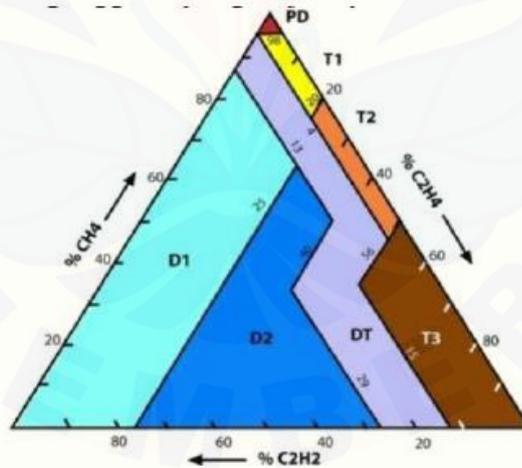
Magnitude ratio lima jenis *fault gas* digunakan untuk menciptakan tiga digit kode. Kode-kode tersebut akan menunjukkan indikasi dari penyebab munculnya *fault gas*.

Tabel 2.6 Tabel Ratio Roger's

Range Code rasio		$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
<0.1		0	1	0
0.1-1		1	0	0
1-3		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, sparking, arcing	1-2	0	1-2
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

4. Segitiga Duval

Segitiga Duval memaparkan analisis tentang konsentrasi gas yang terkandung di dalam minyak dan jenis gangguan yang terjadi pada isolasi minyak.



Gambar 2.11 Segitiga Duval

Keterangan :

PD = Partial discharge

T1 = Low-range thermal fault (below 300°C)

T2 = Medium-range thermal fault (300-700°C)

T3 = High-range thermal fault (above 700°C)

D1 = Low-energy electrical discharge

D2 = High-energy electrical discharge

DT = Indeterminate - thermal fault or electrical discharge

2.9 Mekanisme Pembentukan Gas

2.9.1 Dekomposisi Minyak

Minyak isolasi mineral dibentuk dari beberapa molekul hidrokarbon yang mengandung gugus kimia CH_3 , CH_2 , dan CH yang dihubungkan oleh ikatan molekul carbon. Pemutusan beberapa ikatan C-H dan C-C dapat terjadi sebagai akibat gangguan elektrik dan thermal, dengan bentuk pecahan kecil yang tidak stabil, dalam bentuk radikal atau ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* atau C^* (diantara bentuk lain yang lebih kompleks) yang terkombinasi kembali dengan cepat melalui reaksi kompleks menjadi molekul gas seperti Hidrogen H-H methane $\text{CH}_3\text{-H}$ ethane $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ ethylene $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ atau acetylene $\text{CH}\equiv\text{CH}$. Gas gas tersebut terbentuk larut dalam minyak, atau terakumulasi sebagai gas bebas jika pembentukannya dalam jumlah besar dan waktu yang cepat.

2.9.2 Dekomposisi Isolasi Kertas

Saat terjadi dekomposisi minyak akibat panas, isolasi selulosa menghasilkan CO & CO₂ dan beberapa H₂ dan CH₄ dalam minyak. Tingkat seberapa besar senyawa yang dibentuk tergantung suhu dan volume material pada suhu tersebut.

- Proses over heating Bila selulosa / kertas dipanaskan dengan over heating (paling rendah 140 °C) dalam sistem tertutup sesuai dengan kondisi transformator, maka terjadi penguraian selulosa menjadi gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan H₂O.
- Proses pirolisis Bila selulosa dipanaskan sampai terurai dengan proses pirolisis dan temperatur diatas 250 °C dalam sistem tertutup, maka akan terbentuk lebih

banyak karbon monoksida (CO) dari pada karbon dioksida (CO₂) dengan jumlah kira-kira CO lebih besar empat kali dari CO₂.

2.10 Jenis Gangguan Yang Terjadi Pada Transformator

Pada Komponen yang ada pada transformator antara lain adalah konduktor, bushing, dan isolasi (padat dan cair) dll. Dalam hal ini bahan yang mudah terurai dari transformator adalah bahan organik yang berasal dari bahan isolasi padat dan isolasi cair (minyak), sedangkan bahan anorganik yang berasal dari konduktor, keramik dan logam lain relatif tidak terdekomposisi dalam kondisi operasi transformator. penyebab utama terbentuknya gas-gas dalam kondisi transformator yang selang beroperasi adalah adanya gangguan :

- Partial Discharge yang terjadi pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂). Sedangkan partial discharge yang terjadi pada selulosa menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂), karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO₂).
- Thermal degradation yang terjadi pada minyak transformator, pada temperatur rendah menyebabkan timbulnya gas metana (CH₄) dan etana (C₂H₆), pada temperatur tinggi menyebabkan timbulnya gas etilen (C₂H₄), hidrogen (H₂) dan sedikit gas metana (CH₄) dan etana (C₂H₆). Sedangkan thermal degradation yang terjadi pada selulosa. pada temperatur rendah menyebabkan timbulnya gas karbondioksida (CO₂) dengan sedikit karbon monoksida (CO) dan pada temperatur tinggi menyebabkan timbulnya gas karbonmonoksida (CO) dengan sedikit karbondioksida (CO₂).
- Arcing yang terjadi pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂) dan Asetilen (C₂H₂).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pembahasan pada bab metode penelitian ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu tempat, waktu, mekanisme kerja alat dan mekanisme analisa antenna. Pada penelitian kali ini melakukan dua jenis pengujian yaitu pengujian DGA dan *Breakdown Voltage* pada tiga jenis minyak transformator yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kelayakan dari minyak transformator tersebut akibat pembebanan dan penuaan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian untuk pengambilan data tegangan tembus minyak transformator dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Brawijaya Jalan Veteran, Ketawanggede, Lowokwaru, Kec.Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145. Sedangkan untuk pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dilakukan di laboratorium kimia Universitas Gajah Mada Buluksumur, Caturtunggal, Kec.Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281. Waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih empat bulan, pelaksanaan dimulai pada bulan Juli 2018 sampai Oktober 2018. Berikut adalah tabel jadwal kegiatan penelitian. Pada bulan pertama dilakukan sturi literatur untuk mempelajari teori dan penelitian terdahulu yang bersangkutan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai referensi melakukan penelitian. Kemudian bulan ke dua pada tiga minggu pertama melakukan pengambilan sample minyak transformator pada Pabrik Transformator Distribusi Area Jember. Kemudian pada minggu keempat bulan kedua sampai minggu ketiga bulan ketiga melakukan pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) terhadap *sample* minyak yang sudah diambil. Kemudian pada minggu kedua bulan kedua sampai minggu ketiga bulan ketiga juga dilakukan pengujian tegangan tembus pada *sample* minyak. Setelah semua data terkumpul selanjutnya melakukan penyusunan laporan pembahasan dan kesimpulan pada bulan keempat.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada *Flowchat* menjelaskan alur atau mekanisme dari penelitian, yaitu dimulai dari studi literatur dari penelitian sebelumnya dengan topik yang sama melalui beberapa jurnal sehingga mendapatkan rumusan masalah. Setelah mendapatkan rumusan masalah baru kita akan survey tempat pengujian dan mencari sampel minyak transformator baru. Setelah itu kita akan melakukan pengambilan sampel minyak trafo sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, setelah melakukan proses pengambilan sampel, kita akan mengambil data minyak trafo, data yang diambil disini adalah data tegangan tembus, data DGA, dan data kekuatan dielektrik dari dua minyak dengan pembebanan yang berbeda, dan campuran dari kedua minyak tersebut. Setelah itu, jika sampel yang diambil valid, atau tidak terkontaminasi kita bisa melanjutkan penelitian, jika tidak kita akan kembali untuk pengambilan sampel minyak trafo. Setelah itu kita akan melakukan analisa data tentang gas kimia apa saja yang terkandung didalam minyak trafo tersebut, berapa tegangan tembusnya sehingga kita bisa menganalisa dan melakukan tindakan apa yang harus dilakukan agar tidak terjadi hal yang diinginkan pada transformator. Analisa pada hasil data minyak transformator kali ini juga menganalisa kekuatan dielektrik sebuah isolasi cair dalam hal ini minyak transformator dari faktor pembebanan dan penuaan minyak transformator tersebut. Perhitungan kekuatan dielektrik dalam penelitian kali ini juga dilakukan setelah melakukan pengujian tegangan tembus karena dibutuhkan nilai dari tegangan tembus minyak transformator dan jarak elektroda dari elektroda yang digunakan pada pengujian tegangan tembus. Setelah mendapatkan semua data dan telah dianalisis maka selanjutnya akan dilakukan penyusunan laporan penelitian sebagai tahap akhir penelitian dengan judul Analisis Kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan dan Penuaan menggunakan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan *Breakdown Voltage*. Flowchart alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.

Gambar 3.1 *Flowchart* Diagram Alir Penelitian

Setelah itu semua tahapan pada *flowchart* telah selesai dilakukan dan analisis telah dilakukan maka hasil data yang didapat akan dipadukan dengan teori dan referensi penelitian lain yang telah dilakukan. Apabila hasil yang didapat dari penelitian kali ini sesuai maka penelitian bisa dihentikan dan terus dikembangkan, tetapi jika hasil yang didapat tidak sesuai maka akan dicari kesalahan atau faktor yang membuat hasilnya tidak seperti yang diinginkan.

3.3 Alat dan Bahan Pengujian Kekuatan Dielektrik Cair

Sehubungan dengan telah ditetapkannya 2 jenis materi penelitian yaitu tentang kekuatan dielektrik cair melalui pengujian tegangan tembus minyak transformator dan tentang kandungan gas dalam minyak melalui pengujian DGA, maka peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.3.1 Alat Pengujian Kekuatan Dielektrik Cair

1. Kit pembangkit tegangan *trafo step-up* output 100 kV dan panel kontrol.

Terdiri dari *trafo step-up* dan panel kontrol. *Trafo step-up* mempunyai kapasitas tegangan *output* maksimal 100 kV, berikut gambar *trafo step-up*.



Gambar 3.2 Transformator *Step-up*

Trafo *step-up* digunakan untuk menaikkan tegangan sampai terjadinya tegangan tembus. Panel kontrol untuk menyalakan, mematikan, dan mengatur besarnya tegangan/menaikkan atau menurunkan tegangan, seperti dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Panel kontrol

2. Multimeter.

Multimeter digunakan untuk menampilkan besarnya tegangan primer, dipasang pada sisi primer trafo.



Gambar 3.4 Multimeter

3. Mangkuk pengujian.

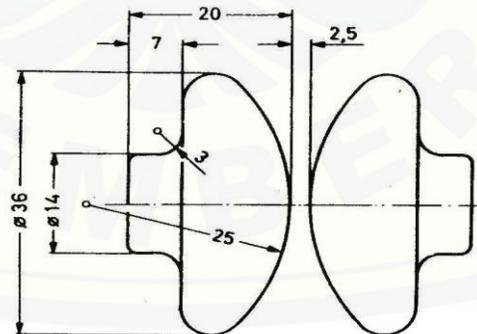
Terbuat dari *fiber glass*, sebagai tempat/wadah untuk menempatkan minyak uji dengan volume sebesar 200 ml, seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.5 Mangkuk Pengujian

4. Elektroda dengan diameter 12.5 mm.

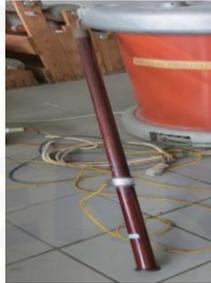
Berjumlah dua, berada di dalam mangkuk pengujian, terbuat dari bahan tembaga, jarak antar elektroda dapat diatur. Elektroda berbentuk bola-bola sesuai dengan standar VDE, elektroda bola berdiameter 12,5 mm.



Gambar 3.6 Elektrode Setengah Bola

5. Tongkat Pentanahan.

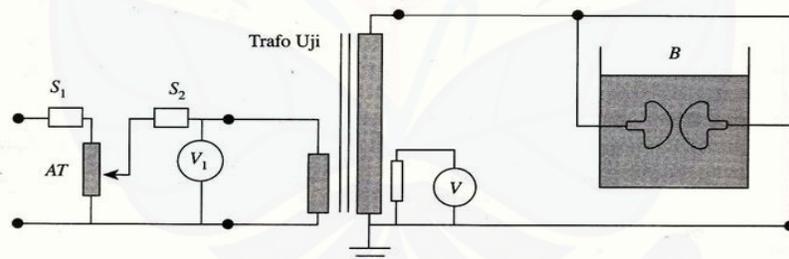
Digunakan untuk membuang tegangan sisa/menetralkan, dengan cara menempelkan ujung tongkat pada trafo *step-up*.



Gambar 3.7 Tongkat pentanahan

3.3.2 Rangkaian pengujian

Rangkaian pengujian pengukuran kekuatan dielektrik bahan cair isolasi transformator dapat digambarkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian pengukuran kekuatan *dielektrik*

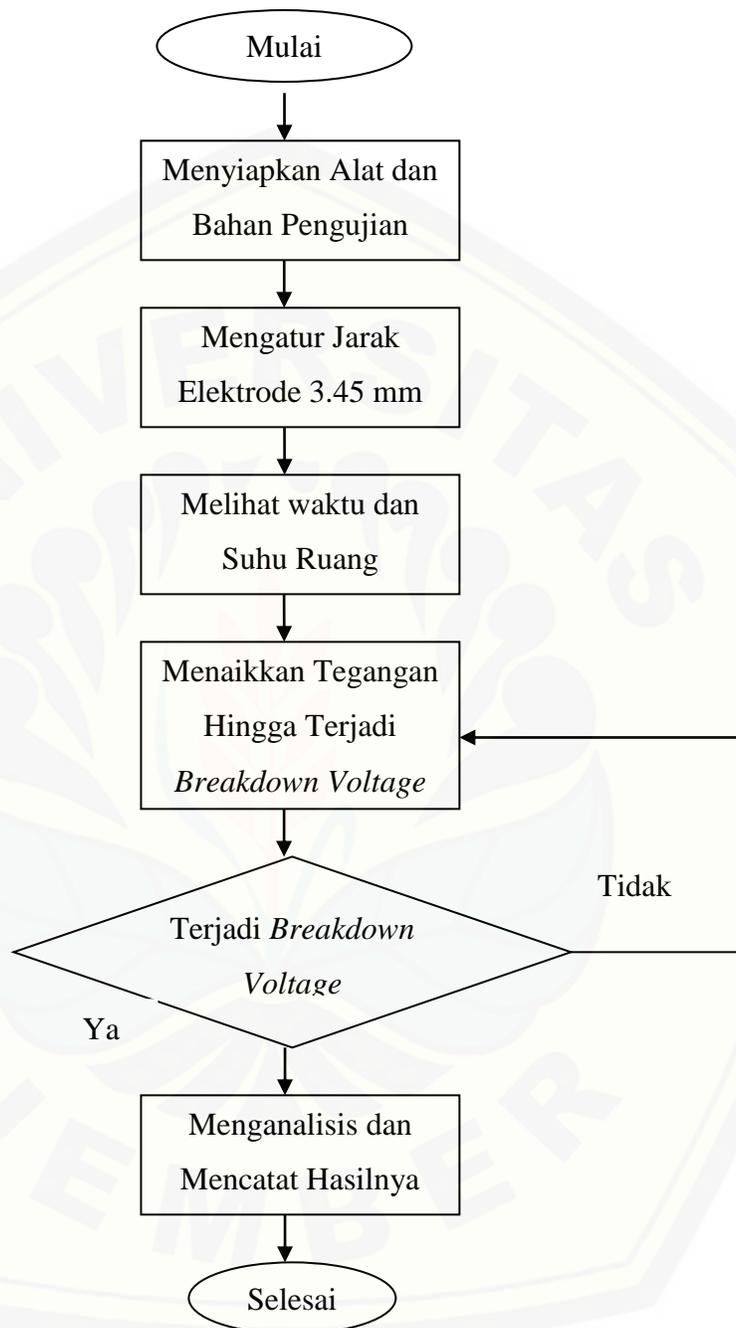
Untuk pengujian ini, satu sampel diambil sebanyak 200 ml setiap bahannya dimasukkan ke mangkuk pengujian. Hal ini dilakukan sedemikian hingga agar bahan uji merendam kedua elektroda. Selanjutnya tegangan elektroda dinaikkan secara bertahap pada autotrafo, dengan dengan laju 2 kV/detik, sampai objek uji mengalami tembus listrik. Hasil pengujian tegangan tembus dicatat pada voltmeter V_1 kemudian hasil tersebut dikalikan dengan 466 yaitu nilai V dari trafo step up. Tegangan listrik

ini membuat elektrode terhubung singkat sehingga hubungan bejana uji dengan sumber tegangan segera diputuskan oleh penghubung daya S₂. Terakhir objek uji yang berada di sela elektrode diaduk dengan sesuatu yang tipis dan bersih untuk mengilangkan gelembung udara yang timbul ketika terjadi tembus listrik.

Demikian seterusnya sampai diperoleh lima nilai tegangan yang menimbulkan tegangan tembus bahan uji. Dalam setiap pengujian diberikan tenggang waktu lima menit untuk melanjutkan pengujian berikutnya. Prosedur pengujian seperti sebelumnya dilakukan kembali untuk sampel baru. Dengan demikian diperoleh 9 nilai tegangan tembus bahan uji. Hasil pengukuran dinyatakan sama dengan nilai rata-rata pada setiap tegangan tembus listrik yang diperoleh.

3.3.3 Diagram Alir/Flowchart Pengujian Tegangan Tembus

Berikut ini diagram pengujian tegangan tembus minyak transformator, diagram alir ini bertujuan untuk memudahkan pembaca dalam memahami tahapan-tahapan yang dilakukan dalam mencari nilai kekuatan dielektrik minyak transformator. Tahapan pertama yang dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan yang dilakukan. Kemudian mengatur jarak antar elektroda yang berada pada gelas pengujian minyak, jarak elektroda yang digunakan pada pada pengujian tegangan tembus kali ini menggunakan jarak 3.45 mm. Kemudian melihat waktu pengujian dan suhu ruang tempat melakukan pengujian menggunakan termometer ruangan. Setelah itu minyak transformator dimasukkan kedalam gelas pengujian kemudian dihubungkan dengan gorund dan fasa, setelah itu menaikkan tegangan hingga terjadi letusan yang menandakan *Breakdown Voltage*. Jika belum terjadi letusan tegangan akan terus dinaikkan.



Gambar 3.9 Flowchart Tegangan Tembus

Setelah semua data tegangan tembus pada ketiga jenis minyak transformator didapatkan maka data akan dianalisa. Setelah dianalisa maka dari nilai tegangan tembus tersebut dapat diari nilai kekuatan dielektrik minyak dengan melakukan perhitungan.

3.4 Alat dan Bahan Pengujian DGA

Pengambilan sampel minyak untuk pengujian *DGA* sangat menentukan kehandalan diagnosa yang akan didapatkan. Ada 3 hal yang perlu diperhatikan untuk pengambilan sampel minyak *DGA* yaitu:

1. Alat yang digunakan untuk mengambil sampel
2. Prosedur kerja *DGA*
3. Cara kerja *DGA* dengan metode *gas chromatography*

3.4.1 Alat Uji DGA

1. *Syringe*

Suntikan dengan wadah berbahan kaca untuk pengambilan sampel minyak. Tujuan penggunaan *syringe* adalah agar minyak tidak terkontaminasi dengan udara luar, dan menghindari hilangnya gas-gas yang terdeteksi dapat mewakili kondisi kandungan gas dalam minyak yang sebenarnya.



Gambar 3.10 *syringe*

2. *Vial*

Botol kimia yang digunakan sebagai tempat sampel minyak alat uji *DGA*.



Gambar 3.11 vial

3. Gas chromatography

Proses pengujian jumlah *fault gas* yang terbentuk akibat ketidaknormalan minyak isolasi akan menggunakan alat uji *DGA* seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.11. Secara garis besar gas-gas yang terlarut dalam minyak isolasi akan diekstrak/dipisahkan dari minyak isolasi itu sendiri terlebih dahulu sehingga nantinya gas tersebut dapat diuraikan dan diketahui jumlah kadarnya.

Gambar 3.12 Alat uji *DGA* dengan *Gas chromatography*

Setelah gas dan minyak terpisah, gas tersebut akan diuraikan kembali berdasarkan jenis gasnya dengan menggunakan metode *chromatography* seperti pada Gas-gas yang telah terurai akan dideteksi oleh detektor berupa sinyal, kemudian sinyal inilah yang nantinya digunakan untuk mengetahui jenis jumlah kadar gas.

3.4.2 Prosedur kerja *DGA*

1. Menyiapkan sampel yang terdapat di *vial*.
2. Penyiapan Instrumen *Gas chromatography (GC)*.

Dilakukan pengesetan terhadap instrumen GC. Tekan tombol “On” pada saklar listrik. Diatur suhu awal yaitu 120°C dan suhu akhir 280°C dengan kenaikan 10°C setiap 2 menit.

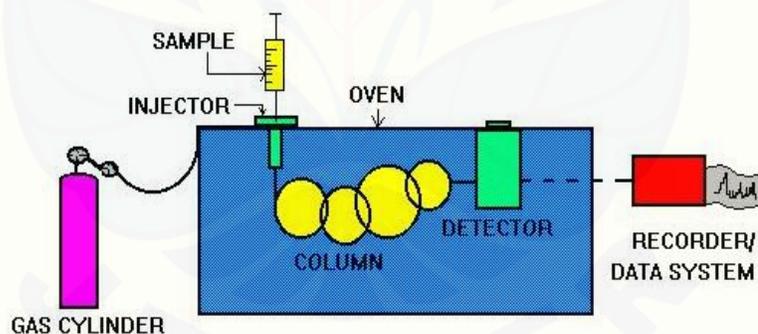
3. Pengukuran terhadap minyak

Diambil minyak sebanyak 0,5 mL larutan minyak dengan menggunakan *syringe* kemudian diinjeksikan pada GC pada *sample injection*

4. Kemudian sampel yang telah berubah menjadi uap, dibawa oleh aliran gas menuju kolom

5. Di dalam kolom, komponen-komponen uap tersebut terabsorpsi oleh fase diam sehingga akan terjadi pemisahan jenis gas.

6. Komponen-komponen yang telah terpisah tadi dapat dideteksi oleh detektor berupa sinyal listrik yang akan diperkuat oleh amplifier sehingga memberikan sinyal yang kemudian dicatat pada *rekorder* dan berupa puncak-puncak (*kromatogram*).



Gambar 3.13 Struktur *gas chromatography*

3.5 Rumus Pengujian

Kekuatan Dielektrik Minyak Transformator

$$KD = \frac{TT}{\text{Jarak Elektroda}}$$

Keterangan :

KD = Kekuatan Dielektrik

TT = Tegangan Tembus

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “Analisis kelayakan minyak transformator disribusi akibat pembebanan menggunakan metode (*Dissolved Gas Analysis*) dan *Breakdown Voltage*” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dua jenis minyak transformator yaitu jenis APAR tahun 2007 dan minyak APAR tahun 2016 memiliki nilai TDCG dari pengujian DGA yang tidak memenuhi ppm standart yaitu sebesar 1890.55 ppm dan 1890.71 ppm.
2. Hubungan antara pembebanan dan TDCG berbanding lurus. Semakin besar pembebanan yang dialami suatu minyak transformator maka jumlah gas terlarut yang mudah terbakar akan semakin besar. jenis minyak APAR 2016 yang berada dalam transformator Trafoindo yang mengalami persentase pembebanan sebesar 87.63 % memiliki nilai TDCG lebih besar daripada minyak APAR 2007 yaitu sebesar 1890.71 ppm dan minyak APAR 2016 juga mempunyai nilai *breakdown voltage* lebih kecil dari minyak APAR 2007 yaitu sebesar 9.7 KV.
3. Nilai kekuatan dielektrik dengan nilai TDCG berbanding terbalik yaitu semakin besar nilai kekuatan dielektrik suatu minyak transformator, maka nilai TDCG akan lebih kecil.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran untuk bisa mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berdasarkan data hasil penelitian yang dilakukan, dapat dianalisa atau diteliti lebih lanjut tentang kualitas minyak transformator menggunakan pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dengan variasi suhu dan menambahkan

interpretasi data yang lain seperti *key gas*, segitiga duval untuk membuat analisis lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Duval, M. 2002. "A Review of Faults Detectable by Gasin-Oil Analisisin Transformers", IEEE Electrical Insulation Magazine, vol 18, pp 8- 17.
- D 3612 – 85 *Standart Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography.*
- IEEE standart C57.104 -1991, *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil – Immersed Transformers*
- Grob, Robert L & Barry, Eugene F. 2004. *Modern Practice of Gas Chromatography*, edisi-4, John Wiley & Sons, Canada
- Chumaidy, Adib. *Analisa Kegagalan Minyak Isolasi Pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut.* Jakarta :ISTN
- Efendi, Budi Lukman. 2011. *Analisa Gas Mudah Bakar Terlarut Pada Minyak Transformator Berdasarkan Faktor Pembebanan Dan Beban harmonik dengan Metode Roger Ratio.* Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok ; Jawa Barat
- Prayoga, Aditya. 2010. *Teknik Tenaga Listrik, Transformer.* Universitas Indonesia, Depok.
- Pharmadhita, Jati. 2009. *Pemodelan Pengaruh Pembebanan Terhadap Temperatur Transformator Daya.* ITB: Bandung
- Sigid, Purnama. 2010. *Pengaruh Pembebanan terhadap Umur Minyak Transformator.* Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.
- Rahmawati. 2014. *Evaluasi Kandungan Gas (DGA) Dengan Metode Kromatografi Gas Terhadap Nilai Tegangan Tembus Pada Minyak Jarak Yang Telah Melalui Proses Transesterifikasi Sebagai Alternatif Minyak Transformator.* Mikrotiga, Vol 1. ISSN : 2355 – 0457.
- Sayogi, H. 2015. *Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum Bidang.* Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.
- Faisha, M. 2011. *Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analysis.* Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.

- Pamudji, Nur. 2014. *Buku Pedoman Trafo*. PLN 113.K/DIR/2010, Jakarta.
- Aulia. 2018. *Pengaruh Penuaan Elektrik Terhadap Karakteristik tegangan Tembus Dan PDIV Minyak Nano Nyas*. Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol 7, no 1. ISSN : 2302 – 2949.
- Pramono. 2018. *Analisis Minyak Transformator Daya Berdasarkan Dissolved Gas Analysis (DGA) Menggunakan Data Mining Dengan Algoritma J48*. Telematika, Vol 9, no 2. ISSN : 2442 – 4528.
- Dwinanto, D. 2016. *Studi Kelayakan Kondisi Minyak Trafo Existing*. Machine, Vol 2, no 1. ISSN : 2581 – 0138.
- Purwiyanto. 2017. *Pengujian Tembus Dielektrik Minyak Jarak Sebagai Alternatif Pengganti Isolasi Pada Minyak Trafo*. Ecotipe, Vol 4, no 2. ISSN : 2335 – 5068.

LAMPIRAN

A. Dokumentasi Bahan dan *Setting* Alat Pengujian DGA



Gambar Bahan *Sample* Minyak Uji DGA



Gambar Alat GC (*Gas Chromatography*)



Gambar *Detector* pengujian DGA



Gambar *Sample* Minyak Uji

B. Dokumentasi Pengujian Tegangan Tembus



Gambar Gelas Pengujian Tegangan Tembus



Gambar Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus



Gambar *Control Desk* (Panel Kontrol)



Dokumentasi Bersama Asisten Laboratorium UB

GCMS-QP2010S SHIMADZU

Kolom : Rtx 5 MS
 Panjang : 30 meter
 ID : 0,25 mm
 Film : 0,25 um
 Gas pembawa : Helium
 Pengionan : EI 70 Ev

Method

[Comment]

==== Analytical Line 1 =====

[GC-2010]

Column Oven Temp. :50.0 °C
 Injection Temp. :300.00 °C
 Injection Mode :Splitless
 Sampling Time :1.00 min
 Flow Control Mode :Pressure
 Pressure :13.0 kPa
 Total Flow :79.3 mL/min
 Column Flow :0.55 mL/min
 Linear Velocity :26.8 cm/sec
 Purge Flow :3.0 mL/min
 Split Ratio :139.0
 High Pressure Injection :OFF
 Carrier Gas Saver :OFF

Oven Temp. Program	Rate	Temperature(°C)	Hold Time(min)
-		50.0	5.00
5.00		280.0	19.00

< Ready Check Heat Unit >

Column Oven : Yes
 SPLI : Yes
 MS : Yes

< Ready Check Detector(FTD) >

< Ready Check Baseline Drift >

< Ready Check Injection Flow >

SPLI Carrier : Yes
 SPLI Purge : Yes

< Ready Check APC Flow >

< Ready Check Detector APC Flow >

External Wait :No
 Equilibrium Time :1.0 min

[GC Program]

[GCMS-QP2010]

IonSourceTemp :250.00 °C
 Interface Temp. :305.00 °C
 Solvent Cut Time :5.00 min
 Detector Gain Mode :Relative
 Detector Gain :+0.00 kV
 Threshold :0

[MS Table]

--Group 1 - Event 1--

Start Time :5.20min
 End Time :70.00min
 ACQ Mode :Scan
 Event Time :0.50sec
 Scan Speed :1250
 Start m/z :28.00
 End m/z :600.00

Sample Inlet Unit :GC

[MS Program]

Use MS Program :OFF