

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN CANOLA OIL SEBAGAI
MINYAK TRANSFORMATOR TERHADAP
PENUAAN ISOLASI KERTAS**



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

Oleh:

**DANI SETIAWAN
NIM. 03041281924042**

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN *CANOLA OIL* SEBAGAI
MINYAK TRANSFORMATOR TERHADAP
PENUAAN ISOLASI KERTAS**

Oleh :

**DANI SETIAWAN
NIM. 03041281924042**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan



**Palembang, 31 Juli 2023
Ketua Jurusan Teknik Elektro,**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN *CANOLA OIL* SEBAGAI
MINYAK TRANSFORMATOR TERHADAP
PENUAAN ISOLASI KERTAS**

Oleh :

**DANI SETIAWAN
NIM. 03041281924042**

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

**Palembang, 31 Juli 2023
Dosen Pembimbing,**



**Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T.
NIP. 196106181989032003**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dani Setiawan
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281924042
Fakultas : Teknik
Jurusan /Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 13%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Canola Oil* Sebagai Minyak Transformator Terhadap Penuaan Isolasi Kertas”, merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian 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,



Dani Setiawan
NIM. 03041281924042

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 : Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T.

Tanggal : /Juli/2023

KATA PENGANTAR

Ucapan rasa syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena atas berkat ridho dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Canola Oil* Sebagai Minyak Transformator Terhadap Penuaan Isolasi Kertas”.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi persyaratan akademik pada Jurusan Teknik Elektro jenjang sarjana di Universitas Sriwijaya. Proses pembuatan skripsi ini banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari keluarga, sejawat, dan teman-teman seangkatan. Oleh karena itu pada kesempatan ini Saya mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan, semoga bantuan, perhatian dan dukungan yang diberikan menjadi amal kebaikan dimata Allah SWT.

Saya berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dan berguna untuk para pembaca yang tertarik dengan bidang ilmu teknik elektro khususnya yang terkait dengan pengujian material isolasi.

Palembang, Juli 2023



Dani Setiawan
NIM. 03041281924042

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ilmiah skripsi ini saya dedikasi dan persembahkan, sebagai penghargaan, dan rasa hormat saya kepada:

- Bapak Alm.Sugiono, Ibu Siti Aminah, kak Tono, mba Dwi, adik Faris serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa yang senantiasa dipanjatkan untuk pendidikan saya;
- Bapak Prof. Ir. H. Zainuddin Nawawi, Ph.D., IPU, Ibu Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T., dan Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng. yang memberikan bimbingan untuk menyelesaikan tugas akhir;
- Rektor Universitas Sriwijaya Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaf, MSCE, IPU, MKU, ASEAN.Eng. dan Dekan Fakultas Teknik Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.;
- Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. selaku ketua jurusan, serta dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Sriwijaya;
- Ibu Ike Bayusari, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik;
- Pranata, Senior di Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Pak Lukmanul Hakim, S.T., Ibu Dr. Syarifah Fitriani, S.T., Kak Intan Dwi Putri S.T., Kak Ferlian Seftianto S.T.;
- Semua anggota Laboratorium *Electrical Energy and Safety* yang terlibat dalam penelitian Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Besaran Listrik (TTTTPL) angkatan 2019 yaitu Fadil, Sandy, Azmi, Yogi, Govin, Dicky, Iqbal, Bintang, Ipan, Tio, Dessy, Kiki, Nadia dan Disha;
- Sahabat yang mendukung selama perkuliahan yaitu Rian, Balqis, Adji, Fanhar, Ica, Vidi, dan Ricky;
- Admin dan akademik jurusan teknik elektro;

- Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Angkatan 2019 Universitas Sriwijaya;
- Pihak-pihak yang telah membantu selama menyelesaikan 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



Dani Setiawan
NIM. 03041281924124

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Dani Setiawan
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281924042
Fakultas : Teknik
Jurusan /Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
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, “Pengaruh Penggunaan *Canola Oil* Sebagai Minyak Transformator Terhadap Penuaan Isolasi Kertas” beserta perangkat yang ada.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, Juli 2023
Yang menyatakan,



Dani Setiawan
NIM. 03041281924124

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN *CANOLA OIL* SEBAGAI MINYAK TRANSFORMATOR TERHADAP PENUAAN ISOLASI KERTAS

(Dani Setiawan, 03041281924042, 2023, xix + 37 halaman + lampiran)

Penelitian ini membahas pengaruh penggunaan *canola oil* sebagai minyak transformator terhadap penuaan isolasi kertas dengan cara melakukan pengujian *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) dan tegangan tembus (V_{bd}). Pengujian dilakukan pada sampel kertas krep yang diimpregnasi menggunakan *canola oil* tanpa perlakuan dan diberi perlakuan penuaan termal dengan variasi waktu 8, 16, dan 24 jam pada temperatur 100°C serta pendinginan dengan temperatur ruang dengan total lama impregnasi 48 jam. Pengujian pada sampel kertas krep dilakukan menggunakan elektroda jarum piring dengan menaikkan tegangan secara perlahan dengan laju kenaikan 100 volt/detik, dengan jarak sela antar permukaan sampel dengan elektroda sebesar 1 mm. Pengambilan nilai PDIV pada kertas krep dilakukan saat awal terjadinya peluahan dan dilanjutkan pengambilan nilai tegangan tembus pada saat terjadi tembus tegangan. Hasil Pengukuran PDIV pada kertas krep tanpa perlakuan adalah sebesar 2,192 kV. Sedangkan PDIV pada kertas krep dengan perlakuan selama 8, 16 dan 24 jam berturut-turut sebesar 1,944; 1,851; dan 1,594 kV. Hasil pengukuran tegangan tembus kertas krep tanpa perlakuan adalah sebesar 4,814 kV. Sedangkan tegangan tembus untuk kertas krep dengan perlakuan selama 8, 16, dan 24 jam berturut-turut sebesar 4,542; 4,341; dan 4,132 kV. Hasil pengukuran ini menunjukkan penurunan nilai PDIV dan tegangan tembus pada sampel yang diberi perlakuan. Penurunan kekuatan dielektrik dari sampel kertas krep dapat terjadi karena termal mempercepat proses penuaan pada isolasi kertas krep dan mengalami degradasi.

Kata Kunci: *Breakdown Voltage* (V_{bd}), *Canola Oil*, Kertas Krep, *Partial Discharge Inception Voltage*, Penuaan

ABSTRACT

THE EFFECT OF USING CANOLA OIL AS A TRANSFORMATOR OIL ON THE AGING OF ISOLATION PAPER

(Dani Setiawan, 03041281924042, 2023, xix + 37 pages + Appendices)

This study discusses the effect of canola oil as transformer oil on paper insulation aging by testing Partial Discharge Inception Voltage (PDIV) and breakdown voltage (V_{bd}). Tests were carried out on crepe paper samples impregnated using canola oil without treatment and subjected to thermal aging treatment with time variations of 8, 16, and 24 hours at 100°C and cooling to room temperature with a total impregnation time of 48 hours. Tests on crepe paper samples were carried out using plate needle electrodes by increasing the voltage slowly at an increased rate of 100 volts/second, with a gap between the sample surfaces and the electrodes of 1 mm. The PDIV value on crepe paper is taken at the start of the discharge and continued with the breakdown voltage value when a breakdown occurs. PDIV measurement results on crepe paper without treatment is 2.192 kV. While the PDIV on crepe paper with treatment for 8, 16, and 24 hours, respectively, was 1.944; 1,851; and 1.594 kV. The result of measuring the breakdown voltage of crepe paper without treatment was 4.814 kV. Meanwhile, the breakdown voltage for crepe paper treated for 8, 16, and 24 hours was 4.542; 4,341; and 4.132 kV. These measurements show a decrease in the value of PDIV and breakdown voltage in the treated samples. A decrease in the dielectric strength of the crepe paper samples can occur because thermal accelerates the aging process of the crepe paper insulation and undergoes degradation.

Keywords: Breakdown Voltage (V_{bd}), Canola Oil, Crepe Paper, Partial Discharge Inception Voltage, Aging

DAFTAR ISI

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

2.4.	Isolasi minyak	7
2.5.	<i>Canola oil</i>	8
2.6.	Kekuatan Dielektrik.....	8
2.7.	Mekanisme Kegagalan Isolasi	9
2.8.	Mekanisme Penuaan Kertas Isolasi	12
2.9.	Partial discharge	13
2.10.	Breakdown voltage.....	15
2.11.	Peneltian Sebelumnya.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1.	Pendahuluan	19
3.2.	Metode Penelitian.....	19
3.3.	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.4.	Material Yang Digunakan.....	21
3.4.1.	<i>Canola oil</i>	21
3.4.2.	Kertas Krep	22
3.4.3.	Strip tembaga	23
3.5.	Peralatan.....	23
3.5.1	Transformator Tegangan Tinggi Bolak-Balik.....	23
3.5.2	High Voltage Probe	24
3.5.3	Picoscope tipe 4000 series	24
3.5.4	Bejana Minyak	25
3.5.5	Jangka Sorong Digital	25
3.5.6	Glass breaker	26
3.5.7	Oven Mekanis	26
3.6.	Prosedur Pembuatan Sampel Uji.....	27
3.6.1	Proses Penyiapan Isolasi Kertas.....	27
3.6.2	Proses penyiapan Isolasi Cair	27
3.6.3.	Proses Penuaan Termal.....	27

3.7.	Sistem Elektroda	27
3.8.	Rangkaian Pengujian PDIV dan tegangan tembus.....	28
3.9.	Prosedur Pengujian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Umum	32
4.2	Hasil Pengujian	32
4.2.1	Hasil Pengukuran PDIV	32
4.2.2	Hasil Pengukuran Tegangan Tembus.....	33
4.3	Diskusi dan Pembahasan	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		36
5.1	Kesimpulan	36
5.2	Saran	36

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Kegagalan Pada Bahan Isolasi Padat.....	9
Gambar 2. 2 Grafik Perbedaan Penuaan Kertas Isolasi.....	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3. 2 canola oil produk Ngo Chew Edible Oil PTE LTD	21
Gambar 3. 3 Kertas Krep diproduksi oleh Ztelec Electric Technology (Zhengzhou) CO.,Ltd	22
Gambar 3. 4 Strip Tembaga.....	23
Gambar 3. 5 Transformator Tegangan Tinggi Bolak-Balik	23
Gambar 3. 6 High Voltage Probe tipe Tektronix P6015A.....	24
Gambar 3. 7 Picoscope tipe 4000series	24
Gambar 3. 8 Bejana Galvanis	25
Gambar 3. 9 Jangka Sorong Digital	25
Gambar 3. 10 Glass Breaker	26
Gambar 3. 11 Oven Mekanis	26
Gambar 3. 12 Sistem elektroda pengukuran sampel uji (a) Rancangan.....	28
Gambar 3. 13 Eksperimental Set Up	30
Gambar 4. 1 Grafik karakteristik pengukuran nilai PDIV.....	33
Gambar 4. 2 Grafik karakteristik pengukuran nilai tegangan tembus.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul riset	16
Tabel 3. 1 Nilai kandungan <i>Canola Oil Lily Flower brand</i>	22
Tabel 3. 2 spesifikasi dimensi sistem elektroda.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahap-Tahap Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Perhitungan Nilai Kapasitansi
- Lampiran 3 Rekaman Hasil Gelombang Sinusoidal Ekperimental
Menggunakan *Software* Picoscope 4000 Series
- Lampiran 4 Lembar Plagiarisme Turnitin

NOMENLAKTUR

C_g	: Kapasitansi Gap Udara
C_d	: Kapasitansi Bahan Dielektrik
d	: Jarak Celah Udara
E_0	: Vakum Permittivity ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)
A	: Luas Permukaan Elektroda
G	: Tebal Bahan Elektroda
E_r	: Konstanta Dielektrik Relatif
ϵ	: Permittivitas Bahan
I	: Arus Listrik
C	: Kapasitansi
Q	: Muatan
V	: Tegangan
g	: Tebal Bagan Dielektrik
d_0	: Tebal Material Setelah Dikenai Tegangan
d	: Tebal Material Tegangan
Y	: Young Modulus

DAFTAR ISTILAH

<i>Impregnasi</i>	: Penjenuhan dengan gas atau cairan
<i>Low-density paper</i>	: Kertas dengan densitas rendah
<i>Medium-density paper</i>	: Kertas dengan densitas medium
<i>High-density paper</i>	: Kertas dengan densitas tinggi
<i>Needle-plan</i>	: Jarum-bidang
<i>Needle tip</i>	: Ujung jarum
<i>Discharge</i>	: Peluahan
<i>Partial discharge</i>	: Peluahan sebagian
<i>Insulation breakdown</i>	: Tembus isolasi
<i>Insulation failure</i>	: Kegagalan isolasi
<i>Discharge phenomenon</i>	: Fenomena peluahan
<i>High voltage alternating current (HVAC)</i>	: Tegangan tinggi bolak-balik
<i>Discharge voltage</i>	: Tegangan peluahan
<i>Aging</i>	: Penuaan
<i>Breakdown voltage</i>	: Tegangan tembus

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem transmisi dan distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang paling kritis, bermuatan berat, dan mahal. Transformator daya memiliki peran penting dalam sistem transmisi dan distribusi [1]. Sebagian besar transformator daya yang beroperasi di Indonesia mendekati atau melampaui masa pakai yang dirancang. Oleh karena itu, transformator perlu meningkatkan sistem isolasi untuk menjaga keandalan fungsional. Sistem isolasi yang biasanya digunakan pada transformator daya adalah isolasi selulosa (kertas yang diresapi minyak) dan minyak mineral atau *mineral oil* (MO) untuk pengoperasian yang andal [2]. Kertas krep merupakan salah satu bahan penyekat antar belitan kumparan dalam transformator daya karena sifat dielektrik dan termal yang memenuhi standar.

Sifat fisika-kimia yang dimiliki kertas krep sebagai isolasi dapat dipengaruhi oleh cairan dielektrik seperti *canola oil*. *Canola oil* sebagai minyak nabati memiliki asam lemak jenuh yang rendah sebanyak 7% dibandingkan minyak kacang tanah sebanyak 18% dan minyak sawit 79% [3]. *Canola oil* sebagai alternatif minyak transformator daya tersedia berlimpah di Indonesia [4]. *Canola oil* merupakan sumber daya terbarukan yang berpotensi untuk digunakan sebagai minyak transformator karena memiliki sifat yang tidak mudah terbakar atau flashpoint yang cukup tinggi dan memiliki sifat biodegradabilitas atau dapat terurai dengan alami dalam waktu relatif cepat. Hasil Studi penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa penggunaan minyak transformator berbasis minyak mineral mampu menahan penuaan termal kertas krep[5].

Untuk memanfaatkan potensi *canola oil* sebagai sumber daya terbarukan menjadi pengganti minyak isolasi berbasis minyak mineral, karakteristik *canola oil* terhadap kemampuannya menahan penuaan termal isolasi kertas menarik untuk perhatian para peneliti untuk dipelajari. Pada studi ini akan dipelajari pengaruh penggunaan *canola oil* terhadap penuaan termal isolasi kertas yang digunakan sebagai penyekat antar belitan kumparan dalam transformator.

1.2. Rumusan Masalah

Transformator daya berperan penting dalam sistem tenaga listrik, maka pemahaman tentang sistem isolasi penting dilakukan untuk menjaga keandalan transformator daya. Penuaan termal pada isolasi kertas membuat transformator daya mengalami gangguan seperti kegagalan dielektrik kertas karena sifat dielektriknya menurun. temperatur yang tinggi saat transformator daya sedang beroperasi menjadi salah satu penyebab isolator kertas mengalami penuaan termal dan dapat menyebabkan sifat dielektrik dari isolasi kertas menurun[5]. *Canola oil* sebagai sumber daya terbarukan dan banyak tersedia di Indonesia memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti minyak transformator. Untuk mengetahui dampak penuaan termal dari isolasi kertas yang diakibatkan oleh penggunaan *canola oil*, maka studi tentang pengaruh *canola oil* terhadap penuaan termal isolasi kertas menarik dan penting untuk dilakukan

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kekuatan isolasi kertas jenis krep dalam menahan stress tegangan. Isolasi kertas diimpregnasi di dalam *canola oil* yang dipanaskan pada temperatur yang sesuai dengan temperatur maksimum transformator saat beroperasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengukur *Partial Discharge Inception Voltage* dari isolasi kertas krep yang diimpregnasi di dalam *canola oil* yang sebelum dan sesudah penuaan termal sebagai fungsi waktu penuaan
2. Mengukur tegangan tembus dari isolasi kertas krep yang di impregnasi menggunakan *canola oil* sebelum dilakukan penuaan termal dan setelah dilakukan penuaan termal.
3. Membuat perbandingan nilai kekuatan tembus dari isolasi kertas yang diimpregnasi di dalam *canola oil* sebelum dilakukan penuaan termal dan setelah dilakukan penuaan termal.

1.4. Batasan Masalah

1. Dalam studi ini sampel yang digunakan adalah kertas krep.
2. Sampel diberi perlakuan dengan dililit ke batang konduktor tembaga dan direndam menggunakan *canola oil*, kemudian dilakukan penuaan termal dengan cara pemanasan pada temperatur 100°C.
3. Sampel diberi perlakuan penuaan dengan variasi waktu 8 jam, 16 jam dan 24 jam.
4. Pengujian tegangan tembus menggunakan tegangan tinggi bolak-balik.
5. Pengujian dilakukan pada temperatur ruang.
6. Pada penelitian ini menggunakan sistem elektroda jarum-piring.

1.5. Sistematika Penelitian

Adapun sistematika penulisan tugas akhir sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam BAB I Pendahuluan terdapat bahasan tentang latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan, batasan masalah. Pada bagian ini menjelaskan isolasi krep yang diberi perlakuan penuaan di dalam *canola oil*, serta alasan studi ini perlu dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam BAB II Tinjauan Pustaka ini menjelaskan secara singkat mengenai transformator, teori isolasi, material isolasi jenis kertas krep, dan fenomena terjadinya *breakdown* pada isolasi padat yang didapatkan dari studi litelatur dengan memanfaatkan berbagai sumber bacaan berupa artikel, jurnal, paper, *ebook*, skripsi dan lainnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam BAB III Metodologi Penelitian terdapat metode yang akan dilakukan dalam penelitian, diagram alir penelitian, persiapan alat dan bahan, lalu proses pembuatan sampel uji dan proses penambahan pengisi pada sampel, pembuatan sistem elektroda, prosedur pengujian yang akan dilakukan, rangkaian dari pengujian, teknik pengumpulan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam BAB IV Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil pengujian tegangan tembus sampel kertas krep yang diberi perlakuan penuaan dengan termal dengan menggunakan *canola oil*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam BAB V Kesimpulan dan Saran ini terdiri dari kesimpulan dan saran terkait dengan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian kedepan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Kohtoh, S. Kaneko, S. Okabe, and T. Amimoto, "Aging effect on electrical characteristics of insulating oil in field transformer," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 16, no. 6, pp. 1698–1706, 2009, doi: 10.1109/TDEI.2009.5361592.
- [2] D. Peterchuck and A. Pahwa, "Sensitivity of transformer's hottest-spot and equivalent aging to selected parameters," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 4, pp. 996–1001, 2002.
- [3] H. Mnisi and C. Nyamupangedengu, "Dissolved gases analysis of canola-based ester oil under creepage discharge," *2020 Int. SAUPEC/RobMech/PRASA Conf. SAUPEC/RobMech/PRASA 2020*, 2020.
- [4] D. A. Trirahayu, "Pengaruh Gelling Agent Terhadap Pembentukan," *Fluida*, vol. 12, no. 2, pp. 78–83, 2019.
- [5] C. Oria, C. Mendez, I. Carrascal, A. Ortiz, and D. Ferreno, "Impact of the Use of Vegetable Oil on the Mechanical Failure of the Cellulosic Insulation of Continuously Transposed Conductors in Power Transformers," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 29, no. 2, pp. 607–613, 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3157936.
- [6] S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, *Transformer Engineering*. 2017.
- [7] C. F. Dalziel, "Electric shock hazard," *IEEE Spectr.*, vol. 9, no. 2, pp. 41–50, 2009, doi: 10.1109/mspec.1972.5218692.
- [8] T. Committee, I. Power, and E. Society, *IEEE Guide for the Interpretation*, vol. 2019. 2019.
- [9] G. N. T. FAROUK A.M RIZK, *High Voltage Engeenirng*, vol. 53, no. 9. 2017.
- [10] T. O. Rouse, "Mineral insulating oil in transformers," *IEEE Electr.*

- Insul. Mag.*, vol. 14, no. 3, pp. 6–16, 1998, doi: 10.1109/57.675572.
- [11] 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.
- [12] W. Y. Kunto Wibowo and A. Syakur, “Analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak shell diala b pada suhu 30 0 C-130 0 C,” *Dipenogoro Univ.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2011.
- [13] “Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang Hanung Sayogi L2F302486 Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang Abstrak.”
- [14] F. M. Abdul Rasyid*, “KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS AC PADA MATERIAL ISOLASI PADAT CAMPURAN RESIN DENGAN ALUMINA (AL₂O₃),” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, pp. 2–7, 2016.
- [15] J. Lehr and P. Ron, “Electrical Breakdown in Solids, Liquids, and Vacuum,” *Found. Pulsed Power Technol.*, pp. 439–492, 2017, doi: 10.1002/9781118886502.ch9.
- [16] M. S. Naidu and V. Kamaraju, *High-Voltage Engineering*, 5e. 2013.
- [17] NORHAFIZ AZIS, “AGEING ASSESSMENT OF INSULATION PAPER WITH CONSIDERATION OF IN-SERVICE AGEING AND NATURAL ESTER APPLICATION,” *AGEING Assess. Insul. Pap. WITH Consid. IN-SERVICE AGEING Nat. ESTER Appl.*, vol. 3, no. September, pp. 1–47, 2012.
- [18] D. Kind and H. Kärner, “High-voltage insulation technology: Textbook for electrical engineers.” p. 190, 1985.
- [19] J. Lehr and P. Ron, “Foundations Of Pulsed Power Technology,”

- Found. Pulsed Power Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 88–100, 2557.
- [20] W. M. R. Arora, *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. 2011.
- [21] A. Arismunandar, *Teknik Tenaga Listrik*. 2004.
- [22] G. Kaliappan and M. Rengaraj, “Aging assessment of transformer solid insulation: A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 47, no. xxxx, pp. 272–277, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.301.
- [23] P. Trnka, J. Hornak, O. Michal, M. Muzik, and P. Prosr, “Biodegradable Insulating Liquids used in Paper Oil Insulating System,” *7th IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. ICHVE 2020 - Proc.*, 2020, doi: 10.1109/ICHVE49031.2020.9279637.