

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK DIELEKTRIK KERTAS KRAFT YANG
DIIMPREGNASI MINYAK WIJEN PADA
TEMPERATUR 140 °C**



**Dibuat Untuk Memenuhi Persyaratan Mendapatkan Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh

**DISHA QUAMILA RHEZVINANDIRA
NIM. 03041281924035**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK DIELEKTRIK KERTAS KRAFT YANG
DIIMPREGNASI MINYAK WIJEN PADA
TEMPERATUR 140 °C**

Oleh:

**DISHA QUAMILA RHEZVINANDIRA
NIM. 03041281924035**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, Juli 2023

Ketua Jurusan Teknik Elektro



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S. T., M. Eng., Ph.D., IPU
NIP. 197108141999031005**

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI


**KARAKTERISTIK DIELEKTRIK KERTAS KRAFT YANG
DIIMPREGNASI MINYAK WIJEN PADA
TEMPERATUR 140 °C**

Oleh:

**DISHA QUAMILA RHEZVINANDIRA
NIM. 03041281924035**

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disetujui untuk diujikan
guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro**

**Palembang, Juli 2023
Dosen Pembimbing,**



**Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., IPU
NIP. 195903031985031004**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Disha Quamila Rhezvinandira
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281924035
Fakultas : Teknik
Jurusan/ Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya
Persentase plagiarime (*Turnitin*) : 5%

Menyatakan bahwa,

Karya Ilmiah berupa skripsi dengan judul “Karakteristik Dielektrik Kertas Kraft Yang Diimpregnasi Minyak Wijen Pada Temperatur 140 °C”, merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya.

Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat dari karya ilmiah orang lain, maka saya akan bertanggung jawab dan bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, Juli 2023

Yang menyatakan,



Disha Quamila Rhezvinandira
NIM. 03041281924035

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa Saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas ini mencukupi sebagai skripsi

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.,IPU.

Tanggal : /Juli/2023


KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayat-Nya sehingga bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Dielektrik Kertas Kraft Yang Diimpregnasi Minyak Wijen Pada Temperatur 140 °C”.

Skripsi ini merupakan karya yang penulis buat dalam rangka memenuhi persyaratan akademik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam melakukan penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak yang membuat saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan dan semoga dapat menjadi amal kebaikan kelak. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama di bidang teknik elektro.

Palembang, Juli 2023



Disha Quamila Rhezvinandira
NIM. 03041281924035

HALAMAN PERSEMBAHAN

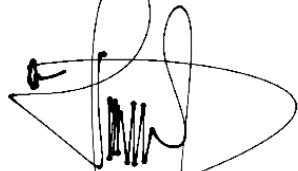
Pada kesempatan ini penulis ingin mendedikasikan dan mempersembahkan karya ilmiah skripsi ini sebagai penghargaan dan rasa hormat kepada:

- Papa dan Mama tercinta Ery Susanto dan Sabrina, Kakak Ersavana Firsty Amada beserta seluruh keluarga yang senantiasa mendo'akan untuk suksesnya studi saya;
- Dosen Pembimbing, Bapak Prof. Zainuddin Nawawi, Ph.D.,
- Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, IPU, MKU, ASEAN. Eng., Rektor Universitas Sriwijaya dan Bapak Prof. Dr. .Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T, Dekan Fakultas Teknik;
- Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., Dosen Pembimbing Akademik;
- Ibu Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T., Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng; dan seluruh dosen teknik elektro yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran sampai selesainya skripsi ini;
- Saudari Nadia Sagita Putri telah menjadi rekan saya yang telah menemani setiap proses penulisan skripsi ini baik dalam suka maupun duka;
- Saudara Muhammad Rafli Marzikri terimakasih banyak telah menjadi *support system* terbesar saya selama penyusunan skripsi ini;
- Laboran, Pranata, Senior di Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya : Pak Lukmanul Hakim, S.T., Mbak Syarifah Fitriani, S.T., Kak Ferlian Seftianto, S.T., dan Kak Intan Dwi Putri, S.T., beserta teman-teman yang tergabung dalam Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya 2022/2023;

- Pihak-pihak yang telah membantu selama menyusun skripsi yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Saya berdo'a kepada Allah SWT memberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, Juli 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Disha Quamila Rhezvinandira'. The signature is stylized with large loops and a central vertical stroke.

Disha Quamila Rhezvinandira
NIM. 03041281924035

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Disha Quamila Rhezvinandira
NIM : 03041281924035
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Karakteristik Dielektrik Kertas Kraft Yang Diimpregnasi Minyak Wijen Pada Temperatur 140 °C” beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*datbase*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Palembang

Pada Tanggal : Juli 2023

Yang Menyatakan,



Disha Quamila Rhezvinandira

NIM. 03041281924035

ABSTRAK

KARAKTERISTIK DIELEKTRIK KERTAS KRAFT YANG DIIMPREGNASI MINYAK WIJEN PADA TEMPERATUR 140 °C

(Disha Quamila Rhezvinandira, 03041281924035, 2023, xxi + 48 halaman + Lampiran)

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dielektrik berupa tegangan tembus dan arus bocor pada isolasi kertas kraft yang diimpregnasi dengan minyak wijen dengan variasi waktu perlakuan 8; 16; dan 24 jam. Sampel yang digunakan berupa lembaran segi empat kertas kraft berukuran 25 mm x 25 mm dan ketebalan 0.04 mm. Pengujian tegangan tembus dilakukan menggunakan sistem elektroda jarum–bidang dengan jarak celah dengan permukaan sampel sebesar 1 mm, sedangkan pengujian arus bocor dilakukan menggunakan metode *leaf-like sample* dengan jarak celah elektroda 5 mm. Hasil pengujian didapatkan nilai arus bocor tanpa perlakuan, 8; 16; dan 24 jam penuaan termal pada tegangan 220 V adalah sebesar 21,54; 21,88; 22,53; dan 23,1 μA , hal ini juga terjadi saat mengaplikasikan tegangan 500; dan 1000 V dimana nilai arus bocornya akan semakin meningkat. Nilai tegangan tembus dari isolasi Kertas Kraft tanpa perlakuan adalah sebesar 4,67 kV. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penuaan termal menurunkan ketahanan dielektrik sampel dalam menahan stress dielektrik yang diberikan. Penurunan tegangan tembus isolasi Kertas Kraft diimpregnasi minyak wijen selama 8; 16; dan 24 jam berturut-turut menjadi 4,13; 3,72; dan 2,87 kV. Lamanya perlakuan terhadap isolasi Kertas Kraft menyebabkan isolasi tersebut terdegradasi dan mengalami penurunan nilai tahanan sehingga meningkatkan nilai arus bocor melalui permukaan isolasi tersebut, dan menurunkan nilai tegangan tembusnya.

Kata Kunci: Arus Bocor, Tegangan Tembus, Kertas Kraft, Minyak
Wijen

ABSTRACT

DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF SESAME OIL- IMPREGNATED KRAFT PAPER AT TEMPERATURE 140 °C

(Disha Quamila Rhezvinandira, 03041281924035, 2023, xxi + 48 pages + Appendices)

This study was conducted to obtain dielectric characteristics in form of breakdown voltage and leakage current in Kraft Paper insulation impregnated in sesame oil with a variety of treatment times of 8; 16; and 24 hours. The samples used are square sheets of kraft paper measuring 25 mm x 25 mm and thickness of 0.04 mm. The breakdown voltage test was conducted using a needle-plene electrode system with a gap distance with a sample surface of 1 mm, while the leakage current test was conducted using a leaf-like sample arrangement with an electrode gap distance of 5 mm. The test results obtained leakage current values without treatment, 8; 16; and 24 hours of thermal aging at a voltage of 220 V are 21,54; 21,88; 22,53; and 23.1 μA , this also occurs when applying a voltage of 500; and 1000 V where the leakage current value will increase. The breakdown voltage value of Kraft Paper insulation without treatment is 4,67 kV. The test results show that thermal aging decreases the dielectric resistance of the sample in resisting the applied dielectric stress. The drop in breakdown voltage of Kraft Paper insulation impregnated with sesame oil for 8; 16; and 24 hours became 4,13; 3,72; and 2,87 kV, respectively. Increasing the time ranging of thermal aging on Kraft Paper insulation causes the insulation to degrade and experience a decrease in resistance value so as to increase the value of the leakage current through the surface of the insulation, also reduce the breakdown voltage value.

Keywords: Leakage Current, Breakdown Voltage, Kraft Paper, Sesame Oil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK.....	ix
KEPENTINGAN AKADEMIS	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR PERSAMAAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
NOMENKLATUR.....	xx
DAFTAR ISTILAH.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Material Isolasi	6
2.2 Isolasi pada Transformator	7
2.3 Isolasi Kertas	8

2.4 Isolasi Minyak	9
2.4.1 Minyak Wijen	10
2.5 Kekuatan Dielektrik	12
2.6 Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat	12
2.6.1 Penuaan Termal pada Isolasi Kertas	14
2.7 Arus Bocor.....	16
2.8 Tegangan Tembus	17
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Pendahuluan	23
3.2 Metode Penelitian	23
3.2.1 Studi Literatur.....	23
3.2.2 Eksperimen	24
3.3 Diagram Alir.....	25
3.4 Material Pengujian.....	26
3.4.1 Kertas Kraft	26
3.4.2 Minyak Wijen	26
3.4.3 Konduktor Tembaga.....	27
3.5 Peralatan Pengujian.....	27
3.5.1 Bejana.....	27
3.5.2 Oven Penuaan Termal	28
3.5.3 Sistem Elektroda.....	29
3.5.4 Transformator Tegangan Tinggi Bolak-Balik.....	30
3.5.5 <i>High Voltage Probe</i> Tipe Tetronix P6015A.....	31
3.5.6 <i>Picoscope</i> Tipe 4000 <i>series</i>	32
3.5.7 Tahanan Tinggi.....	32
3.5.8 <i>Pearson Current Monitor</i>	33
3.5.9 Jangka Sorong Digital	33

3.5.10 <i>Glass Beaker</i>	34
3.6 Pembuatan Sampel Uji.....	34
3.6.1 Penyiapan Isolasi dan Alat.....	34
3.6.2 Proses Penuaan Termal.....	34
3.7 Rangkaian dan Prosedur Pengujian	34
3.7.1 Arus Bocor.....	34
3.7.2 Tegangan Tembus.....	37
BAB IV HASIL PENELITIAN	41
4.1 Umum	41
4.2 Hasil	41
4.3 Diskusi	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LAMPIRAN KHUSUS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Minyak Biji Wijen.....	11
Gambar 2.2 Variasi Hubungan Kekuatan Kegagalan dan Waktu pada Isolasi Padat	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Kertas Kraft.....	26
Gambar 3.3 Minyak Wijen Merk Golden Cock Brand.....	26
Gambar 3.4 Konduktor Tembaga	27
Gambar 3.5 Bejana Kedap Udara <i>Galvanis Stainless Steel</i>	28
Gambar 3.6 Oven Memmert UN 55.....	28
Gambar 3.7 <i>Leaf-like sample</i>	29
Gambar 3.8 Sistem Elektroda Jarum Piring.....	30
Gambar 3.9 Transformator.....	31
Gambar 3.10 <i>High Voltage Probe</i> Tipe Tetronix P6015A	31
Gambar 3.11 <i>Picoscope</i> Tipe 4000 <i>series</i>	32
Gambar 3.12 Tahanan Tinggi.....	32
Gambar 3.13 <i>Pearson Current Monitor</i>	33
Gambar 3.14 Jangka Sorong Digital	33
Gambar 3.15 <i>Glass Beaker</i>	34
Gambar 3. 16 Rangkaian Pengujian Arus Bocor	35
Gambar 3.17 Rangkaian Pengujian Tegangan Tembus	38
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Arus Bocor Sampel terhadap Variasi Lama Penuaan Pada Tegangan 220 V	42
Gambar 4.2 Grafik Nilai Arus Bocor Sampel terhadap Variasi Lama Penuaan Pada Tegangan 500 V	43
Gambar 4.3 Grafik Nilai Arus Bocor Sampel terhadap Variasi Lama Penuaan Pada Tegangan 1000 V	43

Gambar 4.4 Grafik Nilai Arus Bocor Sampel terhadap Lama Penuaan Pada Tegangan 220, 500, dan 1000 V.....	44
Gambar 4.5 Grafik Nilai V_{BD} Sampel terhadap Variasi Lama Penuaan.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Minyak Wijen	11
Tabel 2.2 Penelitian Berkaitan dengan Studi yang Akan Dilakukan.....	18
Tabel 4.1 Rata- Rata Nilai Arus Bocor dengan Variasi Lama Penuaan.....	42
Tabel 4.2 Rata-rata Nilai Tegangan Tembus Sampel dengan Variasi Lama Penuaan	44

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Kekuatan Dielektrik	12
Persamaan 2.2 Resistansi Isolator setelah Arus Bocor	16
Persamaan 2.3 Tegangan Tembus Udara Sembarang	17
Persamaan 2.4 Faktor Koreksi Udara	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses Persiapan Sample

Lampiran 2 Proses Pengujian

Lampiran 3 Data Hasil Pengukuran Sampel Uji

Lampiran 4 Nilai Kapasitansi Sampel

Lampiran 5 Hasil Rekaman Tegangan Tembus dalam Bentuk Gelombang
Sinusoidal Menggunakan Aplikasi Picoscope 4000 *Series*

Lampiran 6 Lembar Plagiarisme *Turnitin* dan USEPT

NOMENKLATUR

- C_g : Kapasitansi Gap Udara
- C_d : Kapasitansi Bahan Dielektrik
- d : Jarak celah udara
- ϵ_0 : Permiivitas Vakum ($8,854 \times 10^{-12}\text{F/m}$)
- A : Luas Permukaan Elektroda
- G : Tebal Bahan Dielektrik
- ϵ_r : Konstanta dielektrik relatif
- C : Kapasitansi
- Q : Muatan
- V : Tegangan

DAFTAR ISTILAH

- *Craft Paper* : Kertas Kraft
- *Sesame Oil* : Minyak Wijen
- Impregnasi : Proses peresapan pori-pori penyangga dengan cairan
- *Aging* : Penuaan
- *High Voltage Alternating Current (HVAC)* : Tegangan Tinggi Bolak-Balik
- *Thermal Aging* : Penuaan Termal
- *Dielectric Strength* : Kuat Dielektrik
- *Needle-Plene* : Jarum-Bidang
- *Leakage Current* : Arus Bocor
- *Breakdown Voltage* : Tegangan Tembus

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Transformator tegangan tinggi adalah salah satu komponen paling penting dari struktur dan operasi jaringan listrik. Maka dari itu penting bahwa semua bahan memiliki sifat dan kinerja yang sangat baik untuk menjamin fungsionalitas peralatan yang optimal, terutama pada cairan dielektrik dan isolasi padat [1]. Dalam kinerja transformator daya, diharapkan dapat tetap beroperasi selama 40 tahun, sehingga keandalan kerja dari peralatan sangat penting [2]. Namun karena kerja transformator yang lama, menyebabkan adanya penurunan ataupun kerusakan pada transformator. Kerusakan tersebut terutama diakibatkan oleh kondisi isolasi, selain itu, kesalahan serius dapat menyebabkan kerusakan pada mesin yang beroperasi [3].

Diketahui bahwa semua bahan dalam komponen transformator listrik harus memiliki sifat dan kinerja yang baik. Pada transformator, adanya penggunaan kertas selulosa berfungsi mengisolasi belitan pada transformator seperti pada *core to coil* atau *coil to coil* agar menghindari adanya aliran listrik antar konduktor.

Faktor utama yang menyebabkan kerusakan isolasi kertas di transformator adalah penuaan termal sehingga dapat menimbulkan terjadinya kegagalan transformator yang signifikan, sehingga isolasi kertas mengalami degradasi atau penurunan kinerja pada isolator kertas selulosa. Penuaan termal kertas selulosa adalah perubahan tak terhindarkan dan tidak dapat diperbaiki dengan mudah dalam sistem pemeliharaan isolasi transformator [4]. Pada umumnya, kertas selulosa yang digunakan untuk mengisolasi belitan transformator berupa jenis kertas kraft (*craft paper*) ataupun papan tekan (*pressboard*).

Minyak mineral seperti minyak diala atau *veterinarian-grade mineral oil* telah digunakan lebih dari 70 tahun sebagai minyak transformator guna meningkatkan kinerja isolasi kertas selulosa karena memiliki sifat listrik, kimia dan fisik yang baik [5]. Namun perolehan minyak mineral membutuhkan ‘eksploitasi’ minyak bumi yang hampir habis permintaannya, sehingga dapat menimbulkan kelangkaan minyak. Serta pembuangan minyak mineral transformator tergolong pencemaran dan tidak ramah lingkungan. Minyak ester alami dipercaya memiliki kemampuan dielektrik yang lebih baik dan bersifat lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan minyak mineral, sehingga diduga minyak ester alami akan berinteraksi lebih baik dengan isolasi kertas agar menghindari terjadinya degradasi. Maka dari itu penyalarsan material yang baik antara isolasi kertas dan minyak ester alami dapat menghasilkan nilai keandalan kinerja transformator yang lebih tinggi, sehingga umur pakai transformator dapat diperpanjang. Minyak nabati dari biji wijen dipilih menjadi alternatif minyak mineral dikarenakan menurut uji FFA oleat dan linoleat (lemak tak jenuh) yang tinggi, dimana dapat berpotensi menjadi isolasi yang baik [6].

Menurut *Industry-Proven System* (IPS), suhu yang sesuai untuk pengujian minyak mineral transformator adalah dengan menggunakan interval 15 °C lebih besar dari suhu maksimal transformator yaitu 100 °C, sedangkan suhu yang sesuai untuk pengujian minyak nabati adalah 10 °C lebih besar dibandingkan suhu pengujian minyak mineral [1]. Maka dari itu pada penelitian ini digunakan suhu sebesar 140 °C.

1.2 Rumusan Masalah

Selama transformator listrik beroperasi, kertas isolasi dapat bekerja pada beberapa kondisi, seperti adanya reaksi kimia, medan magnet, yang menyebabkan sifat-sifat material kertas isolasi secara bertahap memburuk,

terutama oleh efek termal. Paparan termal yang tinggi dan lama menjadi pengaruh menurunnya kinerja dari kertas isolasi tersebut. Campuran minyak mineral transformator telah membantu untuk mengurangi adanya penurunan kinerja kertas isolasi, namun penggunaan minyak transformator secara terus menerus dikhawatirkan akan menimbulkan kerugian berupa pencemaran lingkungan serta termasuk *non-renewable sources* atau sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, oleh karena itu upaya mencari alternatif untuk meminimalisir kerugian yang terjadi harus dilakukan. Salah satu alternatif pengganti minyak transformator adalah minyak nabati (ester alami), dimana minyak nabati diyakini memiliki potensi mempertahankan umur operasi transformator lebih lama karena sifat alaminya, lebih ramah lingkungan, serta bersifat dapat diperbarui (terbarukan). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja kertas kraft, pada transformator yang direndam minyak nabati (minyak wijen) dan diberi tekanan (*stress*) berupa penuaan termal berupa paparan suhu 140 °C

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun dilakukannya penelitian ini dengan tujuan-tujuan tertentu, diantaranya:

1. Mengetahui pengaruh kertas kraft (*craft paper*) yang diimpregnasi minyak wijen (*sesame oil*) setelah diberi perlakuan berupa penuaan termal (*thermal aging*).
2. Mengetahui kekuatan dielektrik berupa arus bocor dari kertas kraft yang mengalami degradasi yang diakibatkan oleh perlakuan berupa penuaan termal.
3. Mengukur kekuatan menahan stress tegangan hingga terjadi tembus dari kertas kraft yang telah terimpregnasi minyak wijen.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Pengujian menggunakan material sample yang mengkombinasikan antara isolator padat dan cair. Kertas Kraft (*Craft Paper*) menjadi material isolator padat, sedangkan minyak wijen (*Sesame Oil*) menjadi material isolator cair.
2. Sample uji berupa kertas kraft berukuran 25 mm x 25 mm dengan ketebalan 0,04 mm yang direndam pada minyak wijen dan diberi perlakuan penuaan termal dengan variasi waktu penuaan yang berbeda.
3. Variasi waktu perlakuan penuaan termal sebesar 8; 16; dan 24 jam.
4. Pengujian kekuatan dielektrik pada kertas yang berupa pengukuran arus bocor (*leakage current*) dan tegangan tembus (*breakdown voltage*).
5. Pengukuran kekuatan dielektrik pada sampel uji dilakukan sebanyak 5 kali guna mendapatkan hasil rata-rata.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan untuk penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan perlakuan penuaan termal pada kertas kraft terhadap minyak wijen. Berisi latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang menjelaskan mengapa studi ini dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dilakukan studi literatur sebagai pengumpulan data dasar teori yang memanfaatkan berbagai sumber bacaan seperti artikel, jurnal, skripsi, ataupun jenis bacaan lain yang mempunyai keterkaitan dengan material kertas kraft, minyak wijen, tegangan tembus, arus bocor, serta penuaan termal.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan bagaimana penelitian ini dilaksanakan, dimulai dari lokasi penelitian, waktu penelitian, pembuatan sampel dan alat uji, serta prosedur dan langkah-langkah percobaan yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan hasil perhitungan dan pembahasan dari hasil pengujian tegangan tembus dan arus bocor pada sampel uji berupa kertas kraft yang telah diberi perlakuan penuaan termal dengan suhu 140 °C.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi hasil yang diperoleh dari penelitian berupa poin-poin. Serta menyajikan kesimpulan dan saran yang dapat ditinjau untuk penelitian mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. P. Jose E. Contreras, Josue Rodriguez, Carlos Gaytan, Brad Greaves, "Thermal Aging Performance of Cellulose Insulation in Natural Ester Liquid," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 28, pp. 1357–1362, 2021, doi: 10.1109/TDEI.2021.009504.
- [2] D. U. Bandara, J. R. S. S. Kumara, M. A. R. M. Fernando, and C. S. Kalpage, "Possibility of blending sesame oil with field aged mineral oil for transformer applications," *2017 IEEE Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIIIS 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/ICIINFS.2017.8300411.
- [3] A. Pradhan, B. Chatterjee, and S. Chakravorti, "Estimation of paper moisture content based on dielectric dissipation factor of oil-paper insulation under non-sinusoidal excitations," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 2, pp. 822–830, 2015, doi: 10.1109/TDEI.2015.7076781.
- [4] M. F. I. Fofana, H. Borsi, E. Gockenbach, "Aging of transformer insulating materials under selective conditions," *Eur. Trans. Electr. POWER*, vol. 17, no. November 2006, pp. 450–470, 2007, doi: 10.1002/etep.
- [5] I. Fofana, "50 Years in the Development of Insulating Liquids," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 29, no. 5, pp. 13–25, 2013, doi: 10.1109/MEI.2013.6585853.
- [6] J. R. S. S. Kumara, M. A. R. M. Fernando, and C. S. Kalpage, "Comparison of coconut/sesame/castor oils and their blends for transformer insulation," *2017 IEEE Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIIIS 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICIINFS.2017.8300410.

- [7] T. W. M. Salih, "Insulation Materials," *Minist. High. Educ. Sci. Res.*, pp. 33–104, 2016.
- [8] G. Deshmukh, P. Birwal, R. Datir, and S. Patel, "Thermal Insulation Materials: A Tool for Energy Conservation," *J. Food Process. Technol.*, vol. 08, no. 04, pp. 8–11, 2017, doi: 10.4172/2157-7110.1000670.
- [9] S. Manjang, I. Kitta, and A. Ikhlas, "Voltage Breakdown Characteristics of Transformer Mineral Oil," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, pp. 5–8, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011119.
- [10] T. Brown and J. L. Cadick, "Electrical Transformers.," *Chem Eng (New York)*, vol. 86, no. 3, pp. 111–115, 1979, doi: 10.1201/9781315372297-3.
- [11] K. T. Muthanna, A. Sarkar, K. Das, and K. Waldner, "Transformer insulation life assessment," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 1, pp. 150–156, 2006, doi: 10.1109/TPWRD.2005.855474.
- [12] O. E. Gouda and A. Z. El Dein, "Prediction of Aged Transformer Oil and Paper Insulation," *Electr. Power Components Syst.*, vol. 47, no. 4–5, pp. 406–419, 2019, doi: 10.1080/15325008.2019.1604848.
- [13] A. M. Emsley and G. C. Stevens, "Kinetics and mechanisms of the low-temperature degradation of cellulose," *Cellulose*, vol. 1, no. 1, pp. 26–56, 1994, doi: 10.1007/BF00818797.
- [14] T. A. Prevost and T. V. Oommen, "Cellulose insulation in oil-filled power transformers: Part I - History and development," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 22, no. 1, pp. 28–34, 2006, doi: 10.1109/MEI.2006.1618969.
- [15] E. Vänskä, T. Vihelä, M. S. Peresin, J. Vartiainen, M. Hummel, and

- T. Vuorinen, "Residual lignin inhibits thermal degradation of cellulosic fiber sheets," *Cellulose*, vol. 23, no. 1, pp. 199–212, 2016, doi: 10.1007/s10570-015-0791-z.
- [16] M. S. N. V Kamaraju, *High Voltage Engineering*, 5th ed. New Delhi, India: Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2013.
- [17] L. Yang, R. Liao, S. Caixin, and M. Zhu, "Influence of vegetable oil on the thermal aging of transformer paper and its mechanism," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 18, no. 3, pp. 692–700, 2011, doi: 10.1109/TDEI.2011.5931054.
- [18] F. Shahidi, *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Edible Oil and Fat Products: Edible Oils*, 6th ed. Canada: Wiley-Interscience, 2005.
- [19] A. Brahmin, S. Shankaracharya, T. Campus, and K. Brahmin, "Suitability Analysis of Vegetable Oils for High Voltage Applications," vol. 5, no. 1, pp. 200–204, 2018.
- [20] O. A. Books *et al.*, "BREAKDOWN IN SOLID DIELECTRICS," Banha, 2014.
- [21] T. Gao, "Influence of Temperature and Moisture on Aging Degree of Transformer Oil Paper Insulation," no. Iccemm, pp. 9–16, 2018, doi: 10.25236/iccemm.2018.003.
- [22] Y. Sha, Y. Zhou, D. Nie, Z. Wu, and J. Deng, "A study on electric conduction of transformer oil," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 21, no. 3, pp. 1061–1070, 2014, doi: 10.1109/TDEI.2014.6832249.
- [23] L. J. Yang, W. Sun, S. Gao, and J. Hao, "Thermal aging test for transformer oil-paper insulation under over-load condition temperature," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 12, no. 12, pp. 2846–2853, 2018, doi: 10.1049/iet-gtd.2017.1334.
- [24] A. Van Schijndel, *Power transformer reliability modelling*, vol. 1,

- no. 2010. 2010. doi: 10.6100/IR675774.
- [25] W. M. Dann, "Operating Transformers by Temperature," *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 793–796, 1930, doi: 10.1109/T-AIEE.1930.5055574.
- [26] F. Nabilah Musa, N. Bashir, M. Hafizi Ahmad, and Z. Buntat, "Electrical treeing in high voltage insulations: A review on nanocomposite insulating materials and their processing techniques," *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, vol. 17, no. 3–4, pp. 462–476, 2015.
- [27] B. Paslavsky and F. Kovac, "Approximation of measurement of leakage current in insulation system of generators," 2016.
- [28] R. Nugroho and A. Syakur, "STUDI ARUS BOCOR DENGAN METODE PENGUKURAN INCLINED-PLANE TRACKING (IPT) PADA MATERIAL POLIMER HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)".
- [29] M. T. P. Sibarani, "Pengujian Tegangan Tembus Bolak Balik Minyak Goreng Berbagai Merk Dengan Menggunakan Variasi Bentuk Elektroda," *Inovtek Polbeng*, vol. 8, no. 2, p. 272, 2018, doi: 10.35314/ip.v8i2.775.
- [30] D. Devendranath, Channakeshava, and A. D. Rajkumar, "Leakage current and charge in RTV coated insulators under pollution conditions," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 9, no. 2, pp. 294–299, 2002, doi: 10.1109/94.993747.
- [31] J. Zhang, F. Wang, J. Li, H. Ran, X. Li, and Q. Fu, "Breakdown voltage and its influencing factors of thermally aged oil-impregnated paper at pulsating DC voltage," *Energies*, vol. 10, no. 9, 2017, doi: 10.3390/en10091411.