

**KARAKTERISTIK FISIK DAN ELEKTRIS MINYAK ZAITUN
SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK ISOLASI PADA
TRANSFORMATOR**

**SKRIPSI
KOSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**BAGUS MITRA SUJATMIKO
NIM. 105060300111042**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**



repository.ub.ac.id

**LEMBAR PENGESAHAN
KARAKTERISTIK FISIK DAN ELEKTRIS MINYAK ZAITUN
SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK ISOLASI PADA
TRANSFORMATOR**

**SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**BAGUS MITRA SUJATMIKO
NIM. 105060300111042**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 22 Januari 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT.
NIP. 19600701 199002 1 001**

**Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 19500715 198003 1 002**

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik elektro**

**M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001**





JUDUL SKRIPSI :

KARAKTERISTIK FISIK DAN ELEKTRIS MINYAK ZAITUN SEBAGAI
ALTERNATIF MINYAK ISOLASI PADA TRANSFORMATOR

Nama Mahasiswa : Bagus Mitra Sujatmiko

NIM : 105060300111042

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT.

Anggota : Ir. Soemarwanto, MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D.

Dosen Penguji II : Ir. Mahfudz Shidiq, MT.

Dosen Penguji III : Ir. Hery Purnomo, MT.

Tanggal Ujian : 22 Januari 2016

SK Penguji : No. 128/UN10.6/SK/2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan Peraturan Perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 28 Januari 2016

Mahasiswa,



Bagus Mitra Sujatmiko

NIM. 105060300111042





PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T, M.T., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc. selaku ketua KKDK Teknik Energi Elektrik.
3. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Ir. Soemarwanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu senantiasa sabar memberikan bimbingan dan arahan dalam mencapai kesempurnaan penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Kunarso ST. selaku pimpinan Quality Control di perusahaan dan pembimbing di PT Trafoindo Prima Perkasa Tangerang yang telah memberikan arahan saat melakukan penelitian.
5. Bapak Suhardi Ardi selaku kepala Lab Teknik Kimia Minyak Bumi UGM yang telah memberikan arahan saat melakukan penelitian.
6. Bapak Bambang dan Ibu wiwik yang selalu sabar istiqomah memberikan dorongan dan doa untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Tri Satria, Yudha Adi K, Arowadi Lubis, Aril Lubis, Nandha Pamadya, Miftakhul Farikhin, Afnan Habibi, Muhamad Dieni dan Sofyan yang telah memberikan waktu untuk sharing pendapat dan bantuan selama penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2010 atas bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.

Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batas Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Minyak Isolasi	5
2.2 Bahan Dasar Pembuatan Minyak Transformator	5
2.3 Jenis - Jenis Minyak Isolasi.....	6
2.3.1 Minyak Mineral	6
2.3.2 Minyak Nabati	7
2.4 Ruang Lingkup Pengujian dan Sifat-sifat Dielektrik Cair.....	10
2.5 Karakteristik Minyak Terhadap Temperature	12
2.6 Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi	13
2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kegagalan Isolasi.....	14
2.8 DGA (<i>Disolve Gases Analisis</i>)	15
2.9 Viskometer Kapiler.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Studi literatur	19
3.2 Studi Penelitian.....	19
3.3 Pencarian Data.....	19
3.3.1 Data Primer	19
3.3.2 Data Sekunder	20

3.3.3	Metodologi	20
3.4	Diagram Alir Penelitian	21
3.4.1	Tegangan Tembus	21
3.4.1.1	Pengujian Tegangan Tembus.....	22
3.4.1.2	Data Sekunder.....	22
3.4.2	Titik Nyala	23
3.4.3	Titik Tuang (<i>Pour Point</i>).....	23
3.4.4	Viskositas	24
3.4.5	DGA	25
3.4.5.1	Metode Ekstraksi Gas Chromatograph	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Pengantar.....	27
4.2	Analisis dan Pembahasan.....	27
4.2.1	Pengujian Tegangan Tembus Minyak Zaitun dan Minyak Diala B	27
4.2.1.1	Menggunakan Elektroda Setengah Bola	27
4.2.1.2	Menggunakan Elektroda Bola - Bola.....	30
4.2.1.3	Menggunakan Elektroda Jarum Bola.....	32
4.2.2	Analisis Viskositas Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B	34
4.2.3	Analisis Titik Tuang Pada Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B	35
4.2.4	Analisis Titik Nyala Pada Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B	36
4.2.5	Analisis DGA Pada Minyak Zaitun Dibandingkan dengan Minyak Diala B dengan Metode Analisis TDCG	38
4.2.6	Analisis dari Segi Ekonomis antara Minyak Diala B dengan Minyak Zaitun	40
BAB V PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		42
LAMPIRAN		43



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Isolasi / <i>Dielectric Properties</i> Shell Diala B	7
Tabel 2.2	Komposisi Minyak Zaitun	8
Tabel 2.3	<i>Dissolved Gas Concentrations</i>	16
Tabel 2.4	Ukuran Viskometer Kapiler dan Kisaran Viskositasnya	17
Tabel 2.5	Nomor Kode dan Konstanta Pada Pipa Kapiler untuk Minyak Transparan	18
Tabel 3.1	Pengukuran Tegangan Tembus Terhadap Perubahan Suhu dengan Elektroda Setengah Bola, Elektroda Bola – Bola dan Elektroda Jarum-Bola	19
Tabel 3.2	Pengukuran Titik Nyala, Titik Tuang dan Viskositas	20
Tabel 4.1	Hasil Pengujian	27
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola	28
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Bola- Bola	30
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bola	33
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Viskositas Minyak Zaitun dan Diala B	35
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Titik Tuang Minyak Diala B dan Minyak Zaitun	36
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Titik Nyala Minyak Diala B dan Minyak Zaitun	37
Tabel 4.8	Hasil Pengujian DGA dengan Metode Analisis TDCG	38

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Drum Minyak isolasi Shell Diala B	6
Gambar 2.2	Minyak zaitun	8
Gambar 2.3	Karakteristik Temperatur Terhadap Viskositas Pada Minyak Trafo dan Minyak Silikon	13
Gambar 2.4	Viskometer kapiler	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengujian Tegangan Tembus	20
Gambar 3.2	Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus	21
Gambar 3.3	Timbul Gelembung Pada Gelas Uji dan Alat Uji Tegangan Tembus	22
Gambar 3.4	<i>Cleveland Open Cup</i> dan Lemari Asam	23
Gambar 3.5	Sampel pengujian dan <i>Seta –Lec Cloud and Pour Point Refrigerator</i>	24
Gambar 3.6	Pipa Kapiler <i>Viscometer</i> dan <i>Oil Bath</i>	24
Gambar 3.7	Metode Gas Chromatograph	25
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola	27
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Bola-Bola	28
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bola	30
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Viskositas Minyak Zaitun dan Diala B	33
Gambar 4.5	Hasil Pengujian Titik Tuang Minyak Diala B dan Minyak Zaitun	35
Gambar 4.6	Hasil Pengujian Titik Nyala Minyak Diala B dan Minyak Zaitun	35
Gambar 4.7	Hasil Pengujian TDCG Pada Minyak Diala B dan Minyak Zaitun	37

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Laporan Hasil Uji Sifat Fisik Minyak Zaitun	43
Lampiran 2	Laporan Hasil Uji DGA Minyak Zaitun	44
Lampiran 3	Laporan Hasil Uji DGA Minyak Diala B	45
Lampiran 4	Karakteristik Minyak Diala B	46
Lampiran 5	Spesifikasi Transformator Uji	47
Lampiran 6	Laporan Hasil Uji Tegangan Tembus	48

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Bagus Mitra Sujatmiko, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 2015, **Karakteristik Fisik dan Elektris Minyak Zaitun sebagai Alternatif Minyak Isolasi pada Transformator**, Dosen Pembimbing : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T dan Ir. Soemarwanto, M.T.

Minyak isolasi transformator memiliki karakteristik yaitu sifat elektris dan fisis. Sifat elektris sesuai standar IEC 156 yaitu tegangan tembus minimal 30 KV. Sifat fisis sesuai standar IEC 296 titik nyala minimal 135 °C, titik tuang maksimal -40 °C dan viskositas maksimal 12 mm/s serta pengujian DGA yang sesuai standar IEEE 1991.

Minyak nabati memiliki sifat karakteristik yang dapat dicoba sebagai minyak isolasi transformator alternatif selain itu memiliki kelebihan dibandingkan dengan minyak bumi yaitu dapat diperbarui (*renewable*). Minyak alternatif yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak zaitun (*Olea europaea*). Menurut Cal (2008) minyak zaitun sejak 400 SM telah memiliki berbagai banyak manfaat.

Minyak zaitun sebagai minyak alternatif pada transformator dalam menentukan kelayakannya dibutuhkan pengujian secara elektris (dengan rangkaian pengujian tegangan tembus), fisis (pengujian titik tuang dengan menggunakan *seta lec cloud and pour point refrigerator*, titik nyala dengan menggunakan *cleveland open cup*, viskositas dengan menggunakan pipa kapiler) dan DGA (*Dissolved Gases Analysis*) dengan menggunakan *gas chromatography*. Hasil dari pengujian minyak zaitun dibandingkan minyak Diala B adalah sifat elektris memiliki nilai tegangan tembus rata-rata yaitu 49,82 kV lebih tinggi dari pada minyak Diala B yang memiliki rata-rata yaitu 44,63 kV dalam menggunakan berbagai jenis elektroda dan variasi suhu, titik nyala minyak zaitun lebih tinggi dua kali daripada minyak Diala B dan hasil pengujian DGA pada minyak zaitun lebih kecil nilai TDCG (*Total Dissolved Combustible Gases*) nya yaitu 3,8 ppm dibandingkan minyak Diala B 626,7 ppm. Kelemahan pada minyak zaitun memiliki titik tuang yang melebihi standar IEC 206 yaitu -9°C dan memiliki nilai viskositas yang melebihi standar IEC 296 yaitu 38,71 mm²/s.

Kata kunci: Minyak transformator, sifat elektris, sifat fisis, uji DGA

SUMMARY

Bagus Mitra Sujatmiko, Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University, 2015, **Physical and Electrical Characteristics Olive Oil as an Alternative to Isolation Oil Transformer**, Advisors: Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T dan Ir. Soemarwanto, M.T.

Transformer insulating oil has a characteristic that the electrical and physical properties. Electrical properties according to the standard IEC 156 is a minimum breakdown voltage 30 KV. Physical properties conform to IEC standard 296 minimum flash point 135 °C, pour point maximum -40 °C and viscosity maximum 12 mm / s and the DGA testing corresponding IEEE 1991 standard.

Vegetable oils have characteristic properties that can be tried as an alternative to the transformer insulating oil that has advantages compared to petroleum that can be updated (renewable). Alternative oil used in this study is olive oil (*Olea europaea*). According to Cal (2008) olive oil since 400 SM has various many benefits.

Olive oil as the oil alternative on a transformer to determine its feasibility needs testing electrically (with a series of testing voltage breakdown), physical (test pour point by using seta lec cloud and pour point refrigerator, a flash point by using cleveland open cup, viscosity by using capillary tube) and DGA (Dissolved Gases Analysis) by using chromatography gas. Results from testing of olive oil than Diala oil B is the electrical properties have the breakdown voltage value has an average is 49,82 kV higher than the Diala oil B which has an average is 44,63 kV by using different types of electrodes and temperature variations, olive oil flash point higher than twice the Diala oil B and DGA test results have smaller value of olive oil TDCG (Total Dissolved Combustible Gases) it is 3,8 ppm compared to Diala oil B it is 626,7 ppm. Weakness in olive oil has possess pour point exceeds the IEC standard 206 is -9 °C and has a viscosity value that exceeds the standard IEC 296 is 38,71 mm²/s.

Keywords: Transformator oil, electrical properties, physical properties, test DGA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, kebutuhan energi semakin meningkat. Meningkatnya konsumsi energi menyebabkan berkurangnya dan habisnya energi tersebut khususnya energi yang berasal dari minyak bumi. Hasil penyulingan dari minyak bumi menghasilkan tiga tingkatan bentuk senyawa hidrokrabon yang berbeda antara lain : *paraffinic*, *naphthenic* serta *aromatic* (Nynas, 2001:8). Dalam ketiga tingkatan tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda. *Naphthenic* merupakan bahan dasar dalam pembuatan minyak transformator. Seiring dengan berjalannya waktu sumber energi minyak bumi akan habis yang berdampak pada produksi minyak trafo sehingga akan terjadi kelangkaan. Oleh karena itu perlu adanya sumber alternatif untuk digunakan sebagai minyak trafo yang tidak mengubah dari fungsi dan sifat-sifat fisisnya sebagai isolator dan pendingin pada transformator.

Minyak isolasi transformator memiliki karakteristik yaitu sifat elektrik dan fisis. Sifat elektrik sesuai standar IEC 156 yaitu tegangan tembus minimal 30 KV. Sifat fisis sesuai standar IEC 296 titik nyala minimal 135 °C, titik tuang maksimal -40 °C dan viskositas maksimal 12 mm²/s serta pengujian DGA yang sesuai standar IEEE 1991.

Minyak isolasi transformator yang sering digunakan adalah minyak Diala B yang berasal dari minyak bumi. Meskipun minyak mineral ini memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, tetapi karena berasal dari minyak petroleum, maka memiliki sifat mudah terbakar (*flammable*) dan termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui sehingga lambat laun tingkat harganya relatif mahal.

Minyak nabati memiliki sifat karakteristik yang dapat dicoba sebagai minyak isolasi transformator alternatif selain itu memiliki kelebihan dibandingkan dengan minyak bumi yaitu dapat diperbarui (*renewable*). Minyak alternatif yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak zaitun. Menurut Cal (2008:3) minyak zaitun sejak 400 SM telah memiliki berbagai banyak manfaat.

Pengujian dilakukan pada minyak zaitun sebagai minyak isolasi alternatif serta menjadikan minyak Diala B sebagai pembanding. Pengujian minyak zaitun dan Diala B dilakukan dengan memvariasikan suhu mulai dari suhu minyak dalam ruang pengujian sampai 105°C dengan kenaikan tiap 20 °C agar dapatnya diketahui berapa besarnya nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*). Selain meneliti besarnya tegangan tembus

dengan bermacam-macam suhu, peneliti juga meneliti mengenai besarnya nilai titik nyala (*flash point*), titik tuang (*pour point*), dan kekentalan/viskositas (*viscosity*). Serta Pengujian DGA yang dimana fungsi dari pengujian DGA pada penelitian ini adalah mendeteksi secara dini akan adanya fenomena kegagalan dan dampak tingkat kandungan zat yang mudah terbakar guna memberikan gambaran sebelum digunakan pada transformator yang akan diujikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana sifat elektrik minyak zaitun dibandingkan minyak Diala B.
2. Bagaimana sifat fisis minyak zaitun dibandingkan dengan minyak Diala B.
3. Berapa total gas TDCG (*Total Dissolved Combustible Gases*) yang dibandingkan dalam minyak zaitun dibandingkan minyak Diala B.
4. Bagaimana minyak zaitun dan minyak Diala B dari segi ekonomis

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang agar tidak menyimpang dari tujuan dari penelitian ini, maka ruang lingkup yang dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Pengujian minyak zaitun dan minyak Diala B dilakukan di PT Trafoindo Prima Perkasa.
2. Yang dimaksud sifat elektrik adalah tegangan tembus.
3. Yang dimaksud sifat fisis adalah titik nyala, titik tuang dan viskositas.
4. Pengujian DGA menggunakan gas *chromatography* dengan analisis TDCG.
5. Variasi suhu pengujian pada suhu ruang sampai 105°C dengan kenaikan 20 °C.
6. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada minyak isolasi.

1.4 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan sifat elektrik, sifat fisis dan kandungan gas pada minyak zaitun.

1.5 Manfaat

Berdasarkan pada latar belakang, maka manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat menambah ilmu pengetahuan/informasi/gambaran mengenai minyak zaitun sebagai minyak untuk transformator dengan berbagai suhu serta variasi bentuk elektroda pengujian.
2. Dapat memberi perhatian kepada pemerintah akan manfaat yang didapat dari minyak zaitun sehingga penanaman pohon zaitun semakin banyak.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut:

BAB I : Membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, sistematika pembahasan

BAB II : Berisi tentang teori penunjang yang digunakan sebagai dasar penelitian yang akan digunakan, minyak isolasi, bahan dasar pembuatan minyak transformator jenis-jenis minyak Isolasi, ruang lingkup pengujian dan sifat-sifat dielektrik cair, karakteristik minyak terhadap temperatur, kekuatan dielektrik minyak isolasi, faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi, DGA (*Dissolved Gases Analysis*) dan viskometer kapiler.

BAB III : Membahas tentang alat dan bahan dalam pengujian, pengujian tegangan tegangan tembus, titik nyala, titik tuang serta viskositas.

BAB IV : Membahas tentang hasil pengujian tegangan tembus, titik nyala, titik tuang, viskositas, pengujian DGA serta segi ekonomis pada minyak zaitun serta minyak Diala B sebagai pembanding.

BAB V : Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Isolasi

Minyak isolasi merupakan bahan isolasi cair selain isolasi padat dan gas. Bahan isolasi cair dan padat memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Minyak ini mempunyai peranan penting dalam sistem kelistrikan, khususnya dalam bidang peralatan teknik tegangan tinggi seperti halnya minyak yang digunakan pada transformator .

Minyak transformator mempunyai tiga fungsi sesuai dengan standar PLN dengan no. Dokumen: P3B/O&M Trafo/001.01 yaitu: sebagai bahan isolasi, sebagai pelindung serta sebagai bahan pendingin transformator. Sebagai bahan isolasi, minyak harus mampu menahan tegangan tembus yang tinggi, sehingga tidak timbul tembus (*breakdown*) antara kumparan-kumparan trafo tersebut. Sebagai pelindung, minyak dapat melindungi komponen-komponen di dalam trafo terhadap korosi dan oksidasi. Sebagai bahan pendingin, minyak dipilih karena minyak dapat meradiasikan panas secara baik dari inti dan kumparan ke bagian terluar yaitu tangki trafo. Jadi minyak digunakan untuk merendam kumparan dan inti besi transformator.

2.2 Bahan Dasar Pembuatan Minyak Transformator

Bahan dasar untuk pembuatan minyak transformator berasal dari minyak mentah (*crude oil*). Untuk mendapatkan kualitas dielektrik yang baik maka, pabrik pabrik pembuat minyak transformator menambahkan zat-zat tertentu ke bahan tersebut.

Berikut ini akan dijelaskan secara umum pembuatan minyak transformator, mulai dari minyak mentah sampai didapat unsur yang mempunyai sifat sebagai bahan isolasi. Minyak mentah yang ditambang masih bercampur dengan air, gas dan unsur-unsur lainnya, kandungan gas tersebut akan dibuang melalui pipa tertentu dengan jarak yang cukup aman pada pabrik pengolahannya. Sedangkan lumpur dan air tadi masih mengandung bahan padat yaitu tanah liat, pasir dan unsur –unsur lain, yang mana pemisahannya dilakukan di sekitar pemboran. Selanjutnya cairan ini disalurkan ke kilang- kilang untuk disuling dengan bahan yang dibutuhkan.

Klasifikasi hidrokarbon yang diperoleh dari minyak mentah ini dapat dibagi dalam 3 tingkatan yaitu: (Nynas, 2001:8)

1. Paraffinic, dengan rumus kimia C_nH_{2n+2}
2. Napthenic, dengan rumus kimia C_nH_{2n}
3. Aromatic, dengan rumus kimia C_nH_n

Dalam minyak mentah, ketiga tingkatan di atas berbeda fungsinya pada setiap unsur. Selanjutnya proses penyulingan juga akan berbeda sebagai produksi utama yang akan dihasilkan. Neptana adalah sebagai bahan dasar dalam pembuatan minyak transformator, minyak pelumas, minyak hdirolik, bahan kosmetik, keperluan farmasi dan lain sebagainya.

2.3 Jenis - Jenis Minyak Isolasi

2.3.1 Minyak Mineral

Minyak isolasi mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya adalah dari minyak bumi (minyak mentah) yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini masih harus dimodifikasi agar tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, dan mempunyai karakteristik panas yang stabil serta memenuhi syarat- syarat teknis yang lain.

Minyak isolasi mineral banyak digunakan pada transformator daya, kabel, pemutus tenaga (*chircuit breaker*), dan kapasitor. Dalam hal ini minyak isolasi dapat berfungsi sebagai bahan dielektrik, sebagai bahan pendingin (penyerap panas) dan sebagai pemadam busur api.

Namun, minyak bumi merupakan minyak yang tidak dapat diperbarui/ akan habis, semakin hari semakin menipis sehingga dalam penggunaannya sebaiknya digunakan secara efektif dan efisien, maka perlu adanya sumber daya alternatif yang terbarukan untuk menggantikan minyak bumi. Minyak bumi/ mineral yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak Shell Diala B seperti terlihat contoh drum minyak Diala B pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Drum Minyak isolasi Shell Diala B
Sumber : Shell, 2008

Minyak mineral yang sering digunakan untuk minyak trafo di indonesia adalah Shell Diala B, dengan sifat isolasi /*dielectric properties* . seperti terlihat pada Tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Sifat Isolasi/*Dielectric Properties* Shell Diala B

No	Sifat isolasi	standar	IEC 296	Shell Diala B
1	Tegangan tembus	IEC 156 (KV) - Sebelum <i>ditreatment</i> - Setelah <i>ditreatment</i>	Min 30 Min 70	>30 >70
2	Titik nyala (Pensky Martens)	ISO 2719/ASTM D93 (°C)	Min 135	140
3	Titik tuang	ISO 3016 (°C)	Maks -40	-57
4	Viskositas (40 C)	ISO 3104 (mm ² /s)	Maks 12	10

Sumber : Technical Data Sheet Shell Diala B

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa sifat *dielectric* pada minyak shell Diala B memiliki tegangan tembus diatas 30 KV sebelum di treatment dan memiliki tegangan tembus diatas 70 KV setelah di treatment ketika dipasang elektroda dengan jarak sela 2,5 mm, dan prosedur sesuai dengan standar IEC 156.

Titik nyala yang dimiliki minyak Diala B pada suhu 140 °C dimana sesuai kriteria standar IEC 296 yang minimal pada suhu 135 °C, serta telah memenuhi metode ISO 2719/ASTM D93. Titik tuang yang dimiliki minyak Diala B pada suhu -57 °C menunjukkan memenuhi kriteria dengan maksimal -40 °C, pengujian ini telah memenuhi ISO 3016. Viskositas yang dimiliki minyak Diala B adalah 10 mm setiap detik pada suhu 40 °C dimana angka tersebut sesuai standar IEC 296 dengan nilai maksimal 12 mm setiap detiknya, pengujian ini telah memenuhi metode ISO 3104.

2.3.2 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah minyak yang disari/diekstrak dari berbagai bagian tumbuhan . Penggunaan minyak nabati memiliki beberapa kelebihan yaitu tidak beracun, dapat dikonsumsi manusia, dapat diurai kembali (*biodegradable*), ramah lingkungan, dan dapat diperbarui (*renewable*). Beberapa jenis minyak nabati yang biasa digunakan adalah minyak kelapa sawit afrika, jagung, zaitun, minyak lobak, kedelai dan bunga matahari. Dalam penelitian ini minyak nabati yang akan digunakan adalah minyak zaitun.

Minyak zaitun atau minyak Olive adalah minyak yang didapat dari buah zaitun (*Olea europaea*), pohon tradisional dari basin Mediterania. Pada minyak zaitun kandungan yang paling dominan adalah asam oleat asam lemak tak jenuh tunggal sebesar 61,29%. Contoh minyak zaitun dalam kemasan bisa dilihat pada Gambar 2.2. Banyak kandungan yang terdapat pada minyak, lebih lanjutnya pada Tabel 2.2.



Gambar 2.2 Minyak zaitun
Sumber : www.mimunedia.com

Tabel 2.2 Komposisi Minyak Zaitun

Parameter	%	Saturated Fat	%	Monounsaturated Fat	%	Polyunsaturated Fat	%
Choloeterol	0	Miristat	0	Palmitoleat	0,87	Linoleat	12,97
Total fat	98,62	Palmitat	16,63	Oleat	61,29	Linolenat	0,72
Protein	0	Stearat	2,14				
Carbohydarte	0,32	Arachidat	0,30				
Sodium, Na	0,69						

Sumber : Nutrivition facts olive oil

Asam lemak/asam alkanoat/asam karboksilat adalah asam organik berantai panjang yang mempunyai atom karbon 4-24, memiliki gugus karboksil tunggal dan ujung hidrokarbon nonpolar yang panjang menyebabkan hampir semua lipid bersifat tidak larut dalam air dan tampak berminyak atau berlemak (johnson dan davenport 1971). Penamaan asam lemak berdasarkan pada jumlah atom karbon dan posisi ikatan tak jenuh dari gugus karboksilatnya (Lobb, 1992). Rumus molekul asam lemak adalah $C_n H_{2n} O_2$.

Asam lemak dapat digolongkan berdasarkan: (Lobb, 1992)

1. Panjang rantai karbon terbagi menjadi 3 rantai, yaitu rantai pendek (C2-C6), rantai sedang (C8-C12) dan rantai panjang (C14-C24). Asam lemak, semakin panjang rantai karbon penyusunnya, semakin mudah membeku dan semakin sulit untuk larut.
2. Derajat kejenuhan terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

a. Asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*)

Lemak jenuh adalah lemak yang tidak ada ikatan rangkap/ memiliki ikatan tunggal di antara atom atom karbon penyusunnya. Secara karakteristik lemak jenuh berbentuk padat pada suhu kamar, memiliki jumlah atom berjumlah genap. Asam lemak jenuh dapat meningkatkan LDL kolesterol jahat maupun HDL kolesterol baik, meningkatkan kadar kolesterol total. Asam lemak jenuh banyak ditemukan di daging merah, susu, yogurt, telur, coklat, keju, kacang. Lemak jenuh yang paling dominan pada kandungan minyak zaitun ini berupa asam palmitat/palmitic acid sebesar 16,63%. Asam palmitat dengan nama ilmiah asam heksadekanoat/hexa decanoic acid berwujud padat berwarna putih pada suhu ruangan, asam ini tersusun dari 16 atom karbon/C 16, berantai panjang dengan rumus kimia $C_{16}H_{32}O_2$ dan rumus struktur $CH_3(CH_2)_{14}COOH$. Asam lemak jenuh identik dengan kolesterol asam ini dapat berbahaya bagi kesehatan tubuh apabila dalam mengkonsumsinya terlalu banyak dan sering karena dapat menimbulkan beberapa penyakit seperti sakit jantung, stroke, maupun penyempitan pembuluh darah.

b. Asam lemak tak jenuh tunggal (*Mono Unsaturated Fatty Acid*)

Lemak tak jenuh tunggal adalah lemak yang mempunyai paling sedikit satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Lemak ini berbentuk cair pada suhu kamar dan dapat mengurangi LDL tanpa mempengaruhi HDL. Oleat merupakan lemak tak jenuh tunggal yang kandungannya paling besar pada minyak zaitun, yaitu sekitar 61,29%. Asam oleat adalah asam oleat/oleic acid /omega 9 tersusun dari 18 atom C dengan satu ikatan rangkap di antara atom C ke 9 dan ke 10. Asam oleat memiliki rumus struktur $CH_3(CH_2)_7 = CH(CH_2)_7COOH$.

c. Asam lemak tak jenuh ganda (*Poly Unsaturated Fatty Acid*)

Lemak tak jenuh ganda adalah lemak yang mempunyai dua atau lebih ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Lemak ini berbentuk cair pada suhu kamar, dapat mengurangi LDL maupun HDL. Lemak tak jenuh ganda dalam minyak zaitun ini berupa asam linoleat sebesar 12,97%.

Asam linoleat/ linoleic acid/ omega 6 memiliki rantai 18 karbon panjang. Asam linoleat tidak hanya ditemukan di minyak zaitun tetapi dapat ditemukan di minyak jagung, minyak bunga matahari dan makanan nabati (kacang kacang, biji bijian, alpukat). Semakin panjang rantai karbon dan semakin banyak jumlah ikatan rangkapnya, maka semakin besar kecenderungan untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah.

2.4 Ruang Lingkup Pengujian dan Sifat-sifat Dielektrik Cair

Minyak isolasi memiliki sifat – sifat serta pengujiannya dalam memenuhi fungsinya, antara lain sebagai berikut: (IEEE C57.106. 2006)

1. Sifat fisika

a. Massa jenis (*Density*)

Densitas adalah berat masa minyak per satuan volume (kg/l) pada suhu 20 °C. Pengujian inidilakukan hanya untuk minyak minyak isolasi baru. Metode uji densitas mengacu ke standar ISO 3675.

b. Viskositas kinematik (*Kinematic viscosity*)

Viskositas adalah suatu ukuran dari besarnya perlawanan yang diberikan oleh minyak untuk mengalir, atau ukuran dari besarnya tekanan geser bagian dalam dari suatu bahan cair. Bila suhu naik maka viskositas akan turun. Pengujian viskositas hanya dilakukan untuk minyak isolasi baru. Metoda yang dipakai mengacu pada ISO 3104.

c. Titik nyala (*Flash point*)

Titik nyala adalah adalah suhu terendah dimana uap minyak mulai menyala. Metoda ini dipakai untuk mendeteksi kontaminasi minyak yang berupa bahan bahan yang mudah menguap. Titik nyala rendah mengindikasikan terdapat kandungan yang bersifat volatile combustible. Titik nyala diuji dengan sistem *Closed Cup* dan mengacu pada standar ISO 2719.

d. Titik tuang (*Pour point*)

Titik tuang adalah suhu terendah dimana minyak dapat mengalir pada saat didinginkan dan kondisi suhu tertentu. Sesuai standar pengujian mengacu ke standar ISO 3016.

2. Sifat Kelistrikan

Adapun sifat-sifat kelistrikan dari isolasi cair antara lain:

a. Tegangan tembus atau gagal (*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. Faktor Kebocoran Dielektrik (*Dielectric Dissipation Factor*)

Faktor kebocoran dielektrik sangat terpengaruh oleh adanya kontaminan, dan sedimen hasil oksidasi atau koloid. Pengujian dilakukan pada suhu 90 °C pada minyak baru ataupun minyak pakai dan mengacu pada standar IEC 247.

c. Permittivitas (*Permittivity*)

Suatu bahan memiliki kemampuan menyimpan energi listrik yang berbeda-beda, tergantung pada molekul yang menyusunnya. Kemampuan bahan menyimpan energi elektrostatis (Permittivitas) akan naik jika suatu bahan berubah komposisi kimianya sehingga berat molekul bahan tersebut meningkat. Penyimpanan ini terjadi akibat pergeseran relatif kedudukan muatan positif internal dan muatan negatif internal terhadap gaya atomik dan molekular yang normal.

3. Sifat kimia

a. Keasamaan

Keasaman (angka kenetralan) dalam minyak isolasi menunjukkan adanya kontaminan hasil oksidasi yang bersifat asam. Uji ini sangat dibutuhkan untuk suatu penggantian minyak. Pengujian mengacu ke standar IEC 296:1982 dan 296: 2003.

b. Kadar air

Kandungan air dalam minyak isolasi berasal dari udara (atmosfir), diuji dengan metoda Karl Fisher Coulometric dan mengacu pada standar IEC 814.

c. Ketahanan oksidasi

Uji ketahanan oksidasi adalah peristiwa oksidasi minyak dengan kondisi dan waktu tertentu atau ukuran baik tidaknya (ketahanan) suatu minyak trafo baru terhadap oksidasi. Dalam proses ini akan menghasilkan sedimen dan asam. Pengujian mengacu ke standar IEC 74.

d. Korosi kepingan Tembaga

Uji korosi kepingan tembaga adalah suatu uji kemampuan minyak isolasi untuk mengakibatkan korosi pada kepingan tembaga dengan waktu dan suhu tertentu. Dengan adanya korosif senyawa sulfur yang merugikan akan menghasilkan deteriosasi pada logam yang besarnya tergantung pada jumlah dan tipe korosif, waktu dan suhu. Pengujian mengacu ke standar ASTM 1275 B.

d. Sedimen

Sedimen merupakan kontaminan pada minyak pakai dan terjadi karena proses oksidasi, pengujian mengacu ke standar IEC 422.

2.5 Karakteristik Minyak Terhadap Temperature

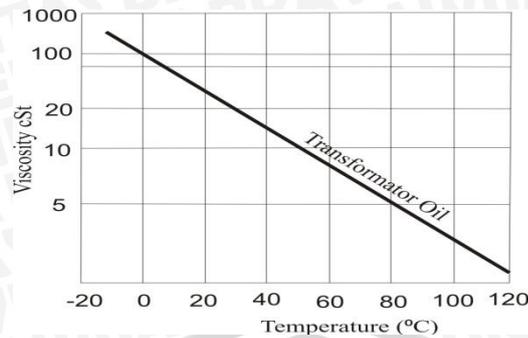
Pada peralatan yang menggunakan sistem isolasi minyak, panas dialirkan secara konveksi. Proses aliran panas secara konveksi (N) dapat dihitung dengan: (Wahyu, 2008: 3)

$$N = \left(\frac{K^3 AC}{v} \right)^n \quad (2.1)$$

dengan :

K	: konduktivitas thermal	A	: koefisien pemuai
C	: panas/satuan volume	v	: viskositas kinematik
n	: konstanta (0,25~0,33)		

Dari persamaan 2.1, aliran panas sangat bergantung pada konduktivitas thermal, koefisien pemuai, dan panas per satuan volume. Secara umum pada dielektrik cair besarnya koefisien pemuai (A) dan panas per satuan volume (C) tidak terlalu berpengaruh, tetapi nilai viskositas kinematik (v) sangat mempengaruhi aliran panas.



Gambar 2.3 Karakteristik Temperatur Terhadap Viskositas Pada Minyak Trafo dan Minyak Silikon

Sumber : Malik, N.H, 1998, Electrical Insulation in Power Systems

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa dengan semakin naiknya temperatur maka viskositas pada minyak trafo akan semakin menurun. Kenaikan temperatur ini akan menyebabkan molekul-molekul pada minyak akan merenggang sehingga minyak akan menjadilebih cair karena nilai viskositasnya kecil.

2.6 Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi

Kekuatan dielektrik minyak isolasi adalah kuat medan maksimum (medan listrik) yang dapat dipikul oleh minyak isolasi tersebut. Besarnya kekuatan dielektrik minyak isolasi biasanya diatas 30 KV/mm. Peristiwa kegagalan minyak isolasi melaksanakan fungsinya sebagai bahan dielektrik disebut tembus listrik (*breakdown*). Peristiwa tembus listrik ini terjadi bila kuat medan yang dipikul melebihi kekuatan dielektriknya, breakdown terjadi jika: (Samuel, 2009: 23)

$$E_d > E_c \quad (2.2)$$

dengan :

E_d : kuat medan yang dipikul isolator
 E_c : kekuatan dielektrik isolator

Tegangan tembus adalah tegangan ketika pada sebuah isolator itu sudah tidak mampu menghadapi stres tegangan di antara elektroda yang terpisah yang memiliki beda potensial. Tegangan tembus dipengaruhi oleh faktor keseragaman medan listrik. Besar faktor keseragaman medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen maka $\eta \approx 1$, sedangkan pada elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non homogen maka nilai $\eta < 1$. Hubungan antara sela elektroda dan bentuk geometris elektroda dengan tegangan tembus ditunjukkan dengan rumus : (Abdullah, 1990)

$$U_d = E_d \times s \times \eta \quad (2.3)$$

dengan

- U_d : Tegangan tembus / *breakdown* (kV)
 E_d : Kuat medan listrik yang menyebabkan tembus (kV/cm)
 s : Jarak sela antar elektroda (cm)
 η : Faktor keseragaman medan listrik pada susunan elektroda

2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kegagalan Isolasi

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan isolasi yaitu

1. Tegangan lebih

Pada perinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tekanan (stress) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolator itu sendiri agar supaya isolator tidak gagal. Dalam struktur molekul material isolasi, elektron-elektron terikat erat pada molekulnya, dan ikatan ini mengadakan perlawanan terhadap tekanan yang disebabkan oleh adanya tegangan. Bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolator akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (impurity) seperti adanya arang atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menurunkan tegangan gagal.

2. Partikel

Ketidak murnian memegang peranan penting dalam kegagalan isolasi. Partikel debu atau serat selulosa dari sekeliling dielektrik padat selalu tertinggal dalam cairan. Apabila diberikan suatu medan listrik maka partikel ini akan terpolarisasi. Jika partikel tersebut lembab atau basah maka gaya ini makin kuat karena permitivitas air tinggi. Partikel yang lain akan tertarik ke daerah yang bertekanan tinggi hingga partikel partikel tersebut bertautan satu dengan lainnya karena adanya medan. Hal ini menyebabkan terbentuknya jembatan hubung singkat antara elektroda. Arus yang mengalir sepanjang jembatan ini menghasilkan pemanasan lokal dan menyebabkan kegagalan.

3. Air

Air yang dimaksud adalah berbeda dengan partikel yang lembab. Air sendiri akan ada dalam minyak yang sedang beroperasi/dipakai. Namun demikian pada kondisi operasi normal, peralatan cenderung untuk mambatasi kelembaban hingga nilainya kurang dari 10 %. Medan listrik akan menyebabkan tetesan air yang tertahan didalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis, tetesan itu menjadi tidak stabil. Kanal kegagalan akan menjalar dari ujung tetesan yang memanjang sehingga menghasilkan kegagalan total.

4. Gelembung

Pada gelembung dapat terbentuk kantung kantung gas yang terdapat dalam lubang atau retakan permukaan elektroda, yang dengan penguraian molekul molekul cairan menghasilkan gas atau dengan penguatan cairan lokal melalui emisi elektron dari ujung tajam katoda. Gaya elektrostatis sepanjang gelembung segera terbentuk dan ketika kekuatan kegagalan gas lebih rendah dari cairan, medan yang ada dalam gelembung melebihi kekuatan uap yang menghasilkan lebih banyak uap dan gelembung sehingga membentuk jembatan pada seluruh celah yang menyebabkan terjadinya pelepasan secara sempurna.

2.8 DGA (*Disolve Gases Analisis*)

Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metoda DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

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

DGA secara harfiah dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator. Pengujian kandungan gas terlarut pada minyak transformator akan memberi informasi terkait dengan kondisi dan kualitas kerja transformator. Tabel konsentrasi gas terlarut ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Dissolved Gas Concentrations*

<i>Dissolved Key Gas Concentration Limits (ppm)</i>								
Status	H ₂	CH ₄	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	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Kondisi 3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>80	>200	>151	>1400	>10000	>4630

Sumber : IEEE Standar C57.104-1991

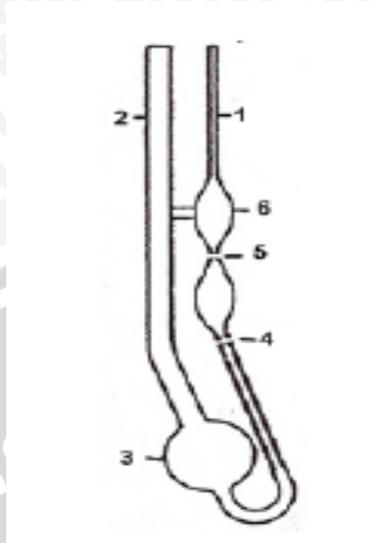
Nilai batasan standar TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) adalah jumlah gas mudah terbakar yang terlarut. Berdasarkan standar IEEE yang membuat pedoman untuk mengklasifikasikan kondisi operasional transformator yang terbagi dalam 4 kondisi yaitu

- Kondisi 1 transformator beroperasi normal. Namun perlu dilakukan pemantauan kondisi gas-gas tersebut.
- Kondisi 2 tingkat TDCG mulai tinggi. Ada kemungkinan timbul gejala gejala kegagalan yang harus diwaspadai. Perlu dilakukan pengambilan sampel minyak yang lebih rutin dan sering.
- Kondisi 3, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi dari isolasi kertas/isolasi minyak transformator. Berbagai kegagalan mungkin dapat terjadi, oleh karena itu perlu diwaspadai dan perlu perawatan lebih lanjut.
- Kondisi 4, TDCG pada tingkat ini menunjukkan adanya dekomposisi/kerusakan pada isolasi kertas/minyak transformator yang telah meluas.

2.9 Viskometer Kapiler

Viskometer kapiler adalah suatu alat yang mengukur viskositas suatu cairan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan bagi cairan tersebut untuk melewati antara garis atas ke garis bawah ketika mengalir karena pengaruh gaya gravitasi. Viskositas adalah suatu ukuran yang menyatakan kekentalan suatu cairan atau fluida. Kekentalan merupakan sifat cairan yang berhubungan dengan hambatan untuk mengalir. Satuan

dalam viskositas adalah centistokes (cSt) yang nilainya sama dengan luasan perdetik (mm^2/s). Viskometer dapat dilihat beserta keterangannya pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Viskometer kapiler
Sumber: SNI 0936:2008

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1. Kaki pengukur | 4. Garis batas bawah |
| 2. Kaki berdiameter besar | 5. Garis batas atas |
| 3. Bola penampung contoh | 6. Bola tempat contoh |

Ukuran viskometer dipilih sesuai dengan Tabel 2.4, menurut kisaran viskositas yang diperkirakan, dengan waktu alir antara 200 s sampai dengan 1000 s.

Tabel 2.4 Ukuran Viskometer Kapiler dan Kisaran Viskositasnya

No. Ukuran	Kisaran Viskositas(cSt)	No. Ukuran	Kisaran Viskositas(cSt)
50	0.8-3.2	200	19-76
100	3-11	300	48-190
150	7-27		

Sumber: SNI 0936:2008

Nilai viskoitas pada pipa kapiler didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$v = C \times t \quad (2.4)$$

dengan :

- C : Kontanta viskometer pipa kapiler (cSt/s)
T : Viskositas (cSt)
v : Waktu alir (s)

Nilai konstanta pipa kapiler pada persamaan 2.4 ditentukan dengan kode dan ukuran yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nomor Kode dan Konstanta pada Pipa Kapiler untuk Minyak Transparan

No	Kode Kapiler	Size	Konstanta Pada Suhu		
			40°C	100°C	Semua Suhu
1	47504	0	-	-	0,001711
2	1098	25	-	-	0,002223
3	1310	50	0,003864	0,003845	-
4	51303	50	-	-	0,00421
5	1011929	100	-	-	0,01521
6	51310	100	-	-	0,01521
7	63621	100	-	-	0,01565
8	17815	100	0,0141	0,0143	-
9	P846	150	0,03154	0,03139	-
10	P906	150	0,0336	-	-
11	5792	150	0,03287	0,03271	-
12	1557	200	-	-	0,1092
13	63975	200	-	-	0,1031
14	18289	300	0,248	0,2468	-
15	17155	300	0,2334	0,2322	-
16	17170	300	0,2167	0,2156	-
17	56305	350	0,4868	-	-
18	914131	350	0,4671	-	0,4671
19	57198	400	-	-	1,128
20	61106	450	-	-	2,179
21	63237	500	-	-	10,51
22	63118	600	-	-	25,12

Sumber: Lab. Teknik kimia UGM

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi literatur

Studi literatur bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang berkaitan dengan permasalahan yang dikaji dalam skripsi ini. Studi literatur yang dilakukan dengan cara mempelajari buku referensi, jurnal, skripsi, *web browsing*, *data sheet*, dan forum-forum resmi yang menunjang dalam penyusunan skripsi. Studi literatur yang diperlukan sebagai bahan acuan dalam proses analisis seperti mempelajari pengaruh temperatur pada transformator yang menyebabkan rugi-rugi daya.

3.2 Studi Penelitian

Melakukan pengujian tegangan tembus dan pengujian DGA terhadap sampel minyak isolasi dengan menggunakan peralatan yang ada di Laboratorium PT. Trafoindo. Dimana sampel yang diambil adalah minyak transformator yaitu Shell Diala B dan Minyak Zaitun. Untuk pengujian titik nyala, titik tuang dan viskositas dilakukan di Laboratorium terpadu Universitas Gajah Mada. Minyak yang digunakan dalam penelitian ini masing-masing kurang lebih 10 Liter.

3.3 Pencarian Data

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran dan pengamatan langsung di lapangan.

- a. Pengukuran tegangan tembus terhadap perubahan suhu

Pengukuran tegangan tembus terhadap perubahan suhu dengan elektroda setengah bola, bola-bola dan jarum bola yang masing masing ditampilkan sesuai Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengukuran Tegangan Tembus Terhadap Perubahan Suhu dengan Elektroda Setengah Bola, Elektroda Bola-Bola dan Elektroda Jarum-Bola

Komposisi	Tegangan tembus (kV/2,5 mm)				
	Pada Suhu (°C)				
	Suhu ruang	50	70	90	105
minyak Diala B					
minyak Zaitun					

- b. Pengukuran titik nyala, titik tuang dan viskositas.

Pengukuran sifat fisik minyak zaitun ditampilkan sesuai pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengukuran Titik Nyala, Titik Tuang dan Viskositas

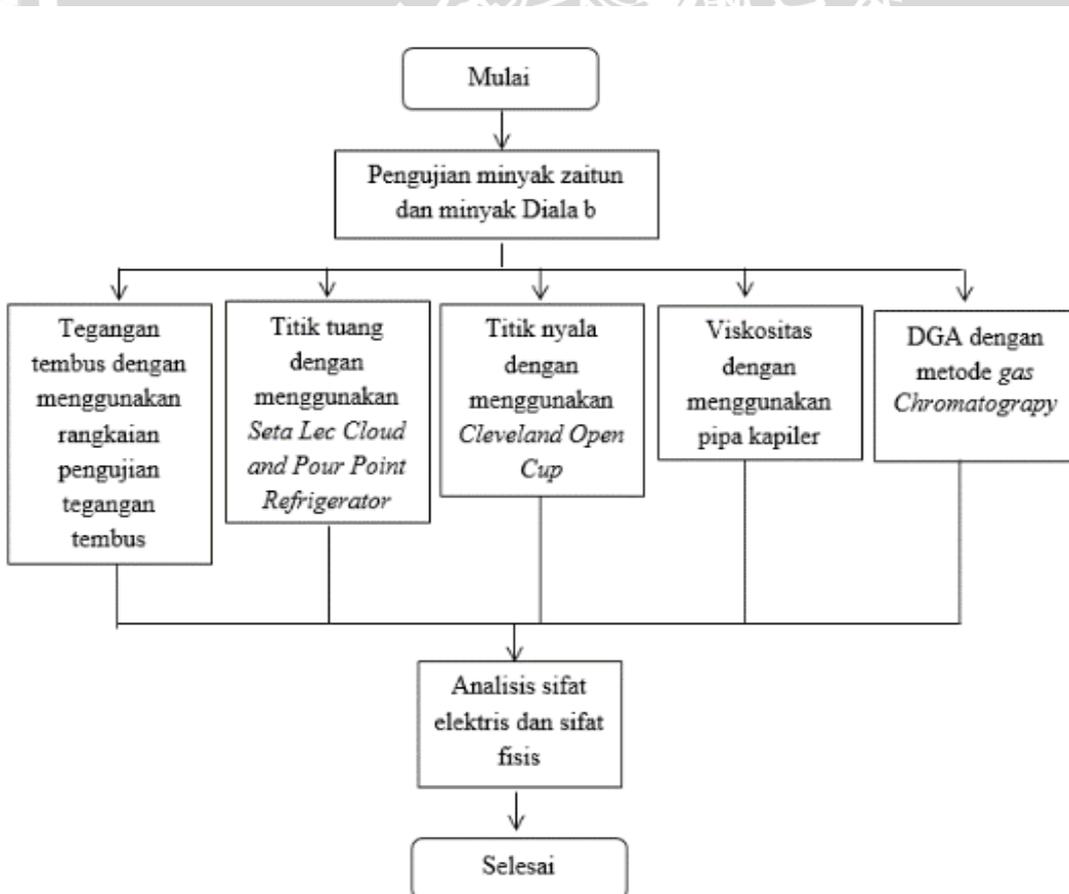
Komposisi	Titik Nyala	Titik Tuang	Viskositas
	Hasil Pengujian	Hasil Pengujian	Hasil Pengujian
Diala B			
Minyak Zaitun			

3.3.2 Data Sekunder

Data yang diperoleh berdasarkan pengujian karakteristik minyak isolasi *IEC 156*, *IEC 296*, *IEEE 1991*, jurnal serta skripsi yang relevan dengan pembahasan penelitian ataupun yang terdapat pada lapangan.

3.3.3 Metodologi

Metodologi penelitian ini digunakan untuk memberikan suatu alur kerangka berfikir dari penelitian. Langkah-langkah dalam analisis secara umum dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1.

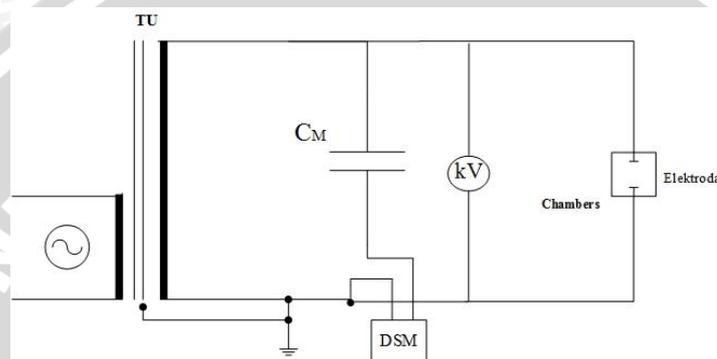


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian Tegangan Tambus

3.4 Perancangan Sistem

3.4.1 Tegangan Tembus

Tegangan tembus merupakan batas tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh suatu isolasi atau sering dikenal dengan kekuatan tegangan dielektrik isolasi. Dalam pengujian tegangan tembus ini minyak yang diuji akan mengalami kerusakan atau saat pengujian akan mengalami sedikit penurunan kualitas karena tibulnya pita karbon ketika terjadi tembus sempurna. Pengukuran dilakukan dengan tegangan AC. Dengan Jarak sela 2,5 mm. Rangkaian pengujian seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus
Sumber : Dieter Kind, 1993:192

Saat menuangkan minyak ke dalam tabung uji, sampel minyak dituang secara perlahan ke dalam tabung untuk mencegah pembentukan gelembung udara dan didiamkan kurang lebih 5 menit sebelum tegangan diterapkan. Tegangan tembus diukur pada gelas uji dengan tegangan bolak balik, sebagai sela digunakan sela bola dengan jarak sela 2,5 mm. Tegangan uji dinaikkan dari nol dengan laju sekitar 2 kV/s hingga terjadi tembus. Sebelum pengujian kembali minyak di diamkan selama kurang lebih 2 menit untuk menghilangkan kemungkinan terjadinya gelembung setelah pengujian diawal. Pengujian dilakukan selama 6 kali pada satu sampel lalu diambil nilai rata-rata (sesuai IEC 156-1963). Pengujian dilapangan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 a. Timbul Gelembung Pada Gelas Uji
b. Alat Uji Tegangan Tembus

3.4.1.1 Pengujian Tegangan Tembus

Prosedur pengujian break down voltage adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan, pastikan sudah terangkai semuanya.
2. Mengambil mangkuk pengujian, sebelum mengambil mangkuk pastikan kit pembangkit tegangan dalam keadaan mati dan tongkat pentanahan telah terpasang pada trafo pengujian, agar tidak ada tegangan pada mangkuk dan aman untuk diambil.
3. Membuang minyak (jika ada) ke wadah.
4. Membersihkan mangkuk dan elektroda, jangan dengan air karena di isi dengan minyak.
5. Mengatur elektrodanya, jarak elektroda sebesar 2,5 mm.
6. Memasang kembali mangkuk pada tempatnya.
7. Menuang minyak ke mangkuk pengujian, apabila terjadi pemanasan, atur suhu minyak sesuai yang diinginkan, sebelum menuangkan minyak ke mangkuk pengujian, tuang minyak terlebih dahulu ke panci, kemudian panaskan minyak melebihi dari yang diinginkan, karena proses sampai ke mangkuk pengujian akan terjadi rugi-rugi / pengurangan suhu.
8. Mengecek kembali suhunya, bila sudah sesuai tuang minyak ke mangkuk pengujian, lepaskan tongkat pentanahan.
9. Menyalakan saklar pada panel kontrol, naikan tegangan sampai terjadi tegangan tembus.
10. Mencatat hasilnya.
11. Menurunkan tegangan.
12. Mematikan saklar.
13. Mengulangi ke langkah 2.

3.4.1.2 Elektroda Uji

Elektroda yang digunakan pada pengujian tegangan tembus anatra lain :

1. Elektroda setengah bola
Elektroda setengah bola merupakan elektroda yang digunakan sebagai standar IEC 156 untuk pengukuran tegangan tembus isolasi cair. elektroda ini mempunyai diameter 50 mm dan terbuat dari alumunium. Jarak yang digunakan 2,5 mm karena sesuai standar IEC 156.

2. Elektroda bola bola

Elektroda bola yang digunakan untuk pengukuran tegangan tembus minyak trafo mempunyai diameter 25 mm. Elektroda bola digunakan sebagai contoh penggunaan bentuk elektroda seragam.

3. Elektroda jarum bola

Elektroda jarum bola yang digunakan pengukuran tegangan tembus minyak trafo mempunyai panjang jarum 50 mm dan diameter bola 25 mm. Analisis dan Pembahasan

3.4.2 Titik Nyala

Alat yang digunakan dalam pengujian titik nyala adalah dengan menggunakan *Cleveland Open Cup* (C.O.C), seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 a. *Cleveland Open Cup*
b. Lemari Asam

Sampel minyak diletakan pada cawan uji sebanyak 70 ml yang pada permukaan minyak dicelupkan termometer khusus sebagai indikator perubahan suhu, pelat pemanas memanaskan dengan kecepatan 15-17°C permenit sampai 56°C dibawah nilai titik nyala yang diperkirakan, setelah itu kecepatan kenaikan suhu diturunkan sebesar 5-6°C per menit dan setiap kenaikan 2°C per menit dilakukan *test flame*. Api yang pertama kali muncul dipermukaan minyak yang dipenuhi dengan asap itulah yang disebut “titik nyala”.

3.4.3 Titik Tuang (*Pour Point*)

Pengujian titik nyala menggunakan alat *Seta –Lec Cloud and Pour Point Refrigerator*, yang alatnya dapat dilihat pada Gambar 3.5.



(a)



(b)

Gambar 3.5 a. Sampel pengujian
b. Seta-Lec Cloud and Pour Point Refrigerator

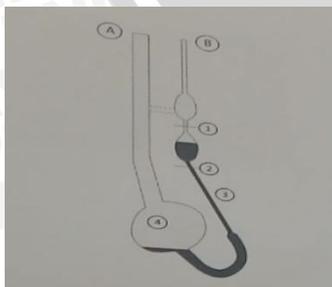
Sampel dipanaskan terlebih dahulu sampai 45°C , dengan tujuan agar terjadi homogenitas kemudian sampel didiamkan sampai suhu kamar. Setelah itu sampel dituang pada tabung pengujian yang telah terpasang termometer sebagai indikator perbuahan suhu sesuai pada Gambar sebanyak 50ml dari volume total 80 ml. Kemudian dimasukkan ke dalam alat uji. Alat tersebut memiliki 4 stage

1. Suhu kamar sampai 0°C .
2. 0°C sampai -6°C
3. 6°C sampai -20°C
4. -20°C sampai -55°C

3.4.4 Viskositas

Sampel minyak disaring terlebih dahulu menggunakan saringan 200 mesh, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan kejernihan minyak / tidak ada partikel sehingga mewujudkan keakuratan dalam pengujian. Hasil dari penyaringan diletakan di beaker glass. Minyak kemudian dimasukkan ke dalam viscometer bath pada oil bath seperti terlihat pada Gambar 3.6b. Atur suhu oil bath pada suhu 40°C .

Kemudian dimasukkan ke pipa kapiler sebanyak 10 ml melalui lubang 'B', seperti terlihat pada Gambar 3.6a., kemudian pipa kapiler divakum sampai minyak berada pada posisi 1. Menentukan viskositas yaitu dengan mengukur waktu alir minyak dari 1 ke 2 seperti terlihat pada Gambar 3.6 yang disebabkan oleh adanya gaya gravitasi.



(a)



(b)

Gambar 3.6 a. Pipa Kapiler Viscometer
b. Oil Bath

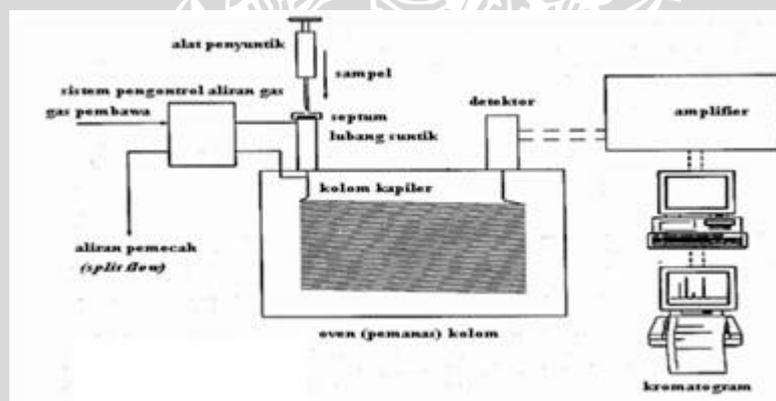
3.4.5 DGA (*Dissolved Gases Analysis*)

DGA merupakan suatu bentuk analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator. Pengujian kandungan gas terlarut pada minyak transformator akan memberi informasi terkait dengan kondisi dan kualitas kerja transformator. Pengujian DGA dilakukan pada sampel minyak yang diambil dari transformator, kemudian gas-gas terlarut (*dissolved gas*) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya, selanjutnya dihitung kuantitasnya (dalam satuan part per million – ppm).

Fungsi dari pengujian dga pada penelitian ini adalah mendeteksi secara dini akan adanya fenomena kegagalan dan dampak tingkat kandungan zat yang mudah terbakar guna memberikan gambaran sebelum digunakan pada transformator yang akan diujikan.

3.4.5.1 Metode Ekstraksi *Gas Chromatograph*

Teknik memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan berdasarkan tingkat penguapannya (*volatility*). Proses pengujian dengan metode *gas chromatograph* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Metode Gas Chromatograph

Sumber: Grob, 1995 Modern Practice of Gas Chromatography

Gas pembawa yang digunakan biasanya adalah helium, argon atau nitrogen dengan tekanan tertentu dialirkan secara konstan melalui kolom yang berisi fase diam. Selanjutnya sampel di injeksikan ke dalam injektor (*injection port*) yang suhunya dapat diatur. Komponen-komponen dalam sampel akan segera menjadi uap dan akan dibawa oleh aliran gas pembawa menuju kolom. Komponen-komponen yang akan teradsorpsi oleh fase diam pada kolom kemudian akan merambat dengan kecepatan berbeda sesuai dengan nilai K_d / kisaran dinamik masing-masing komponen sehingga terjadi pemisahan. Komponen yang terpisah menuju detektor dan akan terbakar menghasilkan

sinyal listrik yang besarnya proporsional dengan komponen tersebut. Sinyal lalu diperkuat oleh amplifier dan selanjutnya oleh pencatat (*recorder*) dituliskan sebagai kromatogram berupa puncak. Puncak konsentrasi yang diperoleh menggambarkan arus detektor terhadap waktu.



BAB IV

ANALISIS SIFAT ELEKTRIS DAN SIFAT FISIS MINYAK DIALA B DAN MINYAK ZAITUN

4.1 Pengantar

Pengujian dilakukan pada minyak Diala B dan Minyak Zaitun dengan menggunakan standar. IEC 156 untuk pengujian tegangan tembus, standar IEC 296 untuk pengujian titik tuang, titik nyala, dan viskositas, serta standar IEEE 1991 untuk pengujian TDCG. Pengujian dilakukan pada lima variabel dengan perlakuan masing-masing. Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan menggunakan tiga macam elektroda, yakni elektroda setengah bola, elektroda bola-bola, dan elektroda jarum bola dengan lima variasi suhu, suhu ruang, 50°C, 70°C, 90°C, dan 105°C. Pengujian tegangan tembus dengan elektroda setengah bola dan bola-bola adalah metode pengujian standar IEC 156, pengujian tegangan tembus dengan elektroda bola-bola merupakan pengujian yang mewakili medan homogen. Pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda jarum bola digunakan untuk memperoleh hasil pengujian medan heterogen. Hasil pengujian secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian

Variabel	Minyak Diala B		Minyak Zaitun	Standar			
Titik tuang	-57		-9	Minimal -40			
Titik nyala	144		334	Minimal 135			
Viskositas (cst)	9,4		38,71	Maksimal 12			
TDCG	626,7		3,8				
	Setengah Bola		Bola-bola	Jarum Bola			
	Diala B	Zaitun	Standar	Diala B	Zaitun	Diala B	Zaitun
Tegangan tembus pada suhu ruang	37,06	48,65	Minimal 30	34,23	43,01	33,05	42,77
Tegangan tembus pada suhu 50	42,93	50,51		42,81	46,69	40,83	44,87
Tegangan tembus pada suhu 70	45,15	51,73		44,77	49,28	44,2	48,41
Tegangan tembus pada suhu 90	51,33	54,7		50,11	51,17	48,82	50,87
Tegangan tembus pada suhu 105	52,03	58,13		51,82	53,65	50,3	53,18

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Pengujian Tegangan Tembus Minyak Zaitun dan Minyak Diala B

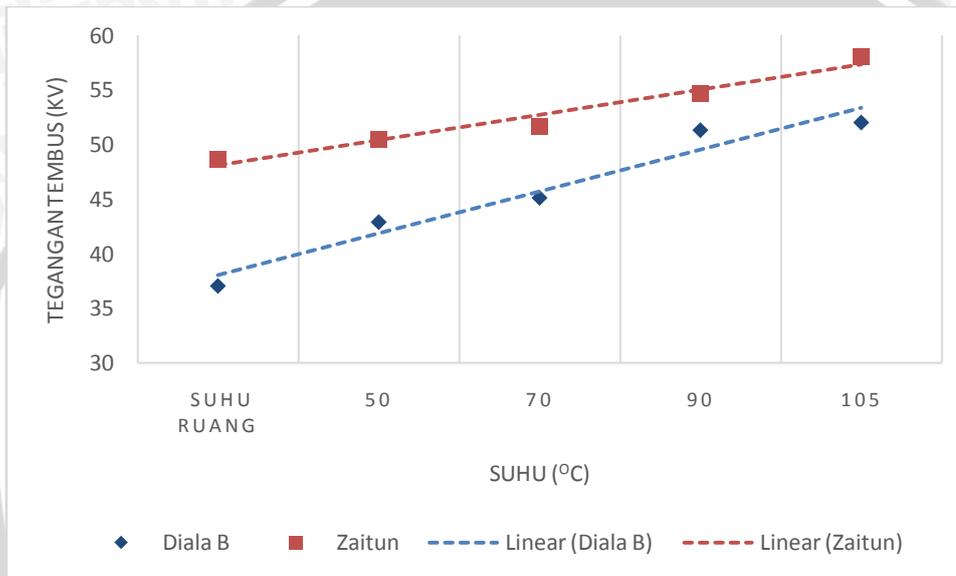
4.2.1.1 Menggunakan Elektroda Setengah Bola

Pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda setengah bola adalah uji laboratorium yang dilakukan untuk mengungkap kemampuan subjek, minyak Diala B dan Minyak Zaitun, melakukan perannya dalam fungsi isolasi pada trafo. Hasil pengujian tegangan tembus pada minyak zaitun dan minyak Diala B dengan memvariasikan suhu mulai dari suhu ruang hingga 105°C ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola

Jenis minyak	Tegangan tembus (kV)					Standar IEC 156 (kV)
	Suhu ruang (°C)	50	70	90	105	
minyak Diala B	37,06	42,93	45,15	51,33	52,03	Min 30
minyak Zaitun	48,65	50,51	51,73	54,7	58,13	

Hasil pengujian tegangan tembus pada minyak Diala B dan minyak zaitun divisualisasikan dengan lebih jelas dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Setengah Bola

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua nilai tegangan tembus kedua subjek berada di atas standar minimum 30 kV (Standar IEC 156), artinya dilihat dari parameter tegangan tembus, kedua subjek layak (*feasible*) untuk dipakai sebagai minyak trafo. Pengujian pada suhu 30°C menunjukkan bahwa tegangan tembus Diala B sebesar 37,06 kV dan minyak Zaitun 48,65 kV. Pengujian pada suhu yang lebih tinggi, yakni 50°C menunjukkan kenaikan pada keduanya, tegangan tembus Diala B menjadi 42,93 kV dan minyak zaitun menjadi 50,51 kV. Pada suhu 70°C, tegangan tembus Diala B meningkat menjadi 45,15 kV dan minyak zaitun menjadi 51,73 kV. Ketika suhu dinaikkan 90°C, tegangan tembus Diala B menjadi 51,33 kV dan minyak zaitun naik ke 54,7 kV. Terakhir, pada suhu tertinggi percobaan ini, suhu dinaikkan pada 105°C, tegangan tembus kedua subjek masih terus meningkat, Diala B naik pada 52,03 kV, sementara minyak zaitun naik pada 58,13 kV.

Secara keseluruhan, pada semua variasi suhu yang digunakan saat pengujian, nilai tegangan tembus minyak zaitun lebih tinggi daripada minyak Diala B. Pada interval suhu ruang sampai 105°C , rata-rata tegangan tembus minyak zaitun adalah 52,74 kV, sementara rata-rata tegangan tembus minyak Diala B hanya mencapai 45,70 kV. Dengan pendekatan nilai rata-rata, nilai tegangan tembus minyak zaitun lebih tinggi 7,04 kV dibandingkan dengan nilai tegangan tembus minyak Diala B. Hasil pengujian yang menunjukkan dimana nilai tegangan tembus minyak zaitun lebih tinggi daripada tegangan tembus minyak Diala B mengindikasikan bahwa minyak zaitun memiliki kualitas yang lebih baik dibanding minyak Diala B dalam menjalankan fungsi isolasi pada trafo.

Kemiringan grafik mengindikasikan bahwa kenaikan nilai tegangan tembus minyak zaitun lebih stabil dibandingkan Diala B, hal ini terlihat dari grafik minyak zaitun yang relative bergerak halus (*smooth*), naik dengan pelan dari suhu ruang sampai 70°C , kemudian naik dengan relatif lebih tajam sampai suhu 105°C . Fakta sebaliknya ditunjukkan oleh minyak Diala B, naik dengan relatif tajam ketika suhu dinaikkan dari suhu ruang ke 50°C . Ketika suhu dinaikkan lagi ke 70°C , tegangan tembus naik lebih lamban. Ketika dinaikkan lagi ke 90°C , kenaikannya kembali tajam, akhirnya ketika suhu dinaikkan lagi ke 105°C , kenaikan nilai tegangan tembus kembali melambat. Pola kenaikan nilai tegangan tembus yang disebabkan oleh kenaikan suhu menunjukkan bahwa minyak zaitun memiliki pola kenaikan suhu yang lebih halus dibandingkan dengan minyak Diala B. Fakta ini menunjukkan bahwa akan lebih mudah memprediksi tingkat kenaikan tegangan tembus pada minyak zaitun daripada minyak Diala B ketika terjadi kenaikan suhu.

Range kenaikan tegangan tembus pada kedua subjek, sekilas menunjukkan bahwa kenaikan suhu memiliki pengaruh yang lebih baik terhadap minyak Diala B daripada terhadap minyak zaitun. Pada interval yang sama, *range* kenaikan tegangan tembus minyak Diala B mencapai 14,97 kV, sementara kenaikan tegangan tembus pada minyak zaitun hanya sebesar 9,48. Namun, ketika dilihat lebih teliti, kenaikan tegangan tembus minyak zaitun yang relative lebih lamban dibanding kenaikan pada minyak Diala B dalam interval kenaikan suhu yang sama adalah sesuatu yang wajar. Karena minyak zaitun memiliki titik nyala yang jauh lebih tinggi dibanding Diala B. Kenaikan suhu menyebabkan kenaikan tegangan tembus yang lebih besar kepada Diala B, tetapi akan terhenti pada suhu 144°C , sementara minyak zaitun masih terus memiliki potensi kenaikan tegangan tembus pada suhu di atas 144°C , mengingat titik nyala minyak zaitun

mencapai suhu 334°C . Hal ini mengindikasikan bahwa kinerja minyak zaitun akan lebih baik dibanding minyak Diala B, mengingat dalam interval suhu ruang dan titik nyala, dapat dipastikan kalau kenaikan titik tembus minyak zaitun akan jauh lebih besar dibanding minyak Diala B. Indikasi ini mengacu pada ketentuan bahwa tingkat kemurnian subjek akan semakin baik ketika mendekati titik nyala.

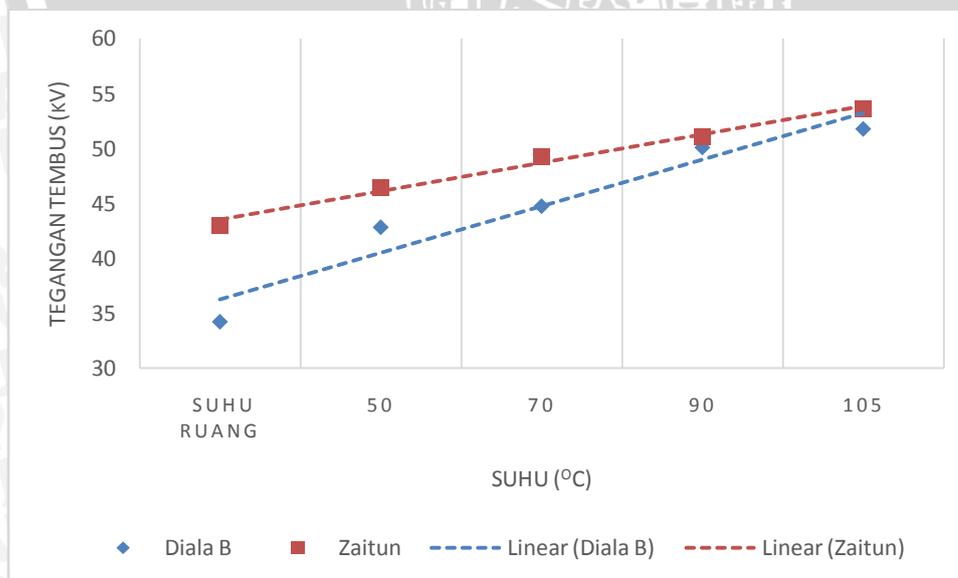
4.2.1.2 Menggunakan Elektroda Bola - Bola

Pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda bola-bola masih merupakan pengujian homogen sebagaimana pengujian tegangan tembus dengan menggunakan elektroda setengah bola. Pengujian ini dilakukan untuk mendukung dan memperkuat hasil pengujian dengan elektroda setengah bola. Hasil pengujian dengan menggunakan elektroda bola-bola disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Bola-Bola

Jenis minyak	Tegangan tembus (kV)					Standar IEC 156 (kV)
	Suhu ruang ($^{\circ}\text{C}$)	50	70	90	105	
minyak Diala B	34,23	42,81	44,77	50,11	51,82	Min 30
minyak Zaitun	43,01	46,49	49,28	51,17	53,65	

Visualisasi yang lebih jelas dan memiliki tafsir yang lebih luas terlihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Bola-Bola

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada semua interval suhu yang diuji, nilai tegangan tembus pada minyak zaitun selalu lebih tinggi daripada tegangan tembus minyak Diala B. Hal ini selaras sekaligus memperkuat hasil pengujian dengan menggunakan elektroda setengah bola, dimana dilihat dari sisi tegangan tembus, minyak zaitun memiliki kinerja yang lebih baik daripada minyak Diala B untuk digunakan sebagai minyak trafo. Pengujian pada suhu 30°C menunjukkan bahwa tegangan tembus Diala B sebesar 34,23 kV dan minyak Zaitun 43,01 kV. Pengujian pada suhu yang lebih tinggi, yakni 50°C menunjukkan kenaikan pada keduanya, tegangan tembus Diala B menjadi 42,81 kV dan minyak zaitun menjadi 46,49 kV. Pada suhu 70°C, tegangan tembus Diala B meningkat menjadi 44,77 kV dan minyak zaitun menjadi 49,28 kV. Ketika suhu dinaikkan 90°C, tegangan tembus Diala B menjadi 50,11 kV dan minyak zaitun naik ke 51,17 kV. Terakhir, pada suhu tertinggi percobaan ini, suhu dinaikkan pada 105°C, tegangan tembus kedua subjek masih terus meningkat, Diala B naik pada 51,82 kV, sementara minyak zaitun naik pada 53,65 kV.

Nilai tegangan tembus minyak zaitun yang selalu lebih tinggi daripada nilai tegangan tembus pada semua titik percobaan, selaras dengan nilai rata-rata tegangan tembusnya. Nilai rata-rata tegangan tembus minyak zaitun sebesar 48,72 kV, lebih tinggi 3,97 kV daripada nilai rata-rata tegangan tembus minyak Diala B yang hanya bernilai sebesar 44,75. Fakta ini selaras dengan hasil pengujian dengan menggunakan elektroda setengah bola, dimana rata-rata tegangan tembus minyak zaitun berada diatas nilai tegangan tembus minyak Diala B. Implikasinya, semakin jelas dan tegas bahwa minyak zaitun memiliki kinerja yang lebih baik daripada minyak Diala B dalam menjalankan fungsi sebagai pengisolasi pada trafo.

Dilihat dari pergerakan grafik, ternyata grafik minyak zaitun bergerak dengan lebih halus dan terpola dibanding grafik minyak Diala B. Namun ada perbedaan pada pola kenaikan grafik minyak zaitun pada elektoda bola-bola. Jika pada elektroda setengah bola, pada awalnya grafik meningkat dengan relative lamban, kemudian pada akhirnya meningkat dengan lebih cepat. Sebaliknya terjadi pada pengujian dengan elektroda bola-bola, pada awalnya grafik bergerak naik dengan relative tinggi, namun pada akhirnya kenaikan grafik melambat dengan tampilan kemiringan yang lebih kecil. Namun kesamaannya, keduanya memiliki pola kenaikan yang teratur dan terpola. Di sisi lain, grafik minyak Diala B bergerak dengan tidak teratur sebagaimana hal ini juga terjadi pada pengujian dengan elektroda setengah bola. Pada awalnya tingkat kenaikan grafik begitu tajam, kemudian melambat, tajam lagi, kemudian melambat lagi. Hasil

pengujian ini semakin memperkuat kesimpulan bahwa kenaikan suhu memiliki pengaruh yang terpola dengan baik pada minyak zaitun. Sehingga pengaruh kenaikan suhu terhadap kenaikan tegangan tembus minyak zaitun mudah diprediksi. Sebaliknya, kenaikan suhu memang selalu berpengaruh positif terhadap tegangan tembus minyak Diala B, namun pengaruhnya tidak terpola dengan baik. Kadang pengaruhnya besar, tapi terkadang pengaruhnya kecil. Tentu hal ini akan menyulitkan prediksi (*forcasting*) terhadap pengaruh kenaikan suhu terhadap tegangan tembus minyak Diala B secara quantitative.

Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh rentang (*range*) kenaikan tegangan tembus kedua subjek pada interval suhu pengujian dari suhu ruang sampai 105°C. Jika diambil rata-rata, maka pada minyak Diala B, terjadi kenaikan tegangan tembus sebesar 0,23 kV tiap kenaikan suhu 1°C. Sementara pada minyak zaitun, hanya terjadi kenaikan tegangan tembus sebesar 0,14 kV setiap terjadi kenaikan suhu. Artinya, kenaikan suhu berpengaruh lebih besar pada minyak Diala B daripada pada minyak zaitun. Hal ini sekilas mengindikasikan bahwa kenaikan suhu memiliki pengaruh yang lebih baik pada minyak Diala B, namun minyak Diala B memiliki titik nyala yang relative lebih rendah dibanding minyak zaitun. Sehingga tegangan tembus Diala B tidak dapat meningkat lagi ketika suhu telah mencapai titik nyala. Di sisi lain, tegangan tembus minyak zaitun masih dapat terus meningkat pada suhu di atas titik nyala minyak Diala B. Artinya, pada suhu di mana minyak Diala B sudah tidak dapat bekerja, minyak zaitun masih dapat bekerja dengan nilai titik tembus yang semakin besar dan menghasilkan kinerja yang lebih baik.

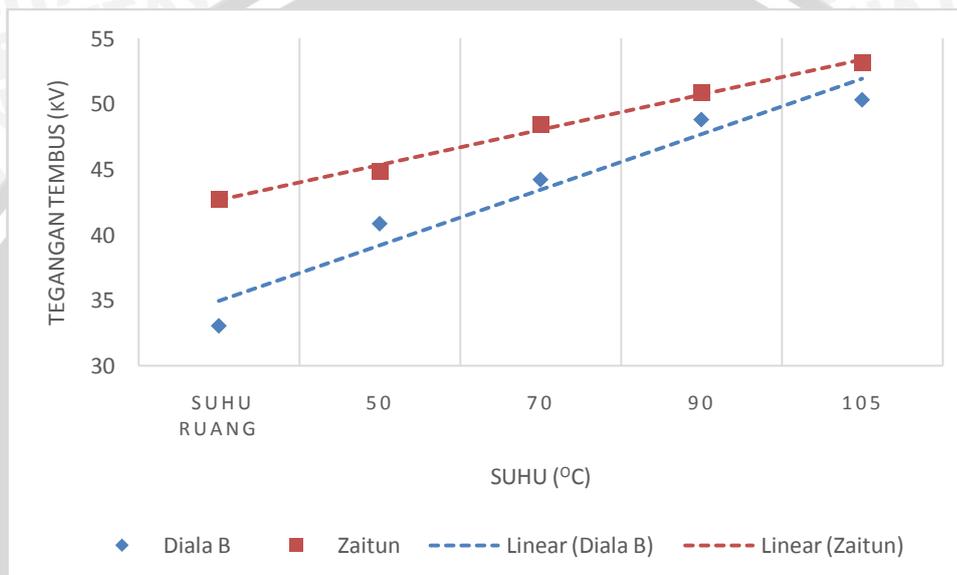
4.2.1.3 Menggunakan Elektroda Jarum Bola

Setelah melalui dua pengujian dengan menggunakan elektroda homogen, yakni elektroda setengah bola dan elektroda bola-bola, dilakukan pengujian dengan menggunakan elektroda heterogen demi untuk lebih menguatkan pertanggungjawaban hasil penelitian. Elektroda yang digunakan sebagai wakil dari elektroda heterogen adalah elektroda jarum bola. Hasil pengujian dengan menggunakan elektroda jarum bola disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tegangan Tembus Dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bola

Jenis minyak	Tegangan tembus (kV)					Standar IEC 156 (kV)
	Suhu ruang (°C)	50	70	90	105	
minyak Diala B	33,05	40,83	44,20	48,82	50,30	Min 30
minyak Zaitun	42,77	44,87	48,41	50,87	53,18	

Visualisasi yang lebih jelas dan memiliki tafsir yang lebih luas terlihat dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bola

Hasil pengujian tegangan tembus kedua subyek pada berbagai variasi suhu dengan menggunakan elektroda jarum bola berbeda secara kuantitatif dengan hasil pengujian menggunakan elektroda setengah bola dan elektroda bola-bola. Namun, ternyata memiliki pola yang sama. Pada semua titik suhu yang dipilih, nilai tegangan tembus minyak zaitun senantiasa lebih tinggi daripada tegangan tembus minyak Diala B. Pengujian pada suhu 30°C menunjukkan bahwa tegangan tembus Diala B sebesar 33,05 kV dan minyak Zaitun 42,77 kV. Pengujian pada suhu yang lebih tinggi, yakni 50°C menunjukkan kenaikan pada keduanya, tegangan tembus Diala B menjadi 40,83 kV dan minyak zaitun menjadi 44,87 kV. Pada suhu 70°C, tegangan tembus Diala B meningkat menjadi 44,20 kV dan minyak zaitun menjadi 48,41 kV. Ketika suhu dinaikkan 90°C, tegangan tembus Diala B menjadi 48,82 kV dan minyak zaitun naik ke 50,87 kV. Terakhir, pada suhu tertinggi percobaan ini, suhu dinaikkan pada 105°C, tegangan

tembus kedua subjek masih terus meningkat, Diala B naik pada 50,30 kV, sementara minyak zaitun naik pada 53,18 kV.

Rata-rata selisih nilai tegangan tembus keduanya mencapai 4,58 kV, dimana rata-rata tegangan tembus minyak zaitun berada pada 48,02 kV sementara tegangan tembus rata-rata minyak Diala B hanya mencapai 43,44 kV. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengujian tegangan tembus menggunakan elektroda heterogen jarum bola, nilai tegangan tembus minyak zaitun senantiasa lebih baik daripada tegangan tembus minyak Diala B. Artinya, minyak zaitun memiliki kualitas yang lebih baik untuk dijadikan sebagai minyak trafo dilihat dari sisi tegangan tembus. Hasil ini sekaligus akan memperkuat hasil pengujian dengan menggunakan elektroda setengah bola dan elektroda bola-bola. Sehingga, berdasarkan hasil pengujian dengan elektroda setengah bola, bola-bola, dan jarum bola, diperoleh kesimpulan bahwa minyak zaitun memiliki kinerja yang lebih baik daripada minyak Diala B dilihat dari sisi tegangan tembus atau kemampuan untuk melakukan fungsi isolasi terhadap trafo. Tinggi rendahnya tegangan tembus suatu minyak nabati dipengaruhi oleh kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh di dalamnya. Semakin tinggi kandungan asam lemak jenuh, maka semakin kecil tegangan tembusnya, sebaliknya semakin tinggi kandungan asam lemak tak jenuh, akan semakin besar tegangan tembusnya. Nilai tegangan tembus minyak zaitun yang relative lebih tinggi dibandingkan minyak Diala B disebabkan tingginya kandungan lemak tak jenuh pada minyak zaitun, yakni berada pada 75,85%.

4.2.2 Analisis Viskositas Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B

Untuk mengetahui nilai viskositas pada minyak yang digunakan, dilakukan pengujian menggunakan pipa kapiler dimana minyak tersebut dimasukan untuk mendapatkan nilai yang disandarkan pada standar IEC 296. Menurut standar IEC 296, nilai viskositas suatu cairan atau minyak yang *feasible* untuk dijadikan sebagai minyak trafo harus dibawah 12 cst. Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.3.

Perhitungan viskositas minyak zaitun dengan kode kapiler 1557 size 200 adalah

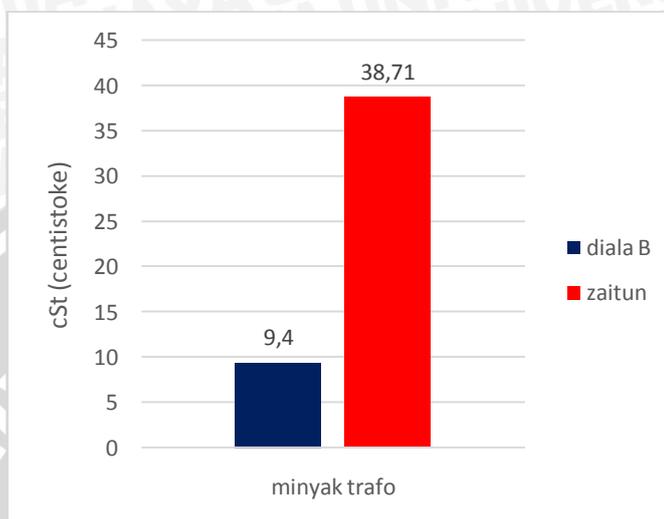
$$\begin{aligned} V &= C \times T \\ &= 0,1092 \text{ cst/s} \times 354,5 \text{ s} \\ &= 38,71 \text{ cSt} \end{aligned}$$

Hasil pengujian viskositas minyak zaitun dan Diala B disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Viskositas Minyak Zaitun dan Diala B

Variabel	Minyak Diala B	Minyak Zaitun
Viskositas (cSt)	9,4	38,71

Hasil pengujian disajikan secara visual pada Gambar 4.4:



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Viskositas Minyak Zaitun dan Diala B

Hasil pengujian menunjukkan bahwa viskositas minyak Diala B memenuhi standar, karena nilai viskositasnya masih dibawah 12 cst. Namun hal sebaliknya terjadi pada minyak zaitun. Viskositas minyak zaitun sangat tinggi. tidak memenuhi standar karena nilainya diatas 12 cst. Pada Tabel hasil pengujian terlihat bahwa viskositas minyak zaitun mencapai 38,71 cst.

4.2.3 Analisis Titik Tuang Pada Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai Titik tuang pada minyak yang digunakan. Pengujian titik tuang menggunakan *seta-Lec Cloud n pour point refrigerator* dimana minyak dimasukan kedalamnya hingga membeku, kemudian didiamkan hingga minyak mengalir untuk pertama kali, suhu pada saat minyak pertama kali mengalir inilah yang disebut dengan nilai suhu Titik tuang.

Hasil pengujian titik tuang minyak Diala B dan minyak zaitun disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Titik Tuang Minyak Diala B dan Minyak Zaitun

Variabel	Minyak Diala B	Minyak Zaitun	Standar
Titik Tuang ($^{\circ}\text{C}$)	-57	-9	Maksimal -40

Hasil pengujian kedua minyak divisualisasikan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Titik Tuang Minyak Diala B dan Minyak Zaitun

Hasil pengujian menunjukkan bahwa salah satu dari kedua subjek memenuhi standar. Minyak Diala B masih memenuhi standar karena nilai titik tuangnya adalah -57°C yang berarti masih berada di bawah standar nilai titik tuang maksimum untuk minyak yang digunakan sebagai minyak trafo. Sebaliknya minyak zaitun memiliki nilai titik tuang sebesar -9°C . Nilai ini sudah melampaui nilai standar maksimum, dimana nilai standar maksimum adalah -40°C .

4.2.4 Analisis Titik Nyala Pada Minyak Zaitun dengan Minyak Diala B

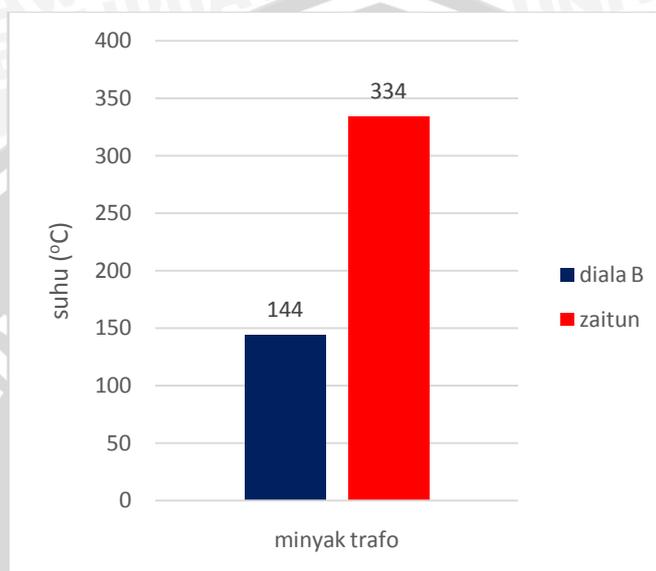
Titik nyala adalah suhu minimum dimana minyak menghasilkan uap yang cukup untuk dibakar bersama udara. Titik nyala merupakan indikator ketidakstabilan minyak. Minyak trafo yang baik adalah minyak trafo yang memiliki titik nyala yang tinggi. Titik nyala yang rendah memiliki potensi yang berbahaya bagi trafo. Bila mencapai suhu titik nyala (*flash point*), percikan api yang sedikit saja akan dapat membakar trafo tersebut. Hal ini dikarenakan oleh uap minyak (diatas permukaan minyak) bersifat mudah terbakar. Semakin besar perbedaan suhu titik nyala dengan suhu minyak, maka akan semakin baik kualitas minyak tersebut. Selanjutnya semakin rendah suhu titik nyala, maka semakin besar penguapan minyak, sehingga disamping sangat berpotensi untuk terbakar, volume minyak trafo juga akan berkurang.

Hasil pengujian titik nyala pada kedua subjek, baik minyak Diala B dan minyak zaitun disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Titik Nyala Minyak Diala B dan Minyak Zaitun

Variabel	Minyak Diala B	Minyak Zaitun
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	140	334

Selain itu, hasil pengujian juga divisualisasikan dalam grafik untuk melihat Gambaran yang lebih jelas tentang perbandingan titik nyala kedua subjek, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Titik Nyala Minyak Diala B dan Minyak Zaitun

Pengujian terhadap titik nyala menghasilkan titik nyala sebesar 140°C pada minyak Diala B dan sebesar 334°C pada minyak zaitun. Standar minimum yang ditetapkan untuk titik nyala suatu minyak trafo adalah pada titik 135°C . Dengan demikian, kedua subyek memenuhi syarat standar titik nyala untuk dijadikan sebagai minyak trafo. Ketika nilai titik nyala keduanya diperbandingkan, terlihat bahwa titik nyala minyak zaitun jauh lebih besar dari minyak Diala B. Sehingga, dilihat dari indikator titik nyala, minyak zaitun memiliki kualitas yang jauh lebih baik untuk dijadikan minyak trafo dibandingkan dengan minyak Diala B.

Tingginya nilai titik nyala pada minyak zaitun mengindikasikan bahwa minyak trafo memiliki kemungkinan terbakar yang jauh lebih kecil daripada minyak Diala B. Selain itu, kenaikan suhu yang terus menerus sampai yang mendekati 300°C juga akan memberikan nilai titik tembus yang terus meningkat. Hal ini akan meningkatkan kinerja minyak Diala B juga ketika dilihat dari nilai tegangan tembus minyak trafo. Fakta ini merupakan suatu keunggulan tersendiri bagi minyak zaitun untuk dijadikan sebagai minyak trafo yang unggul.

Nilai titik nyala minyak Diala B yang tinggi juga memberikan keuntungan dalam konsumsi minyak trafo. Suhu minyak trafo yang masih jauh di bawah titik nyala hanya menghasilkan penguapan dalam volume yang kecil. Sehingga minyak trafo tidak banyak berkurang karena penguapan. Sebaliknya, titik nyala minyak Diala B yang relative rendah dibanding minyak zaitun akan menyebabkan kuantitas penguapan yang besar pada minyak Diala B. Akibatnya, ketika dijadikan sebagai minyak trafo, akan membutuhkan pengisian ulang yang lebih sering.

4.2.5 Analisis DGA Pada Minyak Zaitun Dibandingkan dengan Minyak Diala B dengan Metode Analisis TDCG

Metode TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) Analisa hasil pengujian DGA mengacu pada standar IEEE C57-104 1991. Standar IEEE merupakan standar utama yang digunakan dalam analisis DGA. Namun fungsinya hanyalah sebagai acuan, karena hanya menunjukkan dan menggolongkan tingkat konsentrasi gas dan jumlah TDCG dalam tingkat kewaspadaan.

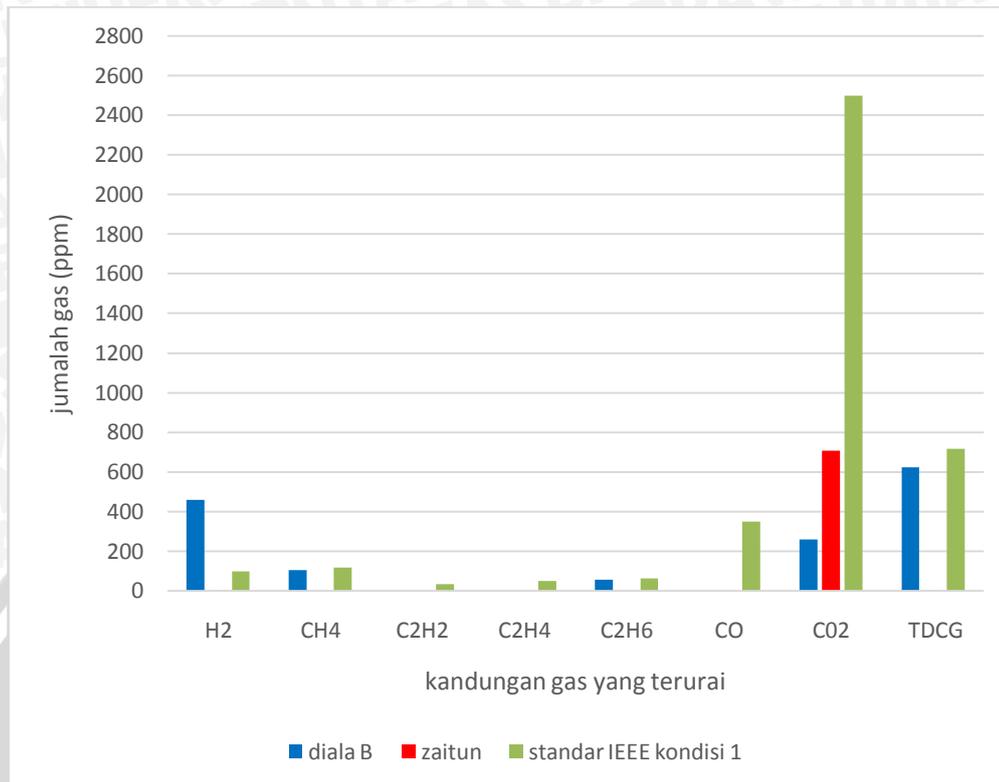
Batasan standar hasil pengujian DGA dengan menggunakan standar IEEE C57 104 1991 adalah seperti terlihat pada Tabel 2.5. Hasil pengujian DGA dibandingkan dengan nilai batasan standar untuk mengetahui apakah transformator berada pada kondisi normal atau ada indikasi kondisi 2, 3 atau 4, dapat dilihat pada Tabel 2.5 .

Hasil pengujian DGA dengan metode analisis TDCG disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian DGA dengan Metode Analisis TDCG

Jenis minyak	Kandungan konsentrasi gas (ppm)								Status
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG	
	100	120	35	50	65	350	2500	720	
Diala B	461	107	0,17	0,37 ppm	58,2	0 ppm	260	626,7	Kondisi I
Minyak Zaitun	2,1	0,40	0	0	0	1,3	709	3,8	Kondisi Normal

Visualisasi yang lebih jelas dari hasil pengujian TDCG disajikan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Hasil Pengujian TDCG Pada Minyak Diala B dan Minyak Zaitun

Dari Tabel hasil percobaan terlihat bahwa nilai TDCG total kedua subyek memiliki perbedaan nilai yang besar, namun keduanya masih dalam Kondisi I. Minyak Diala B masuk dalam kategori Kondisi I, namun minyak zaitun masuk dalam kategori kondisi normal. Minyak zaitun dimasukkan dalam kategori kondisi normal karena nilai TDCG-nya masih sangat jauh dari ambang batas kondisi I dengan Kondisi II. Hal ini berarti bahwa jika minyak zaitun terurai ketika terjadi gangguan, hanya terdapat sedikit gas mudah terbakar yang dilepaskan ke lingkungan. Dengan kata lain, potensi kebakaran yang disebabkan oleh gas yang dilepas ke lingkungan sangat kecil.

Di sisi lain, kondisi minyak Diala B masuk dalam kategori kondisi I (tidak dimasukkan dalam kategori kondisi normal sebagaimana minyak zaitun) karena nilai nilai TDCG sangat dekat dengan ambang batas kategori I dengan kategori II, walaupun masih berada dalam interval kondisi I. Hal ini menggambarkan bahwa jika minyak Diala B terurai karena timbulnya gangguan. Gas yang dilepaskan memiliki potensi yang besar untuk menyebabkan kebakaran, karena konsentrasinya yang relative besar. Ketika diperbandingkan, TDCG menggambarkan bahwa kondisi DGA minyak zaitun jauh lebih baik daripada DGA minyak Diala B. Dengan demikian, dilihat dari sudut

pandang TDCG, penggunaan minyak zaitun sebagai minyak trafo jauh lebih aman bagi lingkungan daripada menggunakan minyak Diala B.

Hal yang selaras terlihat ketika potensigas-gas terurai yang mudah terbakar diperhatikan satu persatu. H_2 terurai pada minyak Diala B ternyata sangat tinggi, sampai pada kondisi II, sementara pada minyak zaitun H_2 terurai sangat rendah bahkan hampir mendekati nol. Sama halnya dengan CH_4 , pada Diala B mendekati ambang batas yakni 107. Sementara pada minyak zaitun, nilainya lagi-lagi jauh dibawah ambang batas, bahkan nilainya malah mendekati nol, tepatnya pada 0,40 ppm. Gas lainnya yakni C_2H_2 pada Diala B memang relative rendah yakni pada 0,17 ppm. Namun kinerja minyak zaitun masih lebih baik, karena nilai C_2H_2 terurai pada minyak zaitun adalah nol. Jika diperbandingkan masing-masing potensi gas terurai pada minyak Diala B dan minyak zaitun, dari ketujuh gas yang diuji, 5 diantaranya memiliki kuantitas yang lebih besar pada minyak Diala B. hanya dua diantaranya yakni CO dan CO_2 yang memiliki kuantitas lebih besar pada minyak zaitun. Jadi, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan nilai TDGC 626,7 ppm pada minyak Diala B dan 3,8 ppm pada minyak zaitun, hasil uji DGA menunjukkan bahwa minyak zaitun lebih aman bagi lingkungan daripada minyak Diala B ketika digunakan sebagai minyak trafo.

4.2.6 Analisis dari Segi Ekonomis antara Minyak Diala B dengan Minyak Zaitun

Minyak Diala B dijual per drum dengan kapasitas 209 L dengan harga Rp 38.000.000/drum pada tanggal 24 januari 2016. Minyak zaitun 5L dengan harga Rp 405.000 pada tanggal 24 januari 2016. Harga minyak diala B adalah Rp 181.000 per liter sementara itu minyak zaitun per liter Rp 81.000. Kesimpulannya bahwa minyak zaitun lebih ekonomis daripada minyak Diala B selain itu minyak zaitun dapat mudah diperoleh diberbagai tempat seperti toko herbal dan swalayan pada umumnya. Pembelian minyak Diala B harus minimal 1 drum yaitu 209 L dan pada minyak zaitun pembelian minimal 250 mL.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dari segi fisis dan elektris antara minyak zaitun dan minyak Diala B dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat elektris
 - a) Tegangan tembus pada kedua minyak akan semakin besar nilainya dengan seiring naiknya suhu .
 - b) Nilai tegangan tembus minyak zaitun lebih besar dengan nilai rata-rata 49,82 kV daripada minyak Diala B yaitu 44,63 kV baik dengan menggunakan berbagai jenis elektroda serta perubahan suhu.
2. Sifat fisis
 - a) Nilai titik nyala pada minyak zaitun dua kali lebih besar yaitu 334⁰C daripada minyak Diala B yaitu 144⁰C, dengan ini menunjukkan bahwa minyak zaitun lebih stabil dalam menahan suhu panas yang tidak lain berfungsi sebagai pendingin , serta telah sesuai std IEC 156.
 - b) Nilai viskositas minyak zaitun pada suhu 40⁰C lebih besar yaitu 37,71 mm²/s daripada minyak Diala B yaitu 9,4 mm²/s serta melebihi nilai standar IEC 296.
 - c) Nilai titik tuang minyak zaitun lebih besar yaitu -9⁰C daripada minyak Diala B yaitu -57⁰C dan melebihi standar IEC 206.
3. Nilai TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) pada minyak zaitun jauh lebih kecil yaitu 3,8 ppm daripada minyak Diala B yaitu 626,7 ppm, dengan hal ini menunjukkan bahwa minyak zaitun jauh lebih aman digunakan daripada minyak Diala B.
4. Minyak zaitun lebih ekonomis yaitu Rp 81.000/ liter daripada minyak Diala B yaitu Rp 181.000/ liter.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah penggunaan minyak zaitun sebagai minyak trafo sangat cocok di lingkungan kondisi suhu yang panas serta tempat yang rentan terbakar yang lokasi sulit dijangkau sehingga tidak terlalu membutuhkan intensitas pemeliharaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, kuffel. 1990. *High Voltage Engineering*. New York : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Dhofir, Mochamad dkk. *Pengaruh Sudut Keruncingan Dan Diameter Finial Franklin Terhadap Distribusi Medan Listik Dan Tingkat Tegangan Tembus*. 008. Malang: jurnal EECCIS Vol. II No.1.
- Grob, R.L. 1995. *Modern Practice of Gas Chromatography, 3th Ed*. New York
- Kind, Dieter. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan tinggi*. Bandung: penerbit ITB.
- IEEE C57.106. 2006. *Acceptance And Maintenance Of Insulating Oil In Equipment*.
- IEEE std c57.104. 1991. *Guide For the Interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformers*.
- IEC-156. 1995. *Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Tes Method*. Switzerland : IEC Central Office.
- IEC 60296. 2003. *Fluids for Electrotechnical applications- unused mineral insulating oils for transformator and switchgear*. Switzerland : IEC Central Office.
- Malik, N.H., Al-Arainy, A.A, and Qureshi, M.I. 1998. *Electrical Insulation in Power Systems*. New York: MarcelDekker, Inc.
- Nynas. 2001. *Base oil handbook*. Swedia
- Orey, Cal. 2008. *Khasiat Minyak Zaitun*. Jakarta : Penerbit PT Mizan Publika
- PT PLN, *Panduan pemeliharaan trafo tenaga no. dokumen: P3B/O&M trafo/001.01*, 2003.
- Panggabean, Samuel. 2008. *Pengaruh Suhu terhadap Kekuatan Dielektrik berbagai Minyak Isolasi Transformator*. Medan.
- Suwarno, Aditama. *Dielectric properties of palm oil as liquid insulating material: effects of fat content*. Proceedings of 2005 international symposium on electrical insulating june 5-9 2005 kitakyusu japan.
- SNI 0936:2008 Pulp - Cara uji viskositas – Kuprietilendiamin (Viskometer kapiler): Badan Standarisasi Nasional

Lampiran 1 Laporan Hasil Uji Sifat Fisik Minyak Zaitun



UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU

RDP/5.10.01/LPPT
Rev. 1
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 00940/01/LPPT/V/2015

No. Pengujian : 15050100940

Informasi Customer

Nama : Bagus Mitra

Tanggal Penerimaan : 12 Mei 2015

Alamat : Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Tanggal Pengujian : 13-20 Mei 2015

Hasil Pengujian

Minyak Extra Virgin Olive BORGES

No.	Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
1	Kinematic Viscosity at 40 °C	38.71	mm ² /s	IKU/5.4/TK-02
2	Pour Point	- 9	°C	IKU/5.4/TK-04
3	Flash Point COC	334	°C	ASTM D 93

Yogyakarta, 26 Mei 2015

Penyelia Pengujian Minyak Bumi,

Joko Wintoko, ST., M.Sc.

NIP. 197407201999031001

Perhatian :

1. LHU ini berlaku hanya pada sampel yang diujikan.
2. LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan pelanggan yang disebutkan dalam LHU ini.
3. LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan terhadap atau penggunaan laporan ini.
4. Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM



Lampiran 2 Laporan Hasil Uji DGA Minyak Zaitun

DISSOLVED GAS ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS BY GAS CHROMATOGRAPHY (GC)									
Customer/Project	-							Voltage	-
Manufacturer/Year	-							Oil Capacity	-
Serial Number	-							Note	Zaitun oil
Rated Power	-								
GC DATA-VALUES OF GASES ARE EXPRESSED IN PPM (PARTS PER MILLION)									
DATE	H ₂	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO ₂	CH ₄	CO	Combustible Gas Content	Remarks
	100 ppm	65 ppm	50 ppm	35 ppm	2500 ppm	120 ppm	350 ppm	720 ppm	Standard Condition using IEEE Standard C57.104-1991
20-04-2015	2.1	0	0	0	709	0.40	1.3	3.8	
SUMMARY									
Based on the analysis result, Combustible gas content of sample is 3.8 ppm which indicates that the transformer is in normal condition according to IEEE standard C57.104-1991.									

Lampiran 3 Laporan Hasil Uji DGA Minyak Diala B

DISSOLVED GAS ANALYSIS OF TRANSFORMER OILS BY GAS CHROMATOGRAPHY (GC)										
Customer/Project	-							Voltage	-	
Manufacturer/Year	-							Oil Capacity	-	
Serial Number	-							Note	Mineral oil	
Rated Power	-									
GC DATA-VALUES OF GASES ARE EXPRESSED IN PPM (PARTS PER MILLION)										
DATE	H ₂	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO ₂	CH ₄	CO	Combustible Gas Content	Remarks	
	100 ppm	65 ppm	50 ppm	35 ppm	2500 ppm	120 ppm	350 ppm	720 ppm	Standard Condition using IEEE Standard C57.104-1991	
20-04-2015	461	58.2	0.37	0.17	260	107	0	626.7		
SUMMARY										
Based on the analysis result, Combustible gas content of sample is 626.7 ppm which indicates that the transformer is in condition 1 according to IEEE standard C57.104-1991.										
TP/612-08/14 (0/24-09-2014)										



Lampiran 4 Karakteristik Minyak Diala B



Technical Data Sheet

Typical Characteristics

Property	Units	Method	IEC 60296 Requirement	Diala B
Appearance		IEC 60296	Clear, free from sediment and suspended matters	Complies
Density at 20 °C	kg/m ³	ISO 3675	Max. 895	881
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s	ISO 3104	Max. 12	10
Kinematic viscosity at -30 °C	mm ² /s	ISO 3104	Max. 1.800	1.400
Flashpoint P.M.	°C	ISO 2719 / ASTM D93	Min. 135	140
Pourpoint	°C	ISO 3016	Max. -40	-57
Neutralisation value	mg KOH/g	IEC 62021-1	Max. 0,01	< 0,01
Corrosive Sulphur		DIN 51353	Not corrosive	Not corrosive
Corrosive Sulphur		IEC 62535	-	Not corrosive
Corrosive Sulphur		ASTM D 1275 B	-	Not corrosive
Breakdown voltage	kV	IEC 60156		
Untreated			Min. 30	>30
After treatment			Min. 70	>70
Dielectric Dissipation Factor (DDF) at 90 °C		IEC 60247	Max. 0,005	0,002
Oxidation Stability (164 h /120 °C)		IEC 61125 C		
Total acidity	mg KOH/g		Max. 1,2	0,9
Sludge	%m		Max. 0,8	0,3
DDF at 90°C		IEC 60247	Max. 0,5	0,1

These characteristics are typical of current production.

Whilst future production will conform to Shell's specification, variations in these characteristics may occur.

Lampiran 5 Spesifikasi Transformator Uji



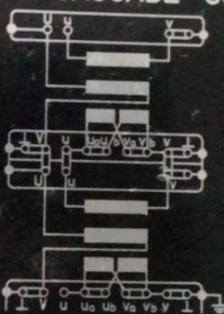
MWB PRÜFSYSTEME GMBH
PRÜFTRANSFORMATOR
TEST TRANSFORMER

FORM STYLE	TEO 100/10	F. Nr. SERIAL NO. 90 / 70 050	
ART TYPE	LT	WDGS.WICKL.-PRÜFSP. IND.APPL.-TESTVOLTAGE	120/3kV
SCHALTGRUPPE VECTOR GROUP	IIO	NENNSPG. RAT. VOLTS	2x0,22/100/0,22 kV
BETRIEBSART DUTY CONTINUOUS	DB	NENNSTROM RAT. CURR.	2x11,4/0,05/15,1 A
KÜHLART COOLING	ONAN	NENNLEISTUNG RATED OUTPUT	5 kVA
FREQUENZ FREQUENCY	50 Hz	KURZSCHLUSS - SPG. IMPEDANCE VOLTAGE	3,5 %

ANSCHLÜSSE TERMINALS

PRIMÄR PRIMARY			SEKUNDÄR SECONDARY		
V	VERBINDE CONNECT	ANSCHLUSS TERMINAL	kV	ANSCHLUSS TERMINAL	V
220	Ua Va	Ub Vb	100	U	V
440	Ub Va	U			

KASKADEN - SCHALTUNG
CASCADE - CONNECTIONS



BETRIEBSART DUTY SHORT-TIME: KB 60 min / 60 min
 NENNSPG. RATED VOLTS: 2x0,22/200 kV
 NENNSTROM RATED CURR.: 2x22,7/0,05 A
 GESÄMTLEISTUNG TOTAL OUTPUT: 10 kVA
 KURZSCHLUSS - SPG. IMPEDANCE VOLTAGE: 12 %



Lampiran 6 Laporan Hasil Uji Tegangan Tembus

Setengah bola							
Diala B	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	37,06	38,9	37,1	30,6	31,8	41,6	42,4
50	42,93	41,4	47,4	36,8	42,3	44,0	45,7
70	45,15	45,4	38,0	47,2	48,5	42,6	49,1
90	51,33	47,6	54,1	48,3	56,4	53,6	47,9
105	52,03	50,2	55,9	56,2	48,3	47,1	54,5
Zaitun	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	48,65	52,6	47,3	41,2	52,8	48,2	49,7
50	50,51	46,7	52,4	50,8	54,9	45,4	52,9
70	51,73	50,5	49,0	52,3	55,8	54,8	48,1
90	54,70	57,2	54,2	59,7	53,6	52,1	51,4
105	58,13	54,6	55,4	54,9	63,9	59,3	60,8

Bola-bola							
Diala B	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	34,23	32,1	30,1	35,2	39,3	34,1	34,7
50	42,81	41,1	48,8	42,7	42,5	41,3	40,6
70	44,77	48,7	43,2	40,4	45,2	47,7	43,5
90	50,11	54,8	50,1	47,8	46,5	48,4	53,1
105	51,82	47,2	52,9	54,2	54,7	52,6	49,3
Zaitun	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	43,01	47,8	40,4	38,8	44,2	42,3	44,6
50	46,49	49,8	44,3	51,7	42,8	44,2	46,2
70	49,28	53,2	52,7	44,9	46,6	45,8	52,4
90	51,17	56,5	47,9	48,6	49,4	48,9	55,8
105	53,65	51,1	52,5	51,6	55,9	58,2	52,7

Jarum Bola							
Diala B	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	33,05	31,4	30,8	29,1	35,6	38,6	32,9
50	40,83	38,7	39,2	43,5	46,9	36,2	41,6
70	44,20	49,8	41,9	38,8	40,5	48,4	45,8
90	48,82	50,2	49,7	43,2	47,3	52,1	50,5
105	50,30	54,4	45,6	51,8	46,8	53,8	49,3
Zaitun							
Suhu Ruang	Percobaan						
	Rata-Rata	1	2	3	4	5	6
Suhu Ruang	42,77	47,2	39,4	44,7	40,5	46,9	38,0
50	44,87	46,9	47,6	40,4	43,8	49,3	41,2
70	48,41	52,1	49,7	46,5	44,0	47,2	50,9
90	50,87	54,5	53,4	51,5	49,6	49,0	47,2
105	53,18	51,3	50,2	50,8	57,8	55,4	53,5

