

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGISI *NANOPARTIKEL ZINC OXIDE, SILICONE DIOXIDE, DAN ALUMINIUM OXIDE* TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK NABATI *PALM OIL (PO)* SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**



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

**Oleh:**

**RANGGA DWI PUTRA  
NIM. 03041382025090**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGISI NANOPARTIKEL ZINC OXIDE, SILICONE DIOXIDE, DAN ALUMINIUM OXIDE TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK NABATI PALM OIL (PO) SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**

Oleh:

**RANGGA DWI PUTRA**  
**NIM. 03041382025090**

**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. 197108141999031005**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENGISI *NANOPARTIKEL ZINC OXIDE, SILICONE DIOXIDE, DAN ALUMINIUM OXIDE* TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK NABATI *PALM OIL (PO)* SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**

**Oleh:**

**RANGGA DWI PUTRA  
NIM. 03041382025090**

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

**Palembang, November 2024  
Dosen Pembimbing,**



**Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng, Ph.D  
NIP. 198705312008122002**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Rangga Dwi Putra  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025090  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya  
Persentase plagiarism (*Turnitin*) : 17%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh pengisi nanopartikel *Zinc Oxide*, *Silicone Dioxide*, dan *Aluminium Oxide* terhadap tegangan tembus minyak nabati *Palm Oil* (PO) sebagai alternatif 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 kesadaran dan tanpa paksaan.

Palembang, November 2024  
Yang Menyatakan,



Rangga Dwi Putra  
NIM. 03041382025090

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

:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rizda Fitri Kurnia', written over a horizontal line.

Pembimbing Utama

:

Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng, Ph.D.

Tanggal

:

November 2024

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Pengaruh pengisi nanopartikel *Zinc Oxide*, *Silicone Dioxide*, dan *Aluminium Oxide* terhadap tegangan tembus minyak nabati *Palm Oil* (PO) sebagai alternatif minyak Transformator”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

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 Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Tentunya proses pembuatan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan pada materi yang dibahas.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata penyusun berharap semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Palembang, November 2024



Rangga Dwi Putra  
NIM. 03041382025090

## HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- Orang tua dan keluarga yang telah memberikan motivasi, saran, serta dukungan yang terbaik.
- Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T., Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T., dan Ibu Dr. Ir. Syarifa Fitria, 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 Dr. Djulil Amri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan waktu dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan;
- 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 Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmii, Elam, Meiwa,

Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Ridwan, Ryan, Hilman, Derry, Iqbal, Aldo, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;

- Rekan-rekan penelitian isolasi cair yaitu, Aldo, Bhanu, Derry, Rama, dan Mozmail;
- Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro Angkatan 2020, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya;

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

Palembang, November 2024



Rangga Dwi Putra  
NIM. 03041382025090



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rangga Dwi Putra  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025090  
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 pengisi nanopartikel *Zinc Oxide*, *Silicone Dioxide*, dan *Aluminium Oxide* terhadap tegangan tembus minyak nabati *Palm Oil* (PO) sebagai alternatif 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.

Palembang, November 2024  
Yang Menyatakan,



  
Rangga Dwi Putra  
NIM. 03041382025090

## ABSTRAK

### PENGARUH PENGISI *NANOPARTIKEL ZINC OXIDE, SILICONE DIOXIDE, DAN ALUMINIUM OXIDE* TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK NABATI *PALM OIL (PO)* SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR

(Rangga Dwi Putra, 03041382025090, 2024, xx + 46 halaman + lampiran)

Penelitian ini melaporkan hasil penelitian dengan topik potensi *palm oil* sebagai alternatif minyak transformator dengan melakukan penambahan pengisi ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> dan melihat pengaruhnya terhadap nilai tegangan tembus. Pengujian dilakukan terhadap sampel *palm oil* dengan pengisi nanopartikel ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> pada konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 g/l. Sebagai kontrol dilakukan juga pengujian terhadap sampel *palm oil* untuk melihat pengaruh penambahan nanopartikel ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub>. Pengujian dilakukan dengan *test cell* yang memiliki kapasitas 500 ml dengan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13 mm dengan jarak sela 2,5 mm dengan laju kenaikan tegangan sebesar 1 kV/s sesuai dengan standar pengujian tegangan tembus IEC60156. Hasil pengujian tegangan tembus pada *po* yang diberi masing-masing bahan pengisi nanopartikel ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan konsentrasi 0,1 g/l; 0,2 g/l; dan 0,3 g/l secara berturut-turut sebesar 25,38 kV; 28,22 kV; 41,38 kV untuk pengisi nanopartikel ZnO, 36,05 kV; 48,86 kV; 35,86 kV pada sampel dengan pengisi nanopartikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan untuk pengisi nanopartikel SiO<sub>2</sub> sebesar 35,78 kV; 43,78 kV; 53,96 kV. Kemudian pada konsentrasi 0,4 g/l nilai rata-rata tegangan tembus pada *po* yang diberi masing-masing bahan pengisi nanopartikel ZnO, dan SiO<sub>2</sub> secara berturut-turut sebesar 13,08 kV; 20,79 kV. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan pengisi nanopartikel ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> cenderung mengalami peningkatan dengan peningkatan tertinggi terdapat pada pengisi SiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,3 g/l.

**Kata Kunci:** Minyak Kelapa Sawit, Zinc Oksida, Aluminium Oksida, Silikon Dioksida, Tegangan Tembus, Minyak Transformator

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF ZINC OXIDE, SILICONE DIOXIDE, AND ALUMINIUM OXIDE NANOPARTICLE FILLERS ON THE BREAKDOWN VOLTAGE OF PALM OIL (PO) VEGETABLE OIL AS AN ALTERNATIVE FOR TRANSFORMER OIL

(Rangga Dwi Putra, 03041382025090, 2024, xx + 46 pages + appendix)

---

---

This research report the potential of palm oil as an alternative to transformer oil by adding ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> fillers and observing its effect on the breakdown voltage value. Tests were carried out on palm oil samples with ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticle fillers with concentrations of 0.1; 0.2; 0.3; 0,4 g/l. As a control sample, tests were also carried out on palm oil sample to see the effect of adding ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticles. The test were conducted using a 500 ml capacity test cell with a 13 mm diameter ball electrode with a 2.5 mm gap system under high voltage alternating current application. The voltage increase rate of HV AC is 1 kV/s in accordance with the IEC60156 breakdown voltage test standard. The results of the breakdown voltage test on the *palm oil* given each of the ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticle fillers with concentrations of 0.1; 0.2; and 0.3 respectively were 25.38 kV; 28.22 kV; 41.38 kV for ZnO nanoparticle filler, for samples with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticle filler respectively were 36.05 kV; 48.86 kV; 35.86 kV, and for SiO<sub>2</sub> nanoparticle filler respectively were 35.78 kV; 43.78 kV; 53.96 kV. From these results it shows that the addition of ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> nanoparticle fillers tends to increase with the highest increase in SiO<sub>2</sub> filler with a concentration of 0.3 g/l.

**Keywords:** *Palm Oil, Zinc Oxide, Aluminium Oxide, Silicon Dioxide, Breakdown Voltage, Transformator Oil*

## 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>vi</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 ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</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    Rumusan 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    Material Isolasi .....	5
2.2    Isolasi Cair .....	6
2.3    Minyak Transformator.....	6

2.4	Minyak Nabati .....	8
2.5	<i>Palm oil (PO)</i> .....	10
2.6	Mekanisme Kegagalan Pada Isolasi Cair .....	11
2.7	Tegangan tembus .....	15
2.8	Nanopartikel ZnO .....	16
2.9	Nanopartikel Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	16
2.10	Nanopartikel SiO <sub>2</sub> .....	17
2.11	Studi sejenis sebelumnya.....	18
<b>BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL.....</b>		<b>22</b>
3.1	Pendahuluan.....	22
3.2	Metodologi.....	22
3.3	Bahan dan alat .....	24
3.3.1	Bahan .....	24
3.3.2	Alat.....	28
3.4	Pembuatan sampel uji.....	29
3.4.1	Persiapan pembuatan nanofluida .....	29
3.4.2	Proses pembuatan sampel uji.....	30
3.5	<i>Experimental setup</i> .....	31
3.5.1	Sistem elektroda.....	31
3.5.2	<i>Experimental setup</i> .....	32
3.6	Prosedur pengujian .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>35</b>
4.1	Umum .....	35
4.2	Data hasil percobaan.....	36
4.3	Diskusi.....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>44</b>

5.1 Kesimpulan..... 44  
5.2 Saran ..... 46

**DAFTAR PUSTAKA.....**

**LAMPIRAN.....**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Permulaan banjir elektron.....	12
Gambar 2. 2 Gelembung gas penyebab kegagalan .....	12
Gambar 2. 3 Bola cair yang memanjang penyebab kegagalan .....	14
Gambar 2. 4 Kegagalan akibat butiran padat .....	14
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Palm Oil produk Bimoli Spesial.....	24
Gambar 3. 3 Zinc Oxide (ZnO).....	25
Gambar 3. 4 Silicone Dioxide (SiO <sub>2</sub> ).....	26
Gambar 3. 5 Aluminium Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	27
Gambar 3. 6 Glass beaker .....	28
Gambar 3. 7 <i>Magnetic stirrer</i> .....	28
Gambar 3. 8 Neraca digital .....	29
Gambar 3. 9 Alur proses pembuatan Sampel Uji.....	30
Gambar 3. 10 Sistem elektroda bola-bola .....	31
Gambar 3. 11 Rangkaian pengujian tegangan tembus .....	33
Gambar 4. 1 Hasil pengujian tegangan tembus palm oil dengan bahan pengisi ZnO .....	37
Gambar 4. 2 Hasil pengujian tegangan tembus palm oil dengan bahan pengisi SiO <sub>2</sub> .....	38
Gambar 4. 3 Hasil pengujian tegangan tembus palm oil dengan bahan pengisi Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	39
Gambar 4. 4 Perbandingan hasil pengujian tegangan tembus terhadap sampel uji palm oil yang diberi masing-masing bahan pengisi ZnO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Minyak Transformator IEC 60296:2020.....	7
Tabel 2. 2 Penelitian sebelumnya .....	18
Tabel 3. 1 Kandungan unsur-unsur Palm oil produk Bimoli Spesial .....	24
Tabel 3. 2 Karakteristik Zinc Oxide .....	25
Tabel 3. 3 Karakteristik Silicon Dioxide .....	26
Tabel 3. 4 Karakteristik Aluminium Oxide .....	27
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian tegangan tembus palm oil dan palm oil yang diberi bahan pengisi zinc oxide, silicone dioxide, dan aluminium oxide .....	36



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2.1).....	14
Persamaan (2.2).....	15

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahap-Tahap Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Pembacaan Pengukuran Nilai Tegangan Tembus
- Lampiran 4 Perhitungan Tembus Sesungguhnya
- Lampiran 5 Lembar Plagiarisme *Turnitin*
- Lampiran 6 SULIET/USEPT

## NOMENKLATUR

$E_0$	Kekuatan medan cairan yang terdapat gelembung udara
$\sigma$	Tegangan permukaan cairan
$\epsilon_1$	Permitivitas cairan
$\epsilon_2$	Permitivitas 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/°C)
$p$	Tekanan udara (mmHg)
$p_0$	Standar tekanan udara (760 mmHg)
$t_0$	20°C
$t$	Suhu ruangan saat pengujian (°C)

## DAFTAR ISTILAH

<i>Aluminium Oxide</i>	= Aluminium Oksida
<i>Boiling Point</i>	= Titik Didih
<i>Breakdown Voltage</i>	= Tegangan Tembus
<i>Density</i>	= Kepadatan
<i>Filler</i>	= Bahan Pengisi
<i>Flash Point</i>	= Titik Nyala
<i>Interfacial Tension</i>	= Tegangan Antarmuka
<i>Melting Point</i>	= Titik Lebur
<i>Mineral Oil</i>	= Minyak Mineral
<i>Mollar Mass</i>	= Massa molar
<i>Oxidation Stabililty</i>	= Stabilitas Oksidas
<i>Palm Oil</i>	= Minyak Kelapa Sawit
<i>Pour Point</i>	= Titik Tuang
<i>Silicone Dioxide</i>	= Silikon Dioksida
<i>Viscosity</i>	= Viskositas
<i>Water Content</i>	= Kadar Air
<i>Zinc Oxide</i>	= Zinc Oksida

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik, isolasi merupakan salah satu komponen yang perlu mempunyai kualitas, dan masa pakai yang panjang. Isolasi perlu diperhatikan dalam sistem tenaga listrik dikarenakan isolasi berperan penting sebagai lapisan pemisah antar konduktor. Dalam menentukan bahan isolasi yang akan digunakan, karakteristik elektrik dan mekanisnya perlu diperhatikan agar dapat digunakan untuk jangka panjang dan tidak terjadi kerusakan yang berujung pada kegagalan isolasi. Salah satu komponen dalam sistem tenaga listrik yang membutuhkan isolasi adalah transformator.

Transformator adalah peralatan dalam sistem tenaga listrik yang memiliki fungsi utama untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Dalam pengoperasiannya transformator menggunakan isolasi berupa cairan yang biasa dikenal dengan minyak transformator. Salah satu minyak transformator yang umum digunakan adalah minyak mineral (*mineral oil*) yang memenuhi persyaratan sebagai isolasi cair pada tegangan tinggi. Beberapa kelemahan minyak mineral antara lain seperti toksisitas, mudah terbakar dan tidak dapat terurai secara alami [1].

Sampai saat ini banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mencari alternatif dari minyak transformator. Salah satu penelitian yang telah dilakukan adalah penggunaan minyak nabati dan sintesis yang telah dimodifikasi untuk dapat terurai secara alami, meningkatkan titik nyala api dan meningkatkan permitivitas [2][3]. Minyak nabati dapat menjadi alternatif minyak mineral karena merupakan sumber daya yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Minyak nabati memiliki titik nyala yang tinggi, yaitu sekitar 368°C. Nilai ini lebih tinggi daripada titik nyala minyak mineral yang

hanya 150°C. Minyak nabati juga memiliki ketersediaan yang besar dan dapat terurai secara alami (*biodegradable*) dengan tingkat yang tinggi, yaitu 95-100%. Hal ini dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan [4]. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa minyak nabati masih memiliki kekurangan yaitu memiliki viskositas tinggi dan sifat mudah teroksidasi. Oleh karena itu, penggunaan nanopartikel terhadap minyak nabati digunakan dan diketahui dapat meningkatkan kemampuan serta menurunkan beberapa sifat dielektrik minyak transformator [5].

Nanopartikel (NP) didefinisikan sebagai partikel dengan satu dimensi berkisar antara 1 sampai 100 nm. NP memiliki sifat yang berbeda tergantung pada ukuran dan fungsi permukaannya [6]. Beberapa contoh dari nanopartikel adalah *Zinc Oxide* (ZnO), *Silicone Dioxide* (SiO<sub>2</sub>) dan *Aluminium Oxide* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Nanopartikel ini memiliki sifat ketahanan benturan, tahan suhu tinggi, dan sifat mekanik yang kuat [7] sehingga nanopartikel ini dipilih untuk memperbaiki kekurangan yang terdapat pada minyak nabati *palm oil* (PO).

Penelitian ini membahas tentang pengaruh tegangan tembus pada minyak kelapa sawit atau *palm oil* (PO) yang diberi pengisi nanopartikel ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pengkondisian pengisi terhadap sampel uji dilakukan dengan variasi konsentrasi masing-masing 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 gram per liter (g/l).

## 1.2 Rumusan Masalah

Minyak berbahan dasar nabati merupakan alternatif yang potensial untuk minyak transformator karena dapat terurai secara alami dan memiliki titik nyala api yang tinggi. *Palm Oil* (PO) adalah salah satu kandidat sebagai pengganti minyak transformator. Namun, PO memiliki kelemahan yaitu tingkat viskositas tinggi dan sifat mudah teroksidasi sehingga pembentukan gelembung udara yang mempengaruhi kekuatan PO dalam menahan stres tegangan. Untuk mencari solusi dari keterbatasan ini pemberian filler nanopartikel diduga akan memperbaiki kekurangan dari isolasi cair jenis ini. Oleh karena itu pengaruh nanopartikel jenis ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap kekuatan tembus dari PO penting untuk diteliti.

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengukur nilai tegangan tembus *PO* yang diberi masing-masing bahan pengisi nanopartikel berbeda yaitu ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
2. Mendapatkan nilai tegangan pada masing-masing konsentrasi dan komposisi pengisi.
3. Mendapatkan nilai tegangan tembus optimal dari *PO* dengan bahan pengisi nanopartikel untuk dijadikan alternatif bahan isolasi pengganti minyak transformator.

#### 1.4 Batasan Masalah

Studi ini dilakukan dengan memperhatikan hal berikut:

1. Cairan isolasi yang digunakan berupa minyak nabati jenis *Palm Oil*.
2. Sampel uji berupa *palm oil* yang digunakan untuk setiap kali pengujian dengan volume 350 ml.
3. Bahan pengisi berupa nanopartikel jenis ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan rasio persentase berat terhadap volume PO, yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 g/l; dan sampel kontrol atau tanpa pengisi. Untuk PO dengan pengisi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang mengalami kejenuhan pada konsentrasi 0,3 g/l, tidak dilakukan pemberian pengisi untuk konsentrasi 0,4 g/l.
4. Pengujian dilakukan menggunakan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13 mm pada jarak sela 2,5 mm.
5. Pengukuran tegangan tembus dilakukan sebanyak 5 (lima) kali untuk setiap komposisi sampel uji.
6. Laju kenaikan tegangan sampai terjadinya tembus pada sela elektroda adalah 1 kV/s. Untuk stabilitas cairan dari pengaruh partikel di dalam minyak, antara pengujian satu dan lainnya digunakan waktu tunda selama minimal 1 (satu) menit.

#### 1.5 Hipotesis

Penggunaan bahan pengisi nanopartikel ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan meningkatkan nilai tegangan tembus minyak nabati dari jenis *palm oil* (PO) pada komposisi tertentu. Hal ini didasarkan kepada kemampuan nanopartikel dari jenis ZnO, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam mengikat oksigen yang terkandung di dalam cairan PO.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. N. Koutras *et al.*, “Dielectric and Thermal Response of TiO<sub>2</sub> and SiC Natural Ester Based Nanofluids for Use in Power Transformers,” *IEEE Access*, vol. 10, no. August, pp. 79222–79236, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3194516.
- [2] H. Khelifa, A. Beroual, and E. Vagnon, “Effect of Conducting, Semi-Conducting and Insulating Nanoparticles on AC Breakdown Voltage and Partial Discharge Activity of Synthetic Ester: A Statistical Analysis,” *Nanomaterials*, vol. 12, no. 12, 2022, doi: 10.3390/nano12122105.
- [3] M. M. Bhunia, K. Panigrahi, C. B. Naskar, S. Bhattacharjee, K. K. Chattopadhyay, and P. Chattopadhyay, “2D square nanosheets of Anatase TiO<sub>2</sub>: A surfactant free nanofiller for transformer oil nanofluids,” *J. Mol. Liq.*, vol. 325, 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2020.115000.
- [4] 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.
- [5] J. Jacob, P. Preetha, and T. K. Sindhu, “Stability analysis and characterization of natural ester nanofluids for transformers,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 27, no. 5, pp. 1715–1723, 2020, doi: 10.1109/TDEI.2020.008445.
- [6] W. Najahi-Missaoui, R. D. Arnold, and B. S. Cummings, “Safe nanoparticles: Are we there yet?,” *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/ijms22010385.

- [7] 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.
- [8] D. Fahmi, I. M. Y. Negara, A. Kusumaningrum, and D. H. Santosa, "Analysis of contaminant effect on ceramic & polymer insulator surface under artificial environmental condition," *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, pp. 161–164, 2017, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124073.
- [9] W. M. Ravindra, Arora, *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. 2011.
- [10] I. Rock, *Insulation Manual - Homes*. United States Department of Energy, 2012.
- [11] A. K. Karmaker, M. M. Sikder, M. J. Hossain, and M. R. Ahmed, "Investigation and Analysis of Electro-physical Properties of Biodegradable Vegetable Oil for Insulation and Cooling Application in Transformers," *J. Electron. Mater.*, vol. 49, no. 1, pp. 787–797, 2020, doi: 10.1007/s11664-019-07693-7.
- [12] I. N. Oksa Winanta, A. A. N. Amrita, and W. G. Ariastina, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 10, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p02.
- [13] 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.
- [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] R. H. P. yan fauzi, yustina E.widyastuti, Iman Satyawibawa, *Kelapa Sawit*, Revisi. Jakarta: Penebar Swadanya, 2012.
- [16] Naidu M. S. Kamaraju V., *High-voltage engineering*, 5th ed., vol. 176, no. 6. New Delhi: McGraw Hill Education, 2013. doi: 10.1016/s0016-0032(13)90044-2.
- [17] H. Sayogi, “Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang,” *J. Tek. Elektro Undip*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2011.
- [18] E. Wonda, “Analisis Karakteristik Fenomena Pre-Breakdown Voltage Berbasis Pengujian Pada Media Isolasi Cair, Minyak Jagung,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [19] C. Widyastuti and R. A. Wisnuaji, “Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor,” *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, pp. 75–78, 2019, doi: 10.30630/eji.11.2.128.
- [20] A. Junaidi, “Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair,” *Teknoin*, vol. 13, no. 2, pp. 1–5, 2008, doi: 10.20885/teknoin.vol13.iss2.art1.
- [21] A. Kolodziejczak-Radzimska and T. Jesionowski, “Zinc oxide-from synthesis to application: A review,” *Materials (Basel)*, vol. 7, no. 4, pp. 2833–2881, 2014, doi: 10.3390/ma7042833.
- [22] R. HARIANTO, “Dampak Cairan Nanodielektrik Terhadap Minyak Dedak Padi Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator,” vol. 10, p. 6, 2021.
- [23] S. D. Anggraeni and F. Kurniawan, “Synthesis of Aluminium Nanoparticles Using Electrochemical Method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1445, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1445/1/012013.
- [24] 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.
- [25] Z. B. Siddique, S. Basu, and P. Basak, "Dielectric behavior of natural ester based mineral oil blend dispersed with TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles as insulating fluid for transformers," *J. Mol. Liq.*, vol. 339, p. 116825, 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2021.116825.
- [26] I. Fernández, R. Valiente, F. Ortiz, C. J. Renedo, and A. Ortiz, "Effect of TiO<sub>2</sub> and zno nanoparticles on the performance of dielectric nanofluids based on vegetable esters during their aging," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 4, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/nano10040692.
- [27] Z. Zhang, H. Zhou, D. Liu, F. Zhao, W. Li, and C. Tang, "The Effect of Nano-Silica Modified with Silane Coupling Agents on the Diffusion Behavior of Water Molecules in Palm Oil based on Molecular Simulation," *IEEE Access*, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3085980.
- [28] R. Syarifah, "Karakterisasi Pengaruh Temperatur Terhadap Intensitas Emisi Material Luminisensi ZnO:Zn," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [29] R. Agustina, "Pra Rencana Pabrik Silika Dioksida (SiO<sub>2</sub>) Dari Natrium Silika Dan Asam Sulfat Dengan Proses Basah Kapasitas 70.000 Ton/Tahun Perancangan Alat Utama Rotary Dryer," Institut Teknologi Nasional Malang.
- [30] K. B. Arief, "Experimental Study Effect Of Addition Volume Fraction Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> On Aluminium To Hardness And Specific Wear Rate Of Aluminium Matrix Composite," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

- [31] R. A. Farade *et al.*, “The Effect of Interfacial Zone Due to Nanoparticle-Surfactant Interaction on Dielectric Properties of Vegetable Oil Based Nanofluids,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 107033–107045, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3098758.
- [32] N. Koutsoukis, P. Georgilakis, and G. Korres, *Power Systems*. 2021. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31747-2><https://link.springer.com/10.1007/978-981-32-9938-2>