



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENGARUH SUHU OPERASI TRANSFORMATOR
PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS ISOLASI
YANG DIRENDAM DENGAN MINYAK NABATI,
MINYAK MINERAL DAN MINYAK SINTETIS**

Haidi Dzulfiqar Fauzan
NRP 07111440000186

Dosen Pembimbing
Daniar Fahmi, S.T., M.T
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

**EFFECT OF TEMPERATURE OF TRANSFORMER
OPERATIONS ON ELECTRICAL CHARACTERISTIC OF
INSULATION PAPER SOAKED WITH VEGETABLE OIL,
MINERAL OIL AND SYNTHETIC OIL**

Haidi Dzulfiqar Fauzan
NRP 07111440000186

Supervisors

Daniar Fahmi, S.T., M.T

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“PENGARUH SUHU OPERASI TRANSFORMATOR PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS ISOLASI YANG DIRENDAM DENGAN MINYAK NABATI, MINYAK MINERAL DAN MINYAK SINTETIS”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019



Haidi Dzulfiqar Fauzan
07111440000186

**PENGARUH SUHU OPERASI TRANSFORMATOR
PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS
ISOLASI YANG DIRENDAM DENGAN MINYAK
NABATI, MINYAK MINERAL DAN MINYAK
SINTETIS**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Damar Fahmi, ST., M.T. NIP 19890925 201404 1002 **Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc. NIP 19700712 199802 1001**



Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGARUH SUHU OPERASI TRANSFORMATOR PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS ISOLASI YANG DIRENDAM DENGAN MINYAK NABATI, MINYAK MINERAL DAN MINYAK SINTETIS

Nama mahasiswa : Haidi Dzulfiqar Fauzan
Dosen Pembimbing I : Daniar Fahmi, S.T., M.T
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Isolasi merupakan bagian terpenting pada peralatan tenaga listrik, yang berfungsi sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan dan bagian yang tidak bertegangan atau dengan bagian bertegangan dengan bagian bertegangan lainnya. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan dari suatu bahan isolasi. Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan bahan isolasi adalah tes uji tegangan tembus.

Tes uji tegangan tembus dilakukan pada bahan isolasi transformator. Karena faktor pentingnya fungsi isolasi pada transformator maka dilakukanlah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan tembus isolasi kertas yang direndam kedalam minyak terhadap pengaruh suhu. Kenaikan temperatur pada bagian dalam transformator akan mempengaruhi nilai tahanan dari bahan isolasi. Pengujian dilakukan menggunakan standar IEC 60156 pada kertas Kraft yang direndam kedalam tiga jenis minyak yang berbeda, yaitu : minyak nabati, minyak mineral dan minyak sintetis. Kertas yang terendam dalam minyak tersebut kemudian dipanaskan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus, dengan suhu 30°C, 50°C, 70°C, 90°C dan 110°C. Nilai tegangan tembus kertas yang direndam pada tiga jenis minyak tersebut memiliki karakteristik yang sama

Kata Kunci: isolasi kertas, kertas kraft, pemanasan minyak, suhu operasi trafo, breakdown voltage.

Halaman ini sengaja dikosongkan

EFFECT OF TEMPERATURE OF TRANSFORMER OPERATIONS ON ELECTRICAL CHARACTERISTIC OF INSULATION PAPER SOAKED WITH VEGETABLE OIL, MINERAL OIL AND SYNTHETIC OIL

Student Name : Haidi Dzulfiqar Fauzan
Supervisor I : Daniar Fahmi, S.T., M.T
Supervisor II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Isolation is the most important part of electrical equipment, which functions as a separator between a part of a voltage and a part that is not voltage or with a part that is stressed with other voltage parts. Many factors can influence the strength of an insulating material. One of the tests carried out to study the resistance of insulation materials is the breakdown voltage test.

Breakdown voltage testing is usually carried out on transformer insulation materials. Because of the importance of the isolation function on the transformer, a test was conducted which aims to determine the breakdown voltage characteristics of paper insulation soaked into oil against the influence of temperature. The increase in temperature on the inside of the transformer will affect the resistance value of the insulating material. The tests are carried out using the IEC 60156 standard on Kraft paper which is immersed into three different types of oils, namely: vegetable oil, mineral oil and synthetic oil. The paper submerged in the oil is then preheated before the breakdown voltage test is carried out, with a temperature of 30 °C, 50 °C, 70 °C, 90 °C and 110 °C. The value of paper breakdown voltage soaked in three types of oil has the same characteristics

Keywords: *paper insulation, kraft paper, oil impregnation, immersed time span, breakdown voltage.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENGARUH SUHU OPERASI TRANSFORMATOR PADA KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS ISOLASI YANG DIRENDAM DENGAN MINYAK NABATI, MINYAK MINERAL DAN MINYAK SINTETIS”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya dan atas izin-Nya dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir.
2. Keluarga dari penulis, yang selalu memberikan dukungan dan menjadi motivasi yang kuat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana penulis.
3. Bapak Daniar Fahmi, S.T., M.T., dan Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M. Sc. selaku Dosen Pembimbing dari penulis yang selalu membimbing dari awal pengerjaan data dan buku Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi S.T., M. Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Teman – teman Laboratorium Tegangan Tinggi beserta para Dosen yang memungkinkan pengujian Tugas Akhir ini dilakukan
6. Teman - teman e-54 yang selalu menemani kehidupan penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
7. *Arek Kantin Elektro ITS* dalam menjadi teman berkeluh kesah di setiap malam.
8. Dan semua pihak yang membantu penyusunan buku Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	iii
TUGAS AKHIR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Transformator	7
2.3.3 Rugi-rugi Dielektrik	12
2.4 Bahan Isolasi	13
2.5 Bahan Isolasi Cair	13
2.6 Bahan Isolasi Padat	13
2.6.1 Isolasi Kertas.....	13
2.6.2 Struktur Isolasi Kertas.....	14
2.6.3 Impregnasi Isolasi Kertas Pada Minyak	15
2.6 Kraft Paper	16
2.7 Kegagalan Isolasi Padat	16

2.7.1	Kegagalan Thermal	17
2.7.2	Kegagalan Intrinsik	17
2.7.3	Kegagalan Streamer	17
2.7.4	Kegagalan Erosi	17
2.7.5	Kegagalan Elektromagnetik	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Bahan-bahan Pengujian	20
3.1.2	Minyak Nabati.....	20
3.1.3	Minyak Mineral.....	20
3.1.4	Minyak Sintetis	21
3.2	Peralatan Pengujian.....	22
3.2.1	Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	22
3.2.2	Modul Pengujian Tegangan Tembus.....	23
3.2.3	Pengondisian Kertas Sebelum Direndam	24
3.3	Metode Pengujian	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Analisa Hasil Uji Tegangan Tembus Kertas Kraft Tanpa Dilakukan Perendaman	27
4.2	Analisa Hasil Uji Tegangan Tembus Kertas Kraft Dengan Perandaman pada Minyak Isolasi	28
4.2.1	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam pada Minyak Nabati Terhadap Kenaikan Nilai Suhu..	28
4.2.2	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas yang Direndam pada Minyak Mineral Terhadap Kenaikan Nilai Suh..	34
4.2.3	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas yang Direndam pada Minyak Sintetis Terhadap Kenaikan Nilai Suh..	40

4.2.4 Analisa Tegangan Tembus Kertas Kraft yang Telah Direndam pada Tiga Jenis Minyak	46
BAB 5 KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53
A. DATASHEET KERTAS KRAFT.....	53
B. DATASHEET MINYAK MINERAL.....	55
C. DATASHEET MINYAK SINTETIS.....	57
D. DATASHEET MINYAK NABATI.....	59
BIODATA PENULIS.....	61

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja transformator	7
Gambar 2.2 Isolasi Kertas Pada Transformator.....	14
Gambar 2.3 Struktur Senyawa Selulosa	15
Gambar 2.4 Isolasi Kertas Kraft	16
Gambar 3.1 Set-up Pengujian Isolasi Kertas	19
Gambar 3.2 Minyak Nabati (Kelapa Murni)	20
Gambar 3.3 Minyak Mineral (Shell Diala B)	21
Gambar 3.4 Minyak Sintetis (Xiameter PMX-561).....	21
Gambar 3.5 Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	22
Gambar 3.6 Control Box (a), Prob Tegangan AC (b).....	22
Gambar 3.7 Modulpengujian (a), Eletroda Setengan Bola (b)	23
Gambar 3.8 Skema Alat Uji Tegangan Tembus	23
Gambar 3.9 Flowchart Pengujian Tegangan Tembus Pada Kertas.....	25
Gambar 4.1 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus	29
Gambar 4.2 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangantembus.....	30
Gambar 4.3 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus	31
Gambar 4.4 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus	32
Gambar 4.5 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus	33
Gambar 4.6 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak nabati.....	33
Gambar 4.7 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus.....	35
Gambar 4.8 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus.....	36
Gambar 4.9 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus.....	37
Gambar 4.10 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus.....	38
Gambar 4.11 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus.....	39
Gambar 4.12 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak mineral	39

Gambar 4.13 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus	41
Gambar 4.14 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus	42
Gambar 4.15 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus	43
Gambar 4.16 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus	44
Gambar 4.17 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus	45
Gambar 4.18 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak Sintetis	45
Gambar 4.19 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada semua jenis minyak	47
Gambar 4.20 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada semua jenis minyak	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan suhu dan umur trafo pada suhu lingkungan 30°C ..	10
Tabel 2.2 Kelas isolasi bahan padat	15
Tabel 4.1 Nilai tegangan tembus kertas Kraft tanpa perendaman	27
Tabel 4.2 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak nabati.....	28
Tabel 4.3 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 50°C pada minyak nabati.....	29
Tabel 4.4 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 70°C pada minyak nabati.....	30
Tabel 4.5 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 90°C pada minyak nabati.....	31
Tabel 4.6 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 110°C pada minyak nabati.....	32
Tabel 4.7 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak nabati.....	34
Tabel 4.8 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak mineral.....	34
Tabel 4.9 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 50°C pada minyak mineral	35
Tabel 4.10 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 70°C pada minyak mineral	36
Tabel 4.11 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 90°C pada minyak mineral	37
Tabel 4.12 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 110°C pada minyak mineral	38
Tabel 4.13 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak mineral	40
Tabel 4.14 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak Sintetis.....	40
Tabel 4.15 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak Sintetis	41
Tabel 4.16 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak Sintetis	42
Tabel 4.17 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak	

Sintetis	43
Tabel 4.18 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak Sintetis	44
Tabel 4.19 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak sintetis.....	46

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator daya adalah komponen utama dalam sistem penyaluran tenaga listrik dan merupakan bagian yang besar dari modal investasi. Bila transformator daya mengalami kegagalan, maka terjadi dampak buruk dalam pengoperasian jaringan transmisi dan distribusi yang mengakibatkan peningkatan biaya operasi sistem tenaga dan penurunan keandalan dalam pengiriman daya listrik[1]. Masalah yang paling sering dihadapi dalam teknik tegangan tinggi adalah mengenai kegagalan isolasi. Isolasi adalah bagian terpenting dalam sebuah sistem tenaga listrik dan digunakan pada setiap peralatan tegangan tinggi. Pada transformator terdapat dua bahan dielektrik, yaitu isolasi cair dan isolasi padat. Bahan dielektrik padat sangat penting dalam transformator listrik untuk memisahkan gulungannya. Biasanya bahan dielektrik ini direndam dalam media transfer panas dielektrik cairan untuk mengisolasi konduktor dan membuang panas yang dihasilkan selama operasi. Media transfer panas, yang biasanya berupa minyak seperti minyak mineral atau minyak sintesis yang cukup kuat, harus bertindak sebagai dielektrik juga [2].

Transformator-transformator jenis terendam minyak yang dipergunakan di Indonesia, dirancang dan dibuat berdasarkan standar IEC (International Electrotechnical Commission), publikasi IEC 354, yang ditetapkan menjadi standar PLN. (SPLN 17 A:1979). Standar IEC menetapkan iklim negara-negara empat musim sebagai kriteria perancangan transformator, dimana suhu sekitar efektif sepanjang tahun adalah 20°C, (30°C untuk standar IEC 1999). Berdasarkan standar IEC, transformator dirancang untuk dibebani sepenuhnya selama 24 jam pada suhu sekitar 20°C. Nilai-nilai tersebut menjamin transformator tidak mengalami kenaikan susut umur (tetap sesuai perancangan), karena akan menyebabkan suhu titik panas pada belitan mencapai 98°C, (110°C untuk standar IEC 1999). Dengan kondisi iklim tropis di Indonesia yang memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan dengan suhu sekitar efektif 30°C, maka standar tersebut tidak sesuai lagi. Pengoperasian transformator pada suhu sekitar lebih dari 30°C akan mengakibatkan kenaikan susut umur yang lebih besar dari susut umur normalnya, sehingga terjadi penuaan yang lebih cepat pada isolasi belitan transformator[3].

Pengaruh kenaikan temperatur dengan perendaman kertas isolasi kedalam minyak isolasi akan menyebabkan pengaruh pada *breakdown voltage*. Dalam studi ini, dilakukan pengujian dengan kertas isolasi yang direndam pada tiga jenis minyak isolasi dengan pengaruh perubahan temperatur maka akan terjadi perbedaan terhadap nilai *breakdown voltage* kemudian akan di dapat perbandingan untuk mengetahui karakteristik dari kertas isolasi dan tiga jenis minyak tersebut. Melalui pengujian ini, maka akan mendapatkan hasil yang diharapkan dapat memberi manfaat untuk bisa dikembangkan lagi dan dapat menjadi pertimbangan untuk pemilihan karakteristik dalam pembuatan transformator untuk jenis minyak yang ideal dan efektif dalam jangka waktu yang lama.

Berdasarkan uraian diatas, penelitian tentang pengujian yang berjudul “Pengaruh Suhu Operasi Transformator Pada Karakteristik Elektris Kertas Isolasi yang direndam dengan Minyak Nabati, Minyak Mineral dan Minyak Sintetis” dengan menggunakan standar IEC 60156 dengan menggunakan elektroda bola atau *mushroom* yang berdiameter 25 mm, pengujian dilakukan dengan temperature operasi transformator 30°C sampai titik panas pada belitan 110°C dan jenis minyak yang berbeda. Tujuan dari percobaan tersebut adalah pengujian *breakdown voltage* dengan pengaruh kenaikan temperatur, variasi jenis minyak.

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan dalam pengujian Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik isolasi kertas akibat perendaman dan pemanasan dengan tiga jenis isolasi minyak
2. Bagaimana mendapatkan nilai *breakdown voltage* pada isolasi kertas setelah dilakukan perendaman pada minyak
3. Bagaimana mendapatkan nilai *breakdown voltage* kertas isolasi dalam kondisi kering
4. Bagaimana perbandingan karakteristik pada isolasi kertas setelah perendamana dan pada isolasi kertas keadaan kering

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Dapat menganalisa karakteristik isolasi kertas setelah perendaman dan pemanasan suhu dalam tiga jenis isolasi minyak
2. Mendapatkan nilai besaran *breakdown voltage*. dari kertas isolasi dengan melakukan uji tegangan tembus
3. Mendapatkan nilai besaran *breakdown voltage*. dari kertas isolasi dalam kondisi kering dengan melakukan uji tegangan tembus
4. Mendapatkan hasil perbandingan pada isolasi kertas setelah perendaman dan pada isolasi kertas keadaan kering

1.4 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

1. Jenis pengujian adalah *breakdown voltage* pada isolasi kertas setelah direndam dan pemanasan.
2. Pengujian dilakukan dengan merubah temperatur dan jenis minyak.
3. Isolasi kertas yang diuji adalah kertas Kraft dengan ketebalan 0.5mm.
4. Minyak yang digunakan untuk impregnasi adalah minyak mineral (*Shell Diala B*), minyak nabati (*Coconut Oil*), minyak sintetis (*Xiameter PMX-561*).
5. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan AC dengan frekuensi 50 Hz.
6. Kandungan air dalam kertas hanya diminimalkan dengan proses pemanasan.

1.5 Metodologi

Pada penelitian pengaruh suhu operasi transformator pada karakteristik listrik kertas isolasi yang direndam dengan minyak nabati, minyak mineral dan minyak sintetis diawali dengan studi literatur. Studi literatur dimaksudkan untuk memperoleh informasi-informasi yang berkaitan dengan tema Tugas Akhir. Studi literatur dilakukan dengan melakukan pembelajaran dari jurnal, *paper*, Tugas Akhir sebelumnya, serta buku yang mempunyai pokok bahasan sejenis dengan Tugas Akhir.

Berikutnya adalah tahap persiapan sebelum dilakukan penelitian. Pada tahap persiapan dilakukan pengumpulan bahan dan peralatan uji seperti kertas isolasi dan minyak mineral yang berjenis Shell Diala B, minyak nabati yang berjenis Coconut Oil, minyak sintetis yang berjenis Xiameter PMX-561 dan sampel isolasi kertas jenis Kraft *Diamond Dotted Paper* dengan luas kertas 10x10 cm.

Untuk mengetahui karakteristik dari kertas isolasi maka dilakukan pengujian tegangan tembus.. Kertas isolasi yang diuji, sebelumnya akan direndam dalam tiga jenis minyak yang berbeda dengan kenaikan suhu yaitu 30°C, 50°C, 70 °C, 90 °C dan 110°C. Selanjutnya melakukan pengujian tanpa perendaman kertas isolasi dalam minyak, dengan ketebalan yang sama. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat uji pada Laboratorium Tegangan Tinggi. *Breakdown voltage test* diselenggarakan berdasarkan standar IEC 60156 yakni menggunakan dua buah elektrode berbentuk *mushroom* atau bola dengan diameter elektroda 25 mm. Pada *breakdown voltage test* diinjeksikan tegangan secara bertahap hingga mengalami *breakdown voltage*. Setelah pengujian nilai *breakdown voltage* maka dilakukan pengujian kadar selulosa yang ada pada kertas isolasi saat sebelum direndam dan setelah direndam dengan pengaruh temperatur yang tinggi. Hasil percobaan dicatat untuk proses analisa.

Analisa mengenai karakteristik akan dilakukan setelah mendapat seluruh nilai data percobaan.. Dari hasil tersebut dapat dibuat suatu kesimpulan dan selanjutnya ditulis dalam sebuah laporan Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut ini :

BAB I : Pendahuluan

Pada bab pendahuluan ini akan dibahas mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan dan relevansi.

BAB II : Dasar Teori

Pada bab ini secara garis besar akan diterangkan teori mengenai jenis isolasi pada transformator, penyebab kegagalan pada

isolasi kertas dan isolasi minyak, dan ketahanan dielektrik pada isolasi.

BAB III : Perancangan Pengujian

Minyak Dengan Isolasi Kertas Jenis Kraft. Pada bab ini membahas tentang metode dan langkah – langkah prosedur pengujian ketahanan dielektrik pada isolasi transformer sesuai standar pengujian IEC 60156.

BAB IV : Hasil Analisis Data

Pada bab ini dilakukan analisis pengaruh perubahan temperatur pada kertas isolasi yang direndam pada jenis isolasi minyak yang berbeda.

BAB V : Penutup

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan dari seluruh hasil penelitian dan pembahasan serta saran yang diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian isolasi kertas dan minyak lebih lanjut.

1.7 Relevansi

Penelitian pada tugas akhir ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh perendaman dan kenaikan suhu saat perendaman kertas isolasi didalam minyak transformator terhadap karakteristik tegangan tembus kertas dan juga dapat dijadikan sebagai bahan acuan untuk pengembangan lebih lanjut media alternatif isolasi minyak transformator.

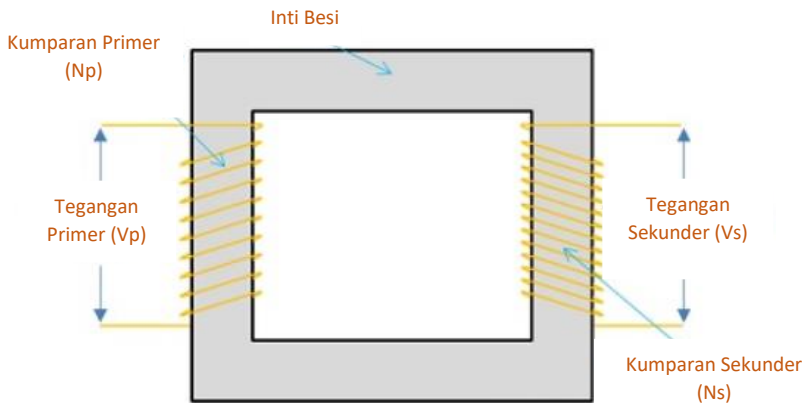
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator memiliki prinsip hukum induksi Faraday. Jika suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup, akan berbanding lurus dengan perubahan persatuan waktu dari pada arus induksi atau flux yang dilingkari oleh garis lengkung itu. Selain hukum Faraday, transformator menggunakan hukum Lorenz. Pada transformator terdapat suatu inti besi yang dikelilingi aliran arus listrik bolak-balik, kemudian inti besi akan berubah menjadi magnet dan akan terjadi beda tegangan pada kedua ujung belitan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan.[3]

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah mentransferkan atau mengirimkan daya dari satu sisi ke sisi lainnya. Dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik yang diberikan dari lilitan sisi primer yang kemudian diterima oleh sisi lainnya, maka transformator terhubung pada kedua sisinya.



Gambar 2.1 Prinsip kerja transformator

Rumus perbandingan tegangan dan lilitan pada primer dan sekunder transformator adalah sebagai berikut:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Keterangan:

- V_p : tegangan pada sisi kumparan primer
- V_s : tegangan pada sisi sekunder
- N_p : banyaknya jumlah lilitan pada kumparan primer
- N_s : banyaknya jumlah lilitan pada kumparan sekunder

Tegangan dan jumlah kumparan akan berbanding lurus, karena semakin besar tegangan maka akan semakin banyak pula jumlah belitan yang diperlukan. Namun tegangan akan berbanding terbalik dengan arus, sehingga semakin besar tegangan akan memiliki arus yang kecil, begitu pula sebaliknya dengan rumus transformator sebagai berikut:

$$S_{in} = S_{out}, \text{ dimana:} \\ S = VI$$

Keterangan:

- S_{in} = kapasitas/daya masukan transformator
- S_{out} = kapasitas/daya keluaran transformator
- V = tegangan nominal transformator
- I = arus melalui transformator

2.1.1 Pemanasan Transformator

Kerugian tanpa beban dan berbeban adalah dua sumber penting dari pemanasan yang dipertimbangkan dalam pemodelan termal transformator daya. Rugi yang timbul saat transformator diberikan energi tanpa beban adalah rugi Eddy dan rugi Hysterisis dalam inti. Rugi Hysterisis disebabkan oleh material magnet dasar yang menyelaraskan dengan medan magnet bolak-balik. Arus Eddy diinduksikan dalam inti oleh medan magnet bolak-balik. Jumlah rugi Hysterisis dan rugi arus Eddy tergantung pada tegangan yang dibangkitkan dari transformator. Kerugian beban adalah sumber yang lebih signifikan dari pemanasan transformator, yang terdiri dari kerugian tembaga akibat hambatan belitan dan rugi beban tersesat karena arus Eddy di bagian structural lainnya dalam transformator. Kerugian tembaga terdiri dari kerugian resistensi DC, dan kerugian arus Eddy belitan. Jumlah kerugian yang terjadi tergantung pada arus beban transformator, serta suhu minyak.

Meningkatnya kerugian resistansi DC akan meningkatkan suhu, sementara kerugian pembebanan lainnya menurun dengan peningkatan suhu minyak.[3]

2.2 Suhu Titik Panas

Suhu titik-panas adalah suhu terpanas di dalam belitan transformator. Lokasi belitan terpanas adalah tergantung pada desain fisik transformator. Panduan untuk Pembebanan menetapkan batas desain untuk suhu titik-panas normal 110 °C, atau 80 °C di atas suhu lingkungan yang diasumsikan sebesar 30 °C (Standard IEEE, 1999). Untuk situasi beban lebih darurat, Panduan untuk Pembebanan mengizinkan suhu titik-panas tidak melebihi 110 °C (Standard IEEE, 1999). Karena suhu yang berlebihan dapat menyebabkan kerugian yang tidak bisa diterima dari umur isolasi[3].

Isolasi minyak memiliki peranan penting dalam sistem isolasi transformator dan juga berfungsi sebagai pendingin antara kumparan kawat atau inti besi dengan sirip pendingin. Adapun beberapa tugas utama pada isolasi minyak, yaitu sebagai media isolator, media pendingin untuk memadamkan busur api dan media pelindung terhadap proses oksidasi yang mampu menyebabkan korosif pada peralatan logam.

2.2.1 Dampak Suhu Minyak

Peningkatan beban transformator akan meningkatkan suhu minyak isolasi, sehingga beban di atas *rating* perancangan menimbulkan resiko. Batas suhu didefinisikan dalam Panduan IEEE untuk pembebanan transformator daya jenis terendam minyak nabati, minyak mineral dan minyak sintetis.

Salah satu kerugian dalam transformator pada saat kondisi suhu-lebih adalah hilangnya umur isolasi. Umur isolasi kertas halus ini didasarkan pada suhu, kadar air, dan kadar oksigen dari waktu ke waktu. Penggunaan minyak untuk meminimalkan dampak kelembaban dan oksigen pada umur isolasi[3].

Tabel 2.1 Batasan suhu dan umur trafo pada suhu lingkungan 30°C

Variabel	Suhu (°C)	Keterangan
Kenaikan suhu belitan rata-rata	65	Diatas suhu lingkungan
Kenaikan suhu titik panas	80	Diatas suhu lingkungan
Kenaikan suhu minyak atas	65	Diatas suhu lingkungan
Batas suhu titik panas maksimum	110	Absolut
Rata-rata umur trafo normal	20.5 tahun	

Sumber: Standard IEEE,1999.

Salah satu kerugian dalam transformator pada saat kondisi suhu-lebih adalah hilangnya umur isolasi. Umur isolasi kertas halus ini didasarkan pada suhu, kadar air, dan kadar oksigen dari waktu ke waktu. Penggunaan minyak untuk meminimalkan dampak kelembaban dan oksigen pada umur isolasi. Oleh karena itu, studi umur transformator menggunakan suhu titik-terpanas minyak memiliki hubungan yang berkaitan dengan menentukan umur transformator[3].

2.3 Sifat-sifat Bahan Dielektrik

Dielektrik merupakan salah satu bahan listrik yang mempunyai beberapa sifat-sifat kelistrikan. Sifat dari bahan isolasi ditentukan dari sampel berupa model isolasi yang mempunyai parameter sesuai dengan kondisi standar, sehingga nilai ekstrapolasi dari kondisi yang ada tidak selalu pas dengan nilai sesungguhnya.

Bahan dielektrik padat digunakan pada hampir seluruh rangkaian listrik dan peralatan listrik untuk mengisolir bagian-bagian pembawa arus dari bagian lainnya. Bahan dielektrik padat yang baik harus mempunyai rugi-rugi dielektrikum yang rendah, kekuatan mekanis yang

tinggi, bebas dari kemungkinan pembentukan gas dan debu, dan tahan terhadap perubahan temperatur dan pengaruh kimia[3].

Dibandingkan dengan isolasi cair dan gas, isolasi padat mempunyai nilai tegangan tembus yang lebih tinggi. Studi yang paling penting dalam teknik isolasi adalah studi tegangan tembus dari dielektrik padat. Jika terjadi tembus, maka isolasi padat akan rusak secara permanen sedangkan pada isolasi gas akan kembali ke sifatnya semula dan pada isolasi cair sebagian akan kembali ke sifatnya semula dan sebagian lainnya tidak.

Masing – masing jenis dielektrik memiliki fungsi yang penting dari suatu bahan isolasi adalah[4]:

- a. Untuk dapat mengisolasi antara suatu penghantar dengan penghantar lainnya.
- b. Untuk menahan gaya mekanis akibat adanya arus pada konduktor yang diisolasi.
- c. Mampu menahan tekanan yang diakibatkan oleh suhu dan reaksi kimia.

Tekanan yang disebabkan oleh medan listrik, gaya mekanik, thermal dan reaksi kimia dapat terjadi secara bersamaan, sehingga perlu diketahui efek dari semua parameter tersebut, maka suatu bahan isolasi dinyatakan ekonomis jika bahan tersebut dapat menahan semua parameter tersebut dalam periode yang lama. Berikut sifat – sifat dari suatu bahan dielektrik antara lain[4]:

- a. Kekuatan dielektrik
- b. Konduktansi
- c. Tahanan isolasi
- d. Rugi – rugi dielektrik
- e. *Partial Discharge*
- f. *Tracking Strenght*

2.3.1 Kekuatan Dielektrik

Semua bahan dielektrik mempunyai tingkat ketahanan yang disebut dengan kekuatan dielektrik (dielectric strength) yang dapat diartikan sebagai tekanan listrik yang dapat ditahan oleh dielektrik tersebut tanpa merubah sifatnya menjadi konduktif. Apabila bahan dielektrik berubah sifat menjadi konduktif maka tahanan suatu dielektrik sudah mengalami *breakdown*. Tegangan tembus (*breakdown voltage*) suatu isolator adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk merusak dielektrik tersebut. Kekuatan dielektrik dari suatu bahan dinyatakan dengan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan dielektrik[4].

$$Em = \frac{V}{\frac{S1}{d1} + \frac{S2}{d2} + \frac{Su}{du}}$$

Keterangan :

- V : Tegangan Elektroda (V)
- d : Konstanta Dielektrik (e)
- S : Tebal Dielektrik (cm)

2.3.2 Konduktansi

Ukuran kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan muatan listrik. Nilai konduktansi berbanding terbalik dengan nilai hambatan. Nilai konduktansi yang besar menunjukkan bahwa bahan tersebut mampu mengkonduksikan arus dengan baik, apabila nilai konduktansi rendah maka bahan tersebut tidak dapat mengalirkan arus dengan baik. Nilai konduktansi akan menurun dengan kenaikan temperature[4].

2.3.3 Rugi-rugi Dielektrik

Kualitas material dari isolasi tegangan tinggi bisa diukur dari rugi-rugi dielektriknya. Suatu bahan dielektrik tersusun atas molekul-molekul dan elektron-elektron terikat kuat dengan inti atomnya. Ketika bahan tersebut belum dikenai medan listrik, maka susunan molekul dielektrik tersebut masih belum beraturan. Ketika molekul tersebut terkena medan listrik, maka muatan positif akan mengalami gaya yang searah dengan medan listrik dan elektron dalam molekul tersebut akan mengalami gaya yang berlawanan dengan arah medan listrik.

Adanya medan listrik yang berubah setiap saat, akan menyebabkan perubahan arah molekul dan menimbulkan gesekan antar

molekul. Gesekan antar molekul ini akan menimbulkan panas yang disebut dengan rugi-rugi dielektrik.

2.4 Bahan Isolasi

Pada peralatan tegangan tinggi, bahan dielektrik atau disebut juga sebagai bahan isolasi sangat dibutuhkan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga antar penghantar yang bertegangan tersebut tidak terjadi hubung singkat yang dapat menyebabkan lompatan api atau percikan. Salah satu peralatan tegangan tinggi yang digunakan dalam aplikasi tegangan tinggi adalah transformator. Pada transformator, untuk memisahkan penghantar-penghantar yang bertegangan digunakan suatu bahan dielektrik yaitu kertas dan minyak transformator[4].

2.5 Bahan Isolasi Cair

Pada beberapa peralatan listrik, bahan isolasi cair digunakan sebagai bahan pengisi seperti trafo, circuit breaker, rheostat dll. Dalam hal ini isolasi cair berfungsi sebagai pengisolasi dan sekaligus sebagai pendingin. Sehingga persyaratan yang harus dipenuhi adalah tegangan tembus dan daya hantar panas yang tinggi. Bahan isolasi ini banyak digunakan pada transformator yang berupa minyak. Minyak trafo ini berfungsi sebagai pendingin dan memisahkan bagian bertegangan antara kumparan primer dan sekunder. Minyak trafo terbagi dari beberapa jenis, seperti minyak mineral, minyak sintetis dan minyak nabati[6].

2.6 Bahan Isolasi Padat

Bahan isolator yang termasuk zat padat pada keadaan normal berbentuk padat tapi ada juga cair, namun selalu digunakan dalam bentuk padatnya. Bahan isolasi padat biasanya digunakan untuk melindungi inti belitan seperti pada trafo, motor, dll. Isolasi padat ini biasanya berbentuk kertas, seperti yang digunakan untuk melindungi bagian inti trafo. Selain kertas, contoh dari bahan isolasi padat adalah karet dan kain[6].

2.6.1 Isolasi Kertas

Komponen yang paling penting dari sistem isolasi kertas adalah yang membungkus lilitan konduktor tembaga atau aluminium yang tidak mudah diganti seperti pada Gambar 2.2. Isolasi kertas sangat penting karena keadaan kertas yang tidak bisa direkondisi, reklamasi ataupun

diganti. Oleh karena itu umur material isolasi kertas, menjadi faktor pembatas dalam operasi transformator. Sebagaimana besar isolasi padat yang digunakan pada transformator memiliki karakteristik-karakteristik mekanis dan elektrik yang baik. Umur transformator akan semakin pendek karena sifat isolasi yang berkurang akibat dipergunakan pada suhu yang [7].

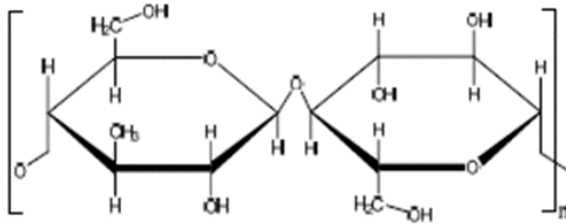


Gambar 2.2 Isolasi Kertas pada Transformator

2.6.2 Struktur Isolasi Kertas

Isolasi kertas adalah isolasi yang terbuat dari selulosa tumbuhan. Sumber selulosa adalah kayu. Kayu mengandung 40-50% selulosa. Isolasi kertas terdiri dari 90% selulosa, 6-7% hemi-selulosa, 3-4% lignin. Pada keadaan kering kertas kraft terdiri dari 40-50% selulose, 10-30 hemi-selulosa dan 20-30% lignin[8]. Selulosa mempunyai rumus kimia $C_6H_{10}O_5$ seperti pada Gambar 2.3, yang merupakan polimer yang mengikat molekul glukosa.

Pada pembentukan kertas, kandungan air dapat mencapai 98%, dengan proses selanjutnya yaitu proses pengeringan supaya kandungan air sekitar 5%. Dielektrik pada kertas tergantung dari minyak yang direndamkan dan selulosa bahan kertasnya. Perendaman kertas menggunakan minyak akan mengurangi kelembapan dan tertutupnya pori – pori pada kertas oleh minyak sehingga sifat dielektriknya semakin kuat dan lebih baik[9].



Gambar 2.3 Struktur Senyawa Selulosa

2.6.3 Impregnasi Isolasi Kertas Pada Minyak

Impregnasi atau perendaman isolasi kertas kedalam isolasi minyak untuk mendambah kekuatan dielektrik pada transformator. Impregnasi kertas menggunakan minyak akan mengurangi pengaruh kelembapan dan terisinya pori-pori kertas sehingga dielektrik dalam bentuk komposit menjadi lebih baik. Dengan lamanya waktu operasi, maka keandalan dari transformator akan menurun dan resiko kegagalan akan meningkat[7]. Sistem isolasi kertas yang terendam dalam minyak sangat menentukan keandalan operasional dari tranformator.. Pada Tabel 2.2 menunjukan kelas isolasi padat berbagai jenis bahan[9].

Tabel 2.2 Kelas isolasi bahan padat

Kelas	Kemampuan menahan suhu	Bahan
Y	90°C	Sutra, katun, kertas, kayu tanpa impregnasi
A	105 °C	Bahan isolasi kertas Y yang diisolasi dengan resin/minyak.
E	120 °C	Enamel resin, katun, kertas dengan formaldehyde.
B	130 °C	Mika, fiberglass, asbes dengan pengikat yang sesuai.
F	155 °C	Bahan dari kelas B dengan pengikat yang lebih baik.
H	180 °C	Fiberglass, asbes dengan pengikat silicon
C	240 °C	Mika, keramik, kaca dengan pengikat yang mempunyai kualitas sangat baik.

2.6 Kraft Paper

Kertas kraft dibuat dari pulp kayu lunak yang tidak diputihkan oleh proses sulfat. Hasil proses akan menghasilkan kertas yang sedikit basa karena adanya kandungan sulfat. Proses memproduksi kertas sesuai dengan pabriknya. Kualitas dan keandalan kertas tergantung pada jenis proses pembuatan. Prosedur umum dimulai dengan pembuatan bubur kayu dari serat kering. Selanjutnya, sejumlah besar air dicampur dengan bubur kayu pulp untuk menghilangkan residu kimia dan prosedur ini dikenal sebagai proses *repulping*. Pemurnian dilakukan dengan menghancurkan serat dalam keadaan basah yang akan menghasilkan ikatan hydrogen diantara molekul selulosa[9].

Kertas kraft pada transformator memiliki fungsi pada bagian isolasi antar lapisan (layer) coil pada sisi tegangan tinggi ataupun tegangan rendahnya. Berikut pada Gambar 2.4 adalah kertas kraft (*diamond-dotted paper*) yang biasa digunakan pada transformator.



Gambar 2.4 Isolasi Kertas Kraft

2.7 Kegagalan Isolasi Padat

Dari semua jenis bahan isolasi yang ada, isolasi padat adalah bahan yang paling bagus dalam menahan tekanan listrik. Isolasi yang baik adalah pada saat bahan tersebut mampu menahan tekanan listrik pada permukaan, salah satu cara untuk membuat kekuatan dielektrik isolasi kertas bertambah adalah dengan cara merendamnya di dalam minyak, karena dengan demikian terjadi suatu proses adhesi pada rongga-rongga isolasi kertas.

Banyak faktor yang dapat menyebabkan kegagalan dalam masalah kelistrikan, seperti kejadian alam maupun kesalahan pengguna. Ketika suatu bahan isolasi sudah tembus oleh arus listrik maka itu adalah salah satu faktor kegagalan dari kelistrikan. Isolasi jenis padat seperti isolasi kertas, apabila telah atau pernah terjadi arus bocor pada isolasi, isolasi padat tidak dapat diperbaiki kembali, sifat ini disebut non-self restoring yang ada pada isolasi cair.

2.7.1 Kegagalan Thermal

Kegagalan thermal sebuah peralatan akan terjadi apabila rugi panas konduktor yang terbentuk karena arus lebih yang disalurkan pada dielektrikum dan rugi daya yang terbentuk pada dielektrikum itu sendiri tidak dapat disalurkan pada lingkungan sekitar melalui konduktansi, hal ini akan menyebabkan peningkatan temperatur tak terbatas pada bahan isolasi.[10].

2.7.2 Kegagalan Intrinsik

Kegagalan intrinsik adalah kegagalan yang disebabkan oleh jenis dan suhu bahan dengan menghilangkan pengaruh luar seperti tekanan, bahan elektroda, ketidakh murnian. Kegagalan intrinsik terjadi jika diterapkan tegangan tinggi pada lapisan dielektrik yang tipis. Hal ini terjadi pada waktu yang singkat dan disebabkan karena medan listrik yang tinggi di mana elektron mendapat energi dari tegangan luar sehingga melintasi celah yang seharusnya tidak bisa dilewati arus listrik sampai ke lapisan konduksi.

2.7.3 Kegagalan Streamer

Kegagalan ini terjadi saat saat elektroda ditempatkan pada permukaan bahan isolasi. Elektron dari katoda akan menembus ke anoda melewati dua medium, yaitu medium udara dan langsung melewati bahan dielektrik. Kegagalan ini terjadi lebih awal daripada kegagalan pada bahan dielektrik, karena permitivitas udara lebih kecil dari bahan elektrik.

2.7.4 Kegagalan Erosi

Sebuah bahan isolasi pasti memiliki rongga-rongga pada permukaan karena ketidak sempurnaan pada saat pembuatannya. Rongga ini berisi udara maupun benda lain, yang mempunyai kekuatan dielektrik yang berbeda dengan kekuatan dielektrik dari bahan isolasi. Akan terdapat konsentrasi medan listrik bila rongga berisi udara. Karena itu,

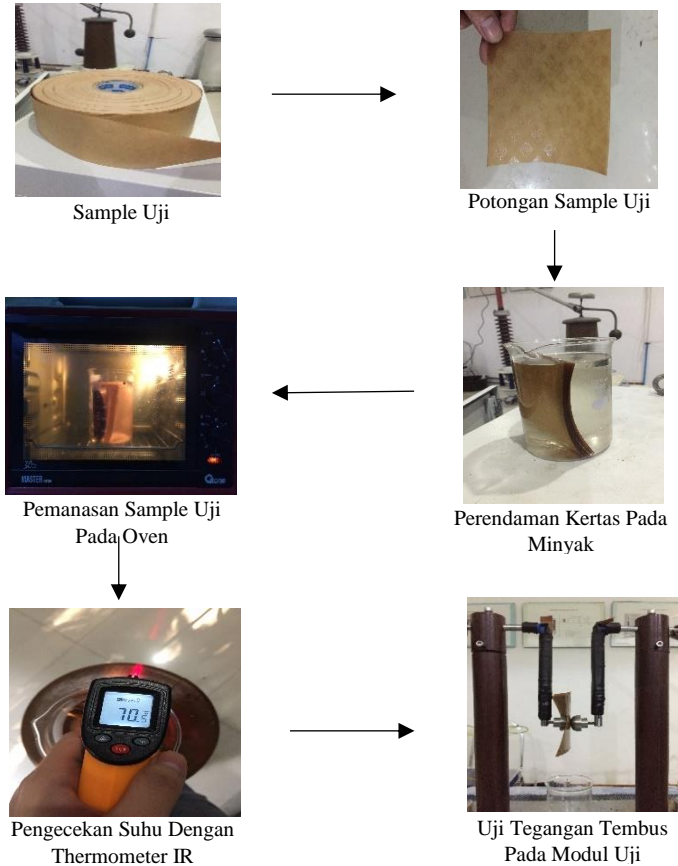
pada nilai tegangan normal kekuatan medan pada rongga dapat bernilai lebih besar ketahanan tegangan tembus, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan. Perbandingan dari permitivitas dan bentuk rongga menentukan kekuatan medan dalam rongga. Setiap pelepasan muatan akan menghasilkan panas yang menyebabkan rongga tersebut semakin lebar.

2.7.5 Kegagalan Elektromagnetik

Adanya beda polaritas dari kedua elektroda yang mengapit isolasi sehingga timbul beda potensial dan tekanan listrik pada bahan isolasi tersebut mengakibatkan terjadinya kegagalan elektromagnetik. Dari tekanan listrik tersebut akan muncul tekanan mekanik yang menyebabkan elektroda yang mengapit bahan isolasi mengalami gaya tarik menarik seperti magnet.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah pengujian yang dilakukan dan metode yang digunakan untuk memperoleh data yang akan dianalisa pada bab berikutnya.



Gambar 3.1 Set-up Pengujian Isolasi Kertas

3.1 Bahan-bahan Pengujian

Bahan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolasi kertas (kertas kraft) dan minyak isolasi (nabati, mineral dan sintetis).

3.1.2 Minyak Nabati

Minyak nabati yang digunakan pada pengujian ini adalah minyak kelapa murni yang didapat dari produsen. Penggunaan minyak nabati ini sendiri diharapkan dapat menjadi alternatif dari penggunaan minyak mineral yang dihasilkan dari olahan minyak bumi dan minyak sintetis yang bisa berdampak pada pencemaran lingkungan karena bahannya yang bersifat kimiawi.



Gambar 3.2 Minyak Nabati (Kelapa Murni)

3.1.3 Minyak Mineral

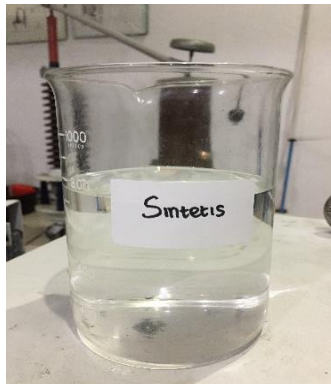
Minyak mineral merupakan minyak yang berasal dari minyak bumi yang diolah sehingga dapat digunakan sebagai media isolasi minyak transformator. Minyak mineral yang digunakan pada pengujian ini adalah minyak yang sering digunakan untuk isolasi transformator distribusi PLN, berjenis Shell Diala B.



Gambar 3.3 Minyak Mineral (Shell Diala B)

3.1.4 Minyak Sintetis

Minyak sintetis yang digunakan pada penelitian ini adalah cairan silikon. Minyak sintetis ini diproduksi dengan brand “Xiameter” dan seri fluida PMX-561. Minyak ini memiliki tahanan tegangan tembus hingga 50kV. Minyak sintetis ini selain digunakan sebagai isolasi minyak transformator, juga digunakan pada peralatan elektrik lain yang dioperasikan pada temperatur tinggi maupun temperatur yang sangat rendah.



Gambar 3.4 Minyak Sintetis (Xiameter PMX-561)

3.2 Peralatan Pengujian

Alat pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah gunting, bejana uji, oven listrik, thermometer IR, modul pembangkitan tegangan tinggi AC, modul pengujian dan peralatan penunjang lainnya.

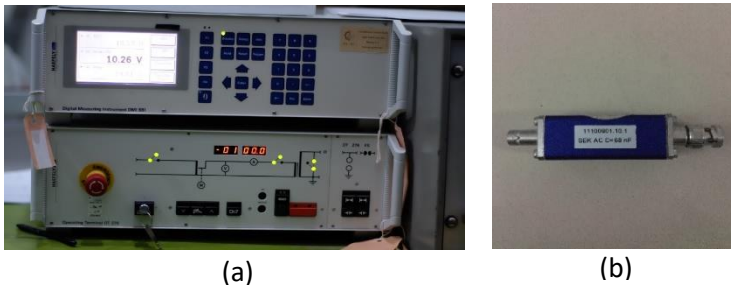
3.2.1 Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Modul pembangkitan tegangan tinggi AC yang digunakan berkapasitas 140 kV. Tegangan yang dibangkitkan berasal dari tegangan sumber PLN 1 fasa 220 V



Gambar 3.5 Modul Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Dalam pembangkitan tegangan tinggi AC, input dari sumber kemudian masuk kedalam autotransformator yang kemudian dinaikkan hingga tegangannya mencapai hingga level tertentu dan masuk kedalam resistor yang bertujuan untuk menghindari arus balik bila terjadi short circuit, kemudian tegangan tersebut masuk kedalam modul pengujian hingga sampai kepada elektroda.



Gambar 3.6 Control Box (a), Prob Tegangan AC (b)

3.2.2 Modul Pengujian Tegangan Tembus

Bahan isolasi uji akan dialirkan oleh tegangan tinggi AC yang telah dibangkitkan untuk melihat kekuatan tegangan tembus yang terjadi. Untuk memudahkan proses pengujian dan pengamatan tegangan tembus maka dibuat modul pengujian dengan rancangan yang digunakan pada pengujian tugas akhir ini adalah elektroda setengah bola berjari-jari 2,5 cm seperti pada Gambar 3.7 (b), sesuai standar IEC-60156 yang diletakkan pada kedua sisi kertas yang akan diuji[8].

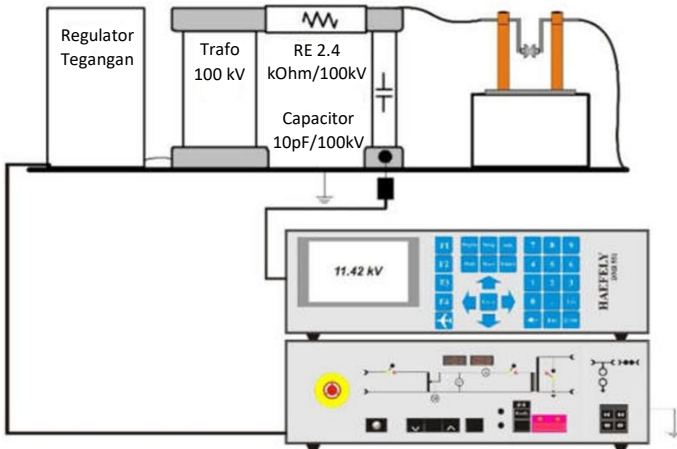


(a)



(b)

Gambar 3.7 Modul pengujian (a), Elektroda Setengah Bola (b)



Gambar 3.8 Skema Alat Uji Tegangan Tembus

3.2.3 Pengondisian Kertas Sebelum Direndam

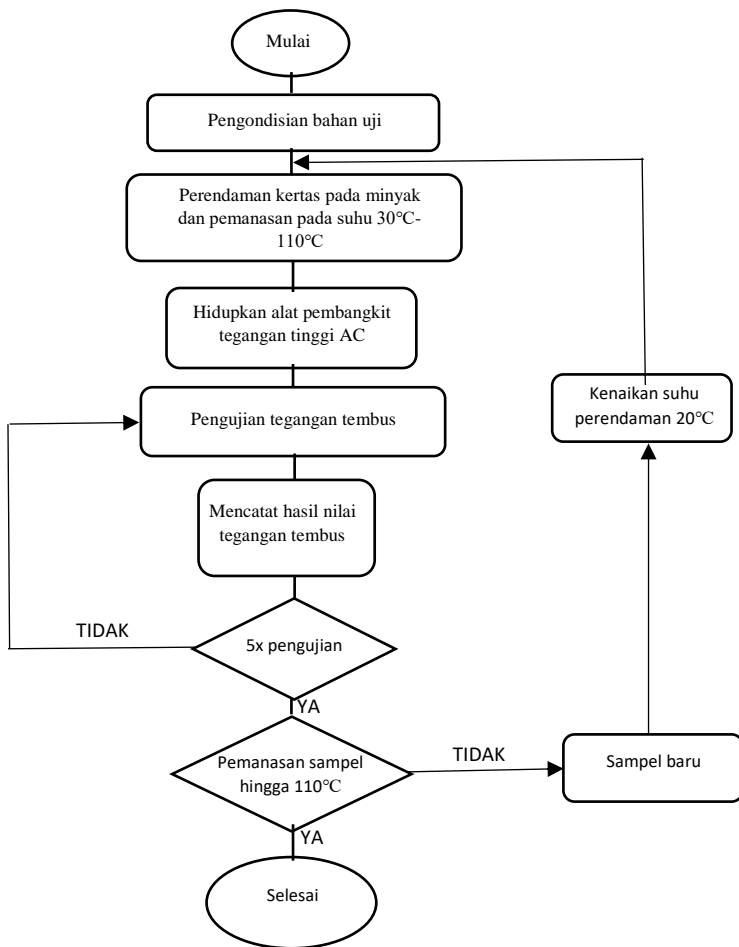
Bahan isolasi kertas yang digunakan sudah memiliki bentuk dan ketebalan yang sesuai dengan standard karena diperoleh dari P.T. Bambang Djaja Transformer. Kertas Kraft yang digunakan berbentuk gulungan dengan lebar 10cm dan ketebalan 0,125mm. Kertas tersebut akan dipotong-potong menjadi 10 x 10cm dan ditumpuk sebanyak 4 lembar agar ketebalan sesuai dengan ketentuan pengujian ini, yaitu 0,5mm.

Setelah ukuran kertas sesuai, langkah selanjutnya adalah memanaskan isolasi kertas tersebut di dalam oven dengan suhu 30°C, 50°C, 70°C, 90°C dan 110°C, dengan durasi pemanasan selama 30 menit pada setiap nilai suhunya. Suhu yang digunakan dalam pengujian ini mengikuti Standard IEEE, 1999, mengenai suhu titik panas dari transformator. Setelah dipanaskan di dalam oven, kemudian dilakukan pengecekan suhu menggunakan thermometer IR untuk memastikan nilai suhu yang di inginkan.

3.3 Metode Pengujian

Pengujian tegangan tembus dilakukan pada kertas Kraft sebelum dilakukan perendaman dan setelah direndam pada masing-masing minyak setiap rentang suhu yang telah ditentukan. Akan dilakukan pengujian sebanyak 5 buah sampel kertas dengan masing-masing ketebalan 0,5mm. Pengujian tegangan tembus dilakukan pada modul dengan menjepit setiap sampel isolasi kertas. Kemudian menyiapkan pembangkitan untuk melakukan pengujian. Jenis pembangkitan yang digunakan adalah jenis pembangkitan AC. Saat dilakukan pengujian, kertas akan dialiri tegangan tertentu hingga kertas tersebut mengalami tegangan tembus.

Alur pengujian dibuat dalam bentuk diagram pada Gambar 3.7 dan pengujian ini selesai ketika semua sampel sudah dipanaskan pada suhu 110°C saat direndam dalam 3 jenis minyak yang berbeda



Gambar 3.9 Flowchart Pengujian Tegangan Tembus Pada Kertas

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan data pengujian maka akan dilakukan pembahasan dan analisa. Pembahasan dan analisa data hasil pengujian yang telah dilakukan pada kertas Kraft setelah direndam di dalam ketiga jenis minyak dan pembahasan mengenai pengaruh kenaikan suhu di dalam tiap jenis minyak terhadap nilai tegangan tembus terhadap kertas Kraft.

4.1 Analisa Hasil Uji Tegangan Tembus Kertas Kraft Tanpa Dilakukan Perendaman

Analisa pada sub-bab ini adalah mengenai nilai tegangan tembus dari kertas Kraft tanpa dilakukan perendaman. Tujuan dari pengujian tanpa perendaman adalah untuk melihat kesamaan nilai tegangan tembus dari standard dan juga digunakan sebagai nilai awal pada setiap grafik kenaikan suhu saat perendaman pada setiap jenis minyak.

Kertas yang akan diuji akan dipanaskan terlebih dahulu dalam oven, tujuannya agar kertas benar-benar kering saat diuji. Pengujian tegangan tembus tanpa dilakukan perendaman ini dilakukan pada 5 sampel, dengan ketebalan 0,5mm setiap sampelnya.

Tabel 4.1 Nilai tegangan tembus kertas Kraft tanpa perendaman

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	5,17
Sampel 2	5,07
Sampel 3	4,8
Sampel 4	4,65
Sampel 5	4,8

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan. Dengan menjumlahkan semua nilai sampel dan membaginya dengan banyaknya sampel maka kita akan mendapatkan nilai rata-ratanya.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{5,17+5,07+4,8+4,65+4,8}{5} \\
 &= 4,898 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft tanpa direndam memiliki hasil yang sesuai dengan nilai yang terdapat pada spesifikasi kertas Kraft.

4.2 Analisa Hasil Uji Tegangan Tembus Kertas Kraft Dengan Perendaman pada Minyak Isolasi

Pada sub-bab ini akan dilakukan analisa dari hasil nilai uji tegangan tembus kertas isolasi Kraft setelah dilakukan perendaman pada minyak Nabati, Mineral, Sintetis dan pemanasan pada suhu 30°C, 50°C, 70°C, 90°C dan 110°C.

4.2.1 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam pada Minyak Nabati Terhadap Kenaikan Nilai Suhu

Nilai tegangan tembus kertas isolasi Kraft yang direndam di dalam isolasi minyak transformator jenis nabati (Minyak Kelapa Murni) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak nabati

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	5,31
Sampel 2	5,91
Sampel 3	5,703
Sampel 4	5,807
Sampel 5	5,70

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{5,31+5,91+5,703+5,807+5,70}{5} \\
 &= 5,686 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.3 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 50°C pada minyak nabati

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,44
Sampel 2	6,422
Sampel 3	5,92
Sampel 4	5,887
Sampel 5	5,86

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{6,44+6,422+5,92+5,887+5,86}{5}$$

$$= 6,105 \text{ kV}$$



Gambar 4.2 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.4 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 70°C pada minyak nabati

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,664
Sampel 2	6,03
Sampel 3	6,51
Sampel 4	6,442
Sampel 5	6,22

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{6,664+6,03+6,51+6,442+6,22}{5}$$

$$= 6,373 \text{ kV}$$



Gambar 4.3 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.5 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 90°C pada minyak nabati

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,826
Sampel 2	7,287
Sampel 3	6,863
Sampel 4	6,84
Sampel 5	7,03

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{6,826+7,287+6,863+6,84+7,03}{5} \\ &= 6,969 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.4 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.6 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 110°C pada minyak nabati

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	8,350
Sampel 2	7,971
Sampel 3	8,223
Sampel 4	7,53
Sampel 5	7,971

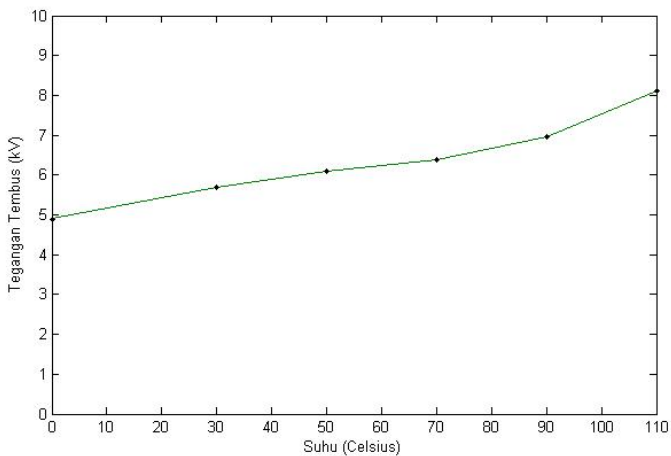
Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{8,350+7,971+8,223+7,53+7,971}{5} \\ &= 8,1 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.5 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan kenaikan temperature terhadap kertas Kraft yang terendam dalam minyak nabati dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk grafik dan tabel mengenai dampak dari nilai kenaikan terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Kraft. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 4,898 kV.



Gambar 4.6 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak nabati

Tabel 4.7 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak nabati

Suhu (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
30	5,686
50	6,105
70	6,373
90	6,969
110	8,1

Grafik tegangan tembus akibat pengaruh kenaikan temperature pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa proses pemanasan berpengaruh pada kekuatan dielektrik. Didapatkan hasil bahwa perendaman dan pemanasan kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas.

4.2.2 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas yang Direndam pada Minyak Mineral Terhadap Kenaikan Nilai Suhu

Nilai tegangan tembus kertas isolasi Kraft yang direndam di dalam isolasi minyak transformator jenis Mineral (Shell Diala B) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak mineral

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	5,278
Sampel 2	5,701
Sampel 3	5,88
Sampel 4	5,14
Sampel 5	5,44

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{5,278+5,701+5,88+5,14+5,44}{5}$$

$$= 5,487 \text{ kV}$$



Gambar 4.7 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.9 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 50°C pada minyak mineral

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,348
Sampel 2	6,10
Sampel 3	6,290
Sampel 4	5,873
Sampel 5	5,80

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{6,348+6,10+6,290+5,873+5,80}{5}$$

$$= 6,082 \text{ kV}$$



Gambar 4.8 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.10 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 70°C pada minyak mineral

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,864
Sampel 2	6,607
Sampel 3	6,227
Sampel 4	6,22
Sampel 5	6,22

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{6,864+6,607+6,227+6,22+6,22}{5} \\ &= 6,427 \text{ kV}\end{aligned}$$



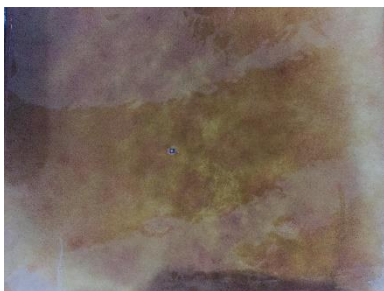
Gambar 4.9 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.11 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 90°C pada minyak mineral

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,449
Sampel 2	6,969
Sampel 3	7,250
Sampel 4	6,80
Sampel 5	7,05

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{6,449+6,969+7,250+6,80+7,05}{5} \\ &= 6,903 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.10 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.12 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 110°C pada minyak mineral

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,991
Sampel 2	7,06
Sampel 3	7,373
Sampel 4	8,244
Sampel 5	7,9

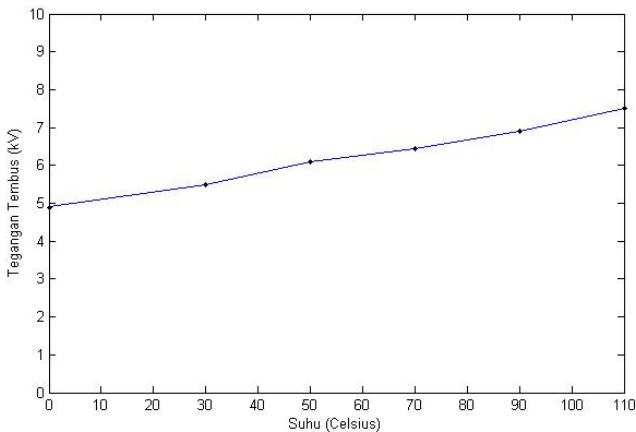
Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{6,991+7,06+7,373+8,244+7,9}{5} \\ &= 7,513 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.11 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan kenaikan temperature terhadap kertas Kraft yang terendam dalam minyak mineral dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk grafik dan tabel mengenai dampak dari nilai kenaikan terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Kraft. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 4,898 kV.



Gambar 4.12 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak mineral

Tabel 4.13 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak mineral

Suhu (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
30	5,487
50	6,082
70	6,427
90	6,903
110	7,513

Grafik tegangan tembus akibat pengaruh kenaikan temperature pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa proses pemanasan berpengaruh pada kekuatan dielektrik. Didapatkan hasil bahwa perendaman dan pemanasan kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas.

4.2.3 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas yang Direndam pada Minyak Sintetis Terhadap Kenaikan Nilai Suhu

Nilai tegangan tembus kertas isolasi Kraft yang direndam dalam isolasi minyak transformator jenis sintetis (Xiameter PMX-561) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 30°C pada minyak sintetis

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,198
Sampel 2	6,100
Sampel 3	6,122
Sampel 4	5,77
Sampel 5	5,993

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{6,198+6,100+6,122+5,77+5,993}{5} \\
 &= 6,036 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.13 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 30°C didalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.15 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 50°C pada minyak sintesis

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,963
Sampel 2	6,442
Sampel 3	5,887
Sampel 4	5,963
Sampel 5	6,077

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{6,963+6,442+5,887+5,963+6,077}{5}$$

$$= 6,266 \text{ kV}$$



Gambar 4.14 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 50°C didalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.16 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 70°C pada minyak sintesis

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,946
Sampel 2	6,329
Sampel 3	6,192
Sampel 4	6,373
Sampel 5	6,782

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\text{Nilai Rata-Rata} = \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}}$$

$$= \frac{6,946+6,329+6,192+6,373+6,782}{5}$$

$$= 6,524 \text{ kV}$$



Gambar 4.15 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 70°C didalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.17 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 90°C pada minyak sintesis

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	6,849
Sampel 2	6,72
Sampel 3	6,567
Sampel 4	6,80
Sampel 5	7,022

Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{6,849+6,72+6,567+6,80+7,022}{5} \\ &= 6,791 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.16 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 90°C didalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.18 Nilai tegangan tembus kertas Kraft suhu 110°C pada minyak sintesis

Sampel Kertas Kraft	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel 1	7,303
Sampel 2	6,940
Sampel 3	7,079
Sampel 4	7,122
Sampel 5	6,97

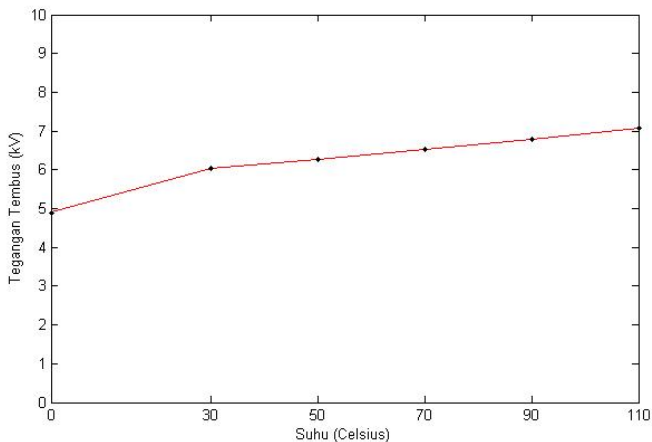
Dari hasil nilai pengujian pada tabel diatas didapatkan nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, akan dicari nilai rata-rata untuk mempresentasikan satu nilai dari kelima sampel percobaan.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{7,303+6,940+7,079+7,122+6,97}{5} \\ &= 7,082 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.17 Kertas Kraft yang telah dipanaskan pada suhu 110°C didalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan kenaikan temperature terhadap kertas Kraft yang terendam dalam minyak sintetis dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk tabel dan grafik mengenai dampak dari nilai kenaikan terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Kraft. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 4,898 kV.



Gambar 4.18 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada minyak Sintetis

Tabel 4.19 Nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft dengan pemanasan dan perendaman pada minyak sintetis

Suhu (°C)	Nilai Tegangan Tembus (kV)
30	6,036
50	6,266
70	6,524
90	6,791
110	7,082

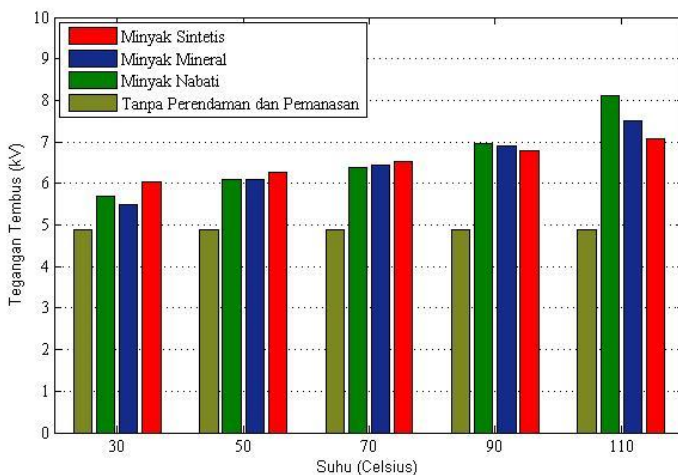
Grafik tegangan tembus akibat pengaruh kenaikan temperature pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa proses pemanasan berpengaruh pada kekuatan dielektrik. Didapatkan hasil bahwa perendaman dan pemanasan kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas.

4.2.4 Analisa Tegangan Tembus Kertas Kraft yang Telah Direndam pada Tiga Jenis Minyak

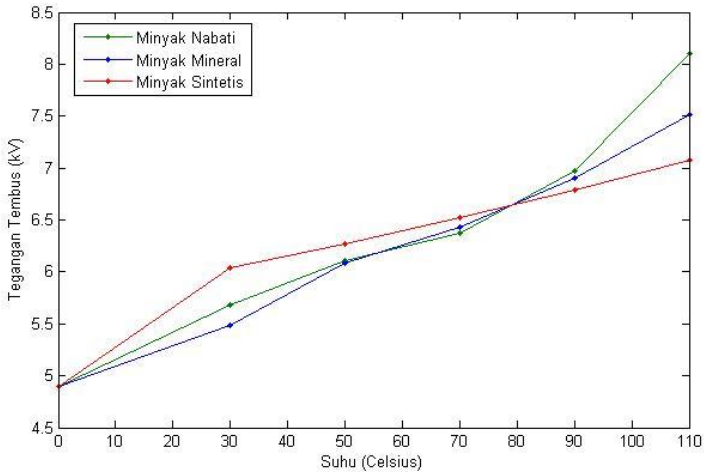
Setelah dilakukan pengujian tegangan tembus secara keseluruhan, maka didapat bahwa setiap jenis minyak memiliki pengaruh yang hampir sama pada kertas Kraft terhadap kekuatan dielektrik kertas. Tahanan tegangan tembus tertinggi dimiliki oleh kertas yang telah direndam dalam minyak nabati dan yang memiliki tahanan tegangan tembus paling rendah adalah kertas yang direndam dalam minyak mineral. Kenaikan temperature pada kertas yang terendam minyak ternyata mempengaruhi kekuatan dielektrik dari kertas isolasi. Dilihat dari Gambar 4.19 nilai tegangan tembus mengalami kenaikan walaupun tidak linier. Mulai dari suhu 30°C hingga 110°C nilai tegangan tembus terus meningkat. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 4,898 kV.

Dilihat dari hasil yang didapat, nilai *breakdown voltage* isolasi kertas yang direndam dalam minyak sintetis pada keadaan suhu 30°C memiliki nilai paling tinggi dari hasil isolasi kertas tanpa perendaman. Nilai *breakdown voltage* dengan minyak sentetis naik sebesar 1,23% sedangkan untuk dengan minyak nabati dan minyak mineral masing-masing naik 1,16% dan 1,12%. Pada keadaan suhu 110°C, kenaikan nilai *breakdown voltage* tertinggi adalah pada saat menggunakan isolasi minyak nabati dengan nilai 1,65%, sedangkan untuk minyak mineral dan

minyak sintetis masing-masing memiliki nilai 1,53% dan 1,44%. Perendaman kertas pada isolasi minyak meningkatkan nilai *breakdown voltage*, karena rongga yang terdapat pada kertas terisi oleh minyak sehingga struktur kertas semakin rapat dan kekuatan isolasi bertambah.



Gambar 4.19 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada semua jenis minyak



Gambar 4.20 Grafik nilai rata-rata tegangan tembus kertas Kraft terendam pada semua jenis minyak

Grafik tegangan tembus akibat pengaruh kenaikan temperature pada Gambar 4.20 menunjukkan bahwa proses pemanasan berpengaruh pada kekuatan dielektrik. Didapatkan hasil bahwa pemanasan dan perendaman kertas pada jenis minyak yang berbeda menghasilkan kenaikan nilai tegangan tembus yang bervariasi dan memiliki nilai yang tidak linear. Dalam hal ini minyak nabati memiliki nilai lebih tinggi pada suhu di atas 90°C dibandingkan minyak mineral dan minyak sintetis.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada Tugas Akhir ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai *breakdown voltage* mengalami kenaikan antara isolasi kertas tanpa perendaman dengan isolasi yang terendam dalam minyak isolasi.
2. Nilai *breakdown voltage* pada ketebalan 1 mm sesuai dengan data sheet isolasi kertas kraft *diamond-dotted paper* yaitu dengan nilai minimal 8 kV/mm sedangkan hasil percobaan diperoleh nilai 9,8 kV/mm.
3. Kegagalan pada isolasi kertas dapat terjadi karena adanya rongga udara pada isolasi kertas yang dapat mengakibatkan terjadinya peluahan parsial pada bahan dielektrik sehingga mudah mengalami *breakdown voltage*.
4. Perendaman kertas pada isolasi minyak meningkatkan nilai *breakdown voltage*, karena rongga yang terdapat pada kertas terisi oleh minyak dan menambah kekuatan isolasi.
5. Nilai *breakdown voltage* mengalami kenaikan seiring naiknya nilai suhu dari 30°C sampai 110°C.

5.2 Saran

Setelah dilakukan analisis ini, saran yang dapat diberikan untuk perbaikan yaitu Tugas Akhir ini hanya terbatas pada peralatan pengujian yang tidak kedap udara karena ketidaktersedian peralatan. Dengan kondisi real pengujian dilakukan dengan kedap udara karena isolasi minyak mudah bereaksi dengan udara sehingga perlu meminimalisir pengujian dengan udara bebas. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap minyak nabati sebagai alternatif penggunaan minyak isolasi pada transformer.

Halaman ini sengaja dikosongkan


DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Srinivasan, A. Krishnan, "Effects of Environmental Factors in Transformer's Insulation Life." *Wseas Transactions On Power Systems*, Issue1, Volume 8, January 2013.
- [2] N. A. M. Ishak, N. A. M. Jamail, dan N. A. Othman, "*High voltage characteristics of kraft paper insulator with effect of palm oil and coconut oil,*" dalam 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016), 2016, hlm. 1–8.
- [3] Wuwung, Janny Olly, "*Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak,*" *TEKNO*, vol. 07, no. 52, April 2010.
- [4] R. Radhitya, "*Pengaruh Rendaman Minyak Transformator Terhadap Kekuatan Dielektrik Isolasi Kertas,*" Tek. Elektro Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014
- [5] Kunto Wibowo, Wahyu, Ir. Yuningtyastuti, Abdul Syukur, S.T. M.T., "*Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30°C-130°C,*" Semarang, Februari 2008
- [6] D. Utami, "Isolasi Pada Peralatan Listrik Tegangan Tinggi Baik Padat, Cair Maupun Gas," 2015.
- [7] P. Saha, Tapan Kumar. Prithwiraj, *Transformer Ageing: Monitoring and Estimation Techniques*
- [8] Suwarno and S. Aminudin, "Investigation on thermal aging of ester from palm oil and kraft paper composite insulation system for high voltage transformer," *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 13, pp. 75–84, 2017.
- [9] G. Satrya Adhie, Chairul Gagarin Irianto dan Darto Gianto, "Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan," Volume 13, Nomor 1, Agustus 2015, Halaman 15 - 36, ISSN 1412-0372
- [10] Negara, I.M.Y., *TEKNIK TEGANGAN TINGGI*. 2013, Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. DATASHEET KERTAS KRAFT



PUCARO
kompeten • flexibel • weltweit

Test Certificate / Prüfattest

PUCARO ELEKTRO-ISOLIERSTOFFE GmbH		Dico/Nominal Thickness	
Customer Number: K16283	IEC 354-3-1	0,05 mm both sides coated DOP	
Favall Industries (Pte Ltd) 75 Loch Park Crescent Singapore 639070 Singapore		Date/Date Kirim / Kirim No:	04.09.2013 40732110
		Test Pr./Test No:	327115
		Order No./Order No.:	1332100170
		Teil-/Part No.:	
		IEC 354-3-1	M Dicke 1,00
			0,05 mm both sides coated DOP

DESCRIPTION	UNIT		M Dicke 1,00
Thickness	mm	± 10 %	0,05
Density apparent	g/cm ³	> 0,96	0,90
Tensile strength M.D.	N/mm ²	70	106
Tensile strength C.M.D.	N/mm ²	26	53
Elongation M.D.	%	2	2,2
Elongation C.M.D.	%	4	6,7
Ash content	%	max. 1,0	0,4
Conductivity of aqueous extract	µS/cm	max. 10,0	1,4
pH of aqueous extract		6,0 - 8,0	9,4
Electrical strength unfolded	kV/mm	min. 8	12
Thickness of coating	µ	> 10	13-14

Conductive particle testing passed

This test is created electronically and does not require any signature

Halaman ini sengaja dikosongkan

B. DATASHEET MINYAK MINERAL



Shell Diala Oil B Electrical insulating oil

Shell Diala Oil B is an uninhibited electrical insulating fluid, for use where normal oxidation resistance is required. It is a highly refined naphthenic mineral oil with natural low pour point characteristics.

Applications

Shell Diala Oil B is primarily intended for use in:

- Transformers
- Circuit breakers
- Oil-filled switches
- An insulator and arc extinguishing agent in switchgear and circuit breakers

Performance Features

- **Highly resistant to oxidative degradation**
Resists the formation of oxidation products that can reduce the ability of the oil to insulate and cool electrical windings
- **Rapid heat transfer properties**
An essential quality in electrical insulating systems
- **Compatible with construction materials**
Compatible with all common construction materials used in electrical systems.
- **Outstanding low temperature properties**
Without the need for pour point depressants Shell Diala Oil B does not contain PCB's

Performance Specifications

Shell Diala Oil B meets the following specifications:

IEC 296 Class 1
BS 148 (1998)

Advice

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell Representative

Health & Safety

Shell Diala Oil B is unlikely to present any significant health or safety hazard when properly used in the recommended application, and good standards of industrial and personal hygiene are maintained.

For further guidance on Product Health & Safety refer to the appropriate Shell Product Safety Data Sheet

Storage Precautions

The critical electrical properties of Shell Diala Oil B are easily compromised by minute concentrations of contaminants. Typically encountered contaminants include moisture, particulates, fibres and surfactants. Therefore, it is imperative that electrical insulating oils be kept clean and dry.

It is strongly recommended that storage containers be dedicated for electrical service and include air-tight seals. It is further recommended that electrical insulating oils be stored indoors in climate-controlled environments.

Table 1: Typical Properties of Shell Diala® Oil B			
Properties	ASTM Method	Specification¹	Typical Values
Appearance		Clear Sediment free Particulate free	Clear Sediment free Particulate free
Density, kg/dm ³ @ 20°C	ISO 3675	0.895 max	0.866
PMCC Flash Point, °C	ISO 2719	143 min	146
Interfacial Tension, dynes/cm @ 25°C	ISO 6295	40 min ²	45
Pour Point, °C	ISO 3016	-30 max	-34
Neutralization Value, mgKOH/g	IEC 296	0.03 max	<0.01
Kinematic Viscosity: @ 40°C, cSt	ISO 3104	16.5 max	9.102
@ 20°C, cSt		40 max	21
Corrosive Sulfur	ISO 5662	Non-corrosive	Non-corrosive
Water Content, mg/kg	IEC 733	30 max bulk ³ 40 max drum ³	25 16
Anti-oxidant Content	IEC 666	ND ⁴	ND ⁴
Oxidation Stability 164 hrs @ 100°C	IEC 74		
Sludge, %w		0.10 max	0.05
Acidity, mg KOH/g		0.30 max	0.26
Breakdown Voltage, kV As Delivered	IEC 156	30 min	52
After Treatment		50 min	60
Dissipation Factor, 40-62 Hz @ 90°C	IEC 247	0.0030 max	0.0016

1 IEC 296 Class 1 Specification, unless otherwise noted.

2 Shell Diala B Specification

3 An IEC 296 recommendation, not an IEC 296 Specification

4 "ND" not detectable, or below lower limit of detectability

C. DATASHEET MINYAK SINTETIS



XIAMETER® PMX-561 Transformer Liquid

Polydimethylsiloxane

FEATURES

- Meets the requirements of both IEC 836 and ASTM D 4652-92
- Essentially non-toxic
- Environmentally safe
- Non-halogenated
- Compatible with a wide range of solid electrical insulating materials
- Contains no additives
- Classified as non-hazardous
- High thermal stability and oxidation resistance
- Higher fire point and lower heat release rate than other types of class K insulating liquids
- Good electrical properties and operating capabilities over a wide temperature range
- Non-sludging

APPLICATIONS

- Cooling and insulating liquid for transformers and other electrical equipment.

TYPICAL PROPERTIES

Specification Writers: These values are not intended for use in preparing specifications. Please contact your local XIAMETER sales representative prior to writing specifications on this product.

Parameter	Unit	Value
Table 1: Tested to ASTM 4652-92		
Appearance		Crystal clear liquid
Density at 25°C (77°F)	kg/dm ³	0.96
Viscosity at 25°C (77°F)	mm ² /s	50
Water content	ppm	30
Specific heat	kJ/kg.K	1.51
Thermal conductivity	W/(m.K)	0.151
Refractive index at 25°C (77°F)		1.404
Breakdown voltage ¹	kV	50
Permittivity at 25°C (77°F) – 50Hz		2.7
Dissipation factor at 25°C (77°F) -50Hz		0.0001
Volume resistivity at 25°C (77°F)	ohm.cm	1.0x10 ¹⁴
Flash point open cup	°C	>300
	°F	>572
Fire point – open cup	°C	370
	°F	698

1. Breakdown voltage measured as in IEC 156:1995 section 3.4.2.

DESCRIPTION

XIAMETER® PMX-561 Transformer Liquid is a polydimethyl silicone liquid that meets the requirements of:

- * International Electrotechnical Commission (IEC) 836 “specifications for silicone liquid for electrical purposes” (Silicone Type T-1).
- * ASTM D 4652-92 “silicone fluids for electrical insulation”.
- * IEC 1100 – “Classification of insulating liquids according to fire point and net calorific value” (Class K3).

XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid has a fire point

exceeding the requirements of these documents and is within the IEC 1100 class with lowest net calorific value (heat of combustion).

With excellent electrical insulation properties over a wide temperature range, combined with high thermal stability, XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid is suitable for transformers and other electrical equipment designed to operate at high temperatures or at very low temperatures.

Table 1: Test Requirements of Silicone Type T-1 in IEC 836

<i>Property</i>	<i>Test Method*</i>	<i>Permissible Values</i>	<i>Typical values for XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid</i>
Physical			
Color	8	Max 35	
Appearance	8	Clear, free from suspended matter and sediment	
Density at 20°C (68°F) (kg/dm ³)	9	0.995 to 0.970	
Kinematic viscosity at 40°C (104°F) (mm ² /s)	10	40 ± 4	
Flash point (°C/°F) (closed cup)	11	Min 240/464	260/500
Fire point (°C/°F) (open cup)	12	Min 330/626	370/698
Refractive index at 20°C (68°F)	13	1.404 ± 0.002	
Pour point (°C/°F)	15	Max -50/-58	
Chemical			
Water content (mg/kg)	16	Max 50	30
Neutralisation value (mg KOH/g)	17	Max 0.02	0.008
Electrical			
Breakdown voltage (kV)	19	Min 40 ¹	50
Dielectric dissipation factor (tg) at 90°C (194°F) and 50 Hz	20	Max 0.001 ¹	0.0005
Permittivity at 90°C (194°F)	20	2.55 ± 0.05 ²	
d.c. resistivity at 90°C (194°F) (G ohm.m)	20	Min 100	1000

*Test methods are described in IEC 836.

¹For untreated liquid, as received

²Only needed as a specification value when used for capacitors

NOTE: XIAMETER PMX-561 Transformer Liquid complies with all of the requirements of IEC 836 Silicone Type T-1. The above typical values EXCEED the minimum requirements of IEC 836.

D. DATASHEET MINYAK NABATI



VANAMERONGEN & SON INC.

Page 1 of 5

PRODUCT SPECIFICATION	
PRODUCT:	Organic Virgin Coconut Oil
PRODUCT CODE:	BVCO10
INGREDIENTS:	Organic Virgin Coconut Oil
COUNTRY OF ORIGIN:	Philippines
DESCRIPTION:	
TASTE/SMELL:	Mild, fresh and characteristic of coconut – No off odour
COLOUR:	Colorless, transparent liquid
Size:	10 Liter Pail
ALLERGENS:	None
GMO FREE:	Yes
ORGANIC:	Yes
KOSHER APPROVED:	OK Kosher Certification
HALAL APPROVED:	Islamic Da'Wah Council of the Philippines (IDCP) Certification
INTENDED USE:	Substitution for regular cooking oil, skin care, hair care, and a health product
RAW MATERIAL ACCEPTANCE:	We only receive product from our approved suppliers that complies with our standard operating procedure
PACKAGING:	
Packed in food grade plastic pails that contain 10 liters	
LABELING REQUIREMENTS:	Label Contains: Product Name, Net Weight, Barcode, Kosher Approval

Created by: Corinna Amama	Date: Sept 27 2011	File: \\MSQA\Food Safety program\Product Specification\Virgin Coconut Oil\Organic virgin coconut oil 10L 002.1.doc
Updated by: Sara Okkema	Date: Jan. 14/16	
Approved by: Peter DeWaard	Date: Sept 27 2011	Issue: 002.1



STORAGE CONDITIONS:	Store in odor free area, out of sunlight and away from walls and off of the floor. Avoid storage in high moisture areas. Keep in a clean and well maintained warehouse.	
SHELF LIFE:	Best to use within two years of production date. When stored below 26 degrees C, the oil will solidify. To thaw, heat product to no higher than 40 degree C for no longer than 24 hours. When melted, the product will develop slight turbidity and form white sediments.	
ANALYSIS:		
MICROBIOLOGICAL ANALYSIS:	Total Plate Count	Less than 1000 cfu/g
	Coliform count	Less than 10 cfu/g
	Yeast Count	Less than 100 cfu/g
	Mold Count	Less than 100 cfu/g
	Salmonella	Not Detected
	Escherichia Coli	Not Detected
CHEMICAL ANALYSIS:	Iodine Value	5.0-10.0
	Peroxide Value	3.0 meq/kg oil
	Free Fatty Acid (As Lauric) %	0.10% Max
	Melting Point	26 Degrees C
	Unsaponifiable Matter in Oil	Not more than 18g/k
	Moisture & Impurities %	0.10 Max
	Saponification Value	248-265
	Fatty Acid Composition %	
	Caproic	0-0.7
	Caprylic	5.9-8.0
	Capric	5.9-8.0
	Lauric	45.1-56.4
	Myristic	16.8-21.0
	Palmitic	7.5-10.2
	Palmitoleic	Not Detected
	Stearic	2.0-4.0
Oleic	5.0-10.2	
Linoleic	1-2.5	
Linolenic	0-0.2	

Created by: Corinna Amama	Date: Sept 27 2011	File: M:\QA\Food Safety program\Product Specification\Virgin Coconut Oil\Organic virgin coconut oil 101_002.1.doc
Updated by: Sara Okiema	Date: Jan. 14/16	
Approved by: Peter Del'Waard	Date: Sept 27 2011	Issue: 002.1

BIODATA PENULIS



Haidi Dzulfiqar Fauzan adalah anak kedua dari tiga bersaudara dan lahir di Malang, 24 Maret 1996. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD BPI Bandung pada tahun 2002 – 2005 dan pindah ke SDIT Fajar Hidayah Bogor pada tahun 2005-2008. Kemudian melanjutkan pendidikannya di SMP Al-Alzhar 19 Cibubur yang telah diselesaikan pada tahun 2008 – 2011. Penulis juga menyelesaikan jenjang SMA di SMA Labschool Cibubur pada tahun 2011 – 2014. Saat ini penulis tengah menjalani pendidikan

Program Sarjana di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

