



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAF0
(PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK
NABATI, DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP
KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS**

Muhammad Irsan Simanjuntak
NRP 0711144000084

Dosen Pembimbing
Danar 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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAFO
(PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK
NABATI, DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP
KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS**

Muhammad Irsan Simanjuntak
NRP 0711144000084

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - EE 184801

**ELECTRICAL CHARACTERISTIC OF PRESSBOARD
PAPER INSULATOR WITH IMMERSION TIME SPAN
EFFECT AT MINERAL OIL, VEGETABLE OIL, AND
SHYNTETIC OIL**

Muhammad Irsan Simanjuntak
NRP 0711144000084

Supervisors

Daniar Fahmi, S.T., M.T.

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

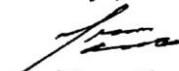
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAFU (PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK NABATI DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS”** 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, Januari 2019


Muhammad Irsan Simanjuntak
0711144000084

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAFU
(PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK
NABATI, DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP
KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS**

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**

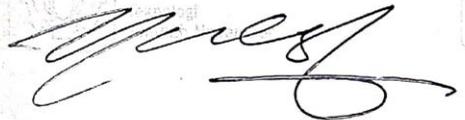
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Daniar Fahmi, ST., M.T.
NIP 19890925 201404 1002

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.
NIP 19700712 199802 1001

**SURABAYA
JANUARI 2019**

DEPARTEMEN
TEKNIK ELEKTRO

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAF0
(PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK NABATI,
DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP KARAKTERISTIK
ELEKTRIS KERTAS**

Nama : Muhammad Irsan Simanjuntak
NRP : 0711144000084
Dosen Pembimbing 1 : Daniar Fahmi, S.T., M.T
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Komponen utama sebuah isolasi transformator adalah minyak trafo dan kertas yang melapisi gulungan kawat dari transformator. Pengujian tegangan tembus merupakan salah satu cara untuk mengukur kekuatan sebuah isolasi.

Pengujian dilakukan menggunakan standar IEC 60156 pada kertas Pressboard yang telah direndam di dalam tiga jenis minyak transformator yaitu: minyak mineral, minyak nabati, dan minyak sintetis. Nilai tegangan tembus kertas yang direndam pada tiga jenis minyak tersebut memiliki karakteristik yang sama yaitu mengalami kenaikan pada minggu 1 dan mengalami penurunan pada minggu 2 - 6 perendaman. Tegangan tembus kertas tanpa dilakukan perendaman sebesar 12.4 kV dan tegangan tembus kertas setelah direndam selama 1 minggu adalah 18.036 kV pada minyak mineral, 17.338 kV pada minyak nabati, dan 20.044 kV pada minyak sintetis. Perendaman kertas di dalam tiap jenis minyak akan membuat senyawa komposit penyusun kertas semakin rapat dan kompleks. Hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan pengujian kadar selulosa pada kertas. Nilai kadar selulosa kertas tanpa perendaman adalah 6% dan nilai kadar selulosa pada kertas yang telah direndam selama 1 minggu adalah 12% pada minyak mineral, 18% pada minyak nabati, dan 16% pada minyak sintetis. Penurunan tegangan tembus kertas yang direndam di dalam minyak selama 2 minggu sampai 6 minggu perendaman disebabkan oleh penambahan kadar air pada minyak isolasi yang berakibat langsung terhadap kertas pressboard.

Kata Kunci: isolasi kertas, kertas pressboard, impregnasi minyak, lama perendaman, breakdown voltage, selulosa pada kertas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ELECTRICAL CHARACTERISTIC OF PRESSBOARD PAPER INSULATOR WITH IMMERSION TIME SPAN EFFECT AT MINERAL OIL, VEGETABLE OIL, AND SHYNTETIC OIL

Name : Muhammad Irsan Simanjuntak
NRP : 0711144000084
Advisor 1 : Daniar Fahmi, S.T., M.T
Advisor 2 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc.

ABSTRACT

The main component of a transformers insulation is the transformers oil and transformer paper that wraps the wire from the transformers. Breakdown voltage test is one way to measure the insulation strength.

The tests are carried out by using the IEC 60156 standard on Pressboard paper in three different types of transformers oil that is: mineral oil, vegetable oil, and shynthetic oil. The breakdown voltage test value that impregnated in three types of oils has the same characteristics, which is increasing at week 1 and decreasing values at weeks 2 – 6. Breakdown voltage value of paper without immersed is 12.4 kV and paper with 1 week of impregnation were 18.036 on mineral oil, 17.338 kV on vegetable oil, and 22.044 on shynthetic oil. Impregnated paper with each type of oils will makes the paper composite compound more densest and complex. This can be proven by testing the levels of cellulose on paper that has been immersed in oil. The value of paper cellulose content without immersion is 6% and the value of cellulose content on paper that has been immersed for 1 week is 12% in mineral oil, 18% in vegetable oils, and 16% in synthetic oil. The decrease in the breakdown of paper immersed in oil for 2 weeks to 6 weeks of immersion is caused by the addition of moisture content to the insulating oil which has a direct effect on pressboard paper.

Keywords: paper insulation, pressoard paper, oil impregnation, immersed time span, breakdown voltage, cellulose on paper.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah sehingga penyusunan buku Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tak lupa shalawat dan salam selalu tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat - sahabatnya.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan Sarjana di Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan judul :

PENGARUH LAMA PERENDAMAN KERTAS TRAFO (PRESSBOARD) PADA MINYAK MINERAL, MINYAK NABATI, DAN MINYAK SINTETIS TERHADAP KARAKTERISTIK ELEKTRIS KERTAS

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantuk dalam penyusunan buku Tugas Akhir ini :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya dan atas izin-Nya dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir.
2. Keluarga dari penulis, mama Siregar dan Alfia K. Simanjuntak yang selalu memberikan dukungan dalam setiap kesempatan 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. Teman teman perantauan dan sahabat kantin elektro yang selalu menemani penulis dalam berbagai hal selama di Surabaya.
8. *Arek Warkop Hello Kitty* dalam menjadi teman berkeluh kesah di setiap malam.

9. Dan semua pihak yang membantu penyusunan buku Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis telah berusaha secara maksimal dalam penyusunan buku Tugas Akhir ini. Kritik yang membangun dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan kedepannya. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas bagi segala pihak.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
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 Laporan.....	4
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 KAJIAN TERKAIT DAN DASAR TEORI	7
2.1 Kajian Penelitian Terkait.....	7
2.2 Transformator.....	7
2.2.1 Pengertian Transformator.....	7
2.2.2 Prinsip Kerja Transformator.....	7
2.2.3 Konstruksi Transformator	9
2.3 Dielektrik	10
2.3.1 Pengertian Dielektrik.....	10
2.3.2 Kekuatan Dielektrik	10
2.4 Bahan Isolasi	11
2.4.1 Pengertian Isolasi	11
2.4.2 Jenis-Jenis Isolasi	11
2.5 Isolasi Kertas.....	12
2.3.1 Komposisi Dalam Isolasi Kertas	13
2.3.2 Impregnasi Pada Isolasi Kertas	14
2.3.3 Kertas Pressboard (<i>Pressboard Paper</i>)	14
2.6 Kegagalan Pada Isolasi Padat.....	15
2.6.1 Kegagalan Thermal	15
2.6.2 Kegagalan Intrinsik	16
2.6.3 Kegagalan Streamer	16
2.3.2 Kegagalan Erosi	16

2.3.2	Kegagalan Elektromagnetik	16
2.7	Partial Discharge	17
2.8	Tracking dan Treeing	17
BAB 3	PERANCANGAN PENGUJIAN	19
3.1	Peralatan Pengujian.....	20
3.2.1	Bejana Uji	20
3.2.2	Aluminium Foil.....	20
3.2.3	Oven.....	20
3.2.4	Modul Pengujian	21
3.2.5	Pembangkitan Tegangan Tinggi AC	21
3.2	Bahan Pengujian	23
3.2.1	Minyak Transformator Jenis Mineral	24
3.2.2	Minyak Transformator Jenis Nabati	24
3.2.3	Minyak Transformator Jenis Sintetis	25
3.2.4	Isolasi Kertas Jenis Pressboard	26
3.3	Prosedur Pengujian Tegangan Tembus	26
3.4	Metode Pengujian	27
3.4.1	Flowchart Pengujian	27
3.4.2	Pengondisian Kertas Sebelum Direndam.....	28
3.4.3	Perendaman Kertas	28
3.4.4	Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas	30
3.4.5	Menganalisa Kadar Selulosa Dalam Kertas	30
3.4.6	Menganalisa Hasil Pengujian.....	34
BAB 4	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA	35
4.1	Analisa Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas Jenis Pressboard Tanpa Dilakukan Perendaman.....	35
4.2	Analisa Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas Jenis Pressboard Setelah Direndam Pada Minyak Isolasi.....	36
4.2.1	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Mineral Terhadap Lama Perendaman	37
4.2.2	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Nabati Terhadap Lama Perendaman	44
4.2.3	Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Sintetis Terhadap Lama Perendaman	52
4.2.4	Analisa Tegangan Tembus Kertas Pressboard yang Telah Direndam Di Tiga Jenis Minyak	59
4.3	Analisa Pengujian Kadar Selulosa Pada Isolasi Kertas Pressboard.....	60
4.4	Analisa Kadar Air Pada Minyak Isolasi.....	62

4.5	Analisa Kegagalan Dielektrik Pada Pengujian	63
BAB 5 PENUTUP		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		69
A	DATASHEET KERTAS PRESSBOARD	69
B	DATASHEET MINYAK MINERAL	71
C	DATASHEET MINYAK NABATI	73
D	DATASHEET MINYAK SINTETIS	75
E	HASIL ANALISA KADAR AIR	77
BIODATA PENULIS		79

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja transformator	8
Gambar 2.2 Transformator <i>Core Type</i>	9
Gambar 2.2 Transformator <i>Shell Type</i>	10
Gambar 2.4 Transformator dengan isolasi kertas	13
Gambar 2.5 Struktur senyawa selulosa.....	13
Gambar 2.6 Isolasi kertas Pressboard.....	15
Gambar 3.1 Gambar set-up pengujian isolasi kertas	19
Gambar 3.2 Bejana uji (a), Aluminium foil (b).....	20
Gambar 3.3 Elektroda dari sisi atas (a), samping (b), Modul pengujian (c).....	21
Gambar 3.4 Kontruksi dalam transformator pengujian	22
Gambar 3.5 Modul pembangkitan AC dari depan (a), samping (b), <i>Control box</i> modul (c).....	23
Gambar 3.6 Kertas Pressboard yang akan dikondisikan.....	26
Gambar 3.7 Flowchart pengujian tegangan tembus pada kertas.....	27
Gambar 3.8 Kondisi kertas Pressboard yang akan dipanaskan.....	28
Gambar 3.9 Kondisi perendaman kertas di dalam minyak mineral (a) minyak nabati (b) minyak sintetis (c).....	29
Gambar 3.10 Struktur perangkat pengujian tegangan tembus	30
Gambar 3.11 Tahapan pengujian kadar selulosa metode Chesson- Datta	31
Gambar 3.12 Alat yang digunakan untuk merefluks sampel.....	32
Gambar 4.1 Kertas Pressboard tanpa perendaman yang telah mengalami tegangan tembus.....	36
Gambar 4.2 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu pada minyak mineral.....	38
Gambar 4.3 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu pada minyak mineral.....	39
Gambar 4.4 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu pada minyak mineral.....	40
Gambar 4.5 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu pada minyak mineral.....	41
Gambar 4.6 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu pada minyak mineral.....	42

Gambar 4.7 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu pada minyak mineral.....	43
Gambar 4.8 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak mineral	44
Gambar 4.9 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu pada minyak nabati.....	45
Gambar 4.10 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu pada minyak nabati.....	46
Gambar 4.11 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu pada minyak nabati	47
Gambar 4.12 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu pada minyak nabati.....	48
Gambar 4.13 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu pada minyak nabati.....	49
Gambar 4.14 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu pada minyak nabati.....	50
Gambar 4.15 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak nabati.....	51
Gambar 4.16 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu pada minyak sintetis	53
Gambar 4.17 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu pada minyak sintetis	54
Gambar 4.18 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu pada minyak sintetis	55
Gambar 4.19 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu pada minyak sintetis	56
Gambar 4.20 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu pada minyak sintetis	57
Gambar 4.21 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu pada minyak sintetis	58
Gambar 4.22 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak sintetis	59
Gambar 4.23 Grafik perbandingan rata-rata nilai tegangan tembus pada kertas yang direndam di dalam semua jenis minyak.....	60
Gambar 4.24 Grafik perbandingan persentase kadar selulosa pada kertas Pressboard.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Informasi spesifikasi minyak mineral	24
Tabel 3.2 Informasi spesifikasi minyak nabati	25
Tabel 3.3 Informasi spesifikasi minyak sintetis	25
Tabel 4.1 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard tanpa perendaman	35
Tabel 4.2 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak mineral	37
Tabel 4.3 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak mineral	38
Tabel 4.4 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak mineral	39
Tabel 4.5 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak mineral	40
Tabel 4.6 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak mineral	41
Tabel 4.7 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak mineral	42
Tabel 4.8 Nilai tegangan tembus dengan lama waktu perendaman bervariasi pada minyak mineral	43
Tabel 4.9 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak nabati	45
Tabel 4.10 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak nabati	46
Tabel 4.11 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak nabati	47
Tabel 4.12 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak nabati	48
Tabel 4.13 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak nabati	49
Tabel 4.14 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak nabati	50
Tabel 4.15 Nilai tegangan tembus dengan lama waktu perendaman bervariasi pada minyak nabati	51

Tabel 4.16 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak sintetis.....	52
Tabel 4.17 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak sintetis.....	53
Tabel 4.18 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak sintetis.....	54
Tabel 4.19 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak sintetis.....	55
Tabel 4.20 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak sintetis.....	56
Tabel 4.21 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak sintetis.....	57
Tabel 4.22 Nilai tegangan tembus dengan lama waktu perendaman bervariasi pada minyak sintetis.....	58
Tabel 4.23 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard tanpa dilakukan perendaman.....	61
Tabel 4.24 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard yang direndam pada tiap jenis minyak selama seminggu....	61
Tabel 4.25 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard yang direndam pada tiap jenis minyak selama 2 minggu....	61
Tabel 4.26 Nilai kadar air yang terkandung pada isolasi minyak	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat dan juga sebagai sumber daya yang paling utama dalam suatu kegiatan usaha. Peningkatan kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan perkembangan jumlah penduduk yang akan memunculkan berbagai industri-industri baru [1]. Peningkatan kebutuhan listrik ini tentu menjadi peluang usaha bagi produsen peralatan listrik contohnya transformator. Mengingat harga transformator yang tidak bisa dipandang sebelah mata dan merupakan salah satu komponen vital dalam sistem tenaga listrik maka perlu diberikan perhatian khusus pada setiap komponen yang ada di dalamnya.

Transformator adalah sebuah alat listrik yang menggunakan prinsip induksi elektromagnetik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian listrik lain tanpa mengubah frekuensi sistem [2]. Dalam proses memindahkan dan mengubah energi listrik tersebut tentu dapat menyebabkan area panas dikarenakan arus besar yang mengalir pada transformator. Oleh karena itu di dalam transformator diperlukan isolasi sebagai pengaman untuk mengisolasi panas maupun kelistrikannya.

Komponen utama sebuah isolasi transformator adalah minyak trafo dan kertas yang melapisi gulungan kawat dari transformator. Minyak yang biasa digunakan sebagai isolasi pada trafo adalah minyak hasil olahan dari minyak bumi, antara lain *Esso*, *Shell Diala*, dll. Akan tetapi minyak jenis mineral yang diolah dari minyak bumi ini tentu terbatas jumlahnya. Selain itu ada juga minyak yang dibuat dari bahan kimia yaitu minyak sintesis seperti hidrokarbon sintesis, ester, hidrokarbon aromatic khlorinat, dan sebagainya. Proses pembuatan minyak sintesis ini menggunakan reaksi kimia yang mahal dan rumit juga bersifat non-biodegradable (tidak terurai sempurna secara alami).

Faktor kekuatan dan ketahanan merupakan hal yang penting untuk sebuah bahan isolasi. Salah satu pengujian untuk mengetahui kekuatan suatu bahan isolasi adalah tes uji tegangan tembus. Tegangan tembus (*breakdown*) adalah peristiwa dimana tegangan dinaikkan terus

menerus, kemudian atom – atom akan terionisasi sampai mencapai batas kemampuan isolator menahan tegangan, kemudian isolator akan menjadi konduktor [3].

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian kekuatan sebuah isolasi padat yaitu isolasi kertas yang telah direndam di dalam minyak tranformator dengan jenis minyak yang berbeda-beda. Perendaman itu bertujuan untuk mengetahui pengaruh minyak transformator terhadap tegangan tembus kertas isolasi dengan variasi waktu tertentu. Lama perendaman isolasi kertas didalam minyak transformator dibuat bervariasi mulai dari tidak direndam sama sekali, 1 minggu perendaman, 2 minggu perendaman, 3 minggu perendaman, 4 minggu perendaman, 5 minggu perendaman, sampai dengan 6 minggu perendaman. Diharapkan dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil analisa yang dapat membantu produsen transformator dalam menentukan jenis minyak yang akan digunakan untuk transformator produksinya dan juga dapat membantu dalam penelitian lebih lanjut mengenai minyak nabati sebagai minyak transformator.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menentukan nilai tegangan tembus pada isolasi kertas Pressboard setelah direndam didalam minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis.
2. Bagaimana mengetahui karakteristik hubungan tegangan tembus kertas Pressboard setelah direndam didalam isolasi minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis.
3. Bagaimana mengetahui hubungan lama perendaman terhadap tegangan tembus kertas Pressboard pada masing-masing isolasi minyak.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Pengujian dan analisis tegangan tembus dilakukan pada isolasi kertas transformator jenis Pressboard dengan ketebalan 2mm.
2. Saat pengujian, kertas transformator dan elektroda tidak dalam kondisi vakum yang sempurna karena keterbatasan alat uji.

3. Tekanan udara, kelembaban, dan temperatur ruangan tidak disesuaikan dengan kondisi pengujian karena keterbatasan ruangan pengujian.
4. Saat perendaman, dilakukan didalam suhu ruangan tanpa memperhatikan perubahan kondisi ruangan setiap saat karena keterbatasan alat.
5. Elektroda yang digunakan saat pengujian adalah jenis setengah bola dengan diameter 25 mm.
6. Kuantitas pengujian dilakukan dengan menyesuaikan ketersediaan minyak dan kertas yang diperoleh sebagai bahan uji untuk memperoleh data pengujian.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah:

1. Dapat menentukan nilai tegangan tembus pada isolasi kertas transformator jenis Pressboard setelah direndam didalam minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis dalam rentang waktu yang diberikan.
2. Dapat mengetahui karakteristik tegangan tembus isolasi kertas transformator jenis Pressboard setelah direndam didalam minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis.
3. Dapat mengetahui hubungan variasi lama perendaman kertas isolasi jenis Pressboard didalam minyak mineral, nabati, dan sintetis terhadap tegangan tembus kertas.

1.5 Metodologi Penelitian

Tujuan dari pengujian pada tugas akhir ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari kertas isolasi jenis Pressboard terhadap tegangan tembusnya dan efek dari lama waktu perendaman yang bervariasi didalam minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis terhadap tegangan tembusnya.

Metodologi penelitian pada tugas akhir ini akan dibagi menjadi empat tahapan, yaitu melakukan study literature, metode pengujian, pengujian serta pengambilan data, dan penyusunan laporan. Setiap tahapan tersebut akan dijelaskan secara lengkap cara mempersiapkan bahan dan alat pengujian, pembuatan modul, melakukan pengujian,

analisis terhadap data yang didapat dari pengujian, serta pengambilan kesimpulan berdasarkan data yang telah dianalisa.

Study literature merupakan tahapan yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang dapat membantu dan mengarah pada topik yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Pada tahapan ini pencarian buku, kumpulan jurnal, maupun makalah dilakukan untuk mengetahui jenis kertas dan minyak isolasi yang umum digunakan di pasaran serta mudah didapat dan juga mudah untuk dilakukan pengujian.

Tahap metodologi pengujian dilakukan untuk menentukan standard pengujian yang sesuai dengan IEC serta membuat modul yang disesuaikan dengan modul tegangan tembus yang tersedia. Pada tahap ini juga dilakukan pengondisian bahan dan alat yang akan dilakukan pengujian.

Pada tahapan pengujian, dilakukan pengujian tegangan tembus pada kertas isolasi jenis Pressboard yang telah direndam didalam minyak jenis minral, nabati, dan sintetis untuk setiap rentang waktu yang telah ditentukan. Untuk kertas Pressboard yang direndam didalam tiap jenis minyak dalam rentang waktu tertentu dilakukan pengujian sebanyak 5 kali pengujian dengan menggunakan kertas sample yang berbeda-beda.

Selanjutnya dilakukan penyusunan laporan berdasarkan beberapa teori tentang tegangan tembus yang disebabkan penuaan isolasi kertas transformator akibat lama perendaman didalam minyak. Memasukkan data nominal tegangan tembus setiap kali pengujian dilakukan disertai dengan gambar kertas setelah mengalami tegangan tembus.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematik dalam laporan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

Bab I Pendahuluan

Pada bab I yaitu pendahuluan terdapat penjelasan mengenai latar belakang dan dasar pemikiran pembuatan tugas akhir ini, perumusan masalah, dan batasan masalah yang tidak dapat dikondisikan maupun dilakukan baik itu variable ataupun kelengkapan lain, serta keterbatasan alat yang digunakan. Selain itu, terdapat juga tujuan penelitian, metodologi penelitian,

sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

Bab II Kajian Terkait Dan Dasar Teori

Pada bab ini akan dijelaskan teori penunjang, yang berkaitan dengan Tugas Akhir serta penelitian sebelumnya yang terkait dengan topik penelitian ini. Teori penunjang tersebut antara lain penjelasan mengenai transformator, isolasi, dan teori mengenai tegangan tembus.

Bab III Perancangan Pengujian

Bab ini akan membahas tentang metode yang akan dilakukan saat pengujian dan rencana pengondisian alat dan bahan yang akan diujikan. Pada bab ini akan dijelaskan juga mengenai standard yang digunakan saat pengujian.

Bab IV Hasil Pengujian Dan Analisa Data

Data hasil dari pengujian yang dilakukan pada kertas isolasi dan lama perendaman akan disusun sedemikian rupa kemudian dijelaskan secara lengkap analisa data baik secara karakteristik elektrik, maupun struktur senyawa yang berubah setelah dilakukan perendaman.

Bab V Penutup

Pada bab ini akan diuraikan simpulan beserta saran mengenai tugas akhir ini berdasarkan data yang telah diperoleh dari analisa data hasil pengujian.

1.7 Relevansi

Penelitian pada tugas akhir ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh dari lama 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 TERKAIT DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian tegangan tembus terhadap isolasi kertas jenis Pressboard yang direndam dalam minyak transformator jenis mineral, nabati, dan sintetis dengan lama waktu perendaman yang telah ditentukan. Impregnasi isolasi kertas adalah sebuah keadaan dimana isolasi kertas direndam di dalam isolasi cair dan biasa ditemukan pada transformator. Hal ini bertujuan untuk menambah kekuatan dielektrik maupun mekanik dari isolasi kertas [4].

Berdasarkan penelitian [5], perendaman isolasi kertas didalam minyak transformator dalam rentang waktu tertentu akan meningkatkan kekuatan dielektrik isolasi kertas. Hal ini disebabkan karena adanya ikatan adhesi antara minyak dan kertas yang terjadi pada rongga udara didalam isolasi kertas, yang kemudian akan semakin memperkuat kemampuan dielektrik dibagian yang sebelumnya merupakan rongga udara. Sedangkan menurut penelitian [4], minyak transformator akan meresap ke isolasi kertas melalui rongga-rongga pada kertas yang disebut proses adhesi, dari proses tersebut akan terjadi pemanjangan ikatan-ikatan dari senyawa selulosa sehingga tiap rongga pada kertas akan tertutupi akibat semakin rapatnya ikatan selulosa dalam isolasi kertas.

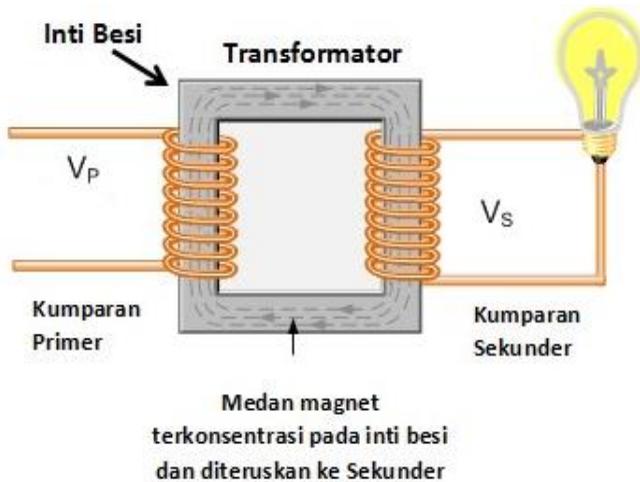
2.2 Transformator

2.2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang menyalurkan daya atau tenaga listrik dari satu sisi menuju sisi lain tanpa terhubung secara langsung. Jenis-jenis transformator yang umum digunakan adalah: transformator *step up* (penaik tegangan), transformator *step down* (penurun tegangan), transformator instrument, dan transformator pengujian.

2.2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah mentransferkan atau mengirimkan daya dari satu sisi ke sisi lainnya. Transformator tidak terhubung secara elektrik pada kedua sisinya, namun dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik yang diberikan dari lilitan sisi primer yang kemudian diterima oleh sisi lainnya.



Gambar 2.1 Prinsip kerja transformator

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

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.1)$$

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:

$$S_{in} = S_{out}, \text{ dimana:} \quad (2.2)$$

$$S = VI \quad (2.3)$$

Keterangan:

S_{in} = kapasitas/daya masukan transformator

S_{out} = kapasitas/daya keluaran transformator

V = tegangan nominal transformator

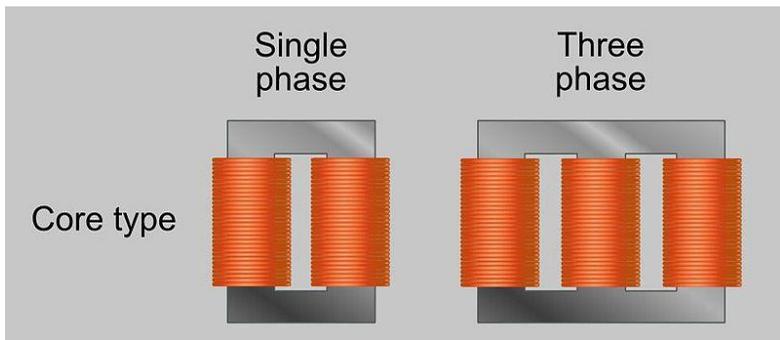
I = arus melalui transformator

2.2.3 Kontruksi Transformator

Kontruksi transformator sangat menentukan kualitas dari transformator, seperti: fluks yang timbul pada transformator, arus inrush atau arus magnetisasi saat pertama kali transformator tersebut digunakan. Kontruksi pada inti transformator adalah:

a. Bentuk Core (*core form*)

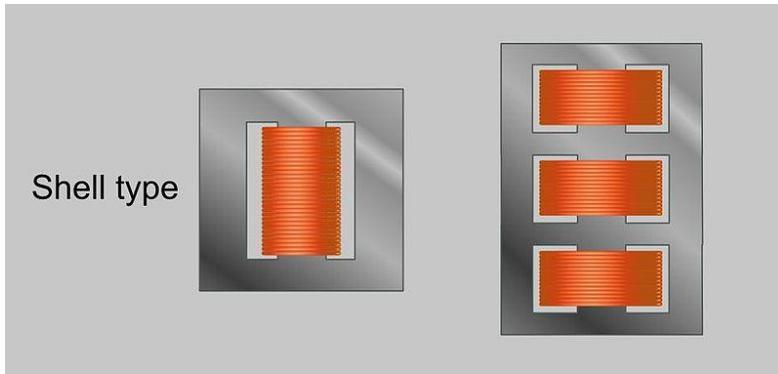
Bentuk kontruksi core memiliki bentuk fisik yaitu inti transformator dikelilingi oleh kumparan. Fluks magnetic yang terjadi pada bentuk core memiliki fluks yang penuh tanpa bercabang ataupun terbagi.



Gambar 2.2 Core type

b. Bentuk Shell (*Shell for*)

Kontruksi jenis shell memiliki bentuk fisik kumparan yang dikelilingi oleh inti transformator. Sehingga fluks magnetic yang terjadi pada inti transformator terbagi menjadi 2.



Gambar 2.3 *Shell type*

2.3 Dielektrik

2.3.1 Pengertian Dielektrik

Dielektrik adalah bahan isolator listrik yang dapat diberikan medan magnet berbeda dengan cara menempatkannya dalam medan listrik. Ketika bahan tersebut berada dalam medan listrik, muatan listrik yang terkandung di dalamnya tidak akan mengalir, tetapi hanya bergeser dari posisi setimbangnya. Bahan dielektrik digunakan untuk memisahkan antara bagian yang dialiri arus listrik dan bagian yang tidak menerima hantaran listrik tersebut sehingga sistem dapat berjalan sesuai rencana dan tidak merusak atau mengganggu sistem.

Bahan dielektrik dibagi menjadi 2 jenis, yaitu bahan yang memiliki polarisasi dan tidak memiliki polarisasi. Contoh bahan yang memiliki polarisasi adalah kapasitor, sedangkan bahan dielektrik yang tidak memiliki polarisasi adalah kertas dan keramik.

2.3.2 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik dapat diartikan sebagai tekanan listrik terendah yang mengakibatkan bahan dielektrik tersebut tembus listrik. Tegangan tembus (*breakdown voltage*) suatu isolator adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk membuat dielektrik tersebut rusak. Dengan kata lain, kekuatan dielektrik adalah gradient tegangan yang diperlukan supaya bahan dielektrik mengalami tembus listrik.

Bahan-bahan dielektrik memiliki tingkat kemampuan dan ketahanan yang berbeda-beda terhadap tegangan yang diterima pada setiap sisi permukaannya. Kekuatan dan ketahanan tersebut bergantung pada bagaimana bahan tersebut dibuat, contohnya luas permukaan, bentuk permukaan, dan kualitas bahan penyusunnya.

2.4 Bahan Isolasi

2.4.1 Pengertian Isolasi

Bahan isolasi adalah bahan yang digunakan sbagai pemisah bagian-bagian yang aktif (bertegangan) yang berfungsi sebagai pengaman pada peralatan listrik untuk menjamin keselamatan saat beroperasi dan tidaknya peralatan tersebut.

Apabila arus bocor terjadi pada sebuah isolasi, maka isolasi tersebut sudah tidak dapat digunakan kembali. Hal ini dikarenakan sifat arus yang cenderung melewati jalur yang sudah ada sehingga isolasi tersebut akan terus mengalami arus bocor.

2.4.2 Jenis Jenis Isolasi

Isolasi terbagi menjadi 3 jenis, tergantung dari wujud bahan isolasi tersebut. Jenis-jenis isolasi diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Isolasi gas

Bahan isolasi gas digunakan untuk pengisolasi sekaligus media penyalur panas. Bahan gas yang biasa digunakan adalah udara dan sulfur hexafluida (SF_6)

- Udara

Merupakan bahan isolasi yang paling mudah didapatkan. Memiliki tegangan tembus yang cukup besar yaitu 30 KV/cm.

- SF_6

Sulfur Hexafluida atau biasa dikenal dengan nama kimia SF_6 merupakan sebuah gas bentukan dari sulfur dan fluor.

2. Isolasi cair

Bahan isolasi cair adalah bahan yang biasa digunakan untuk mengisi pada peralatan listrik seperti transformator, pemutus beban, dan rheostat. Fungsi dari bahan isolasi cair adalah sebagai pemisah dan mengisolasi bahan yang bertegangan dan juga berfungsi sebagai pendingin untuk mensirkulasi panas yang ditimbulkan oleh peralatan. Isolasi cair jenis minyak adalah isolasi cair yang biasa digunakan pada transformator. Isolasi minyak sendiri dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan material bahan pembuatnya, yaitu:

- Isolasi minyak jenis mineral

Minyak isolasi jenis mineral adalah minyak isolasi yang bahan dasarnya terbuat dari minyak bumi yang diproses dengan cara destilasi. Minyak isolasi hasil destilasi ini kemudian diproses lagi agar diperoleh tahanan isolasi yang tinggi, stabilitas panas yang baik, mempunyai karakteristik panas yang stabil, dan memenuhi syarat-syarat mekanik dan kimia yang lain. Contoh minyak isolasi transformator yang umum digunakan yaitu: Shell Diala B, Shell Diala C, Nynas, Univolt.

- Isolasi minyak jenis nabati

Minyak isolasi jenis nabati merupakan minyak yang dibuat dari tumbuh-tumbuhan yang diekstrak kemudian diolah sampai menjadi minyak yang bias digunakan sebagai isolasi listrik. Beberapa contoh minyak nabati yang biasa digunakan dalam penelitian minyak transformator adalah minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak randu, dan minyak jagung.

- Isolasi minyak jenis sintetis

Minyak isolasi jenis sintetis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari minyak isolasi jenis mineral. Penggunaan minyak isolasi mineral memiliki keterbatas karena mudah beroksidasi dengan udara dan mudah mengalami perubahan sifat kimia akibat kenaikan temperature. Oleh sebab itu banyak dikembangkan minyak sintetis dengan proses kimia untuk menutupi keterbatasan tersebut. Contoh minyak isolasi transformator jenis sintetis yang biasa digunakan adalah: minyak askarel, silicon cair, dan ester sintetis.

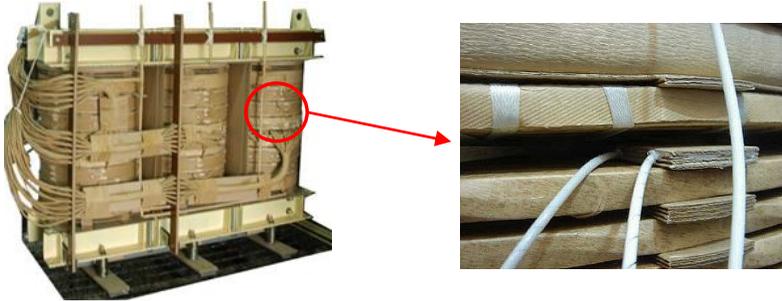
3. Isolasi padat

Bahan isolasi padat merupakan bahan isolasi yang paling umum digunakan dalam sitem kelistrikan. Isolasi padat sendiri memiliki tahanan yang cukup baik, termasuk isolator kuat, dan memiliki harga yang ekonomis bila dibandingkan dengan isolator lain. Contoh bahan isolasi padat adalah kaca, polimer, porselin, plastic, dan juga kertas.

2.5 Isolasi Kertas

Isolasi kertas merupakan isolasi yang umum digunakan pada transformator. Di awal abad ke-20 bahan isolasi kertas yang dipakai adalah asbestos, kertas pressboard, kertas shellac impregnated. Kemudian dikembangkan kertas resin impregnated, dan kertas isolasi dengan selulosa high sulfated [4].

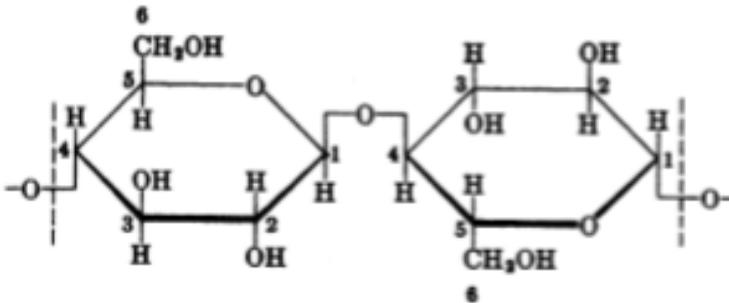
Isolasi kertas memiliki sifat tipis dan juga fleksibel sehingga dapat mengikuti bentuk yang diinginkan oleh produsen transformator. Pada isolasi kertas, impregnasi minyak sangat penting untuk menjaga kekuatan isolasi kertas.



Gambar 2.4 Transformator dengan isolasi kertas

2.5.1 Komposisi Dalam Isolasi Kertas

Isolasi kertas adalah isolasi yang terbuat dari selulosa tumbuhan. Sumber selulosa adalah kayu. Kayu mengandung 40-50% selulosa [4]. Pada isolasi kertas, senyawa selulosa merupakan penyusun utama dari kertas dan juga sebagai penahan tekanan elektron pada sisi permukaan kertas. Efek dari pengujian tegangan tembus pada kertas adalah adanya treeing dan lubang pada kertas setelah kertas mengalami tegangan tembus. Sehingga dapat dikatakan pengujian tegangan tembus akan merusak ikatan senyawa selulosa pada kertas.



Gambar 2.5 Struktur senyawa selulosa

2.5.2 Impregnasi Pada Isolasi Kertas

Salah satu cara yang umum digunakan untuk menambah kekuatan dielektrik isolasi kertas pada transformator adalah dengan menambahkan minyak transformator pada kertas. Perendaman isolasi kertas didalam minyak transformator dalam rentang waktu tertentu akan meningkatkan kekuatan dielektrik isolasi kertas. Hal ini disebabkan karena adanya ikatan adhesi antara minyak dan kertas yang terjadi pada rongga udara didalam isolasi kertas, yang kemudian akan semakin memperkuat kemampuan dielektrik dibagian yang sebelumnya merupakan rongga udara [5]. Sedangkan menurut penelitian [4], minyak transformator akan meresap ke isolasi kertas melalui rongga-rongga pada kertas yang disebut proses adhesi, dari proses tersebut akan terjadi pemanjangan ikatan-ikatan dari senyawa selulosa sehingga tiap rongga pada kertas akan tertutupi akibat semakin rapatnya ikatan selulosa dalam isolasi kertas.

Pada transformator, air akan muncul pada isolasi transformator. Air yang muncul disebabkan oleh proses oksidasi isolasi kertas-minyak dan penetrasi udara atmosfer kedalam tangki transformator [5]. Air yang muncul pada isolasi minyak merupakan kontaminan yang menyebabkan kekuatan dielektris pada isolasi minyak dan isolasi kertas akan menurun [6]. Sehingga pengujian kadar air pada isolasi minyak transformator sangat diperlukan.

2.5.3 Kertas Pressboard (*Pressboard Paper*)

Kertas pressboard merupakan kertas yang dibuat dari hasil olahan pulp kayu kraft murni tanpa adanya tambahan bahan kimia dalam proses pembuatannya. Kertas pressboard memiliki permukaan lebih keras dan padat apabila dibandingkan dengan kertas isolasi jenis lain. Fungsi dari kertas pressboard pada transformator adalah sebagai pembatas bagian alas, atas, dan samping *coil* dan *core* dengan kerangka luar transformator. Selain itu juga digunakan sebagai pengaman konduktor pentanahan (*grounding*) transformator.



Gambar 2.6 Isolasi Kertas Pressboard

2.6 Kegagalan Isolasi Padat

Bahan isolasi dapat dikatakan merupakan 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.

Kegagalan didalam kelistrikan dapat disebabkan oleh kejadian alam maupun kesalahan peralatan atau kesalahan pengguna (human error). Salah satu faktor kegagalan dari kelistrikan adalah isolasinya yang ditembus oleh arus listrik. Dari setiap jenis isolasi yang ada seperti: padat, cair, dan gas. 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.

2.6.1 Kegagalan Thermal

Penyebab terjadinya kegagalan thermal adalah munculnya laju temperatur dalam satu maupun beberapa titik yang tidak sebanding dengan laju kecepatan pembuangan panas tersebut yang berlangsung secara terus menerus sehingga melewati batas kemampuan dari isolasinya. Hal ini akan menyebabkan bahan isolasi tersebut tidak dapat

menahan tegangan tembus sesuai dengan ketahanannya. Laju termal pada setiap isolasi berbeda-beda tergantung dari bahan penyusunnya.

2.6.2 Kegagalan Intrinsik

Kegagalan intrinsik adalah sebuah kegagalan yang disebabkan adanya penerapan tegangan tinggi pada bahan dielektrik tanpa dipengaruhi oleh tekanan, suhu, bahan elektroda, permukaan elektroda. 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.

2.6.3 Kegagalan Streamer

Kegagalan streamer 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. Karena permitivitas udara lebih kecil dari bahan elektrik, kegagalan ini terjadi lebih awal daripada kegagalan pada bahan dielektrik.

2.6.4 Kegagalan Erosi

Pada pembuatan suatu isolasi pasti ada ketidak sempurnaan, sehingga sering terdapat rongga dalam isolasi. Rongga ini berisi udara maupun benda lain, yang mempunyai kekuatan dielektrik yang berbeda dengan kekuatan dielektrik dari bahan isolasi. Bila rongga berisi udara maka akan terdapat konsentrasi medan listrik. Karena itu, pada nilai tegangan normal kekuatan medan pada rongga dapat bernilai lebih besar ketahanan tegangan tembus, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan. Kekuatan medan dalam rongga ditentukan oleh perbandingan dari permitivitas dan bentuk rongga. Pada setiap pelepasan muatan akan menghasilkan panas yang menyebabkan rongga tersebut semakin lebar.

2.6.5 Kegagalan Elektromagnetik

Kegagalan elektromagnetik adalah sebuah kegagalan dimana terdapat perbedaan polaritas dari kedua elektroda yang mengapit isolasi sehingga timbul beda potensial dan tekanan listrik pada bahan isolasi tersebut. Dari tekanan listrik tersebut akan muncul tekanan mekanik yang menyebabkan elektroda yang mengapit bahan isolasi mengalami gaya tarik menarik seperti magnet.

2.7 Partial Discharge

Partial Discharge merupakan sebuah peristiwa dimana pelepasan dan loncatan listrik yang berupa bunga api yang terjadi pada salah satu titik dari sebuah isolasi baik itu cair, padat atau gas. Efek dari tingginya beda potensial yang terjadi akan membentuk rongga pada bahan isolasi. Pengukuran partial discharge tergolong hal yang sangat penting, karena dari hasil pengujian tersebut akan mendapat data yang digunakan sebagai ukuran keandalan dari suatu peralatan yang dapat disebabkan oleh lamanya penggunaan dan kegagalan tersebut sehingga dapat dianalisis dengan tepat. Adanya partial discharge dalam bahan isolasi dapat diukur dengan tiga metode yaitu: dengan pengukuran tegangan langsung pada permukaan objek isolator, dengan pengukuran arus didalam rangkaian tambahan, serta mengukur intensitas frekuensi radiasi gelombang elektromagnetik yang disebabkan oleh adanya partial discharge.

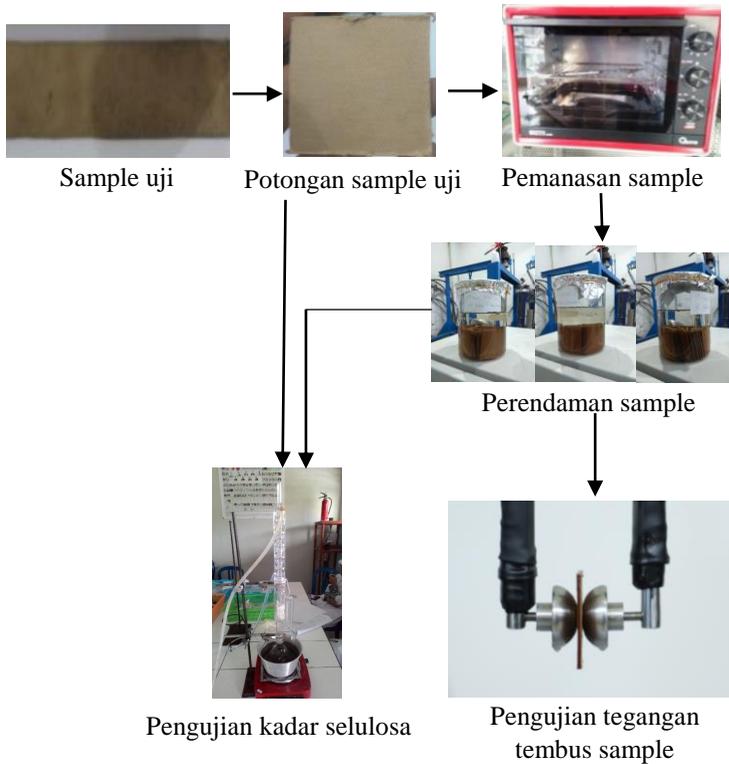
2.8 Tracking dan Treeing

Saat suatu bahan isolasi padat terkena tekanan listrik dalam jangka waktu yang cukup lama, maka akan menyebabkan terjadinya kegagalan. Hal ini disebabkan mengalirnya arus listrik dipermukaan isolator sehingga membuat permukaan isolator tersebut panas dan menimbulkan percikan (*discharge*). Percikan tersebut akan terus menyebar dan membuat rongga-rongga udara yang menyebabkan terbentuknya jalur (*tracking*) pada isolasi. Jalur tersebut akan membentuk cabang-cabang seperti pohon sehingga disebut sebagai *treeing*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 PERANCANGAN PENGUJIAN

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 Gambar set-up pengujian isolasi kertas

3.1 Peralatan Pengujian

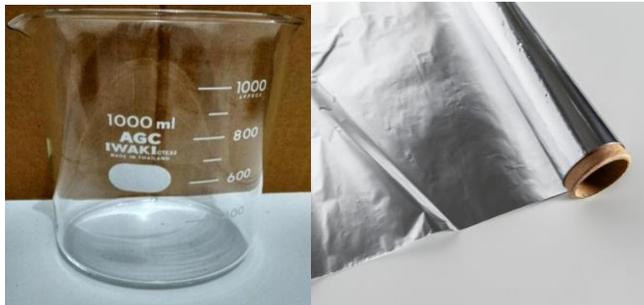
Peralatan pengujian merupakan perlengkapan yang dibutuhkan untuk mendukung proses pengujian sehingga dapat dilakukan. Peralatan tersebut antara lain: bejana uji, aluminium foil, oven listrik serta modul pembangkitan tegangan AC dan modul pengujian.

3.1.1 Bejana Uji

Bejana uji digunakan sebagai wadah untuk merendam kertas isolasi didalam minyak. Bejana uji yang digunakan adalah ACG IWAKI CTE33 bervolume 1000 ml, dan volume minyak setelah kertas direndam adalah 800 ml.

3.1.2 Aluminium Foil

Aluminium foil pada pengujian ini berfungsi sebagai pelindung dari udara dan debu yang beterbangan agar tidak masuk kedalam bejana uji serta menjaga keadaan minyak dan kertas tetap bersih selama proses perendaman.



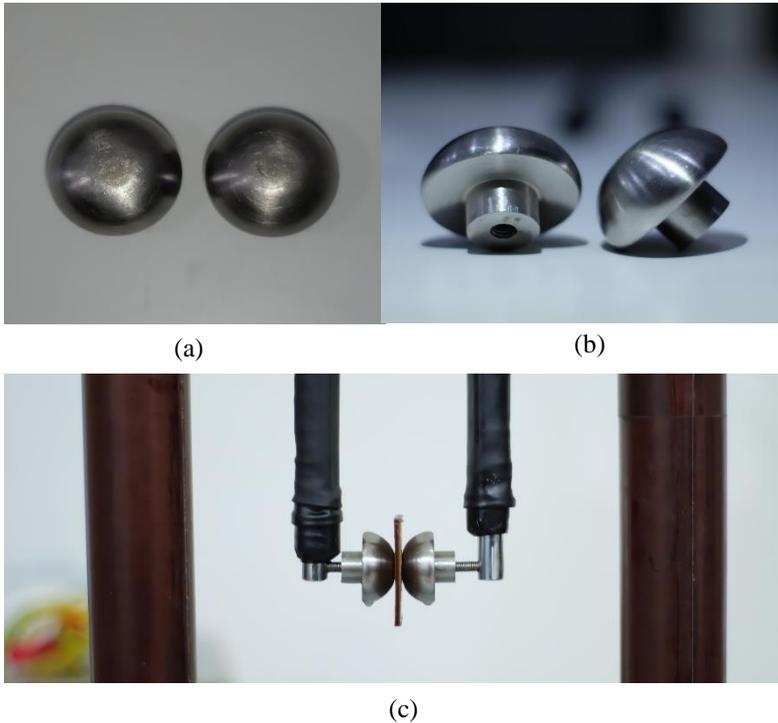
(a) (b)
Gambar 3.2 Bejana uji (a), Aluminium Foil (b)

3.1.3 Oven

Oven yang dipakai adalah Ox-8830 Oxone Oven Master 30 liter. Oven ini digunakan untuk memanaskan kertas sebelum direndam didalam minyak untuk memastikan kertas benar-benar kering dan tidak terkontaminasi dengan air ataupun zat-zat lainnya yang ada di dalam rongga maupun pori-pori kertas isolasi.

3.1.4 Modul Pengujian

Modul pengujian yang digunakan pada pengujian tugas akhir ini adalah elektroda setengah bola berjari-jari 25 mm sesuai standar IEC-60156 yang ditaruh pada kedua sisi kertas yang akan diuji.

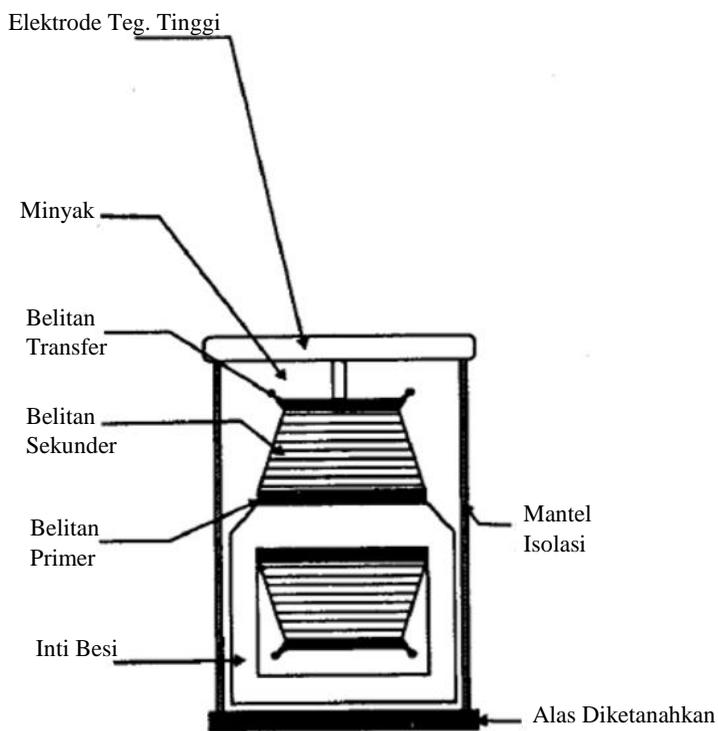


Gambar 3.3 Elektroda dari sisi atas (a), samping (b), Modul Pengujian (c)

3.1.5 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

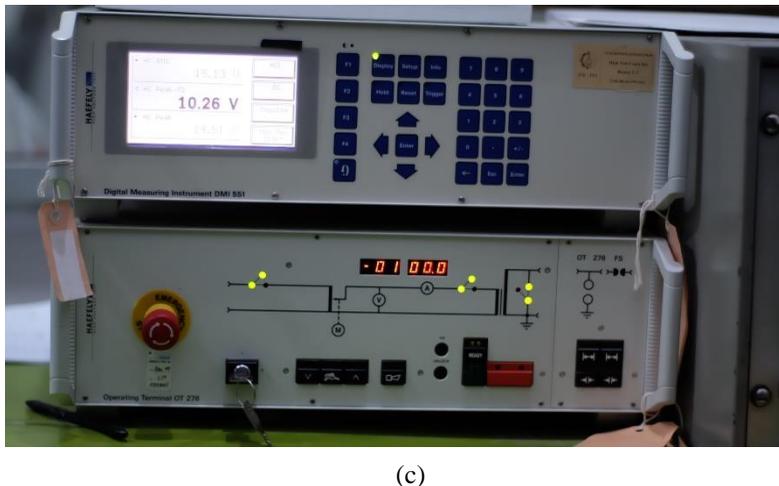
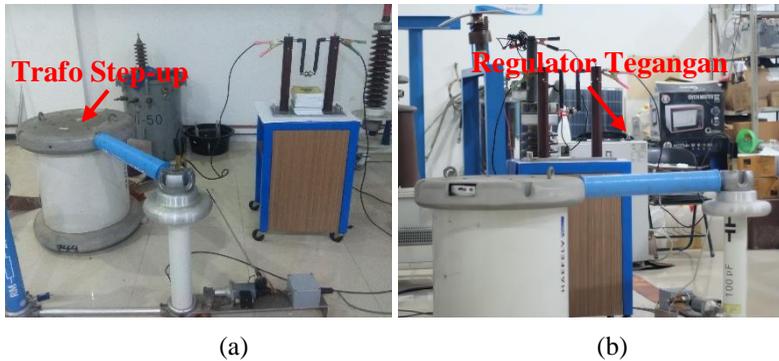
Pembangkitan tegangan tinggi AC digunakan untuk pengujian ketahanan isolasi kertas yang akan diuji. Pembangkitan tegangan AC berasal dari sumber AC yang kemudian masuk kedalam transformator step up, agar tegangan output dapat lebih tinggi dari pada tegangan sumber.

Pada konstruksi transformator, transformator pengujian menggunakan 1 phasa dan kabel yang diketanahkan, transformator pengujian memiliki beberapa bagian, seperti pada gambar 3.2 Traformator pengujian tersebut mampu menghasilkan tegangan output hingga 100 kV.



Gambar 3.4 Kontruksi dalam transformator pengujian

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. Terdapat sebuah *control box* untuk menaikkan tegangan dan satu buah lagi untuk mengukur tegangan.



Gambar 3.5 Modul Pembangkitan AC dari depan (a), samping (b),
Control Box modul (c)

3.2 Bahan Pengujian

Bahan pengujian adalah bahan yang akan diproses dan sebagai objek pengambilan data dari pengujian yang akan dilakukan. Bahan-bahan pengujian pada tugas akhir ini adalah isolasi kertas dan isolasi minyak yang diperoleh dari P.T. Bambang Djaja Transformer, Surabaya, sehingga merupakan isolasi yang umum digunakan di pasaran.

3.2.1 Minyak Transformator Jenis Mineral

Minyak mineral yang digunakan sebagai bahan uji adalah minyak mineral “Shell Dyala B”. Minyak jenis ini adalah minyak yang sering digunakan untuk produksi transformator distribusi oleh PLN. Minyak mineral merupakan minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yang diolah sehingga dapat digunakan sebagai media isolasi minyak transformator.



Wujud	Bersih, bebas kotoran
Massa jenis (kg/dm^3)	0.895 max
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	143 min
Kadar air (mg/kg)	40 max
Tegangan Tembus (kV)	30 min



Shell Dyala Oil B
Electrical insulating oil

Tabel 3.1 Informasi spesifikasi minyak mineral

3.2.2 Minyak Transformator Jenis Nabati

Minyak ini berbahan dasar dari formulasi ekstrak minyak kelapa yang spesifikasinya dianggap sudah memenuhi standar IEC 62770. Minyak ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak transformator lainnya, yaitu dapat terurai di alam secara alami atau biasa disebut biodegradable sehingga ramah untuk lingkungan, serta memiliki stabilitas termal dan oksidasi yang baik. Pada aplikasinya, minyak berbahan ekstrak minyak kelapa memiliki potensi untuk digunakan sebagai minyak transformator dan masih hanya digunakan dalam penelitian dan pengujian.



Wujud	Tanpa warna, transparan
Kemurnian (%)	0.10 max
Titik leleh (°C)	26
Kadar zat terlarut	18g/k max
Tegangan Tembus (kV)	Not Tested



Tabel 3.2 Informasi spesifikasi minyak nabati

3.2.3 Minyak Transformator Jenis Sintetis

Minyak transformator jenis sintetis yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus berbahan dasar cairan silikon. Minyak sintetis ini diproduksi dengan brand “Xiameter” dan seri fluida PMX-561. Minyak ini juga biasa disebut dengan “Polydimethylsiloxane liquid”. 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.



Wujud	Cairan cristal
Massa Jenis (kg/dm ³)	0.96
Titik Nyala (°C)	101
Kadar Air (ppm)	30
Tegangan Tembus (kV)	50

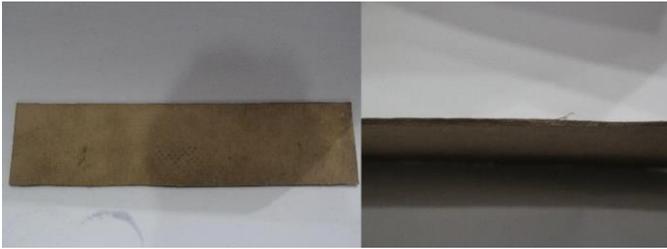


XIAMETER® PMX-561 Transformer Liquid

Tabel 3.3 Informasi spesifikasi minyak sintetis

3.2.4 Isolasi kertas jenis Pressboard

Kertas isolasi jenis Pressboard adalah bahan pengujian yang akan melalui beberapa proses sebelum dilakukan tes tegangan tembus (*breakdown voltage test*). Kertas Pressboard dipilih karena memiliki komponen atau elemen penyusun yang kuat dan memiliki rongga yang lebih padat, kuat, dan kaku. Kertas Pressboard memiliki ketebalan 2 mm dengan karakteristik seperti kayu pada umumnya sehingga akan lebih mudah dilakukan pengujian kadar selulosa menggunakan metode Chesson-Datta.



Gambar 3.6 Kertas Pressboard yang akan dikondisikan

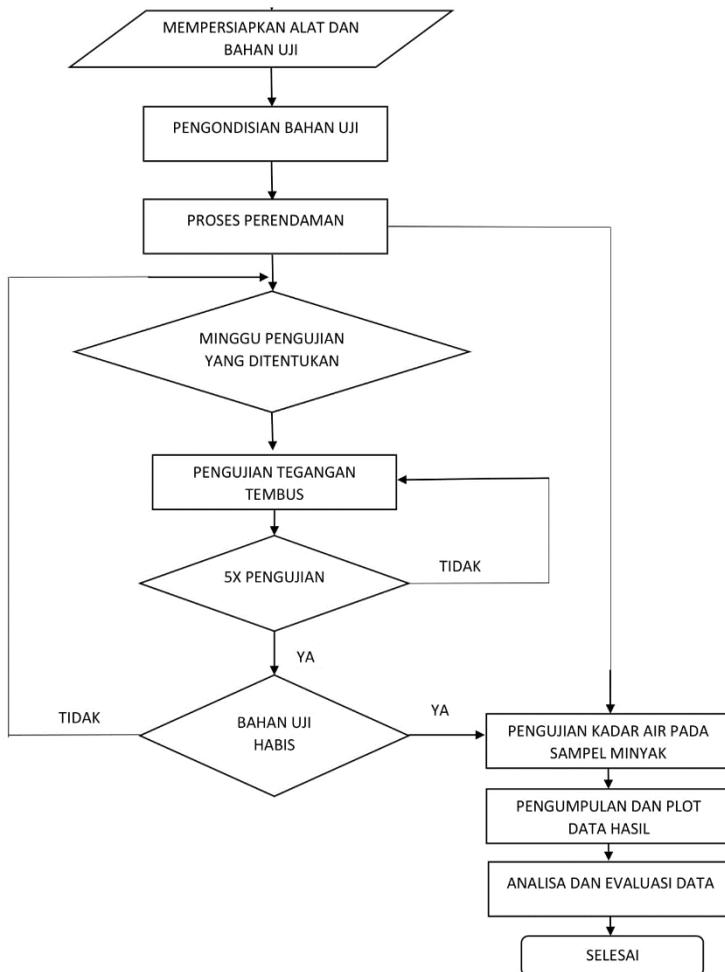
3.3 Prosedur Pengujian Tegangan Tembus

Terdapat beberapa prosedur pengujian yang harus diperhatikan saat melakukan pengujian agar tidak terjadi hal-hal yang membahayakan bagi keselamatan pengguna dan menghindari kerusakan alat pengujian, prosedur pengujiannya antara lain sebagai berikut:

- a. Pemasangan rangkaian pembangkitan AC terpasang dengan benar sesuai dengan gambar dan standart yang ditetapkan.
- b. Langkah-langkah pengujian harus dilakukan sesuai dengan flowchart yang ada.
- c. Pemasangan tanda berbahaya di daerah pembangkitan AC, agar tidak ada orang mendekati modul dan transformator pengujian pada saat dilakukan pengujian.
- d. Pengecekan konduktor pentanahan (*grounding*) harus terpasang dengan benar dan aman.

3.4 Metode Pengujian

3.4.1 Flowchart Pengujian



Gambar 3.9 Flowchart Pengujian Tegangan Tembus pada kertas

Flowchart diatas merupakan langkah-langkah yang dilakukan secara bertahap dalam setiap pengujian tegangan tembus pada masing-masing kertas. Pengujian kadar unsur senyawa selulosa pada setiap jenis kertas yang direndam di dalam minyak dilakukan secara terpisah tetapi dengan perlakuan yang sama.

3.4.2 Pengondisian Kertas Sebelum Direndam

Bahan isolasi kertas yang digunakan diperoleh dari P.T. Bambang Djaja Transformer sehingga memiliki bentuk dan tebal yang sesuai dengan kebutuhan pabrik dan dapat disesuaikan dengan standar pengujian. Kertas Pressboard memiliki luasan kertas yang cukup lebar dan memiliki ketebalan 2 mm. Kertas tersebut akan dipotong-potong menjadi 5 x 5 cm tanpa merubah tebal kertas sehingga saat pengujian tegangan tembus dilakukan akan menutupi seluruh permukaan elektroda agar memastikan tegangan tembus terjadi pada kertas.

Setelah ukuran kertas sesuai, langkah selanjutnya adalah memanaskan isolasi kertas tersebut di dalam oven dengan suhu lebih dari 65°C selama 30 menit. Dipanaskan di dalam oven bertujuan agar kadar air taupun zat cair lainnya dapat menguap sehingga rongga atau pori-pori pada isolasi kertas benar-benar terisi oleh udara dengan baik tanpa ada zat yang lain yang akan menjadi kontaminannya.

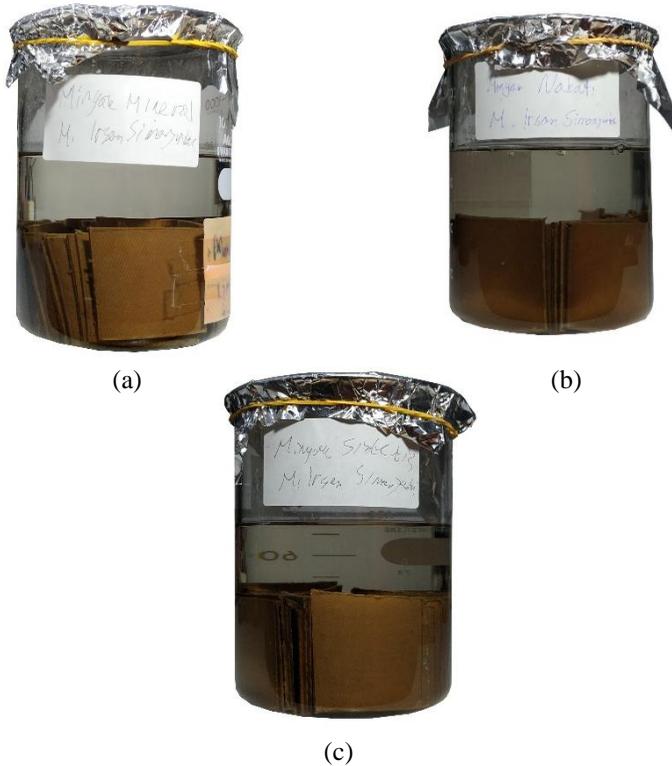


Gambar 3.10 Kondisi kertas Pressboard yang akan dipanaskan

3.4.3 Perendaman Kertas

Langkah selanjutnya setelah melakukan pemanasan pada kertas Pressboard adalah melakukan perendaman isolasi kertas Pressboard pada

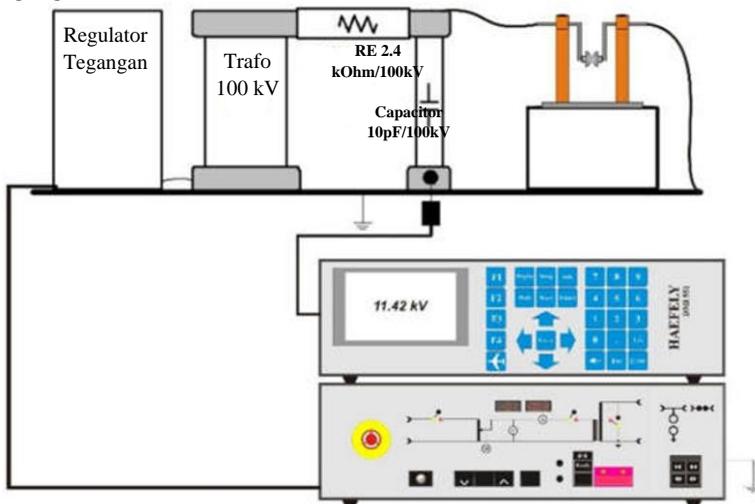
minyak mineral Shell Dyala B, minyak nabati berbahan dasar kelapa, dan minyak sintetis silicon yang telah dituang kedalam bejana uji dengan ukuran 1000 ml dalam suhu ambient (suhu ruangan) dan ditutup menggunakan aluminium foil. Volume minyak setelah kertas isolasi telah direndam semua adalah 800 ml. Terdapat 90 buah kertas didalam bejana uji. Waktu perendaman dilakukan dengan variasi 1, 2 ,3, 4, 5, dan 6 minggu.



Gambar 3.11 Kondisi perendaman kertas Pressboard didalam Minyak Mineral (a), Minyak Nabati (b), dan Minyak Sintetis (c)

3.4.4 Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas

Pengujian tegangan tembus dilakukan pada kertas pressboard sebelum dilakukan perendaman dan setelah direndam pada masing-masing minyak setiap rentang waktu yang telah ditentukan. Akan dilakukan pengujian sebanyak 5 buah sampel kertas pada setiap jenis minyak. 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.

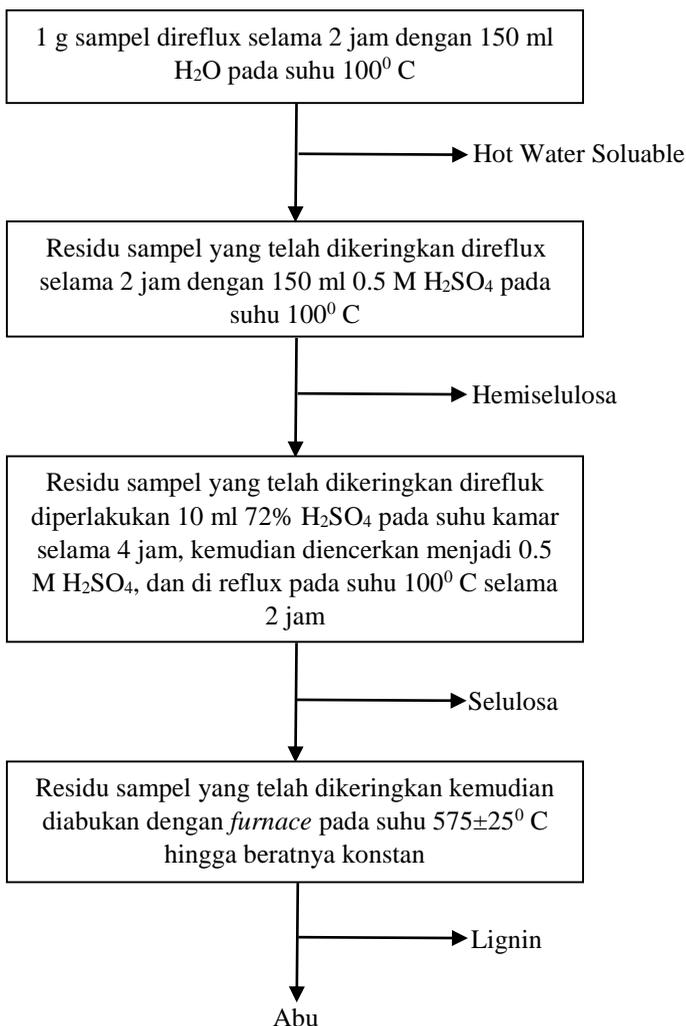


Gambar 3.12 Struktur perangkat pengujian tegangan tembus

3.4.5 Menganalisa Kadar Selulosa Dalam kertas

Setelah melakukan pemanasan pada isolasi kertas yang bertujuan untuk mengurangi kadar air di dalamnya, kertas tersebut akan diuji kadar selulosa murni di dalamnya dengan metode Chesson-Datta. Metode ini adalah analisa berat setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Tahapan tahapannya adalah: pertama, menghilangkan kandungan ekstraktif (dalam metode ini disebut Hot Water Soluble (HWS)), kemudian hidrolisis hemiselulosa dengan menggunakan asam

kuat tanpa pemanasan, dilanjutkan dengan hidrolisis menggunakan asam encer pada suhu tinggi. Bagian terakhir yang tidak larut adalah lignin.



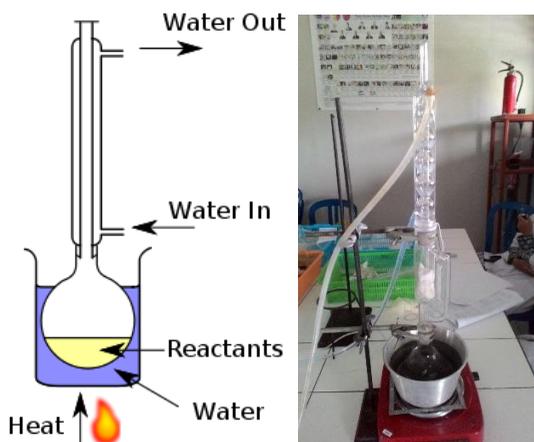
Gambar 3.13 Tahapan pengujian kadar selulosa metode Chesson-Datta

Perhitungan kandungan komponen selulosa adalah:

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{c-d}{a} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana:

- a: Berat awal sampel
- c: Berat sampel setelah direfluk dengan 0.5 M H₂SO₄
- d: Berat sampel setelah diperlakukan dengan 72% H₂SO₄ dan kemudian diencerkan menjadi 4% H₂SO₄



Gambar 3.14 Alat yang digunakan untuk merefluks sampel

3.4.6 Menganalisa Hasil Pengujian

Setelah mendapatkan semua data yang dibutuhkan akan dilakukan penginputan data kedalam software Microsoft Excel dan akan dibuat sebuah grafik dari hasil pengujian tersebut. Dari masing-masing grafik akan dianalisis secara terperinci hubungan antara lama perendaman pada setiap kertasnya dan jenis-jenis minyaknya. Hasil analisis pengujian tersebut akan dibuat menjadi sebuah kesimpulan hasil dari pengujian yang dilakukan.

Untuk melengkapi analisis dari penelitian tugas akhir ini, maka dilakukan pengujian kadar air pada tiap jenis minyak sebelum dilakukan perendaman dan setelahnya. Pengujian kadar air ini dilakukan di

Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tujuan pengujian kadar air tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh dari lama perendaman terhadap minyak yang berpengaruh langsung terhadap variasi tegangan tembus kertas [7]. Pengujian pada minyak dilakukan karena berdasarkan [5], hanya kadar air di dalam minyak yang bias diukur.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Data yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian dihimpun dan dianalisa. Pada bab ini akan dilakukan pembahasan dan analisa data hasil pengujian yang telah dilakukan pada kertas Pressboard setelah direndam di dalam ketiga jenis minyak dan pembahasan mengenai pengaruh lama perendaman di dalam tiap jenis minyak terhadap nilai tegangan tembus terhadap kertas Pressboard.

4.1 Analisa Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas Jenis Pressboard Tanpa Dilakukan Perendaman

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai nilai tegangan tembus pada isolasi kertas Pressboard tanpa direndam di dalam minyak. Hal ini dilakukan untuk menguji kecocokan tegangan tembus kertas terhadap tegangan tembus yang tertera pada spesifikasinya dan juga digunakan sebagai nilai awal pada setiap grafik lama perendaman kertas pada tiap jenis minyak.

Sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus, kertas akan dipanaskan di dalam oven agar benar-benar kering saat diuji. Pada pengujian yang dilakukan, tegangan yang terbangkitkan adalah tegangan tinggi AC yang terus dinaikkan sampai terjadi tegangan tembus pada kertas isolasi Pressboard. Pengujian tegangan tembus akan dilakukan pada 5 sampel kertas pressboard.

Tabel 4.1 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard tanpa perendaman

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	12
Sampel Kertas 2	12
Sampel Kertas 3	12
Sampel Kertas 4	14
Sampel Kertas 5	12

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai

rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{12+12+12+14+12}{5} \\ &= 12.4 \text{ kV}\end{aligned}$$

Dari data hasil pengujian, dapat diamati bahwa nilai rata-rata tegangan tembus pada kertas Pressboard tanpa dilakukan perendaman pada minyak sesuai dengan tegangan tembus yang tertera pada spesifikasi kertas Pressboard.



Gambar 4.1 Kertas Pressboard tanpa perendaman yang telah mengalami tegangan tembus

4.2 Analisa Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas Jenis Pressboard Setelah Dilakukan Perendaman Pada Minyak Isolasi

Pengujian yang dilakukan selanjutnya adalah pengujian tegangan tembus pada kertas isolasi Pressboard yang telah direndam

didalam minyak jenis mineral, nabati, dan sintetis. Tujuan perendaman isolasi kertas adalah agar rongga-rongga pada isolasi kertas terisi oleh minyak sehingga lebih kompleks dan sempurna.

4.2.1 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Mineral Terhadap Lama Perendaman Kertas

Nilai tegangan tembus kertas isolasi Pressboard yang direndam di dalam isolasi minyak transformator jenis mineral “Shell Diala B” adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	18.47
Sampel Kertas 2	17.7
Sampel Kertas 3	18.41
Sampel Kertas 4	17.3
Sampel Kertas 5	18.3

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{18.47+17.7+18.41+17.3+18.3}{5} \\
 &= 18.036 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.3 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	15.89
Sampel Kertas 2	16.45
Sampel Kertas 3	15.34
Sampel Kertas 4	16.74
Sampel Kertas 5	16.36

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{15.89+16.45+15.34+16.74+16.36}{5} \\
 &= 16.156 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



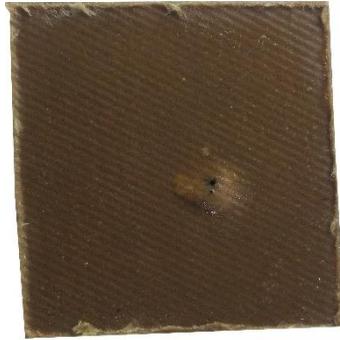
Gambar 4.3 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.4 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	15.52
Sampel Kertas 2	15.68
Sampel Kertas 3	16.4
Sampel Kertas 4	15.4
Sampel Kertas 5	14.52

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{15.52+15.68+16.4+15.4+14.52}{5} \\ &= 15.504 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.4 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.5 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	14.6
Sampel Kertas 2	15.43
Sampel Kertas 3	15.26
Sampel Kertas 4	15.2
Sampel Kertas 5	14.52

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{14.6+15.43+15.26+15.2+14.52}{5} \\
 &= 15.002 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.6 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	14.5
Sampel Kertas 2	15.52
Sampel Kertas 3	14.3
Sampel Kertas 4	14.74
Sampel Kertas 5	14.88

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{14.5+14.52+14.3+14.74+14.88}{5} \\
 &= 14.588 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.6 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.7 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak mineral

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	14.22
Sampel Kertas 2	14.37
Sampel Kertas 3	14.12
Sampel Kertas 4	13.9
Sampel Kertas 5	14.08

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{14.22+14.37+14.12+13.9+14.08}{5} \\ &= 14.138 \text{ kV}\end{aligned}$$

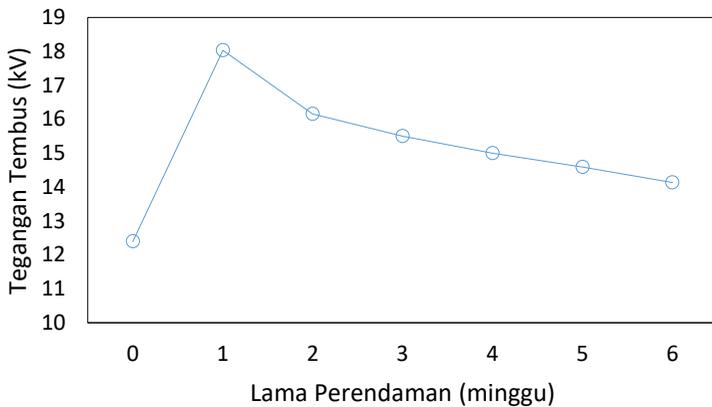


Gambar 4.7 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu di dalam minyak mineral dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan lama perendaman yang berbeda-beda terhadap kertas Pressboard di dalam minyak mineral dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk tabel dan grafik mengenai dampak dari lama perendaman terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Pressboard. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 12.4 kV.

Tabel 4.8 Nilai tegangan tembus dengan lama waktu perendaman yang bervariasi pada minyak mineral

Lama Perendaman	Rata-Rata Nilai Tegangan Tembus (kV)
1 minggu	18.036
2 minggu	16.156
3 minggu	15.504
4 minggu	15.002
5 minggu	14.588
6 minggu	14.138



Gambar 4.8 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak mineral

Setelah dilakukan pengujian pada isolasi kertas jenis Pressboard yang telah direndam di dalam minyak isolasi jenis mineral dengan rentang waktu yang telah ditentukan didapatkan hasil bahwa perendaman kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas. Dapat diamati peningkatan nilai rata-rata tegangan tembus yang cukup tinggi antara kertas Pressboard tanpa perendaman dengan kertas Pressboard yang telah direndam di dalam minyak selama seminggu. Akan tetapi nilai rata-rata tegangan tembus dari kertas Pressboard akan turun terus menerus pada perendaman selama 2 minggu sampai perendaman selama 6 minggu, meskipun nilainya masih berada diatas nilai rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard tanpa perendaman.

4.2.2 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Nabati Terhadap Lama Perendaman Kertas

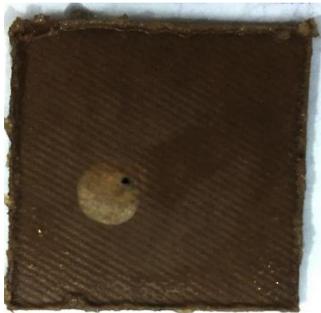
Nilai tegangan tembus kertas isolasi Pressboard yang direndam di dalam isolasi minyak transformator jenis nabati berbahan dasar minyak kelapa adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	18.47
Sampel Kertas 2	17.7
Sampel Kertas 3	18.41
Sampel Kertas 4	17.3
Sampel Kertas 5	18.3

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{18.47+17.7+18.41+17.3+18.3}{5} \\ &= 18.036 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.9 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.10 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	14.72
Sampel Kertas 2	14.8
Sampel Kertas 3	13.8
Sampel Kertas 4	13.7
Sampel Kertas 5	14.6

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{14.72+14.8+13.8+13.7+14.6}{5} \\
 &= 14.324 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.11 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	13.67
Sampel Kertas 2	14.4
Sampel Kertas 3	13.4
Sampel Kertas 4	13.6
Sampel Kertas 5	14.68

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{13.67+14.4+13.4+13.6+14.68}{5} \\ &= 13.95 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.11 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.12 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	14.08
Sampel Kertas 2	13.64
Sampel Kertas 3	13.9
Sampel Kertas 4	13.2
Sampel Kertas 5	13.39

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{14.08+13.64+13.9+13.2+13.39}{5} \\ &= 13.642 \text{ kV}\end{aligned}$$



Gambar 4.12 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.13 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	13.6
Sampel Kertas 2	13.28
Sampel Kertas 3	13.7
Sampel Kertas 4	13.6
Sampel Kertas 5	13.64

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{13.6+13.28+13.7+13.6+13.64}{5} \\ &= 13.564 \text{ kV}\end{aligned}$$



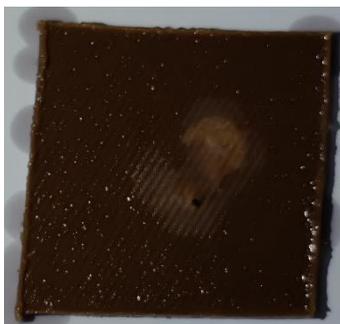
Gambar 4.13 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.14 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak nabati

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	13.1
Sampel Kertas 2	13.43
Sampel Kertas 3	13.3
Sampel Kertas 4	13.21
Sampel Kertas 5	13.1

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}\text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\ &= \frac{13.1+13.43+13.3+13.21+13.1}{5} \\ &= 13.228 \text{ kV}\end{aligned}$$

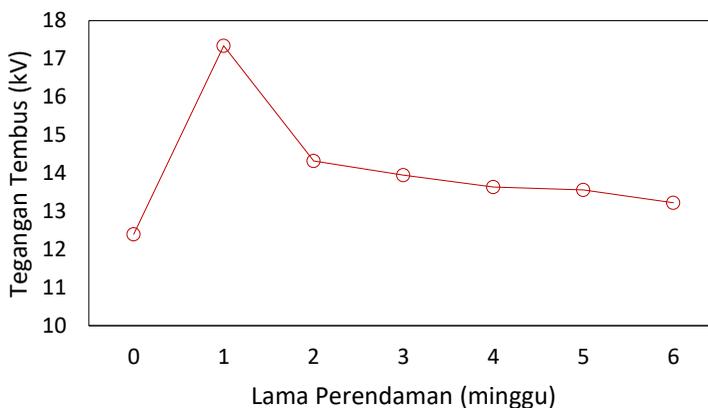


Gambar 4.14 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu di dalam minyak nabati dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan lama perendaman yang berbeda-beda terhadap kertas Pressboard di dalam minyak nabati dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk tabel dan grafik mengenai dampak dari lama perendaman terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Pressboard. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 12.4 kV.

Tabel 4.15 Nilai Tegangan Tembus dengan lama waktu perendaman yang bervariasi pada minyak nabati

Lama Perendaman	Rata-Rata Nilai Tegangan Tembus (kV)
1 minggu	17.338
2 minggu	14.324
3 minggu	13.95
4 minggu	13.642
5 minggu	13.564
6 minggu	13.228



Gambar 4.15 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak nabati

Setelah dilakukan pengujian pada isolasi kertas jenis Pressboard yang telah direndam di dalam minyak isolasi jenis nabati dengan rentang waktu yang telah ditentukan didapatkan hasil bahwa perendaman kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas. Dapat diamati peningkatan nilai rata-rata tegangan tembus yang cukup tinggi antara kertas Pressboard tanpa perendaman dengan kertas Pressboard yang telah direndam di dalam minyak selama seminggu. Akan tetapi nilai rata-rata tegangan tembus dari kertas Pressboard akan turun terus menerus pada perendaman selama 2 minggu sampai perendaman selama 6 minggu, meskipun nilainya masih berada diatas nilai rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard tanpa perendaman.

4.2.3 Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kertas Yang Direndam Pada Minyak Sintetis Terhadap Lama Perendaman Kertas

Nilai tegangan tembus kertas isolasi Pressboard yang direndam di dalam isolasi minyak transformator jenis Sintetis berbahan silicone adalah sebagai berikut:

Tabel 4.16 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 1 minggu pada minyak sintetis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	21.4
Sampel Kertas 2	20.08
Sampel Kertas 3	19.61
Sampel Kertas 4	20.04
Sampel Kertas 5	19.09

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

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

$$= \frac{21.4+20.08+19.61+20.04+19.09}{5}$$

$$= 20.044 \text{ kV}$$



Gambar 4.16 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 1 minggu di dalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.17 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 2 minggu pada minyak sintesis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	17.91
Sampel Kertas 2	18.83
Sampel Kertas 3	18.2
Sampel Kertas 4	18.68
Sampel Kertas 5	18.64

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

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

$$= \frac{17.91+18.83+18.2+18.68+18.64}{5}$$

$$= 18.452 \text{ kV}$$



Gambar 4.17 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 2 minggu di dalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.18 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 3 minggu pada minyak sintesis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	17.39
Sampel Kertas 2	17.83
Sampel Kertas 3	18.2
Sampel Kertas 4	16.68
Sampel Kertas 5	16.64

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

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

$$= \frac{17.39+17.83+18.2+16.68+16.64}{5}$$

$$= 17.348 \text{ kV}$$



Gambar 4.18 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 3 minggu di dalam minyak sintesis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.19 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 4 minggu pada minyak sintesis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	17.1
Sampel Kertas 2	16.4
Sampel Kertas 3	17.42
Sampel Kertas 4	17.6
Sampel Kertas 5	16.7

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

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

$$= \frac{17.1+16.4+17.42+17.6+16.7}{5}$$

$$= 17.044 \text{ kV}$$



Gambar 4.19 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 4 minggu di dalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.20 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 5 minggu pada minyak sintetis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	16.82
Sampel Kertas 2	17.27
Sampel Kertas 3	16.34
Sampel Kertas 4	17.2
Sampel Kertas 5	16.72

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{16.82+17.27+16.34+17.2+16.72}{5} \\
 &= 16.87 \text{ kV}
 \end{aligned}$$



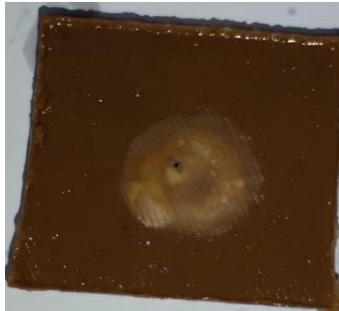
Gambar 4.20 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 5 minggu di dalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus

Tabel 4.21 Nilai tegangan tembus kertas Pressboard dengan lama perendaman 6 minggu pada minyak sintetis

Sampel Isolasi Kertas ke -	Nilai Tegangan Tembus (kV)
Sampel Kertas 1	16.76
Sampel Kertas 2	16.55
Sampel Kertas 3	16.4
Sampel Kertas 4	16.74
Sampel Kertas 5	16.95

Hasil pengujian tegangan tembus pada masing-masing sampel pengujian memiliki nilai yang bervariasi. Oleh karena itu, ditentukan nilai rata-rata yang merepresentasikan satu nilai dari beberapa data hasil pengujian.

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Rata-Rata} &= \frac{\sum \text{nilai data}}{\text{banyak data}} \\
 &= \frac{16.76+16.55+16.4+16.74+16.95}{5} \\
 &= 16.68 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

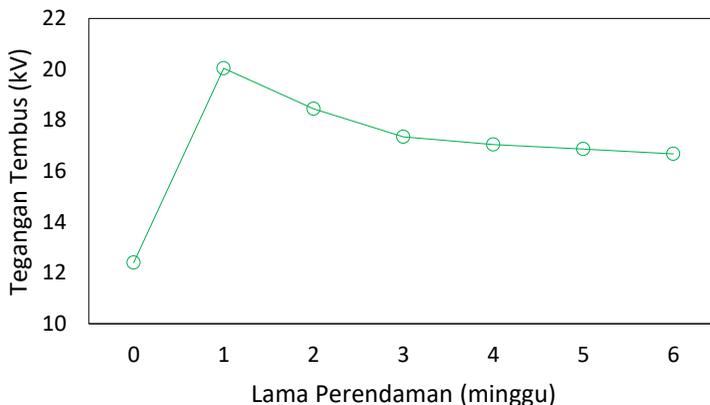


Gambar 4.21 Kertas Pressboard yang telah direndam selama 6 minggu di dalam minyak sintetis dan telah mengalami tegangan tembus

Setelah dilakukan pengujian dengan lama perendaman yang berbeda-beda terhadap kertas Pressboard di dalam minyak sintetis dan menghitung nilai rata-rata tegangan tembusnya maka akan dilakukan analisa dengan membentuk tabel dan grafik mengenai dampak dari lama perendaman terhadap kekuatan dielektrik dari isolasi kertas Pressboard. Titik awal dari grafik adalah nilai rata-rata tegangan tembus kertas yang tidak dilakukan perendaman yaitu 12.4 kV.

Tabel 4.22 Nilai tegangan tembus dengan lama waktu perendaman yang bervariasi pada minyak sintetis

Lama Perendaman	Rata-Rata Nilai Tegangan Tembus (kV)
1 minggu	20.044
2 minggu	18.452
3 minggu	17.348
4 minggu	17.044
5 minggu	16.87
6 minggu	18.68



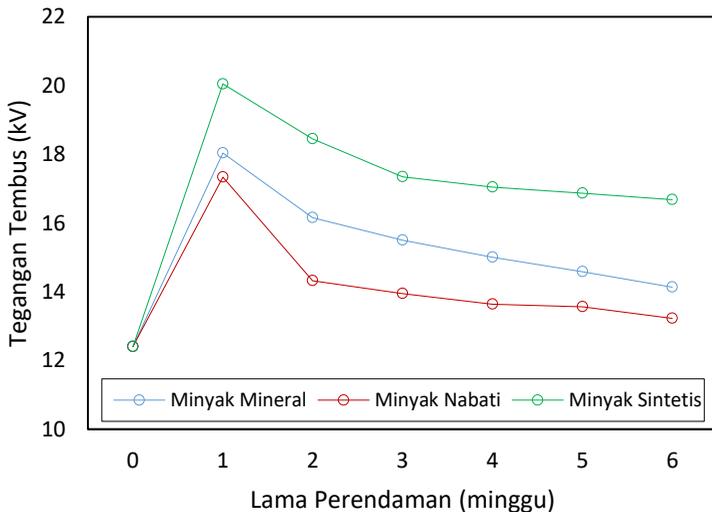
Gambar 4.22 Grafik rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard yang direndam di dalam minyak sintesis

Setelah dilakukan pengujian pada isolasi kertas jenis Pressboard yang telah direndam di dalam minyak isolasi jenis sintesis dengan rentang waktu yang telah ditentukan didapatkan hasil bahwa perendaman kertas di dalam minyak akan meningkatkan kekuatan dielektrik yang dimiliki oleh kertas. Dapat diamati peningkatan nilai rata-rata tegangan tembus yang cukup tinggi antara kertas Pressboard tanpa perendaman dengan kertas Pressboard yang telah direndam di dalam minyak selama seminggu. Akan tetapi nilai rata-rata tegangan tembus dari kertas Pressboard akan turun terus menerus pada perendaman selama 2 minggu sampai perendaman selama 6 minggu, meskipun nilainya masih berada di atas nilai rata-rata tegangan tembus kertas Pressboard tanpa perendaman.

4.2.4 Analisa Tegangan Tembus Kertas Pressboard Yang Telah Direndam Di Tiga Jenis Minyak

Setelah dilakukan pengujian tegangan tembus secara keseluruhan, maka didapat bahwa setiap jenis minyak memiliki pengaruh yang hampir sama pada kertas Pressboard terhadap kekuatan dielektrik kertas. Ketahanan terhadap tegangan tembus yang dimiliki kertas

tertinggi setiap minggunya adalah kertas yang telah direndam di dalam minyak sintetis, kemudian diikuti dengan kertas yang direndam di dalam minyak mineral, dan terakhir adalah kertas yang telah direndam di dalam minyak nabati. Setiap minyak hanya membutuhkan satu minggu untuk menambah kekuatan dielektrik kertas. Akan tetapi setelah minggu kedua sampai minggu keenam, kekuatan tegangan tembus yang dimiliki kertas Pressboard akan turun terus-menerus.



Gambar 4.23 Grafik perbandingan rata-rata nilai tegangan tembus pada kertas yang direndam di dalam semua jenis minyak

4.3 Analisa Pengujian Kadar Selulosa Pada Isolasi Kertas Pressboard

Pada sub-bab ini akan dianalisa kadar selulosa yang ada pada kertas Pressboard saat sebelum dilakukan perendaman, setelah direndam pada masing-masing minyak selama 1 minggu, dan setelah direndam pada masing-masing minyak selama 2 minggu. Kertas yang diuji kadar selulosanya adalah kertas yang tidak dilakukan pengujian tegangan tembus menggunakan metode Chesson-Datta. Pengujian kadar selulosa dilakukan untuk mengetahui kenapa tegangan tembus kertas pressboard

naik setelah dilakukan perendaman pada minyak. Pada tabel 4.23 terdapat data yang didapat dari setiap langkah pengujian 1 gram serbuk isolasi kertas Pressboard tanpa perendaman di dalam minyak.

Tabel 4.23 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard tanpa dilakukan perendaman.

Berat untuk setiap langkah (gram)				Berat % selulosa
a	b	c	d	
1	0.81	0.72	0.6	6

Tahapan selanjutnya tetap menggunakan metode yang sama, namun obyek uji yang digunakan adalah isolasi kertas Pressboard yang telah direndam di dalam tiap jenis minyak selama 1 minggu.

Tabel 4.24 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard yang direndam pada tiap jenis minyak selama 1 minggu.

Jenis minyak	Berat untuk setiap langkah (gram)				Berat % selulosa
	a	b	c	d	
Minyak Mineral	1	0.81	0.72	0.6	12
Minyak Nabati	1	0.82	0.72	0.54	18
Minyak Sintetis	1	0.8	0.76	0.6	16

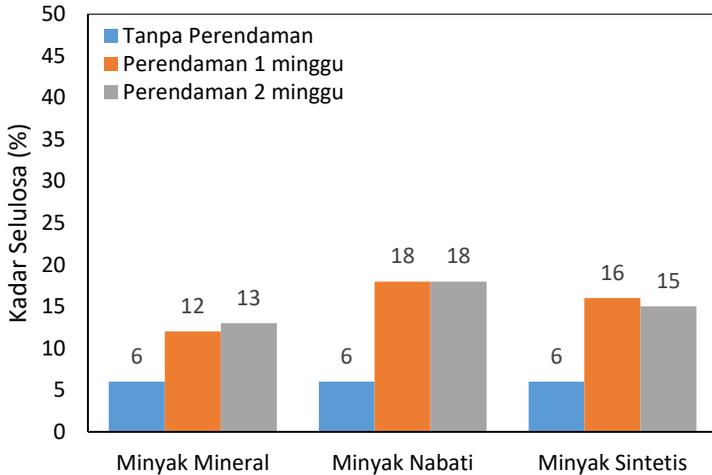
Selanjutnya adalah pengujian kadar selulosa menggunakan metode Chesson-Datta dengan obyek uji kertas Pressboard yang telah direndam di dalam tiap jenis minyak selama 2 minggu.

Tabel 4.25 Nilai kadar selulosa yang terkandung dalam isolasi kertas Pressboard yang direndam pada tiap jenis minyak selama 2 minggu.

Jenis minyak	Berat untuk setiap langkah (gram)				Berat % selulosa
	a	b	c	d	
Minyak Mineral	1	0.81	0.72	0.59	13
Minyak Nabati	1	0.82	0.71	0.53	18
Minyak Sintetis	1	0.82	0.77	0.62	15

Data pengujian kadar selulosa tersebut akan digabungkan dan dijadikan grafik batang yang bertujuan mempermudah pembacaan kadar

selulosa pada kertas Pressboard. Data kadar selulosa pada kertas Pressboard tanpa dilakukan perendaman dijadikan pembandingan awal terhadap kadar selulosa kertas Pressboard setelah direndam di dalam minyak selama 1 minggu dan 2 minggu.



Gambar 4.24 Grafik perbandingan persentase kadar selulosa pada kertas Pressboard

Dari grafik 4.25 dapat di analisa bahwa dengan dilakukan perendaman kertas isolasi di dalam minyak akan membuat kadar selulosa pada kertas akan meningkat. Secara keseluruhan, semakin tinggi kadar selulosa maka akan membuat nilai tegangan tembus semakin tinggi. Selain itu didapat juga bahwa minyak nabati sangat baik dalam meningkatkan kadar selulosa pada kertas. Namun pengujian kadar selulosa menggunakan metode Chesson-Datta memiliki kekurangan yaitu rawannya kesalahan penguji yang menyebabkan jatuhnya serbuk isolasi kertas sebelum dan setelah ditimbang dapat mengacaukan hasil analisa.

4.4 Analisa Pengujian Kadar Air Pada Minyak Isolasi

Penelitian dilanjutkan pada pengujian kadar air yang terkandung pada masing-masing minyak transformator untuk mengetahui akibat dari

lama perendaman terhadap kondisi kadar air minyak. Pada pengujian kadar air ini, sampel uji yang digunakan adalah sampel uji minyak baru atau tidak dilakukan perendaman selama 6 minggu pada suhu ruangan dan sampel minyak yang telah dilakukan perendaman kertas pada suhu ruangan selama 6 minggu sehingga total jumlah sampel uji pengujian kadar air pada ketiga jenis minyak ini sebanyak 6 sampel uji. Pengujian kadar air dilakukan pada minyak isolasi karena pengujian kadar air hanya bisa dilakukan pada media minyak.

Tabel 4.26 Nilai kadar air yang terkandung pada isolasi minyak.

Jenis minyak	Hasil Analisa Kadar Air (%)	
	Minyak Baru	6 Minggu Perendaman
Minyak Mineral	0.1610	0.1649
Minyak Nabati	0.1089	0.1252
Minyak Sintetis	0.0189	0.0195

Perbandingan nilai yang ditunjukkan oleh Tabel 4.26 menunjukkan bahwa isolasi minyak yang didiamkan selama 6 minggu pada suhu ruangan akan meningkatkan kadar airnya. Penambahan kadar air pada minyak akan berakibat langsung pada kertas yang telah direndam di dalamnya. Hal ini terjadi karena senyawa selulosa yang merupakan penyusun utama dari isolasi kertas memiliki sifat kimiawi hidrofilik atau mudah berikatan dengan air sehingga menyebabkan kekuatan tegangan tembus dari kertas akan turun terus-menerus selama perendaman dilakukan.

4.5 Analisa Kegagalan Dielektrik Pada Pengujian

Dalam setiap terjadinya kegagalan dielektrik tentu memiliki penyebab yang membuat terjadinya hal tersebut. Hal ini tentu harus dilakukan analisis agar mampu mengetahui titik kelemahan dari suatu isolasi dan mampu untuk menghindarinya. Berikut ini adalah penyebab dari kegagalan isolasi kertas dari pengujian:

Kegagalan elektromekanik, kegagalan ini terjadi disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit isolasi kertas tersebut, selain itu tekanan yang diberikan kepada isolasi kertas

melampaui kemampuan dari ketahanan permukaan isolasi kertas tersebut sehingga isolasi kertas mengalami kegagalan.

Kegagalan intrinsik, merupakan kegagalan yang terjadi karena setiap jenis isolasi kertas memiliki karakteristik yang berbeda-beda pada permukaan lapisan kertas. Selain itu perendaman yang dilakukan pada isolasi kertas Pressboard didalam minyak isolasi akan menyebabkan perubahan kadar selulosa dan kadar air pada kertas sehingga berpengaruh pada nilai tegangan tembus kertas.

Kegagalan erosi, kegagalan ini merupakan kegagalan yang terjadi karena isolasi kertas sendiri tanpa adanya pengaruh dari luar. Seperti pada hasil data pengujian tersebut menunjukkan walaupun dengan jenis kertas yang sama ketebalan dan perlakuan yang sama memiliki nilai breakdown voltage yang berbeda. Hal tersebut disebabkan karena pada isolasi kertas tersebut memiliki kualitas yang tidak semuanya sama persis, seperti jumlah rongga dan lebar rongga pada permukaan isolasi kertas tersebut.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Nilai tegangan tembus kertas mengalami kenaikan setelah dilakukan perendaman kertas isolasi selama 1 minggu di dalam minyak transformator. Akan tetapi setelah kertas direndam di dalam minyak selama 2 minggu, tegangan tembus kertas Pressboard akan turun terus menerus sampai minggu keenam meskipun nilai tegangan tembusnya masih diatas nilai tegangan tembus kertas Pressboard tanpa dilakukan perendaman yaitu 12.4 kV
2. Meskipun tingkatan nilai tegangan tembus kertas Pressboard berbeda-beda setelah direndam pada masing-masing minyak, karakteristik tegangan tembusnya dapat dikatakan sama untuk tiap jenis minyak, yaitu: naiknya nilai tegangan tembus pada minggu pertama perendaman yaitu 18.036 kV pada minyak mineral, 17.338 kV pada minyak nabati, dan 20.044 kV pada minyak sintetis, dan menurunnya nilai tegangan tembus pada minggu kedua yaitu 16.156 kV pada minyak mineral, 14.324 kV pada minyak nabati, dan 18.452 kV pada minyak sintetis dan terus-menerus menurun sampai minggu keenam perendaman.
3. Dengan direndamnya isolasi kertas Pressboard didalam minyak akan membuat kadar selulosa meningkat. Nilai kadar selulosa kertas tanpa perendaman adalah 6 % dan setelah kertas direndam selama 1 minggu adalah 12% pada minyak mineral, 18% pada minyak nabati, dan 16% pada minyak sintetis. Peningkatan nilai kadar selulosa akan membuat nilai tegangan tembus naik, hal tersebut dikarenakan dalam perendaman minyak akan membuat kertas yang tersusun atas selulosa tersebut memperbaiki struktur penyusunnya dan membuat rantai senyawa yang lebih kompleks dan panjang. Proses tersebut mencapai titik maksimal setelah 1 minggu perendaman.
4. Perendaman yang dilakukan pada isolasi kertas Pressboard di dalam minyak pada suhu ruangan akan meningkatkan kadar air pada minyak isolasi. Peningkatan kadar air pada minyak akan

berakibat langsung pada kertas yang komponen penyusunnya adalah senyawa selulosa dan memiliki sifat kimia hidrofilik atau mudah berikatan dengan air. Dengan berikatannya senyawa selulosa dengan air, akan membuat nilai tegangan tembus kertas menurun setiap minggunya. Data kadar air awal pada minyak menunjukkan kadar air 0.01610% pada minyak mineral, 0.1089% pada minyak nabati, dan 0.0189% pada minyak sintetis kemudian naik menjadi 0.01649% pada minyak mineral, 0.1252% pada minyak nabati, dan 0.0195% pada minyak sintetis pada minggu ke 6.

5. Minyak jenis sintetis merupakan minyak yang menyebabkan kenaikan nilai tegangan tembus paling tinggi pada kertas isolasi Pressboard, diikuti oleh minyak mineral, dan yang paling rendah menyebabkan kenaikan nilai tegangan tembus kertas adalah minyak nabati.
6. Minyak nabati merupakan minyak yang menyebabkan penambahan kadar senyawa selulosa paling tinggi dalam minyak, akan tetapi minyak nabati merupakan minyak yang paling rentan terhadap penambahan kadar air.

5.2 Saran

Dalam pengujian tersebut suhu yang dipakai adalah suhu ruangan dan rendaman kertas tersebut berada di laboratorium tegangan tinggi sehingga suhu tidak selalu sama dalam perendamannya oleh karena adanya pendingin udara yang digunakan suatu saat dalam keadaan nyala ataupun mati. Selain pengujian kadar senyawa selulosa pada kertas isolasi dan pengujian kadar air pada minyak tidak dapat dilakukan setiap minggu sampai minggu terakhir pengujian tegangan tembus karena keterbatasan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muchlis, “Kelistrikan Indonesia pada Era Millinium,” 2008.
- [2] A. Kadir, *Transformator: buku pelajaran untuk Institut Teknologi, Fakulas Teknik dan Akademi Teknik*. Pradnya Paramita, 1979.
- [3] H. B. Sugeng Nur Singgih, *Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC Dan DC Pada Minyak Transformator*, vol. 1. 2009.
- [4] T. A. Prevost and T. V. Oommen, “Cellulose insulation in oil-filled power transformers: Part I - history and development,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 22, no. 1, pp. 28–35, Feb. 2006.
- [5] B. Sparling, “Assessing Water Content In Solid Transformer Insulation From Dynamic Measurement of Moisture In Oil,” presented at the IEEE PES Seminar, Vancouver BC, 03-Apr-2008.
- [6] L. Nasrat, N. Kassem, and N. Shukry, “Aging Effect on Characteristics of Oil Impregnated Insulation Paper for Power Transformers,” 2013, vol. 5, pp. 1–7.
- [7] A. Windarto, Suharyanto, and T. Haryono, “Pengaruh Kadar Air terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan Dielektrik Isolasi Kertas-Minyak,” 2015, vol. 4.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. DATASHEET KERTAS PRESSBOARD

17/01/2017

KREMPEL | GROUP

Test report - EN 10 204 - 2.2

Purchaser P.T.Bambang Djaja Mrs. Catharina Boedihardjo
Surabaya 60193 Indonesien

Specification IEC 60641-3-1 (B.2.1.B)

Terms of delivery

Commercial product name Pressboard Psp 3050 2,00 mm

Name and address of manufacturer KrempeL GmbH & Co. Pressspanwerk KG Zwönitz

Order No. PO-17001809#1 (1703324) Pos. 2 **Delivery note** 1708146

Quantity supplied 10.011,000 kg 2,00 x 1050 x 2050 mm **Date supplied** Week 20/2017

Roll No. / Part No. **Batch No.** 17/0134/
17/0164/

Remarks

Remarks

Properties	Unit	Test procedure	Required values	Test results from current factory run
Thickness	mm	IEC 60641-2	2,00±0,10	1,95
Density	kg/dm³	IEC 60641-2	1,20 - 1,30	1,26
Tensile strength MD	MPa	IEC 60641-2	≥ 90	116
Tensile strength TD	MPa	IEC 60641-2	≥ 60	95
Elongation MD	%	IEC 60641-2	≥ 6,0	8,5
Elongation TD	%	IEC 60641-2	≥ 8,0	11,0
Dielectric strength	kV/mm	IEC 60641-2	≥ 12,0	14,3
Water content	%	IEC 60641-2	≤ 8,0	5,8
Ash content	%	IEC 60641-2	≤ 0,7	0,2
ShrinkageMD	%	IEC 60641-2	≤ 0,70	0,48
ShrinkageTD	%	IEC 60641-2	≤ 1,00	0,65

We certify hereby, that the material described above complies with the terms of the order contract.

Quality management

KrempeL GmbH & Co. Pressspanwerk KG
Arensburger Straße 67
08297 Zwönitz

Zwönitz, date 16.05.2017

A. Pcto
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 ³	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 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: M:\QA\Food Safety program\Product Specification\Virgin Coconut Oil\Organic virgin coconut oil 10 L 003.1.doc
Updated by: Sara Okkema	Date: Jan. 14/16	
Approved by: Peter DeWard	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 Amatha	Date: Sept 27 2011	File: M:\QA\Food Safety program\Product Specification\Virgin Coconut Oil\Organic Virgin Coconut Oil_021_002.1.doc
Updated by: Sina Okkema	Date: Jan. 14/16	
Approved by: Peter DelWaard	Date: Sept 27 2011	Issue: 002.1

D. 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 Method³</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

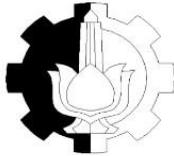
¹Test methods are described in IEC 836.

²For untreated liquid, as received

³Only 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.

E. HASIL ANALISA KADAR AIR



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886 FAX. (031)5928387

DATA ANALISA CUPLIKAN

Pengirim : Sdr. Irsan
Dikirim Tanggal : 28 Nopember 2018
Sampel : Cuplikan Minyak

Kode Sampel	Hasil Analisa Kadar Air (%)	Hasil Analisa Kadar Air (ppm)
Minyak Mineral	0,1610	1.610,06
Minyak Sintetis	0,0189	189,06
Minyak Nabati	0,1089	1.088,78
Minyak Mineral 6	0,1649	1.648,77
Minyak Sintetis 6	0,0195	194,73
Minyak Nabati 6	0,1252	1.252,48
Metoda Analisa	SNI 01-2901-2006	SNI 01-2901-2006

Surabaya, 04 Desember 2018
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala,

Catatan :
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan
yang diterima laboratorium kami

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Muhammad Irsan Simnajuntak adalah anak pertama dari dua bersaudara dan lahir di Balige, 4 Agustus 1996. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 2 Balige pada tahun 2002 – 2008. Kemudian melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 2 Balige yang telah diselesaikan pada tahun 2008 – 2011. Penulis juga menyelesaikan jenjang SMA di SMA Negeri 2 Balige 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.