

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *CANOLA OIL*
DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ALUMINIUM
OKSIDA (Al_2O_3) SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI
MINYAK TRANSFORMATOR**



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

**Oleh:
STEFANUS FERRON SITINJAK
NIM. 03041181823019**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2022**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *CANOLA OIL*
DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ALUMINIUM
OKSIDASI (Al_2O_3) SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI
MINYAK TRANSFORMATOR**

Oleh:

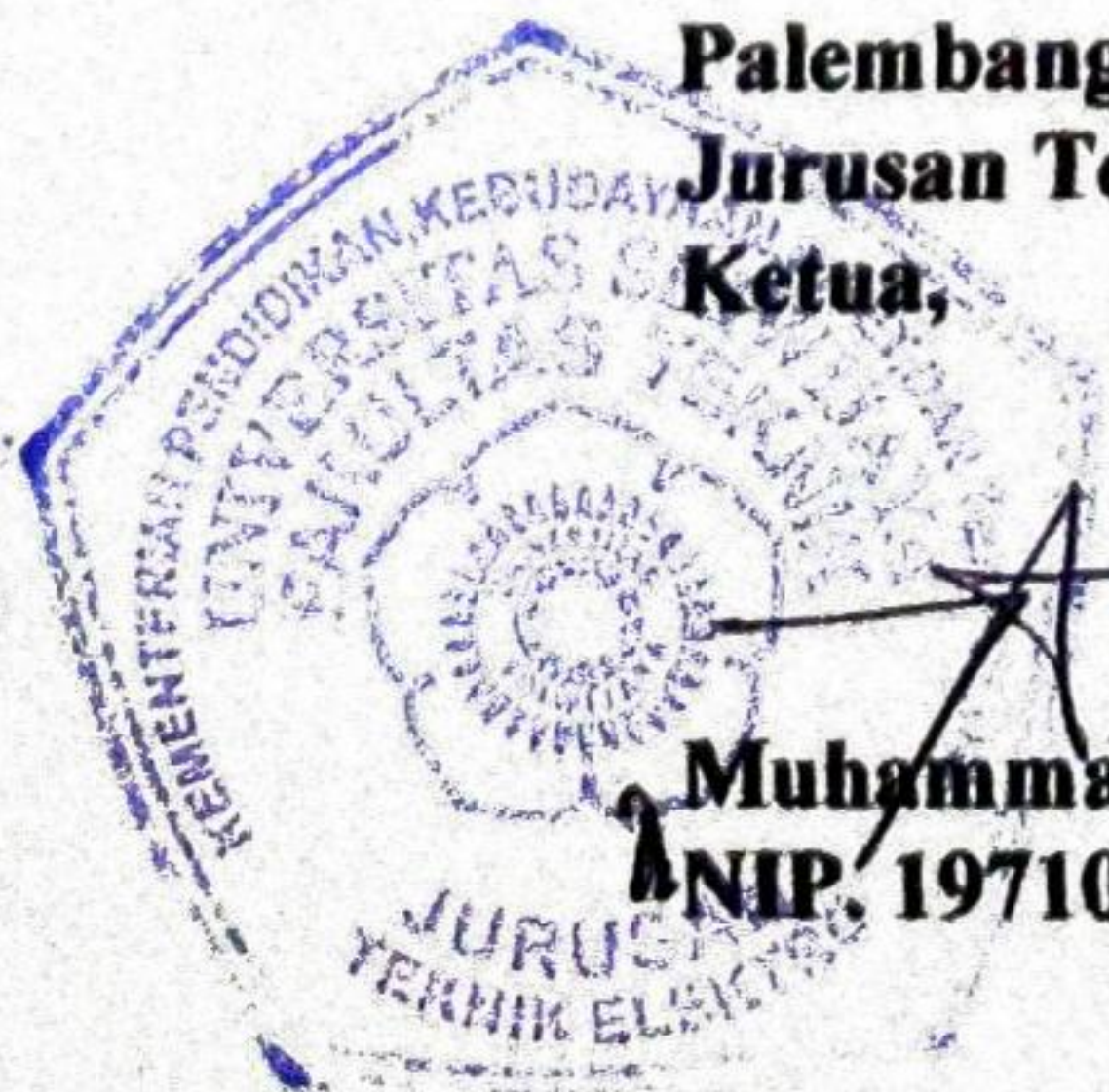
**STEFANUS FERRON SITINJAK
NIM. 03041181823019**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, Agustus 2022

Jurusan Teknik Elektro,

Ketua,



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

LEMBAR PERSETUJUAN

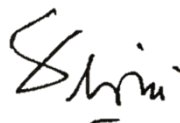
SKRIPSI

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *CANOLA OIL*
DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ALUMINIUM
OKSIDA (Al_2O_3) SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI
MINYAK TRANSFORMATOR**

**Oleh:
STEFANUS FERRON SITINJAK
NIM 03041181823019**

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

**Palembang, Agustus 2022
Dosen Pembimbing,**



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Stefanus Ferron Sitinjak
Nomor Induk Mahasiswa : 03041181823019
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 15%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Karakteristik Tegangan Tembus Pada *Canola Oil* Dengan Penambahan Nanopartikel Aluminium Oksida (Al_2O_3) Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator”, 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, Agustus 2022

menyatakan,



Stefanus Ferron Sitinjak
NIM. 03041181823019

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. Dwirina Yuniarti, M.T. _____

Tanggal : _____

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah menganugerahkan rahmat-Nya, sehingga Saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Tegangan Tembus Pada *Canola Oil* Dengan Penambahan Nanopartikel Aluminium Oksida (Al_2O_3) Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator”.

Skripsi ini merupakan karya ilmiah yang Saya hasilkan dan tentu saja jauh dari kesempurnaan, baik penyajian, tata bahasa, maupun materi yang dibahas. Oleh karena itu, komentar dan masukan untuk meningkatkan kualitas skripsi ini sangat diperlukan.

Pada akhirnya Saya sebagai penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, do'a dan partisipasi yang memberikan semangat kepada kami sehingga skripsi sebagai persyaratan akademik ini dapat kami selesaikan dengan baik. Semoga skripsi yang sederhana ini dapat memberikan manfaat dan berguna untuk para pembaca yang tertarik dengan bidang ilmu teknik elektro khususnya yang terkait dengan pengujian material isolasi.

Indralaya, 2022



Stefanus Ferron Sitinjak

NIM. 03041181823019

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- ✓ Bapak Alm. Oskar Sitinjak, Ibu Rame Simbolon, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa mendo'akan serta memberikan dukungan secara moral dan materi untuk suksesnya studi saya;
- ✓ Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T sebagai Dosen Pembimbing.;
- ✓ Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE Rektor Unsri dan Bapak Dr.Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T Dekan Fakultas Teknik;
- ✓ Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro.;
- ✓ Pranata, Senior di Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Pak Lukmanul Hakim, S.T., Mbak. Dr. Syarifah Fitriani, S.T., Kak Intan Dwi Putri S.T., Kak Ferlian Seftianto S.T.;
- ✓ Teman-teman sebimbingan Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya 2018 yaitu Kgs. Achmad Naufal, Salsa, Fini, Ilham, Alif Agung, Halim, Anisa, Jihan, Alif Fathur, Razka, dan Hafez;
- ✓ Teman-teman yang mendukung selama perkuliahan yaitu Muhammad Taufiq, Syukron Rahmatullah, Indah Febiola, Naufal Ramadhany, Deka Irawan, Khafiz Trida, dan Nugrach Dasarisai;
- ✓ 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, Agustus 2022



Stefanus Ferron Sitinjak
NIM.03041181823019

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Stefanus Ferron Sitinjak
NIM : 03041181823019
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 Tegangan Tembus Pada *Canola Oil* Dengan Penambahan Nanopartikel Aluminium Oksida (Al_2O_3) Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator” 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.

Dibuat di : Palembang
Pada tanggal : Agustus 2022

nyatakan,



Stefanus Ferron Sitinjak
NIM. 03041181823019

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *CANOLA OIL* DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ALUMINIUM OKSIDA (Al_2O_3) SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI MINYAK TRANSFORMATOR

(Stefanus Ferron Sitinjak, 03041181823019, 2022, xx + 45halaman + lampiran)

Skripsi ini melaporkan hasil studi mengenai peningkatan kinerja isolasi dari *Canola Oil* dengan cara memberikan nanopartikel Al_2O_3 . Nilai tegangan tembus (V_{bd}) diperoleh dari hasil pengukuran terhadap sampel *Canola Oil*+ Al_2O_3 yang ditempatkan didalam bejana ukur dengan volume 500 ml menggunakan elektroda bola-bola diameter 13 mm dengan jarak sela 1 mm dengan aplikasi tegangan bolak-balik yang dinaikkan dengan laju kenaikan 100 V/s sampai terjadinya tembus sempurna. Pengujian dilakukan untuk konsentrasi *Canola Oil*+ Al_2O_3 dengan variasi 0; 0.25; 0.5; 0.75 dan 1 wt.%. Hasil pengukuran untuk masing-masing konsentrasi adalah sebesar 3.066; 3.339; 3.864; 3.320, dan 2.955 kV secara berturut-turut. Hasil ini memperlihatkan bahwa penambahan nanopartikel Al_2O_3 telah meningkatkan kekuatan tembus *Canola Oil* sampai konsentrasi 0.5 wt.%, sedangkan untuk konsentrasi >0.5 wt.% nilai V_{bd} yang terjadi mengalami penurunan walaupun lebih besar dari nilai tegangan tembus untuk *Canola Oil* tanpa diberi campuran Al_2O_3 . Hasil pengukuran viskositas diperoleh untuk masing-masing konsentrasi adalah 5.6659×10^{-5} ; 6.3598×10^{-5} ; 8.7082×10^{-5} ; 7.9776×10^{-5} dan 6.0153×10^{-5} dPas.

Kata Kunci: *Canola Oil*, Aluminium Oksida, Tegangan Tembus

ABSTRACT

BREAKDOWN CHARACTERISTIC OF CANOLA OIL FILLED WITH ALUMINIUM OXIDE NANOPARTICLE (Al_2O_3) AS ALTERNATIVE OIL FOR TRANSFORMATOR

(Stefanus Ferron Sitinjak, 03041181823019, 2022, xx +45 pages + lampiran)

Improving of the Canola Oil insulation performance by adding Al_2O_3 nanoparticles was studied. The Canola Oil + Al_2O_3 sample placed in a test cell with a volume of 500 ml using ball steel electrode with diameter a 13 mm. Gap between the electrode is 1 mm. This study were conducted in order to obtained the breakdown strength of Canola Oil with filler Al_2O_3 . An alternating voltage was supplied to one side of electrodes system with rise time rate 100 V /s until a complete breakdown voltage occurs. Experiment was conducted variable for canola oil filled with Al_2O_3 at concentration were 0; 0.25; 0.5; 0.75 and 1 wt.%. The breakdown voltage for each concentration were 3,066; 3.339; 3.864; 3, 320, and 2, 955 kV respectively. The experimental results show that by addition of Al_2O_3 nanoparticles increased the dielectric strength of Canola Oil up to a concentration of 0.5 wt.%, while for concentrations of >0.5 wt.% the V_{bd} value was decreased although it was greater than the value of the breakdown voltage for Canola Oil without Al_2O_3 mixture. The viscosity measurement results obtained for each concentration are 5.6659×10^{-5} ; 6.3598×10^{-5} ; 8.7082×10^{-5} ; 7.9776×10^{-5} dan 6.0153×10^{-5} dPas.

Key Words: Canola Oil, Aluminium Oxide, Breakdown Voltage

DAFTAR ISI

COVER SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR PERSAMAAN	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
NOMENKLATUR.....	xix
DAFTAR ISTILAH.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2

1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Isolator	6
2.1.1 Gas.....	6
2.1.2 Vacuum.....	7
2.1.3 Cair	7
2.1.4 Padat	8
2.1.5 <i>Composites</i>	8
2.2 Dielektrik Cair.....	9
2.3 Minyak Nabati.....	12
2.4 Minyak <i>Canola</i>	14
2.5 Aluminium Oksida	15
2.6 Kekuatan Dielektrik.....	16
2.7 Viskositas.....	17
2.8 Kegagalan (<i>Breakdown</i>) Isolasi Cair	18
2.9 Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III.....	25
METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Umum.....	25

3.2 Metode Penelitian.....	25
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.4 Bahan Penelitian.....	27
3.4.1 Minyak <i>Canola</i>	27
3.4.2 Aluminium Oksida (Al_2O_3).....	28
3.5 Peralatan Pengujian	29
3.5.1 Transformator Tegangan Tinggi Bolak Balik.....	29
3.5.2 Tahanan Tinggi	29
3.5.3 <i>High Voltage Probe</i> (HV Probe)	30
3.5.4 <i>Picoscope</i>	31
3.5.5 Neraca Analitik	31
3.5.6 <i>Vacumm Drying Oven</i>	32
3.5.7 <i>Magnetic Stirrer</i>	33
3.6 Pembuatan Sampel Uji	33
3.6.1 Bahan dan Komposisi.....	33
3.6.2 Proses Pencampuran	34
3.7 Experimental Setup	36
3.7.1 Sistem Elektroda.....	36
3.7.2 Rangkaian pengujian tegangan tembus	37
3.8 Prosedur Pengujian	38
BAB IV	39
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39

4.1 Umum.....	39
4.2 Hasil Pengujian	39
4.2.1 Pengujian Viskositas.....	39
4.2.2 Pengujian Tegangan Tembus	40
4.3 Pembahasan	42
BAB V.....	44
PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur molekul ester alami	13
Gambar 2. 2 Kegagalan Elektronik	19
Gambar 2. 3 Pengaruh medan terhadap gelembung udara	20
Gambar 2. 4 Bola Cair yang Memanjang dan Memicu Kegagalan	22
Gambar 2. 5 kegagalan (<i>breakdown</i>) akibat butiran padat	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tegangan Tembus.....	26
Gambar 3. 2 Minyak <i>Canola</i> produk Ngo Chew Hong Edible Oil PTE LTD	27
Gambar 3. 3 Aluminium oksida produk Indonesia Chemical Alumina	28
Gambar 3. 4 Transformator HVAC 20kV diproduksi Electrical Instruments Work LTD.	29
Gambar 3. 5 Tahanan Tinggi 185 k Ω	30
Gambar 3. 6 <i>High Voltage Probe</i> Tektronix P6015A.....	30
Gambar 3. 7 <i>Picoscope</i> tipe 4000series.....	31
Gambar 3. 8 Neraca Analitik merk SF-400C.....	32
Gambar 3. 9 <i>Vacuum drying oven</i> merk Be-One tipe VOV-50.....	32
Gambar 3. 10 <i>Magnetic Stirrer</i> merk Bante Instruments Ms-300	33
Gambar 3. 11 Proses pencampuran <i>Canola Oil</i> dengan Al ₂ O ₃	35
Gambar 3.12 (a) Desain menggunakan Sketch-Up (b) sistem elektroda bola- bola.....	36
Gambar 3. 13 Rangkain Pengujian Tegangan Tembus.....	37
Gambar 4. 1 Pesebaran Data Viskositas	40
Gambar 4.2 Persebaran Data Tegangan Tembus <i>Canola Oil</i> Yang Diberikan Bahan Pengisi Al ₂ O ₃	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar IEC 60422-2013 untuk Isolasi Minyak Baru.....	11
Tabel 2. 2 Standar Isolasi Minyak SPLN 49-1: 1982.....	11
Tabel 2. 3 Komposisi Asam lemak pada <i>Canola Oil</i>	14
Tabel 2. 4 Penelitian tentang minyak nabati sebagai minyak transformator dan penambahan nanopartikel pada minyak transformator.....	23
Tabel 4. 1 Persebaran Data Tegangan Tembus <i>Canola Oil</i> Yang Diberikan Bahan Pengisi Al ₂ O ₃	40
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus <i>Canola Oil</i> Yang Diberikan Bahan Pengisi Al ₂ O ₃	41

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	16
Persamaan 2.2	17
Persamaan 2.3	19
Persamaan 2.4	20
Persamaan 2.5	22
Persamaan 4.1	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahap-tahap Kegiatan Penelitian

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian

Lampiran 3 Grafik Gelombang Sinusoidal Hasil Pengukuran Pada Aplikasi
Picoscope 4000 Series

Lampiran 4 Plagiarisme *Turnitin*

NOMENKLATUR

- μ : Viskositas (poise)
P : Tekanan (atm)
r : Jari-jari (m)
l : Panjang tabung (m)
V : Volume cairan yang mengalir (liter)
t : Lama aliran (detik)
E : kuat medan listrik yang mampu ditahan material isolasi (kV/mm)
V : tegangan maksimum yang tercatat alat ukur (kV)
d : *gap* atau jarak celah antar elektroda (mm)
 E_b : medan listrik dalam gelembung udara (V/cm)
 ϵ_1 : permitivitas media isolasi cair
 E_0 : medan listrik dalam media cair tanpa gelembung (V/cm)

DAFTAR ISTILAH

<i>Mineral Oil</i>	: Minyak Mineral
<i>Breakdown Voltage</i>	: Tegangan Tembus
<i>Biodegradable</i>	: Ramah Lingkungan
<i>Flash Point</i>	: Titik Nyala
<i>Pour Point</i>	: Titik Tuang
<i>Canola Oil</i>	: Minyak Canola
<i>Gap</i>	: Jarak sela antar elektroda
<i>Konduktivitas</i>	: Kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik
<i>Viskositas</i>	: Kekentalan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu komponen utama pada sistem tenaga listrik. Transformator memerlukan isolasi yang juga berfungsi sebagai pendingin panas yang timbul akibat mengalirnya arus yang besar pada kumparan lilitan transformator. Isolasi yang sering digunakan pada transformator adalah minyak mineral (*mineral oil*), tetapi minyak mineral memiliki persoalan dalam penggunaannya terkait dengan isu lingkungan. Kendala utama minyak mineral ialah sumber bahan baku yang tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan.

Salah satu cara mengatasi kelemahan minyak mineral adalah mencari alternatif pengganti yang berasal dari sumber daya terbarukan dan ramah lingkungan (*biodegradable*). Minyak nabati merupakan salah satu material yang tergolong sebagai sumber daya terbarukan dengan potensi ketersediaan yang besar. Sehingga minyak nabati berpotensi untuk menggantikan minyak mineral, karena memiliki nilai *biodegradable* yang tinggi (95 – 100%) dan nilai titik nyala (*flash point*) yang tinggi sekitar 368°C lebih tinggi dari titik nyala minyak mineral yaitu sekitar 150°C [1], [2].

C. P. McShane et. al., (2001) dalam tulisannya melaporkan bahwa bahan yang digunakan untuk isolasi cair harus memiliki persyaratan terkait kesehatan dan lingkungan yang pada dasarnya tidak beracun, *biodegradable*, menghasilkan produk sampingan dengan degradasi termal yang rendah, dapat didaur ulang, dan tidak terdaftar sebagai

bahan berbahaya oleh EPA atau *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) [3].

Matharage et. al., (2013) dalam studinya memperlihatkan bahwa minyak nabati dengan kandungan asam lemak jenuh yang rendah menghasilkan tegangan tembus yang lebih tinggi. Kandungan asam lemak jenuh dalam minyak nabati meningkatkan konduktivitas sekaligus menurunkan kekuatan dielektrik (tegangan tembus). Tingginya konduktivitas mengindikasikan adanya kandungan air di dalamnya [4]. *Canola oil* dianggap mempunyai potensi sebagai alternatif pengganti minyak isolasi mineral karena *canola oil* memiliki kandungan asam lemak jenuh yang rendah (7%) [5]. Disisi yang lain minyak nabati memiliki kekurangan yaitu tegangan tembus yang diuji tidak selalu memenuhi atau melebihi standar minyak transformator IEC 60156 [6].

Penggunaan nanopartikel digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa menggabungkan nanopartikel sebagai campuran tidak hanya meningkatkan kinerja pendinginan tetapi juga meningkatkan kekuatan dielektrik minyak transformator. Nanopartikel Al_2O_3 , Fe_3O_4 , TiO_2 , dan SiO_2 banyak digunakan sebagai bahan pengisi [7], [8]. Oleh karena itu, penggunaan aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai pengisi pada *canola oil* perlu dipelajari lebih lanjut untuk melihat pengaruh bahan pengisi terhadap peningkatan ketahanan tegangan tembus dari *canola oil* sebagai alternatif pengganti minyak transformator.

1.2 Perumusan Masalah

Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan dan keterbatasan bahan baku pada minyak mineral adalah mencari alternatif pengganti minyak

mineral [1], [2]. Alternatif pengganti yang memenuhi kriteria tersebut adalah minyak nabati, namun minyak nabati memiliki kekurangan, dimana tegangan tembus yang dimiliki minyak nabati tidak selalu memenuhi atau melebihi standar minyak transformator IEC 60156 [6]. Penggunaan nanopartikel dimaksudkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Oleh karena itu, studi mengenai kekuatan tembus *canola oil* yang diberi pengisi berupa nanopartikel aluminium oksida (Al_2O_3) perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh bahan pengisi Al_2O_3 terhadap peningkatan kekuatan tembus dan sekaligus mendapatkan komposisi bahan pencampur yang optimum. Sampel uji berupa minyak *Canola* yang diberi bahan pengisi dengan beberapa komposisi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Mendapatkan karakteristik tegangan tembus *canola oil* setelah diberi pengisi Al_2O_3 dalam menahan *stress* tegangan.
2. Mendapatkan komposisi bahan pengisi Al_2O_3 yang optimum.
3. Untuk mengetahui nilai viskositas dari *canola oil* yang telah ditambahkan nanopartikel Al_2O_3 dengan menggunakan metode perhitungan bola jatuh.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan sampel uji *canola oil* dengan merek *Lily Flower* yang mudah didapat dipasaran. Sampel uji berupa *canola oil* yang diberi pengisi berupa nanopartikel Aluminium oksida (Al_2O_3) dengan konsentrasi yang berbeda-beda.

Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut:

1. Menggunakan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13 mm dengan jarak sela antar elektroda sebesar 1 mm.

2. Komposisi campuran *canola oil* dan nanopartikel Al_2O_3 adalah 0; 0,25; 0,5; 0,75; dan 1 wt%.
3. Pengukuran tegangan tembus pada *canola oil* untuk setiap komposisi sampel dilakukan masing-masing sebanyak lima kali. Interval waktu tunda antara pengukuran pertama dan berikutnya masing – masing adalah 2 (dua) menit per sampel.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Dibagian pendahuluan ini memberikan pengenalan singkat tentang masalah yang sedang dipecahkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan literatur membahas tinjauan pustaka. Penjelasan singkat mengenai topik utama penelitian ini disajikan dari berbagai sumber bacaan seperti jurnal, skripsi, *paper*, dan sumber literatur lainnya. Tinjauan pustaka dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang minyak isolasi mineral, minyak isolasi nabati, minyak *Canola*, nanopartikel dan aluminium oksida yang disajikan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodelogi penelitian membahas metodologi dan menjelaskan secara rinci peralatan penelitian seperti pembuatan sampel uji, pembuatan sistem elektroda,

rangkaian pengujian dan teknik yang digunakan untuk melakukan percobaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan menjelaskan hasil pengujian tegangan tembus dan viskositas masing-masing. Pengolahan data sampel dilakukan menggunakan metode *statistic* kemudian disajikan ke dalam grafik data dan bentuk tabel.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran menyajikan hasil yang diperoleh berupa poin-poin serta saran atas penelitian lebih lanjut yang dapat dilakukan untuk ke depannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. P. McShane, K. J. Rapp, J. L. Corkran, G. A. Gauger, and J. Luksich, "Aging of paper insulation in natural ester dielectric fluid," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2, pp. 675–679, 2001.
- [2] M. A. Al-Eshaikh and M. I. Qureshi, "Evaluation of food grade corn oil for electrical applications," *Int. J. Green Energy*, vol. 9, no. 5, pp. 441–455, 2012, doi: 10.1080/15435075.2011.641186.
- [3] C. P. McShane, "Relative properties of the new combustion resistant vegetable oil based dielectric coolants," *IEEE Cem. Ind. Tech. Conf.*, vol. 37, no. 4, pp. 31–40, 2001, doi: 10.1109/CITCON.2001.934096.
- [4] B. S. H. M. S. Y. Matharage, M. A. R. M. Fernando, M. A. A. P. Bandara, G. A. Jayantha, and C. S. Kalpage, "Performance of coconut oil as an alternative transformer liquid insulation," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 20, no. 3, pp. 887–898, 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6518958.
- [5] R. Kella, "Penentuan Kualitas Minyak Kanola (Canola Oil)," 2015.
- [6] Ansyori, Z. Nawawi, M. Abubakar Siddik, and I. Verdana, "Analysis of Dielectric Strength of Virgin Coconut Oil as an Alternative Transformer Liquid insulation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1198, no. 5, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1198/5/052003.
- [7] M. Rafiq, D. Khan, and M. Ali, "Insulating properties of transformer oil-based silica nanofluids," *2015 Power Gener. Syst. Renew. Energy Technol. PGSRET 2015*, pp. 1–3, 2015, doi: 10.1109/PGSRET.2015.7312201.
- [8] D. U. Yue-fan, L. V Yu-zhen, Z. Jian-quan, L. I. Xiao-xin, and L. I. Cheng-rong, "Breakdown Properties of Transformer Oil-based TiO₂ Nanofluid," pp. 3–6, 2010.
- [9] Q. M. . Malik. N. H, Al-Arainy. A.A, *Electrical Insulation in Power System*. .
- [10] I. K. Wijaya, "Material Teknik Elektro," p. 74, 2015.

- [11] A. C. M. Wilson, "Insulating Liquids: Their Uses," *Manuf. Prop. Peregrinus behalf Inst. Electr. Eng. Stevenage*, 1980.
- [12] T. K. Saha and P. Purkait, "Transformer Insulation Materials and Ageing," *Transform. Ageing*, pp. 1–33, 2017, doi: 10.1002/9781119239970.ch1.
- [13] R. Seemamahannop, K. Bilyeu, Y. He, S. Kapila, V. Tumiatti, and M. Pompili, "Assessment of oxidative stability and physical properties of high oleic natural esters," *Proc. - IEEE Int. Conf. Dielectr. Liq.*, vol. 2019-June, no. Icldl, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICDL.2019.8796627.
- [14] M. Rafiq *et al.*, "Use of vegetable oils as transformer oils-A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 308–324, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.032.
- [15] 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.
- [16] Y. Hadjadj, I. Fofana, J. Sabau, and E. Briosso, "Assessing insulating oil degradation by means of turbidity and UV/VIS spectrophotometry measurements," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 5, pp. 2653–2660, 2015, doi: 10.1109/TDEI.2015.005111.
- [17] J. Rouabeh, L. M'barki, A. Hammami, I. Jallouli, and A. Driss, "Studies of different types of insulating oils and their mixtures as an alternative to mineral oil for cooling power transformers," *Heliyon*, vol. 5, no. 3, pp. 1–19, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01159.
- [18] I. E. C. IEC, "60422 Mineral insulating oils in electrical equipment Supervision and maintenance guidance," *IEC Fluids Electrotech. Appl. Tech. Comm.*, 2013.
- [19] S. Manjang, I. Kitta, and A. Ikhlas, "Voltage Breakdown Characteristics of Transformer Mineral Oil with Varies the Composition of Corn 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.
- [20] D. K. Mahanta and S. Laskar, "Electrical insulating liquid: A review," *J. Adv. Dielectr.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–9, 2017, doi:

10.1142/S2010135X17300018.

- [21] CIGRE Working Group A2.35, “Experiences in service with new insulating liquids,” *Cigre*, no. October, pp. 1–95, 2010.
- [22] T. Committee of the IEEE Power and E. Society, *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers IEEE Power & Energy Society*, no. July. 2008.
- [23] S. Tenbohlen and M. Koch, “Aging performance and moisture solubility of vegetable oils for power transformers,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 2, pp. 825–830, 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2034747.
- [24] T. Committee of the IEEE Power and E. Society, *IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformers IEEE Power & Energy Society*. 2008.
- [25] N. J. Fox and G. W. Stachowiak, “Vegetable oil-based lubricants-A review of oxidation,” *Tribol. Int.*, vol. 40, no. 7, pp. 1035–1046, 2007, doi: 10.1016/j.triboint.2006.10.001.
- [26] R. Harianto, “Dampak Cairan Nanodielektrik Terhadap Minyak Dedak Padi Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator,” vol. 4, no. 1, p. 6, 2021.
- [27] J. Kuffel , Kuffel, Peter., Safari, an O’Reilly Media Company., “High Voltage Engineering Fundamentals, 2nd Edition.” 2000, [Online]. Available: <https://www.safaribooksonline.com/complete/auth0oauth2/&state=/library/view//9780750636346/?ar>.
- [28] K. Swati, K. S. Yadav, R. Sarathi, R. Vinu, and M. G. Danikas, “Understanding Corona discharge activity in titania nanoparticles dispersed in transformer oil under AC and DC voltages,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 4, pp. 2325–2336, 2017, doi: 10.1109/TDEI.2017.006529.