

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA CAMPURAN  
MINYAK MINERAL DAN *CANOLA OIL* DENGAN  
PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  
*SILICONE DIOXIDE***



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

**Oleh:**

**ALDO ALIFSYAH DANIHARTA  
NIM. 03041382025103**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
TAHUN 2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA CAMPURAN  
MINYAK MINERAL DAN *CANOLA OIL* DENGAN  
PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  
*SILICONE DIOXIDE***

**Oleh:**

**ALDO ALIFSYAH DANIHARTA  
NIM. 03041382025103**

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan**

**Palembang, November 2024  
Ketua Jurusan Teknik Elektro,**



**Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU  
NIP. 197103141999031005**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA CAMPURAN  
MINYAK MINERAL DAN *CANOLA OIL* DENGAN  
PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  
*SILICONE DIOXIDE***

**Oleh:**

**ALDO ALIFSYAH DANIHARTA  
NIM. 03041382025103**

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

**Palembang, November 2024  
Dosen Pembimbing,**



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

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Aldo Alifsyah Daniharta  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025103  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya  
Persentase plagiarism (*Turnitin*) : 12%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Karakteristik Tegangan Tembus Pada Campuran Minyak Mineral dan *Canola oil* dengan penambahan Nanopartikel *Silicone Dioxide*”, 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.

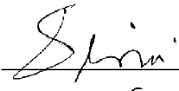
Demikian pernyataan ini saya buat dalam kesadaran dan tanpa paksaan.

Palembang, November 2024  
Yang Menyatakan,



Aldo Alifsyah Daniharta  
NIM. 03041382025103

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 : November 2024 \_\_\_\_\_

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik yang berjudul “Karakteristik tegangan tembus pada campuran Minyak Mineral dan *Canola Oil* dengan penambahan Nanopartikel *Silicone dioxide*”.

Adapun skripsi ini merupakan sebuah karya ilmiah yang dibuat sebagai syarat menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya agar mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Penyusunan skripsi ini dibuat berdasarkan pada kajian literatur, studi pustaka yang berkaitan, dan eksperimen serta pengambilan data secara langsung di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik. Tentunya proses pembuatan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan pada materi yang dibahas. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk meningkatkan kualitas skripsi ini kedepannya.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan dari keluarga, sahabat, dosen pembimbing, dosen penguji, pranata laboratorium, dan teman-teman laboratorium selama proses penyusunan skripsi ini.

Palembang, November 2024



Aldo Alifsyah Daniharta  
NIM. 03041382025103

## HALAMAN PERSEMBAHAN

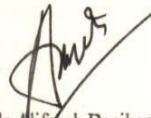
Karya ilmiah skripsi ini penulis dedikasi dan persembahkan, sebagai penghargaan, dan rasa hormat penulis kepada:

- Bapak Ely Sardani (Ayah), Ibu Harfin Astuti (Ibu), Yuk Via , Yuk Ika Abang Berto , Kak Alfi ,Kak Nugi , Mba Ayu dan keluarga besar yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan ini;
- Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., M.T., Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T.,M.Eng.,P.hD., Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T, dan Ibu Dr. Ir. Syarifa Fitria, S.T., yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir skripsi;
- Rektor Universitas Sriwijaya Bapak Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si.;
- Dekan Fakultas Teknik Bapak Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM.;
- Bapak Ir. Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU selaku ketua jurusan, Bapak dan Ibu dosen-dosen serta administrasi dan akademik Jurusan Teknik Elektro;
- Bapak Muhammad Irfan Jambak, S.T, M.Eng, P.hD. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan waktu dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan dalam waktu 4 tahun (2020-2024) ini;
- Pranata dan senior di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Bapak Lukmanul Hakim, S.T., Kak Intan Dwi Putri S.T., dan Kak Ferlian Seftianto, S.T., M.Kom.;

- Temen-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmi, Elam, Meiwa, Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Ridwan, Ryan, Hilman, Derry, Iqbal, Raga, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;
- Rekan Pengujian Cair, Bhanu, Derry, Sahrul, Rama, Hilman, Ridwan, Rangga, Raga, Ryan, Mozmail yang telah terlibat pada penelitian;
- Teman-Teman Kostsong, Sahrul, Aldhi, Adib, Derry, Fadlu, Ridho, Iqbal S, Adit, dan Iqbal F.
- Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Angkatan 2020, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya;
- Pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis berdoa kepada Allah SWT, semoga diberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, November 2024



Aldo Alifsyah Daniharta  
NIM. 03041382025103



**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Aldo Alifsyah Daniharta  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025103  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : 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, "Karakteristik tegangan tembus pada campuran Minyak Mineral dan *Canola Oil* pengan penambahan Nanopartikel *Silicone dioxide*" 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, November 2024  
Yang Menyatakan,

Aldo Alifsyah Daniharta  
NIM. 03041382025103

## ABSTRAK

### KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA CAMPURAN MINYAK MINERAL DAN *CANOLA OIL* DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL *SILICONE DIOXIDE*

(Aldo Alifsyah Daniharta, 03041382025103, 2024, xx + 39 halaman + lampiran)

Penelitian ini melaporkan tentang potensi campuran minyak mineral dan *canola oil* sebagai alternatif minyak transformator di masa depan dengan melakukan penambahan pengisi  $\text{SiO}_2$  serta mengetahui kinerja isolasi minyak tersebut melalui pengujian tegangan tembus. Pengujian dilakukan terhadap sampel campuran minyak mineral dan *canola oil* dengan pengisi  $\text{SiO}_2$  pada konsentrasi 0,2g/L namun dengan variasi yang berbeda-beda yaitu 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80, 0:100 untuk mendapatkan nilai tegangan tembus pada masing-masing sampel serta dilakukan pengujian terhadap sampel campuran minyak mineral dan *canola oil* tanpa pengisi sebagai kontrol dengan variasi serupa yang berguna sebagai pembanding. Adapun sampel diuji menggunakan *test cell* berkapasitas 500 ml dan volume sampel 350 ml dengan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13mm dan jarak sela antar elektroda 2,5mm. Hasil pengujian yang didapatkan dengan variasi temperatur 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20, 100:0 pada sampel kontrol secara berturut-turut adalah 10,46 kV; 21,40 kV; 22,30 kV; 25,96 kV; 26,61 kV; 33,92 kV; 22,91 kV. Kemudian, pada sampel berpengisi  $\text{SiO}_2$  secara berturut-turut adalah 40,41 kV; 41,99 kV; 43,64 kV; 47,60 kV; 47,05 kV; 57,99 kV; 47,88 kV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh penambahan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  menyebabkan peningkatan nilai tegangan tembus isolasi karena sifat  $\text{SiO}_2$  yang memiliki konduktivitas termal yang baik dan stabilitas yang tinggi dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Kemudian perbandingan nilai tegangan tembus pada hasil pengujian terhadap beberapa variasi sampel menunjukkan bahwa sampel 80 : 20 pada campuran minyak mineral dan minyak canola yang berpengisi  $\text{SiO}_2$  menunjukkan nilai terbaik karena memiliki nilai tegangan tembus paling tinggi.

**Kata Kunci:** Minyak mineral, *Canola oil*, *Silicon Dioxide*, Minyak Transformator, Tegangan tembus

## ABSTRACT

### **BREAKDOWN VOLTAGE CHARACTERISTICS IN A MIXTURE OF MINERAL OIL AND *CANOLA OIL* WITH THE ADDITION OF NANOPARTICLES *SILICONE DIOXIDE***

(Aldo Alifsyah Daniharta, 03041382025103, 2024, xx + 38 pages + attachment)

---

---

This thesis result of a research in topic potential of a mixture of mineral oil and *canola oil* as an alternative to transformer oil in the future by adding  $\text{SiO}_2$  filled and determining the insulation performance of these oils through breakdown voltage testing. Testing was carried out on samples of mineral oil and *canola oil* mixture with  $\text{SiO}_2$  filler at a concentration of 0,2g/L but with different variations ; 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80, 0:100 to obtain the permeability value in each sample and testing was carried out on samples of mineral oil and *canola oil* mixture without filler as a control with similar variations that are useful as a comparison. The samples were tested using a *test cell* with a capacity of 500 ml and a sample volume of 350 ml with a system of spherical electrodes with a diameter of 13mm and a spacing between electrodes of 2.5mm. The test results obtained with variation sampels of 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20, 100:0 in the control samples were 10.46 kV; 21.40 kV; 22.30 kV; 25.96 kV; 26.61 kV; 33.92 kV; 22.91 kV. Then, the samples with  $\text{SiO}_2$  filled were 40.41 kV; 41.99 kV; 43.64 kV; 47.60 kV; 47.05 kV; 57.99 kV; 47.88 kV. The results show that the effect of the addition of  $\text{SiO}_2$  nanoparticles causes an increase in the value of insulation breakdown voltage due to the properties of  $\text{SiO}_2$  which has good thermal conductivity and high stability and is resistant to high temperatures. Then the comparison of the permeability value in the test results on several sample variations showed that the sample of 80 : 20 variations of mineral oil and canola oil with  $\text{SiO}_2$  as filler showed the best value because the breakdown voltage value was the highest.

**Keywords:** Mineral oil, Canola oil, Silicon Dioxide, Transformer oil, Breakdown Voltage

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>NOMENKLATUR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Hipotesis.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sistem Isolasi .....	5
2.2 Isolasi Cair .....	5

2.3 Kekuatan Dielektrik .....	6
2.4 Minyak Transformator .....	7
2.5 Mekanisme Kegagalan Pada Isolasi Cair .....	8
2.6 <i>Breakdown Voltage</i> .....	9
2.7 Minyak Mineral.....	11
2.8 <i>Canola oil</i> .....	13
2.9 <i>Silicone dioxide (SiO<sub>2</sub>)</i> .....	14
2.10 Studi sejenis sebelumnya .....	14
<b>BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL .....</b>	<b>18</b>
3.1 Pendahuluan .....	18
3.2 Metode Penelitian.....	18
3.3 Diagram Alir .....	19
3.4 Bahan Penelitian.....	20
3.4.1 Minyak Mineral ( <i>Shell Diala B / S4 ZX-I</i> ).....	20
3.4.2 <i>Canola oil</i> .....	21
3.4.3 Nanopartikel SiO <sub>2</sub> .....	22
3.5 Peralatan Yang Digunakan.....	23
3.5.1 Magnetic Stirrer .....	23
3.5.2 Neraca Digital.....	23
3.5.3 Glass Breaker .....	24
3.5.4 Transformator Tegangan Tinggi Bolak-Balik.....	24

3.6 Pembuatan Sampel Uji .....	24
3.6.1 Bahan dan Komposisi .....	24
3.6.2 Proses Pencampuran .....	25
3.7 <i>Experimental Setup</i> .....	26
3.7.1 Sistem Elektroda .....	26
3.7.2 Rangkaian Pengujian .....	28
3.8 Prosedur Pengujian.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Umum.....	31
4.2 Data Hasil Percobaan .....	31
4.3 Diskusi .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>38</b>
5.1 Kesimpulan .....	38
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik antara tegangan tembus dengan jarak sela.....	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 <i>Shell Diala B S4 Zx-I</i> .....	20
Gambar 3.3 <i>Canola Oil</i> .....	21
Gambar 3.4 <i>Silicone Dioxide (SiO<sub>2</sub>)</i> .....	22
Gambar 3.5 <i>Magnetic Stirrer</i> .....	23
Gambar 3.6 Neraca Digital.....	23
Gambar 3.7 <i>Glass Breaker</i> .....	24
Gambar 3.8 Rangkaian Pencampuran Sampel.....	25
Gambar 3.9 Sistem Elektroda Tampak Depan.....	26
Gambar 3.10 Sistem elektroda bola-bola ( <i>Test Cell</i> ).....	26
Gambar 3.11 <i>Experimental Setup</i> .....	28
Gambar 4.1 Nilai Tegangan Tembus Pada Variasi Campuran <i>Minyak Diala B</i> dan Minyak Canola Tanpa Diberi <i>filler SiO<sub>2</sub></i> .....	32
Gambar 4.2 Nilai Tegangan Tembus Pada Variasi Campuran Minyak <i>Diala B</i> dan Minyak Canola Yang Diberi <i>filler SiO<sub>2</sub></i> .....	33
Gambar 4.3 Hasil Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Variasi Sampel Campuran Minyak <i>Diala B</i> dan Minyak Canola yang Diberi dan Tanpa Pengisi Nanopartikel <i>SiO<sub>2</sub></i> .....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Variasi campuran minyak.....	2
Tabel 2.1	Spesifikasi minyak transformator IEC60296:2013.....	12
Tabel 3.1	Karakteristik dielektrik minyak Shell Diala B .....	19
Tabel 3.2	Kandungan unsur-unsur <i>Canola oil</i> produk <i>lilyflower</i> .....	19
Tabel 3.3	Karakteristik <i>Silicone dioxide</i> .....	19
Tabel 3.4	Tabel perbandingan variasi campuran minyak .....	25



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1.....	6
Persamaan 2.2.....	7
Persamaan 2.3.....	9
Persamaan 2.4.....	9

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahap-Tahap Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Pembacaan Pengukuran Tegangan Tembus Campuran Minyak Per Variasi
- Lampiran 4 Pengolahan Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus
- Lampiran 5 Lembar Plagiarisme *Turnitin*
- Lampiran 6 SULIET/USEPT

## NOMENKLATUR

$E_0$	= Kekuatan medan cairan yang terdapat gelembung udara
$\sigma$	= Tegangan permukaan cairan
$\epsilon_1$	= Permittivitas cairan
$\epsilon_2$	= Permittivitas gelembung udara
$r$	= Jari-jari gelembung
$V_b$	= Tegangan Tembus
$A$	= Konstanta
$n$	= Nilai konstanta (0,947)
$V_s$	= Tegangan tembus dalam keadaan normal (volt)
$V_b$	= Tegangan tembus sebenarnya (volt)
$\delta$	= Faktor koresi udara (mmHg/ $^{\circ}$ C)
$p$	= Tekanan udara (mmHg)
$p_0$	= Standar tekanan udara (760 mmHg)
$t_0$	= 20 $^{\circ}$ C

## DAFTAR ISTILAH

<i>Canola Oil</i>	: Minyak biji tanaman canola
<i>Mineral Oil</i>	: Minyak mineral
<i>Natural Ester</i>	: Ester alami
<i>Biodegradable</i>	: Ramah lingkungan
<i>Flashover</i>	: Loncatan bunga api
<i>Sparkover</i>	: Pelepasan busur api
<i>Flash Point</i>	: Titik nyala
<i>Fire Point</i>	: Titik bakar
<i>Filler</i>	: Bahan pengisi
<i>Pour Point</i>	: Titik tuang
<i>Boiling Point</i>	: Titik didih
<i>Viscosity</i>	: Viskositas
<i>Density</i>	: Kepadatan
<i>Silicone Dioxide</i>	: Silikon dioksida

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Djafar *et al.*, “Jurnal Multidisiplin Indonesia ANALISIS Perbandingan Minyak Kemiri Dan Minyak Zaitun Sebagai Pengganti Minyak Transformator,” *J. Multidisiplin Indones.*, vol. 2, no. 4, pp. 836–843, 2023, doi: 10.58344/jmi.v2i4.231.
- [2] M. Srivastava, S. K. Goyal, and A. Saraswat, “Ester oil as an alternative to mineral transformer insulating liquid,” *Mater. Today Proc.*, vol. 43, pp. 2850–2854, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.066.
- [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, doi: 10.1109/SAUPEC/RobMech/PRASA48453.2020.9041045.
- [4] 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.
- [5] N. S. Suhaimi, M. T. Ishak, A. R. A. Rahman, M. F. Muhammad, M. Z. Z. Abidin, and A. K. Khairi, “A Review on Palm Oil-Based Nanofluids as a Future Resource for Green Transformer Insulation System,” *IEEE Access*, vol. 10, no. August, pp. 103563–103586, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3209416.
- [6] B. L. Tobing, *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, ISBN 978-6. Penerbit Erlangga, 2012.
- [7] V. K. M S Naidu, *High Voltage Engineering*, vol. 15, no. 5. 1995. doi: 10.1109/MPER.1995.384315.

- [8] T. D. Christine Widyastuti, Oktaria Handayani, “Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus,” vol. 10, no. 2, pp. 129–136, 2018.
- [9] J. Jumardin, J. Ilham, and S. Salim, “Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–48, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i2.2881.
- [10] I. Atanasova-Höhlein, “IEC 60296 (Ed. 5)–a standard for classification of mineral insulating oil on performance and not on the origin,” *Transform. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 86–91, 2021.
- [11] H. Sa’diyah, S. Nurhimawan, S. A. Fatoni, I. Irmansyah, and I. Irzaman, “Ekstraksi Silikon Dioksida Dari Daun Bambu,” vol. V, pp. SNF2016-BMP-13-SNF2016-BMP-16, 2016, doi: 10.21009/0305020303.
- [12] Z. B. Siddique, S. Basu, and P. Basak, “Effect of Graphene Oxide Dispersed Natural Ester Based Insulating Oil on Transformer Solid Insulation,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 29, no. 2, pp. 378–385, 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3157926.
- [13] L. M. Dumitran, F. Gorun, Ş. Nicolae, and C. Mirică, “Dielectric Properties of Mineral and Vegetable Oils Mixtures for Power Transformers,” *2019 11th Int. Symp. Adv. Top. Electr. Eng. ATEE 2019*, 2019, doi: 10.1109/ATEE.2019.8724883.
- [14] S. Yu *et al.*, “Comparative analysis of the mixed performance of two transformer oils in different proportions,” *7th IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl. ICHVE 2020 - Proc.*, pp. 1–4, 2020, doi: 10.1109/ICHVE49031.2020.9279725.
- [15] Y. Siregar, D. N. B. Simalango, and H. Zulkarnain, “Effect Temperature on Dielectric Strength of Transformer Oil With Nanoparticle SiO<sub>2</sub> and CCl<sub>4</sub>,” *2022 Int. Semin. Intell. Technol. Its*

- Appl. Adv. Innov. Electr. Syst. Humanit. ISITIA 2022 - Proceeding*, pp. 350–354, 2022, doi: 10.1109/ISITIA56226.2022.9855324.
- [16] PT. Eco Tangguh Lubrindo, “Shell Diala S4 ZX-I Transformator Oil,” *PT. Eco Tangguh Lubirindo*, pp. 42–44, 2023.
- [17] Z. B. Siddique, S. Basu, and P. Basak, “Development of Graphene Oxide Dispersed Natural Ester Based Insulating Oil for Transformers,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 28, no. 4, pp. 1326–1333, 2021, doi: 10.1109/TDEI.2021.009445.
- [18] 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.