



**ANALISA KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR 70 kV
DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN
TEGANGAN TEMBUS (*BREAK DOWN VOLTAGE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DI PT. PJB UP
BRANTAS SUB – UNIT PLTA MENDALAN**

SKRIPSI

Oleh

Achmad Doni Bait Kholqi

NIM 151910201041

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



**ANALISA KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR 70 kV
DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN
TEGANGAN TEMBUS (*BREAK DOWN VOLTAGE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DI PT. PJB UP
BRANTAS SUB – UNIT PLTA MENDALAN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
Achmad Doni Bait Kholqi
NIM 151910201041

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

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISA KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR 70 kV DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN TEGANGAN TEMBUS (*BREAK DOWN VOLTAGE*) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DI PT. PJB UP BRANTAS SUB – UNIT PLTA MENDALAN”** dan skripsi ini merupakan gerbang awal dalam mencapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Maka dari itu, saya ingin mempersembahkan karya ini kepada :

1. Ibu Lilik Swartiasih dan Ayah Muhammad Imam Suprayogi sebagai orang tua yang telah mendidik sampai dewasa.
2. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing kami selama dibangku perkuliahan. Terutama Dosen Pembimbing Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT dan Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. yang telah membimbing dan meluangkan waktunya untuk membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Saudaraku seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2015 “DISTORSI”.
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Serta semua teman – teman yang telah menemani dalam suka maupun duka.

Kepada semua pihak yang telah membimbing, membantu, maupun sekedar menemani dalam menyelesaikan penelitian ini saya ucapkan banyak terima kasih.

MOTTO

“Dan, sesungguhnya Kami akan memberi balasan kepada orang-orang yang sabar dengan pahala yang lebih baik dari apa yang mereka kerjakan”.

(Q.S. An-Nahl : 96)

Barang siapa yang menempuh jalan untuk mencari suatu ilmu. Niscaya Allah memudahkannya ke jalan menuju surga”.

(HR. Turmudzi)

Barang siapa mengutamakan kecintaan Allah atas kecintaan manusia maka Allah akan melindunginya dari beban gangguan manusia.

(HR. Ad-Dailami)

“Perlu pengorbanan untuk sesuatu hal yang diinginkan. Namun sholat dan doa tetap harus dimunajatkan ke Allah ”

(Achmad Doni Bait Kholqi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Doni Bait Kholqi

NIM : 15191020141

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul :
**“ANALISA KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR 70 kV
DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN
TEGANGAN TEMBUS (*BREAK DOWN VOLTAGE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DI PT. PJB UP
BRANTAS SUB – UNIT PLTA MENDALAN”** adalah benar-benar karya
sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah
diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung
jawab 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi
akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Mei 2019

Yang menyatakan

Achmad Doni Bait Kholqi

NIM 151910201041

SKRIPSI

**ANALISA KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR 70 kV
DENGAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) DAN
TEGANGAN TEMBUS (*BREAK DOWN VOLTAGE*) PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) DI PT. PJB UP
BRANTAS SUB – UNIT PLTA MENDALAN**

Oleh
Achmad Doni Bait Kholqi
NIM 151910201041

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, ST., MT
NIP : 197004041996011001

Dosen Pembimbing Anggota : H.R.B Moch Ghozali, ST., MT
NIP 196906081999031002

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisa Keadaan Minyak Isolasi Transformator 70 kV Dengan Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Dan Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di PT. PJB UP Brantas Sub – Unit PLTA Mendalan” Karya Achmad Doni Bait Kholqi telah diuji dan disahkan pada :

Hari :
Tanggal :
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Ketua,

Anggota I,

Suprihadi Prasetyono, ST., MT
NIP : 197004041996011001

H.R.B Moch Ghozali, ST., MT
NIP 196906081999031002

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP 196104141989021001

Samsul Bachri M., ST., MT
NIP 196906081999031002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Analisa Keadaan Minyak Isolasi Transformator 70 kV Dengan Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Dan Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di PT. PJB UP Brantas Sub – Unit PLTA Mendalan; Achmad Doni Biat Kholqi, 151910201041; 2018; 85 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, 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 (H_2), etana (C_2H_6), metana (CH_4), etilen (C_2H_4), dan asetilen (C_2H_2). 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*.

Dari data nilai pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Transformator 1 PLTA Mendalan sejak tahun 2015 sampai 2019 semua *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) berada pada kondisi I yaitu normal. Namun pada tanggal 11 februari 2015 pada *gas carbon dioxide* bernilai 3483 ppm berarti *gas carbon dioxide* berada pada kondisi II. Mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang

diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 1 masih dalam keadaan baik. Hal ini juga bersesuaian dengan nilai tegangan tembus minyak yang juga masih bagus.

Dari data nilai pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Transformator 3 tahun 2015 sampai 2019, *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) dari tahun 2015 – 2018 berada pada kondisi I yaitu normal. Namun pada tanggal 3 mei 2019 *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) berada pada kondisi III yaitu waspada dimana kandungan gas hydrogen pada saat itu berada pada kondisi III yang disebabkan oleh partial discharge pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂) sehingga muncul *corona* pada minyak isolasi. Mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 3 masih dalam keadaan kurang.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala limpahan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Keadaan Minyak Isolasi Transformator 70 kV Dengan Metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Dan Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Di PT. PJB UP Brantas Sub – Unit PLTA Mendalan”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, disampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak H.R.B Moch Ghozali, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu dan meluangkan waktunya, serta memberikan bimbingan dalam penyusunan penelitian ini.
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT, selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Samsul Bachri M, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah membantu memberikan kritik dan saran yang dapat membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak R. B. Moch. Gozali, ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukakan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Para dosen beserta seluruh staf karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.

6. Ibu Lilik Swartiasih dan Ayah Muhammad Imam Suprayogi, Mas Dandi, Mas Debi tercinta, yang telah mendidik, memberi kasih sayang dan mendoakan.
7. Bapak Moh Mursidin dan Mbak Adelia selaku pembimbing penelitian dilapangan PJB UP Brantas.
8. Saudaraku elektro angkatan 2015 “DISTORSI” terima kasih kalian adalah inspirasi dan penyemangatku.
9. Keluarga Kosan dikala senang dan susah Mas Dwi, Mas Riski, Mas Jefri, Rif'an.
10. Keluarga KKN 167 Pelalangan di kala senang dan susah Yanuar, Indah, Nessa, Bubu, Vivi, David, Ade, Umi dan Audi
11. Semua pihak yang terlibat dalam membantu penyelesaian penelitian ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir agar dapat lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan kedepannya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 28 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vii
HALAMAN PENGESAHAN.....	viii
HALAMAN RINGKASAN	viii
HALAMAN PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Transformator	5
2.1.1 Bagian-Bagian Transformator	6
2.2 Sistem Pendingin	9
2.3 Pemeliharaan Transformator	12
2.3.1 Jenis – Jenis Pemeliharaan	12
2.3.1.1 Pemeliharaan Rutin	13
2.3.1.2 Pemeliharaan Periodik	13
2.4 Minyak Transformator	14
2.4.1 Jenis Minyak Transformator	14

2.4.2 Karakteristik Minyak Transformator	15
2.5 Teori Kegagalan Isolasi Minyak Transformator	18
2.6 DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	19
2.6.1 Metode Intepretasi Data Uji DGA	20
2.6.1.1 Standar IEEE (<i>Institute of Electrical and Engineers</i>).....	20
2.6.1.2. <i>Key Gas</i>	21
2.6.1.3 <i>Roger's Ratio</i>	22
2.6.1.4 <i>Duval Triangle's</i>	23
2.7 Tegangan Tembus	24
2.8 Mekanisme Pembentukan Gas	25
2.8.1 Dekomposisi Minyak	25
2.8.2 Dekomposisi Isolasi Kertas.....	25
2.9 Jenis Gangguan Yang Terjadi Pada Transformator	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat Penelitian	27
3.2 Waktu Penelitan	27
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	28
3.4 Pengujian DGA	30
3.4.1 Alat Uji DGA	30
3.4.2 Prosedur Kerja DGA.....	34
3.4.3 Metode Ekstraksi Gas Photo-Acoustic Spectroscopy (PAS).....	35
3.5 Pengujian Tegangan Tembus.....	37
3.5.1 Alat Uji Teagangan Tembus	38
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Objek Pengujian.....	41
4.2 Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	43
4.2.1 Pengambilan Sample Minyak	43
4.2.2 Analisa Standart IEEE	45
4.2.2 <i>Key's Gas</i>	49
4.2.3 <i>Roger's Ratio</i> (Perbandingan).....	51

4.2.4 Duval Triangle's	55
4.3 Pengujian Tegangan Tembus (Break Down Voltage)	58
4.3.1 Pengujian Tegangan Tembus Pada Transformator 1	59
4.3.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Transformator 3	61
4.4 Perbandingan Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Tahun 2015 – 2019	65
4.5 Perbandingan Pengujian Tegangan Tembus (Break Down Voltage) Tahun 2015 – 2019.....	71
BAB 5. PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya	6
Gambar 2.2 Inti Besi Transformator	7
Gambar 2.3 Belitan Transformator	8
Gambar 2.4 Bushing	8
Gambar 2.5 Minyak Transformator	9
Gambar 2.6 Konservator	9
Gambar 2.7 Tempat Minyak Isolasi Pada Trafo	10
Gambar 2.8 Sirip-sirip Radiator	12
Gambar 2.9 (a) <i>Cooling Fan</i> ; (b) <i>Oil Pump</i>	12
Gambar 2.10 Langkah Pengujian DGA	20
Gambar 2.11 Segitiga Duval	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.1 <i>Syringe</i>	31
Gambar 3.2 <i>Vial</i>	32
Gambar 3.3 Pengaduk Minyak.....	32
Gambar 3.4 Penyaring Udara.....	33
Gambar 3.5 Pipa Silikon	33
Gambar 3.6 DGA Transport X.....	34
Gambar 3.7 Jenis Gas yang Dapat Dideteksi Berdasarkan Kemampuan Penyerapan Radiasi Berdasarkan Berbagai Panjang Gelombang Sinar Infra Merah	37
Gambar 3.8 Ilustrasi Konsep Photo-Acoustic Spectrometer.....	37
Gambar 3.9 Alat Uji Tegangan Tembus	40
Gambar 4.1 Diagram Warna Minyak Mineral	46
Gambar 4.2 Sample Minyak a) Transformator 1 b) Transformator 3.....	46
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Gas Terlarut Transformator 1	48
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Jumlah Gas Uji DGA dengan Jumlah gas ppm standart pada Minyak Transformator 1	49
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Gas Terlarut Transformator 3	49

Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Jumlah Gas Uji DGA dengan Jumlah gas ppm standart pada Minyak Transformator 3.....	51
Gambar 4.7 Hasil Keys Gas Transformator 1.....	52
Gambar 4.8 Hasil Keys Gas Transformator 3.....	53
Gambar 4.9 Hasil Roger Ratio Transformator 1.....	56
Gambar 4.10 Hasil Roger Ratio Transformator 3.....	57
Gambar 4.11 Parameter Duval Triangle	58
Gambar 4.12 Hasil Duval Triangle Transformator 1.....	59
Gambar 4.13 Hasil Duval Triangle Transformator 3.....	60
Gambar 4.14 Suhu transformator 1 saat pengujian.....	62
Gambar 4.15 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak transformator 1.....	62
Gambar 4.16 Hasil Uji Tegangan Tembus Transformator 1	62
Gambar 4.17 Suhu transformator 3 saat pengujian.....	63
Gambar 4.18 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak transformator 3.....	64
Gambar 4.19 Hasil Uji Tegangan Tembus Transformator 3	64
Gambar 4.20 Grafik Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 1	72
Gambar 4.21 Grafik Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 3	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Macam – Macam Sistem Pendingin	15
Tabel 2.2 Spesifikasi Minyak isolasi Menurut IEC 60296-2003.....	19
Tabel 2.3 Batas Gas Terlarut berdasarkan IEEE std.C57-104.1991	21
Tabel 2.4 Keterangan Pada Setiap Kondisi.....	21
Tabel 2.5 Tabel Jenis Kegagalan Menurut Analisis <i>Key Gas</i>	23
Tabel 2.6 Tabel <i>Metode Ratio</i>	23
Tabel 2.7 Metode Roger	24
Tabel 2.8 Standar IEC 156 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi	26
Tabel 2.9 Jenis kegagalan (fault) yang terjadi dengan uji DGA	27
Tabel 3.1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian	28
Tabel 3.2 Spesifikasi Teknis Gas	34
Tabel 3.3 Spesifikasi Teknis	35
Tabel 3.4 Spesifikasi Teknis Fitur	35
Tabel 3.5 Standart Tegangan Tembus	35
Tabel 3.6 Jarak Pengujian Tegangan Tembus	39
Tabel 3.7 Spesifikasi Alat	39
Tabel 4.1 Spesifikasi Transformator 1	42
Tabel 4.2 Spesifikasi Transformator 3	43
Tabel 4.3 Spesifikasi Minyak Transformator	44
Tabel 4.4 Batas Gas Terlarut Berdasarkan IEEE std.C57-104.1991	47
Tabel 4.5 Keterangan Pada Setiap Kondisi.....	47
Tabel 4.6 Kasus Kegagalan Transformator.....	52
Tabel 4.7 Metode Ratio.....	54
Tabel 4.8 Metode Roger	54
Tabel 4.9 Jarak Pengujian Tegangan Tembus	61
Tabel 4.10 Standart Tegangan Tembus.....	61
Tabel 4.11 Data Pengujian DGA 2015-2019 Transformator 1	65
Tabel 4.11 Data Pengujian DGA 2015-2019 Transformator 3	67
Tabel 4.13 Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 1	71

Tabel 4.13 Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 3..... 73



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)

Transformator merupakan salah satu bagian paling penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversi daya tanpa mengubah frekuensi listrik, namun transformator seringkali menjadi peralatan listrik yang kurang diperhatikan dan tidak diberikan perawatan yang memadai. Transformator yang sudah dirawat pun tidaklah lepas dari fenomena kegagalan (failure), baik kegagalan termal maupun kegagalan elektrik. Jika kegagalan ini berlangsung terus-menerus maka akan menyebabkan kerusakan (breakdown). Padahal perbaikan transformator yang rusak tidaklah mudah dan tidak dapat dikerjakan dalam waktu yang singkat. Hal ini nantinya akan berdampak pada sejumlah kerugian finansial yang sangat besar.

Salah satu penyebab utama munculnya kegagalan pada transformator adalah adanya panas berlebih. Panas berlebih biasanya ditimbulkan oleh berbagai faktor seperti pembebanan berlebih, rugi histeris, arus eddy, adanya proses oksidasi yang menghasilkan karat, air, dan lain-lain. Oleh karena itu, transformator memerlukan sistem pendingin untuk mengontrol panas yang timbul. Panas yang berlebih akan memacu reaksi berantai yang akan mempercepat penurunan usia dan kualitas kerja sistem isolasi baik pada minyak isolator maupun isolator kertas, menurunnya efektifitas kerja sistem pendingin, sehingga nantinya akan membuat transformator mengalami kerusakan.

Transformator daya memerlukan berbagai macam pengujian isolator, baik pengujian isolator padat maupun pengujian isolator minyak. Pengujian fisik dilakukan dengan menguji bahan isolasi minyak. Pengujian fisik dilakukan dengan menguji bahan isolasi padat dan belitan pada trafo, sedangkan pengujian minyak umumnya dilakukan dengan menguji karakteristik minyak isolator. Seiring perkembangan teknologi ditemukan metode alternatif untuk melakukan pengujian minyak, yaitu dengan metode pengujian dan analisis jumlah gas yang terlarut pada minyak transformator atau yang dikenal dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

Untuk pemeliharaan transformator salah satunya pengujian minyak isolasi dilakukan untuk mengetahui keadaan ataupun kemampuan minyak isolasi sebagai sistem pendingin dan sebagai isolasi. PLN memiliki banyak standar untuk pengujian untuk menguji minyak isolasi baik isolasi yang masih baru ataupun yang telah digunakan (pemeliharaan), misalnya tegangan tembus, rugi-rugi dielektrik, permitivitas relatif, dan pengujian dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*). DGA merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi transformator, dari hasil tes DGA tersebut akan dapat disimpulkan dan diprediksikan jenis gangguan yang mungkin terjadi pada transformator dan dapat segera dilakukan tindakan pencegahan kegagalan transformator. Dengan kata lain pengujian DGA merupakan salah satu langkah perawatan preventif (*preventive maintenance*) yang wajib dilakukan dengan interval pengujian paling tidak enam bulan sekali, jika nilai dari hasil pengujian DGA semakin buruk maka dilakukan pengujian seminggu sekali sampai minyak isolasi dinyatakan untuk dimurnikan kembali atau penjernihan (*purifier*).

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).

PLN telah melakukan pengujian DGA pada setiap minyak isolasi transformator yang mereka miliki untuk mengetahui keadaan minyak isolasi pada setiap transformator, namun masih ada kekurangan pada hasil analisis yang dilakukan oleh PLN dalam menentukan keadaan minyak isoalasi dan kedaan transformator, analisis hasil DGA yang dilakukan oleh PLN hanya mempertimbangkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) atau total gas terlarut yang mudah terbakar untuk menentukan keadaan tansformator 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.

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 CH₃, CH₂ 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*, CH₃*, CH₂*, CH* atau C* yang terkombinasi dengan cepat melalui reaksi kompleks menjadi molekul gas seperti Hidrogen (H-H), Methane (CH₃-H), Ethane (CH₃-CH₃), Ethylene (CH₂=CH₂) atau Acetylene (CH₃≡CH₃). 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)

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengukur kelayakan kualitas minyak isolasi pada transformator dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) ?
2. Bagaimana tegangan tembus (*Break Down Voltage*) minyak isolasi transformator ?

1.3 Batasan Masalah

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

- 1 Analisis DGA yang dibahas hanya terbatas pada minyak mineral saja
- 2 Pengujian yang dilakukan adalah DGA (*Dissolved Gas Analysis*) dan pengujian *break down voltage*.
- 3 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.

- 4 Tugas akhir ini hanya membahas tentang keadaan minyak isolasi transformator tidak membahas tentang transformator..
- 5 Penelitian ini dibatasi hanya membahas pengujian minyak transformator daya dengan menggunakan peralatan DGA “Transport X” dan Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*) “KATO”.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dalam melaksanakan penelitian ini adalah membahas tentang uji keadaan minyak isolasi metode pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*) serta analisis berbagai indikasi kegagalan yang muncul pada transformator tenaga berdasarkan hasil uji DGA dan pengujian tegangan tembus (*Break Down Voltage*).

1.5 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui sebuah kelayakan suatu minyak isolasi transformator. 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)

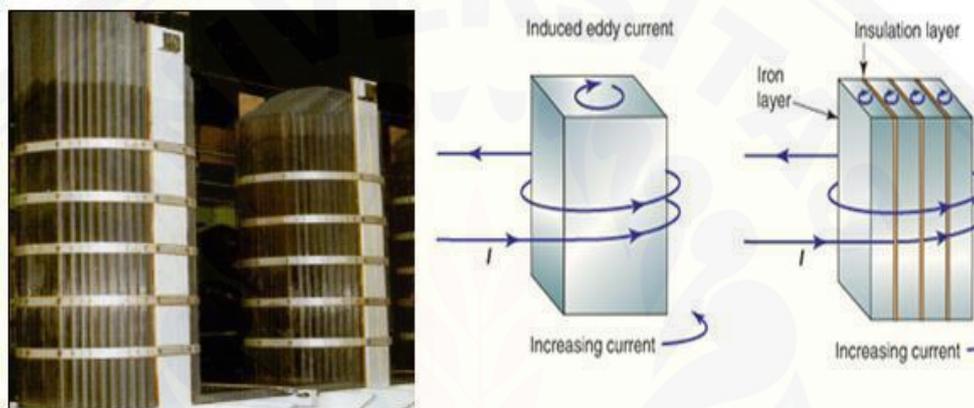


Gambar 2.1 Transformator Daya
(Setiawan Saputra, 2014)

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).

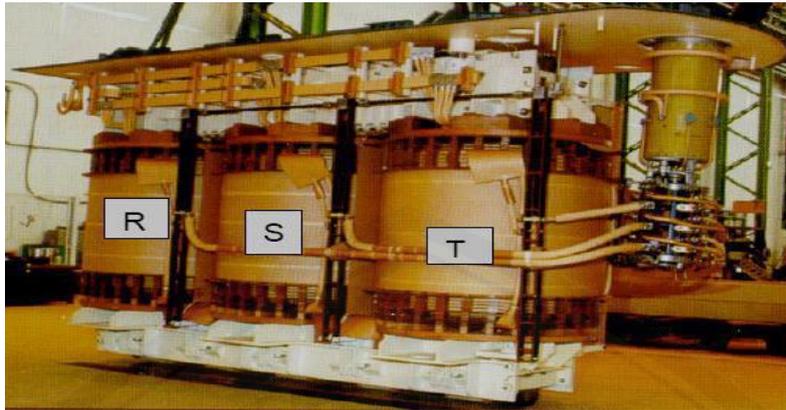


Gambar 2.2 Inti Besi Transformator

(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*).

2.2 Sistem Pendingin

Transformator daya merupakan komponen yang menahan daya listrik yang sangat besar. Daya yang besar akan berakibat pada kenaikan temperatur pada transformator. Apabila temperatur transformator bernilai tinggi dalam jangka

waktu yang relatif lama, maka dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator itu sendiri seperti pada kumparan dan inti besi. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada komponen di dalam transformator, maka sistem pendingin sangat dibutuhkan dalam rangka memperpanjang masa operasi dan maintenance daripada transformator. Pengoperasian transformator daya tidak terlepas dari adanya daya-daya yang hilang. Daya-daya hilang ini terkonversi dalam bentuk panas. Panas timbul pada bagian inti, belitan, minyak isolator dan tangki transformator. Panas yang timbul ini biasanya akan dibuang ke atmosfer/lingkungan sekitar melalui tangki transformator dan sistem pendingin. Sistem pendingin pada transformator digunakan untuk mengurangi panas dan menjaga kenaikan temperatur agar tetap berada dibawah batasan tertentu. Temperatur maksimum bahan isolator pada belitan dan minyak sangat tergantung dari pembebanan, jenis sistem pendingin, serta temperatur lingkungan sekitar. Media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa:

- a. Udara atau gas
- b. Minyak
- c. Air

Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara:

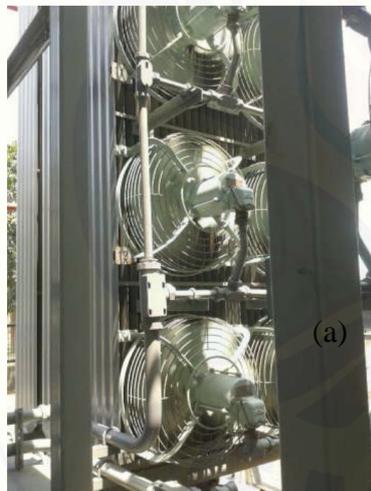
- a. Alamiah (*natural*)
- b. Tekanan atau paksaan

Pada cara alamiah (*natural*), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara-gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (Radiator).



Gambar 2.8 Sirip-sirip Radiator

Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Forced*).



a



b

Gambar 2.9 (a) *Cooling Fan* ; (b) *Oil Pump*

Macam-macam sistem pendingin transformator berdasarkan media dan cara pengalirannya dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.1. Macam – Macam Sistem Pendingin

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

ONAN : *Oil Natural Air Natural*

ONAF : *Oil Natural Air Force (kipas angin)*

OFAF : *Oil Force Air Force*

OFWF : *Oil Force Water Force*

2.3 Pemeliharaan Pada Transformator

Transformator merupakan salah satu komponen utama pembangkit yang sangat berpengaruh pada operasi pembangkitan tenaga listrik. Rusaknya transformator khususnya transformator daya akan berakibat menurunnya pasokan daya listrik, sehingga diperlukan kehandalan dari transformator tersebut. Untuk menjaga agar transformator tetap handal, diperlukan pemeliharaan baik secara rutin atau secara berkala/*over haul*.

2.3.1 Jenis – Jenis Pemeliharaan

Pemeliharaan pada PLTA Mendalan dilakukan 2 tahapan yaitu: rutin dan periodik. Tujuan dari pemeliharaan adalah sebagai tindakan teknis, administrasi, dan finansial untuk mempertahankan keadaan agar instalasi dapat bekerja dengan baik. Prinsip dasar pemeliharaan berdasarkan pada time base dan condition base maintenance. Dalam pelaksanaannya kedua prinsip tersebut biasanya digabungkan

dan selalu dikaitkan dengan efisiensi serta efektivitas terutama menyangkut biaya. Perkembangan pemeliharaan mengarah pada prediktif maintenance. Pemeliharaan rutin dan periodik merupakan pemeliharaan time base.

2.3.1.1 Pemeliharaan Rutin

Pemeliharaan rutin merupakan pemeliharaan yang dilaksanakan dengan frekuensi kurang dari satu tahun, sesuai dengan selang waktu dan scope pekerjaannya dapat dibagi sebagai berikut:

- a. Harian, memantau parameter dan kondisi selama operasi, pembersihan, melaksanakan tindakan ringan setelah meneliti kondisi operasi. Dilaksanakan setiap hari.
- b. Mingguan, mengulang pekerjaan harian, pemeriksaan *Grease lubrication*, pembersihan filter-filter, cooler sesuai dengan kebutuhan.
- c. Bulanan, mengulang pelaksanaan pekerjaan harian dan mingguan serta melakukan perbaikan jika diperlukan.
- d. Triwulan atau tiga bulanan, mengulang pekerjaan bulanan yang harus dilaksanakan sesuai dengan intruksi pada manual dan maintenance book.

2.3.1.2 Pemeliharaan Periodik

Pemeliharaan ini berdasarkan jumlah jam operasi mesin dan diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. *Annual Inspection* (AI)
- b. Pemeliharaan yang dilakukan setahun sekali yang pada umumnya jumlah jam operasi mesin telah mencapai 6000 sampai dengan 8000 (terhitung sejak mesin beroperasi baru atau *over houl*).
- c. *General Inspection* (GI)
- d. Pemeliharaan yang dilakukan jika jumlah jam beroperasi telah mencapai 20000 (terhitung sejak mesin beroperasi baru atau *over houl*).
- e. *Mayor Over Houl* (MO)
- f. Pemeliharaan yang dilakukan jika jumlah jam operasi telah mencapai 40000 (terhitung sejak mesin beroperasi baru atau *over houl*).

- g. Untuk itu pemeriksaan yang rutin (periodic) terhadap transformator atau minyak transformator ini akan dapat mencegah sedini mungkin kerusakan isolasi minyak.

2.4 Minyak Transformator

Bahan isolasi pada peralatan tegangan tinggi terdiri dari bahan isolasi padat, gas, dan cair, dimana bahan-bahan isolasi ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Minyak isolasi merupakan salah satu bahan dielektrik yang mempunyai peranan penting dalam sistem kelistrikan bidang peralatan tegangan tinggi khususnya sebagai bahan isolasi.

2.4.1 Jenis Minyak Transformator

a. Minyak Isolasi Mineral

Minyak transformator mineral adalah minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Minyak isolasi hasil distilasi ini masih harus dimodifikasi agar tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, serta memenuhi syarat-syarat teknis lainnya. Selain pada transformator daya minyak isolasi bahan mineral ini banyak digunakan pada pemutus tenaga (CB), dan kapasitor, dimana selain berfungsi sebagai bahan dielektrik dan sebagai pendingin (penyerap panas).

b. Minyak Isolasi Sintesis

Minyak jenis ini mempunyai sifat lebih menguntungkan antara lain tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi. Namun beracun dan dapat melukai kulit. Penggunaan minyak isolasi mineral masih mengalami keterbatasan, karena sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat dan sifat kimia dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi.

Minyak isolasi sintesis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia yang tepat untuk mendapatkan karakteristik yang bila dibandingkan dengan

minyak isolasi bahan mineral. Sifat minyak isolasi sintesis bila dibandingkan dengan minyak isolasi bahan mineral adalah :

1. Kekuatan dielektriknya di atas 40 kV
2. Harganya lebih murah
3. Berat jenisnya 1,56 dan jika bercampur dengan air, minyak isolasi sintesis berada dibawah permukaan air sehingga mempermudah dalam proses pemisahan dan pemurnian kadar air dalam minyak.
4. Untuk kondisi pemakaian pemakaian yang sama dengan minyak mineral, uap lembab akan menyebabkan oksidasi yang lebih pada minyak isolasi sintesis dan penurunan dielektrik yang lebih cepat dibandingkan dengan minyak isolasi mineral tetapi karena umurnya panjang dan sifat pendinginnya lebih baik maka pada beberapa pemakaian minyak isolasi sintesis banyak digunakan.

2.4.2 Karakteristik Minyak Transformator

Minyak isolator harus memiliki beberapa karakteristik tertentu agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Karakteristik ini harus terus dipantau dan diperhatikan secara terus-menerus. Karakteristik tersebut antara lain :

1. Kejernihan Penampilan (Appearance)

Warna minyak yang baik adalah warna yang jernih dan bersih, seperti air murni. Selama transformator dioperasikan, minyak isolator akan melarutkan suspensi / endapan (sludge). Semakin banyak endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap.

2. Viskositas Kinematik (Kinematic Viscosity)

Viskositas kinematik merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata tanpa adanya gesekan dan gaya-gaya lain. Sebagai media pendingin, nilai viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, sebagai faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Makin rendah viskositas, semakin bagus pula konduktivitas termalnya sehingga makin bagus kualitas dari minyak trafo tersebut.

3. Massa Jenis (Density)

Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada temperatur 15.56°C dengan massa air pada volume dan temperatur yang sama. Massa jenis minyak trafo harus lebih rendah daripada air.

4. Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala menunjukkan bahwa minyak trafo dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Makin tinggi titik nyala semakin baik.

5. Titik Tuang (Pour Point)

Titik tuang merupakan temperatur terendah saat minyak masih akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur dibawah temperatur normal. Minyak isolator diharapkan memiliki titik tuang yang serendah mungkin.

6. Angka Kenetralan (Neutralization Number)

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusun asam minyak isolator dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia, cacat atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan (additive). Angka kenetralan merupakan petunjuk umum untuk menentukan apakah minyak sudah harus diganti atau harus diolah.

7. Stabilitas/Kemantapan Oksidasi (Oxydation Stability)

Proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan (sludge). Asam menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator sedangkan kotoran zat padat menyebabkan transfer panas menjadi terganggu. Minyak isolator diharapkan memiliki stabilitas oksidasi yang tinggi dan kemampuan pelarutan yang rendah sehingga meminimalisir persentase terjadinya oksidasi.

8. Kandungan Air (Water Content)

Adanya air dalam minyak isolator akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolator, serta memacu munculnya hot spot sehingga nantinya akan mempercepat kerusakan isolator kertas (kertas dan kayu). Sebagai tambahan, pemanasan yang berlebihan pada transformator akan menyebabkan

isolasi kertas pada belitan akan membusuk dan menurunkan umur isolator. Membusuknya isolasi kertas juga akan jumlah kandungan air. Pemecahan molekul serat kertas akan melepaskan sejumlah atom hidrogen dan oksigen bebas yang nantinya akan membentuk air (H_2O). Naiknya temperatur lebih lanjut akan menuebabkan air bergerak dari isolasi kertas menuju minyak dan menurunkan tegangan tembus minyak. Minyak isolator diharapkan memiliki kandungan air serendah mungkin.

9. Tegangan Tembus (Breakdown Voltage)

Tegangan tembus menunjukkan kemampuan untuk menahan electric stress (volt). Kandungan air bebas dan partikel-partikel konduktif dapat menaikkan tingkat electric stress dan menurunkan nilai tegangan tembus. Minyak isolator diharapkan memiliki nilai tegangan tembus yang tinggi.

10. Faktor Kebocoran Dielektrik (Dielectric Dissipation Factor)

DDF merupakan ukuran dari dielectric losses minyak. Tingginya nilai DDF menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya. DDF berhubungan langsung dengan tahanan jenis, sehingga tingginya nilai DDF secara langsung menunjukkan rendahnya tahanan jenis minyak.

11. Tahanan Jenis (Resistivity)

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan adanya pengotor yang bersifat konduktif. Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolator cair bila tahanan jenisnya lebih besar dari 10^9 W-m.

Tabel 2.2 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

2.5 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 seiiring 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 mengubungkan gelembung tersebut hingga membentuk jembatan yang menjadi awal terjadinya kegagalan.

2.6 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)

The screenshot shows a software interface with a table of gas ratios and a diagnosis result. The table is titled 'Ratios' and has two columns: 'Ratio' and 'Value'. The ratios listed are CH4 / H2 (R1) with a value of 0.44, C2H2 / C2H4 (R2) with a value of 0.04, C2H4 / C2H6 (R5) with a value of 0.71, C2H6 / CH4 with a value of 1.48, and CO2 / CO with a value of 19.90. To the right of the table, there is a text box that says 'Some gas concentrations are too low to provide a reliable diagnosis'. Below the table, there is a field for 'Rogers 3 Case:' with the value '0' and a 'Diagnosis:' field with the result 'No Fault'.

Ratio	Value
CH4 / H2 (R1)	0.44
C2H2 / C2H4 (R2)	0.04
C2H4 / C2H6 (R5)	0.71
C2H6 / CH4	1.48
CO2 / CO	19.90

Some gas concentrations are too low to provide a reliable diagnosis

Rogers 3 Case: 0
Diagnosis: No Fault

Gambar 4.9 Hasil *Roger Ratio* Transformator 1

Perhitungan Perbandingan Gas :

$$\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2} = \frac{12 \text{ ppm}}{27 \text{ ppm}} = 0.44$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4} = \frac{0.5 \text{ ppm}}{12 \text{ ppm}} = 0.04$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6} = \frac{12 \text{ ppm}}{17 \text{ ppm}} = 0.71$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4} = \frac{17 \text{ ppm}}{12 \text{ ppm}} = 0.48$$

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = \frac{2104 \text{ ppm}}{106 \text{ ppm}} = 19.90$$

Dari hasil pengujian DGA menggunakan metode *roger ratio* menghasilkan kode 0 0 0 dengan nilai gas R1 *ratio* sebesar 0.44, nilai gas *ratio* R2 sebesar 0.04 dan nilai gas *ratio* R5 sebesar 0.71. Dari hasil tersebut beberapa konsentrasi gas terlalu rendah untuk memberikan diagnose atau indikasi penyebab muncul *fault gas*. Rendahnya nilai konsentrasi pada gas *ratio* R1, R2 dan R5 membuktikan bahwa tidak terjadi gangguan. Namun pada hasil kali nilai roger rasio CO/CO₂ sebesar 19.90 mengindikasikan adanya kegagalan thermal pada isolasi kertas pada belitan.

Ratio	Value
CH ₄ / H ₂ (R1)	0.01
C ₂ H ₂ / C ₂ H ₄ (R2)	0.01
C ₂ H ₄ / C ₂ H ₆ (R5)	0.56
C ₂ H ₆ / CH ₄	6.07
CO ₂ / CO	26.91

Some gas concentrations are too low to provide a reliable diagnosis

Rogers 3 Case:

Diagnosis: PD radio influence voltage

Gambar 4.10 Hasil Roger Ratio Transformator 3

Perhitungan Perbandingan Gas :

$$\frac{\text{CH}_4}{\text{H}_2} = \frac{13 \text{ ppm}}{1280 \text{ ppm}} = 0.01$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_2}{\text{C}_2\text{H}_4} = \frac{0.5 \text{ ppm}}{45 \text{ ppm}} = 0.01$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_4}{\text{C}_2\text{H}_6} = \frac{45 \text{ ppm}}{80 \text{ ppm}} = 0.56$$

$$\frac{\text{C}_2\text{H}_6}{\text{CH}_4} = \frac{80 \text{ ppm}}{13 \text{ ppm}} = 6.07$$

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}} = \frac{2739 \text{ ppm}}{102 \text{ ppm}} = 26.91$$

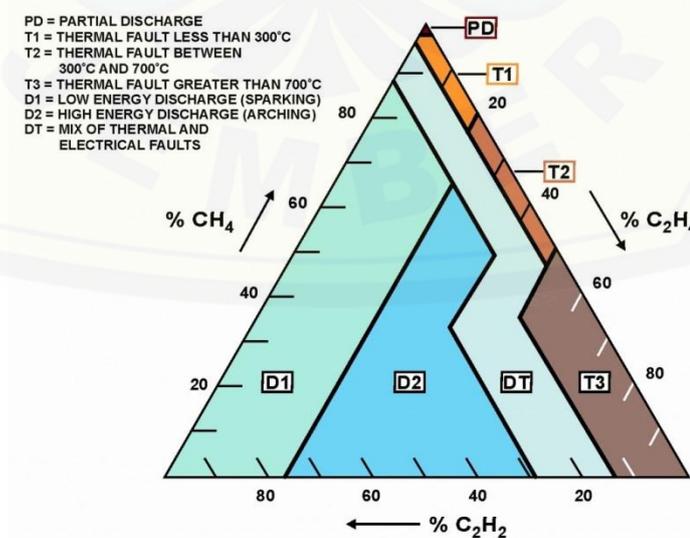
Dari hasil pengujian DGA menggunakan metode *roger ratio* menghasilkan kode 0 0 0 dengan nilai gas R1 *ratio* sebesar 0.01, nilai gas *ratio* R2 sebesar 0.01 dan nilai gas *ratio* R5 sebesar 0.56. Dari hasil tersebut beberapa konsentrasi gas terlalu rendah untuk memberikan diagnose yang akurat. Namun CO₂/CO lebih dari 10 yaitu bernilai 26.91 artinya mengindikasikan adanya kegagalan thermal pada isolasi kertas pada belitan dan adanya pengaruh tegangan pada PD (*Partial Discharges*). *Partial Discharge* yang terjadi pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂). Sedangkan partial discharge yang

terjadi pada selulosa menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H_2), karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO_2).

4.2.4 Duval Triangle's

Metode *Roger's Ratio* dan *Key Gas* cukup mudah untuk dilakukan, namun kelemahan utamanya adalah metode tersebut hanya dapat mendeteksi kasus-kasus kegagalan yang sesuai dengan Tabel 2.5 dan 3.6. Jika muncul konsentrasi gas di luar Tabel 4.4 ataupun rasio gas di luar Tabel 2.6, maka metode ini tidak dapat mendeteksi jenis kegagalan yang ada. Hal ini terjadi karena Metode *Roger's Ratio* dan *Key Gas* merupakan sebuah sistem yang terbuka (*open system*). Metode segitiga duval diciptakan untuk membantu metode-metode analisis lain. Metode ini merupakan sistem yang tertutup (*closed system*) sehingga mengurangi persentase kasus di luar kriteria ataupun analisis yang salah.

Metode segitiga duval diciptakan oleh Michel Duval pada 1974. Kondisi khusus yang diperhatikan adalah konsentrasi metana (C_2H_4), etilen (C_2H_4) dan asetilen (C_2H_2). Konsentrasi total ketiga gas ini adalah 100%, namun perubahan komposisi dari ketiga jenis gas ini menunjukkan kondisi fenomena kegagalan yang mungkin terjadi pada unit yang diujikan.



Gambar 4.11 Parameter *Duval Triangle*

Koordinat segitiga :

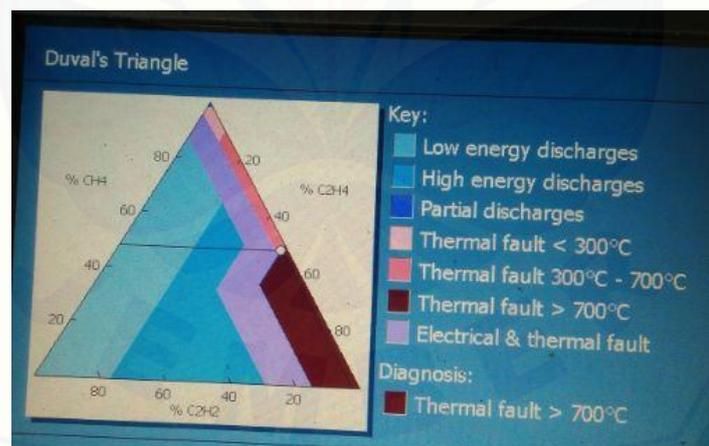
$$\% \text{CH}_4 = \frac{\text{CH}_4}{\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_2} \times 100\%$$

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

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

Kode gangguan yang dapat dideteksi dengan *Dissolved Gas Analysis* (DGA) menggunakan metode segitiga ini:

- PD = *Discharge* sebagian
- D1 = *Discharge* energi rendah
- D2 = *Discharge* energi tinggi
- T1 = *Thermal faults* pada temperature < 300°C
- T2 = *Thermal Faults* pada temperature 300°C < T < 700°C
- T3 = *Thermal Faults* pada temperatur > 700°C
- Zona DT = campuran termal dan *electrical fault*.



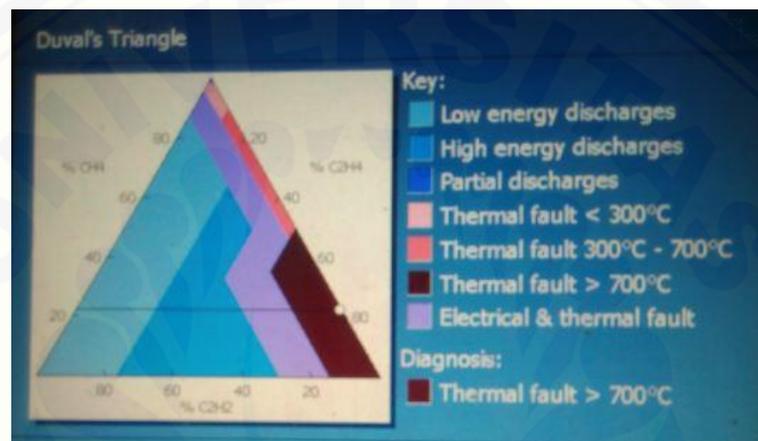
Gambar 4.12 Hasil *Duval Triangle* Transformator 1

$$\% \text{CH}_4 = \frac{12}{12+12+0.5} \times 100\% = 48.97 \%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{12}{12+12+0.5} \times 100\% = 48.97 \%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_2 = \frac{0.5}{12+12+0.5} \times 100\% = 2.04 \%$$

Dari hasil pengujian DGA metode *duval triangle* dari minyak transformator 1 didapatkan CH_4 dan C_2H_4 sebesar 48.97 % serta nilai C_2H_2 sebesar 2.04 %. Dari data diatas dapat dianalisa bahwa transformator mengalami kegagalan thermal (T3) dimana gas akan muncul pada suhu 700°C .



Gambar 4.13 Hasil *Duval Triangle* Transformator 3

$$\% \text{CH}_4 = \frac{13}{13 + 45 + 0} \times 100\% = 22.41 \%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_4 = \frac{45}{13 + 45 + 0} \times 100\% = 77.58 \%$$

$$\% \text{C}_2\text{H}_2 = \frac{0}{13 + 45 + 0} \times 100\% = 0 \%$$

Dari hasil pengujian DGA metode *duval triangle* dari minyak transformator 3 didapatkan CH_4 C_2H_4 sebesar 22.41 %, C_2H_4 sebesar 77.58 % dan nilai C_2H_2 sebesar 0 %. Dari data diatas dapat dianalisa bahwa transformator mengalami kegagalan thermal (T3), dimana gas akan muncul pada suhu 700°C . Munculnya formasi partikel karbon pada minyak secara meluas.

4.3 Pengujian Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*)

Pengujian *Breakdown Voltage* tegangan tembus kali ini bertujuan untuk memastikan kelayakan tegangan tembus dari minyak transformator yang diuji, karena salah satu parameter kualitas isolasi suatu bahan adalah dengan melihat tegangan tembus minyak tersebut.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian tegangan tembus (*Break Down Voltage*):

1. Mengukur suhu ruang pengujian dan waktu pengambilan data
2. Pengambilan sampel uji minyak isolasi yang ada pada transformator
3. Letakkan sampel minyak pada tempat pengujian
4. Atur jarak electrode sesuai dengan standart pengujian
5. Lakukan pengujian sekali pada setiap sampel minyak
6. Catat dan analisa hasil pengujian

Tabel 4.9 Jarak Pengujian Tegangan Tembus

Standard test specification selected	EN60156 AS 1767 BS 5874 IEC 156 NFC 27 SABS 555 UNE 21	BS148 CEI 10-1 IP 295 TOCT 6581 VDE 0370 STAS 286	ASTM D1816	ASTM D877
Electrode shape				
Electrode spacing	2,5 mm		1 or 2 mm	2,54 mm

Tabel 4.10 Standart Tegangan Tembus

Tegangan (kV)	Bagus (kV)	Cukup (kV)	Buruk (kV)
70	> 40	30-40	< 30
150	> 50	40-50	< 40
500	> 60	50-60	< 50

4.3.1 Pengujian Tegangan Tembus Pada Transformator 1



Gambar 4.14 Suhu transformator 1 saat pengujian



Gambar 4.15 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak transformator 1



Gambar 4.16 Hasil Uji Tegangan Tembus Transformator 1

Pada gambar 4.14 terlihat pada alat indikator suhu ruangan lokasi transformator 1 menunjukkan suhu transformator sebesar 28 °C dan waktu memulai pengujian tegangan tembus yaitu pukul 09.37 WIB. Jarak Sela antar elektroda didalam gelas pengujian berjarak 2 mm, dengan volume dari gelas pengujian tegangan tembus sebesar 300 ml ml . Pada gelas pengujian masing-masing elektroda dihubungkan dengan tegangan satu fasa dan *ground*, kemudian tegangan akan dinaikkan secara bertahap sampai bahan uji minyak transformator mengalami tembus listrik yang ditandai dengan adanya letusan pada minyak. Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator 1 kali ini dilakukan 1 kali untuk mendapatkan nilai tegangan tembus yang akurat. Pengujian dilakukan sekali bertujuan untuk mengetahui apakah minyak masih layak dipakai atau perlu tindakan lebih lanjut. Menurut standart pengujian diagram warna sample minyak isolasi berada pada kondisi sangat bagus (*excellent*). Dari hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 50 kV. Dari hasil tersebut bahwa minyak isolasi transformator 1 masih dalam keadaan bagus dimana minyak isolasi tersebut masih bisa digunakan jika transformator beroperasi.

4.3.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Transformator 3



Gambar 4.17 Suhu transformator 3 saat pengujian



Gambar 4.18 Pengujian Tegangan Tembus pada minyak transformator 3



Gambar 4.19 Hasil Uji Tegangan Tembus Transformator 3

Pada gambar 4.17 terlihat pada alat indikator suhu ruangan lokasi transformator 3 menunjukkan suhu transformator sebesar 55°C dan waktu memulai pengujian tegangan tembus yaitu pukul 10.08 WIB. Jarak Sela antar elektroda didalam gelas pengujian berjarak 2 mm, dengan volume dari gelas pengujian tegangan tembus sebesar 300 ml . Pada gelas pengujian masing-masing elektroda dihubungkan dengan tegangan satu fasa dan *ground*, kemudian tegangan akan dinaikkan secara bertahap sampai bahan uji minyak transformator mengalami tembus listrik yang ditandai dengan adanya letusan pada minyak. Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator 1 kali ini dilakukan 1 kali untuk mendapatkan nilai tegangan tembus yang akurat. Pengujian dilakukan sekali bertujuan untuk mengetahui apakah minyak masih layak dipakai atau perlu tindakan lebih lanjut. Menurut standart pengujian diagram warna sample minyak

isolasi berada pada kondisi bagus (*good*). Dari hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 30 kV. Dari hasil tersebut bahwa minyak isolasi transformator 3 masih dalam keadaan cukup dimana minyak isolasi tersebut masih bisa digunakan jika transformator beroperasi.

4.4 Perbandingan Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Tahun 2015 – 2019

Data pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) pada tahun 2015 – 2018 digunakan untuk dianalisa perbandingan dengan pengujian yang dilakukan pada penelitian yang baru dilakukan pada tahun 2019.

Tabel 4.11 Data Pengujian DGA 2015-2019 Transformator 1

Peralatan	Tanggal Pengujian	Status Combustible Gas										TDCG	Kondisi Status
		Temp. Oil	Water	Hydrogen	Methane	Acetylene	Ethylene	Ethane	Carbon Monoxide	Carbon Dioxide			
		(° C)	H ₂ O	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂			
MTR #1	11-Feb-15	32	41	89	13	0	14	37	163	3483	316	1	
	15-May-18	32	43	9	3	1	8	15	31	735	67	1	
	3-May-19	32	43	27	12	0.5	12	17	106	2104	174	1	

Berdasarkan tabel 4.4 dan tabel 4.5 Batas konsentrasi Gas Terlarut berdasarkan IEEE std.C57-104.1991 :

- Pada tanggal 11 februari 2015 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 32 °C, kandungan air sebesar 41 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 89 pmm, kandungan gas methane sebesar 13 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 14 ppm, kandungan gas ethane sebesar 37 ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 163 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 3483 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 316 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.
- Pada tanggal 15 mei 2018 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 32 °C, kandungan air sebesar 43 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 9 pmm, kandungan gas methane sebesar 3 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 1 ppm, kandungan ethylene sebesar 8 ppm, kandungan gas ethane sebesar 15

ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 31 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 735 ppm dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 67 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.

- Pada tanggal 3 mei 2019 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 32 °C, kandungan air sebesar 43 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 27 pmm, kandungan gas methane sebesar 12 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0.5 ppm, kandungan ethylene sebesar 12 ppm, kandungan gas ethane sebesar 17 ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 106 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 2104 ppm dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 174 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.

Dari data diatas nilai pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dari tahun 2015 sampai 2019 semua *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) berada pada kondisi I yaitu normal. Namun pada tanggal 11 februari 2015 pada *gas carbon dioxide* bernilai 3483 ppm berarti *gas carbon dioxide* berada pada kondisi II. Mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 1 masih dalam keadaan baik. Hal ini juga bersesuaian dengan nilai tegangan tembus minyak yang juga masih bagus. Namun untuk menjaga konsentrasi kandungan air tetap dalam keadaan rendah, perlu untuk selalu melakukan pemurnian secara berkala dan kondisi *silica gel* nya agar selalu diperhatikan. Nilai pengujian DGA transformator 1 selalu bernilai normal karena tranformator 1 jarang digunakan dalam beroperasi. Selain minyak pada transformator digunakan untuk isolasi, minyak transformator digunakan juga sebagai sistem pendingin. Sistem pendingin pada transformator 1 menggunakan sistem pendingin *water pomp* (pompa air) dimana minyak dalam transformator 1 disalurkan dengan pipa melewati sebuah wadah persegi panjang yang berisi air mengalir yang di bantu dengan pompa. Air dalam pompa pendingin didapatkan

dari pipa pesat (*penstock*) pipa utama yang menyalurkan air dari waduk menuju ke turbin. Walaupun sistem pendinginan menggunakan air, bisa mendinginkan minyak dengan cepat namun bisa saja terjadi *water content* (kandungan air) pada minyak tinggi. Karena pipa minyak bisa mengalami kebocoran dan membutuhkan perawatan yang lebih perhatikan supaya pipa minyak tidak bocor.

Tabel 4.12 Data Pengujian DGA 2015-2019 Transformator 3

Peralatan	Tanggal Pengujian	Status Combustible Gas										TDCG	Kondisi Status
		Temp. Oil	Water	Hydrogen	Methane	Acetylene	Ethylene	Ethane	Carbon Monoxide	Carbon Dioxide			
		(° C)	H ₂ O	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂			
MTR #3	11-Feb-15	50	50	146	29	0	14	76	380	9883	645	1	
	13-Aug-15	45	50	153	21	0	30	61	341	8753	606	1	
	6-Jan-16	50	51	127	32	0	3	63	317	8294	542	1	
	29-Jun-16	48	50	117	29	0	12	62	343	9050	563	1	
	20-Dec-16	46	57	123	15	0	32	70	326	9146	566	1	
	21-Dec-17	50	52	66	22	0	26	69	308	8926	491	1	
	15-May-18	52	53	28	4	0.5	45	48	43	1016	168	1	
	22-Oct-18	46	51	366	19	2	21	60	81	2075	549	1	
	3-May-19	54	57	1280	13	0.5	45	80	102	2739	1520	2	

Berdasarkan tabel 4.4 dan tabel 4.5 Batas konsentrasi Gas Terlarut berdasarkan IEEE std.C57-104.1991 :

- Pada tanggal 11 februari 2015 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 50 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 146 pmm dimana nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas methane sebesar 29 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 14 ppm, kandungan gas ethane sebesar 76 ppm dimana pada nilai tersebut gas ethane berada pada kondisi II, kandungan gas carbon monoxide sebesar 380 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon monoxide berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas carbon dioxide sebesar 9883 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 645 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.
- Pada tanggal 13 agustus 2015 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 50 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak

transformator adalah sebanyak 40 ppm , kandungan gas hydrogen sebesar 153 pmm dimana pada nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas methane sebesar 21 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 30 ppm, kandungan gas ethane sebesar 61 ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 341 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 8753 ppm, dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 606 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.

- Pada tanggal 6 januari 2016 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 51 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 127 pmm dimana pada nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas methane sebesar 32 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 3 ppm, kandungan gas ethane sebesar 63 ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 317 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 8294 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 542 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.
- Pada tanggal 29 juni 2016 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 48 °C, kandungan air sebesar 50 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 117 pmm dimana nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas methane sebesar 29 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 12 ppm, kandungan gas ethane sebesar 62, kandungan gas carbon monoxide sebesar 343 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 9050 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 563 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.

- Pada tanggal 20 desember 2016 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 46 °C, kandungan air sebesar 57 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 123 pmm dimana nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas methane sebesar 15 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 32 ppm, kandungan gas ethane sebesar 70 dimana pada nilai tersebut gas ethane berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas carbon monoxide sebesar 326 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 9146 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 566 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.
- Pada tanggal 21 desember 2017 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 52 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 66 pmm, kandungan gas methane sebesar 22 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0 ppm, kandungan ethylene sebesar 26 ppm, kandungan gas ethane sebesar 69 dimana pada nilai tersebut gas ethane berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas carbon monoxide sebesar 308 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 8926 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi III yaitu waspada dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 491 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.
- Pada tanggal 15 mei 2018 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 52 °C, kandungan air sebesar 53 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 28 pmm, kandungan gas methane sebesar 4 pmm, kandungan gas acetylene

sebesar 0.5 ppm, kandungan ethylene sebesar 45 ppm, kandungan gas ethane sebesar 48 ppm, kandungan gas carbon monoxide sebesar 43 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 1016 ppm dan Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) sebesar 174 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi I yaitu normal.

- Pada tanggal 3 mei 2019 didapatkan nilai suhu minyak sebesar 54 °C, kandungan air sebesar 57 ppm dimana nilai kandungan air berada pada diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, kandungan gas hydrogen sebesar 1280 pmm ppm dimana pada nilai tersebut gas hydrogen berada pada kondisi III yaitu waspada, kandungan gas methane sebesar 13 pmm, kandungan gas acetylene sebesar 0.5 ppm, kandungan ethylene sebesar 45 ppm, kandungan gas ethane sebesar 80 ppm dimana pada nilai tersebut gas ethane berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi, kandungan gas carbon monoxide sebesar 102 ppm, kandungan gas carbon dioxide sebesar 2739 ppm dimana pada nilai tersebut gas carbon dioxide berada pada kondisi II yaitu Tingkat TDCG Mulai Tinggi dan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) sebesar 1520 ppm, dimana dari total gas tersebut status minyak berada pada kondisi III yaitu waspada.

Dari data diatas nilai pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dari tahun 2015 sampai 2019, *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) dari tahun 2015 – 2018 berada pada kondisi I yaitu normal. Namun pada tanggal 3 mei 2019 *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) berada pada kondisi III yaitu waspada dimana kandungan gas hydrogen pada saat itu berada pada kondisi III yang disebabkan oleh partial discharge pada minyak transformator menyebabkan timbulnya gas hidrogen (H₂) sehingga muncul *corona* pada minyak isolasi. Mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 3 masih dalam keadaan kurang baik karena diatas batas maksimal

kandungan air yang diperbolehkan. Berdasarkan laporan *Assessment* 2018 pada tanggal 19 maret 2018 transformator 3 menunjukkan bahwa kondisi minyak transformator 3 kualitas minyak isolasi sudah mulai mengalami penurunan. Perlu dilakukan penjernihan dan filterisasi pada minyak transformator, lakukan pengujian DGA setelah 2 minggu dan lakukan penggantian *silica gel* secara rutin. Penjernihan dilakukan untuk menghilangkan *water content* (kandungan air) pada transformator dan filterisasi dilakukan untuk menghilangkan semua kandungan gas terlarut pada minyak isolasi walaupun setelah filterisasi masih ada kandungan gas terlarut setelah transformator beroperasi. Jadi persyarat jika minyak dilakukan penjernihan dan sterilisasi yaitu jika nilai kandungan air (*water content*) diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan.

4.5 Perbandingan Pengujian Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*) Tahun 2015 – 2019

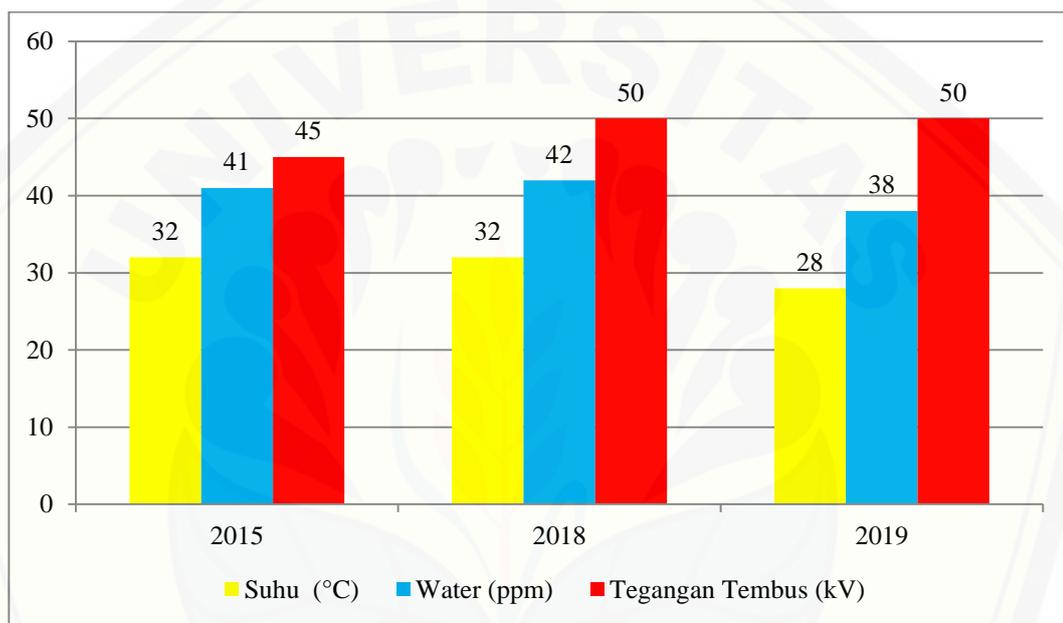
Data pengujian tegangan tembus pada tahun 2015 – 2018 digunakan untuk dianalisa perbandingan dengan pengujian yang dilakukan pada penelitian yang baru dilakukan pada tahun 2019.

Tabel 4.13 Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 1

Tanggal	Suhu (°C)	Water (ppm)	Tegangan Tembus (kV)
2015	32	41	45
2018	32	42	50
2019	28	38	50

PLTA Mendalan melakukan pengujian tegangan tembus setiap satu tahun sekali sesuai dengan jadwal pemeliharaan tahunan dengan nilai pada tahun 2015 dengan suhu sebesar 32 °C, kandungan air sebesar 41 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 45 kV. Pada 2018 dengan suhu sebesar 32 °C, kandungan air sebesar 42 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 50 kV. Pada 2019 dengan suhu sebesar 28 °C, kandungan air sebesar 38 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 50 kV. Transformator 1 jarang digunakan dalam beroperasi, karena transformator 1 digunakan sebagai transformator cadangan jika transformator yang lain

mengalami gangguan jadi berdasarkan tabel 4.10 standart tegangan tembus nilai tegangan tembus pada transformator 1 dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2019 bernilai bagus dan mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 1 masih dalam keadaan baik.



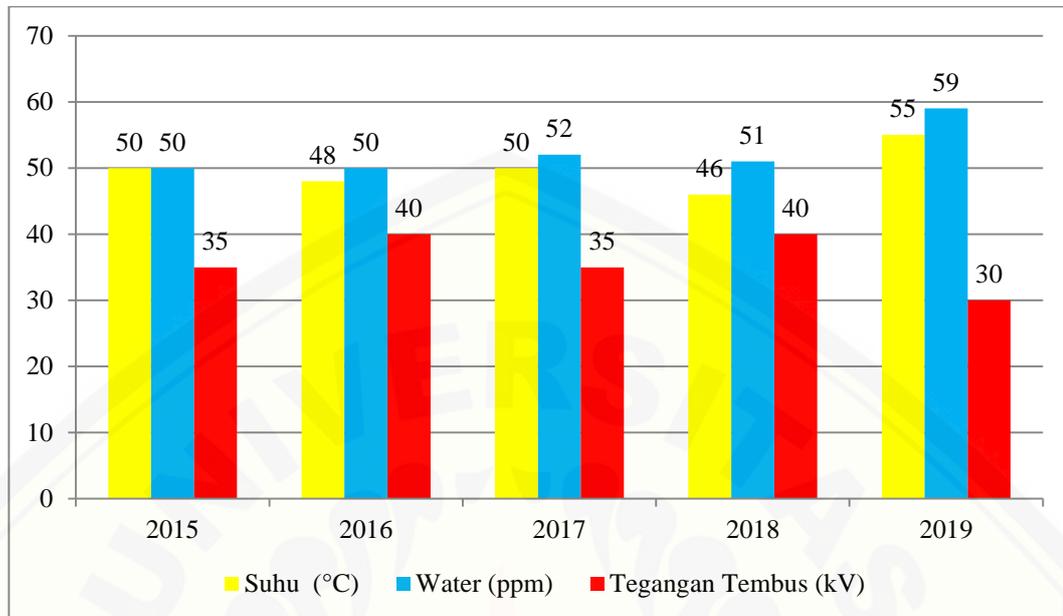
Gambar 4.20 Grafik Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019
Transformator 1

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus tertinggi bernilai 50 kV dan nilai tegangan tembus terendah bernilai 45 kV. Nilai kandungan air tidak jauh dari nilai kandungan air yang diperbolehkan yaitu bernilai 40 pmm. Pada parameter suhu transformator 1 selalu pada suhu rendah yaitu berada pada standart suhu ruangan sehingga tidak mempengaruhi nilai tegangan tembus.

Tabel 4.14 Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019 Transformator 3

Tanggal	Suhu (°C)	Water (ppm)	Tegangan Tembus (kV)
2015	50	50	35
2016	48	50	40
2017	50	52	35
2018	46	51	40
2019	55	59	30

PLTA Mendalan melakukan pengujian tegangan tembus setiap satu tahun sekali sesuai dengan jadwal pemeliharaan tahunan dengan nilai pada tahun 2015 dengan suhu sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 50 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 35 kV. Pada 2016 dengan suhu sebesar 48 °C, kandungan air sebesar 50 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 40 kV. Pada 2017 dengan suhu sebesar 50 °C, kandungan air sebesar 52 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 35 kV. Pada 2018 dengan suhu sebesar 46 °C, kandungan air sebesar 51 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 40 kV. Pada 2019 dengan suhu sebesar 55 °C, kandungan air sebesar 59 ppm dan nilai tegangan tembus sebesar 30 kV. Berdasarkan tabel 4.10 standart tegangan tembus dan mengacu pada standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60814 tentang kandungan air dalam minyak transformator mengatakan bahwa batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm, maka kondisi kandungan air yang terdapat dalam minyak transformator 3 masih dalam keadaan kurang baik karena diatas batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan. Jadi perlu perhatian khusus pada alat pernafasan dan sistem pendingin pada transformator 3 seperti pada *silica gel* yaitu untuk penyerap kandungan air pada minyak transformator. Jika warna *silica gel* berwarna merah muda maka *silica gel* perlu diganti supaya lembaban pada minyak transformator tetap kering. Jika kelembapan minyak tinggi maka kandungan air pada minyak akan juga ikut tinggi dan nilai tegangan tembus menjadi kecil.



Gambar 4.21 Grafik Data Pengujian Tegangan Tembus 2015-2019
Transformator 3

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus tertinggi bernilai 40 kV dan nilai tegangan tembus terendah bernilai 30 kV. Nilai kandungan air jauh dari nilai kandungan air yang diperbolehkan yaitu bernilai 40 pmm. Pada parameter suhu transformator 1 selalu pada suhu rendah yaitu berada diatas standart suhu ruangan karena transformator 3 lebih sering beroperasi dari pada transformator 1 sehingga mempengaruhi nilai tegangan tembus.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Pada minyak transformator 3 nilai TDCG dari pengujian DGA yang tidak memenuhi ppm standart yaitu sebesar 1520 ppm karena ada kandungan gas H₂ yang berada pada kondisi III yaitu waspada.
2. Pada minyak transformator 3 nilai TDCG dari pengujian DGA yang tidak memenuhi ppm standart yaitu sebesar 316 ppm karena ada kandungan gas H₂ yang berada pada kondisi I yaitu normal.
3. Besarnya nilai tegangan tembus dipengaruhi oleh besarnya nilai kandungan air dan suhu. Jika nilai kandungan air dan suhu besar maka nilai tegang tembus menjadi kecil.
4. Nilai pengujian DGA transformator 1 selalu bernilai normal karena tranformator 1 jarang digunakan dalam beroperasi berbeda dengan nilai DGA transformator 3 terdapat kandungan gas-gas yang mulai tinggi.
5. Kandungan air dalam minyak transformator 1 dalam keadaan baik sedangkan kandungan air dalam transformator 3 dalam keadaan kurang baik karena berada pada batas maksimal kandungan air yang diperbolehkan dalam minyak transformator adalah sebanyak 40 ppm.

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 menambahkan interpretasi data yang lain seperti pola atau jadwal pengoperasian transformator dan perhitungan usia minyak isolasi 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 Insula-ting Oil by Gas Chromatography.*
- IEEE standart C57.104 -1991, *Guide for the Interpretetion of Gases Generated in Oil – Immersed Transformers*
- Grob, Robert L & Barry, Eugene F. 2004. *Modern Practice of Gas Chromatography*, edisi-4, john Wily & Sons, Canada
- Andi, Edwin. 2019. *Analisa Kelayakan Minyak Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Menggunakan Metode DGA (Gas Dissolved Analysis) Dan Break Down Voltage.* Universitas Jember, Jember
- Hardityo, Rahmat. 2008. *Deteksi Dan Analisa Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut.* Universitas Indonesia. Depok.
- 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.
- Rudy Setiabudy, *Transformator pada Sistem Transmisi Listrik*. Materi kuliah Transmisi dan Distribusi Daya Listrik, Depok, 11 Maret 2008.
- _____, *IK Pengambilan Sampel Minyak Uji DGA*. P3B Jawa Bali, P3BJBTEK/IKA/ 05-007.
- Mulfriadi, R., *Analisis Pengujian Tegangan Tembus pada Minyak Isolasi Transformator untuk Perkiraan Umur Isolasi*, Skripsi, Depok, Desember 1998
- Mampe, Dean Ruf, *Analisis Tegangan Tembus Minyak Trafo Berdasarkan Gelombang Tegangan Dengan Variasi Kadar Air & Temperatur*, Skripsi, Depok, 2006.



LAMPIRAN



Gambar Proses Pengambilan Minyak Pada Transformator Untuk Uji Tegangan Tembus



Gambar Proses Pengujian Tegangan Tembus



Gambar Pengambilan Minyak Transformator Untuk UJi Dissolved Gas Analysis (DGA)

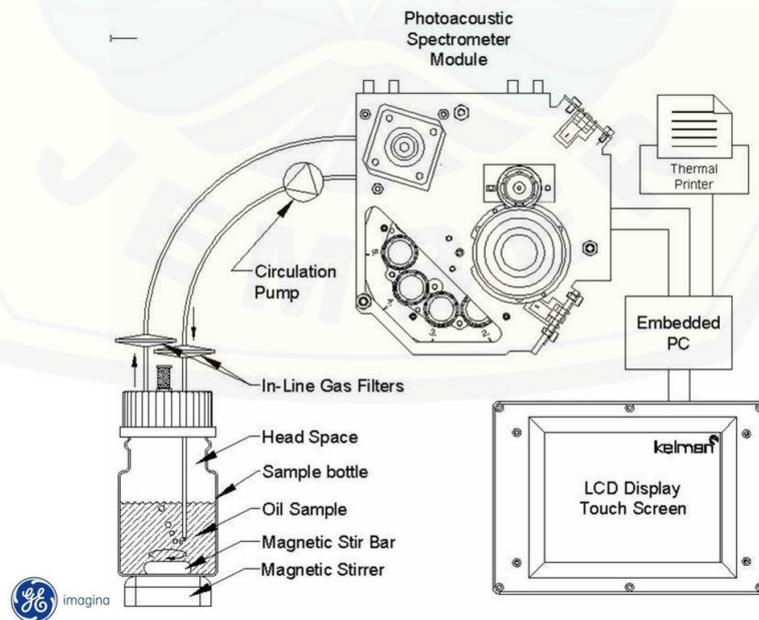


Gambar Proses Pengambilan Minyak Pada Transformator Untuk UJi Dissolved Gas Analysis (DGA)



Gambar Proses Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA)

TRANSPORT X Schematic



Gambar Skematik Pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA)