

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  PADA MINYAK  
JAGUNG TERHADAP *DIELECTRIC LOSS* ( $\text{TAN } \delta$ )**



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

**Oleh:**

**RYAN ARDI SEPTIANDI  
NIM. 03041382025098**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  $TiO_2$ ,  $ZnO$  PADA MINYAK  
JAGUNG TERHADAP *DIELECTRIC LOSS* ( $TAN \delta$ )**

Oleh:

**RYAN ARDI SEPTIANDI**  
NIM. 03041382025098

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, November 2024

Ketua Jurusan Teknik Elektro,



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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  PADA MINYAK  
JAGUNG TERHADAP *DIELECTRIC LOSS* ( $\text{TAN } \delta$ )**

Oleh:

**RYAN ARDI SEPTIANDI**  
NIM. 03041382025098

**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. 198705312008122001

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Ryan Ardi Septiandi  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025098  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya  
Persentase plagiarism (*Turnitin*) : 8%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Penambahan Nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO Pada Minyak Jagung Terhadap *Dielectric Loss* (Tan  $\delta$ )”, 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,



*Ryan Ardi Septiandi*

Ryan Ardi Septiandi  
NIM. 03041382025098

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 : Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Ph.D.  
\_\_\_\_\_

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

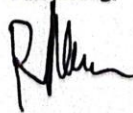
## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Nanopartikel  $TiO_2$ ,  $ZnO$  Pada Minyak Jagung Terhadap *Dielectric Loss* ( $\tan \delta$ )”. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan 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 (TTTPL). Tentunya proses penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar dapat meningkatkan kualitas skripsi kedepannya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan terlaksana tanpa dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung. Dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk kedepannya dan membantu perkembangan ilmu isolasi elektro.

Palembang, November 2024



Ryan Ardi Septiandi  
NIM. 03041382025098

## HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan selama penulis menjalani pendidikan ini;
- Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T., Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T., Ibu Dr. Ir. Syarifa Fitria, yang telah 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 Ir. Zaenal Husin, M.Sc. dan Bapak Irmawan, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing akademik selama penulis menjalani pendidikan dalam waktu 4 tahun (2020-2024) ini;
- Pranata dan senior di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (TTTTPL) Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Bapak Lukmanul Hakim, S.T., Kak Ferlian Seftianto, S.T., M.Kom., dan Kak Intan Dwi Putri S.T.;

- Temen-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (TTTPL) Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmi, Elam, Meiwa, Raga, Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Ridwan, Hilman, Derry, Iqbal, Aldo, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;
- Rekan kerja praktik saya Ilyas, Adziin, Rangga dan Teman-teman mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2020, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya;
- Dan masih banyak lagi pihak yang tidak dapat sebutkan satu per satu.

Penulis berdoa kepada Allah SWT, semoga dari skripsi ini dapat memberikan keberkahan dan manfaat bagi banyak orang serta dapat diimplementasikan pada ilmu isolasi elektro.

Palembang, November 2024



Ryan Ardi Septiandi  
NIM. 03041382025098



**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Ryan Ardi Septiandi  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025098  
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, "Pengaruh Penambahan Nanopartikel TiO<sub>2</sub>, ZnO Pada Minyak Jagung Terhadap *Dielectric Loss* (Tan  $\delta$ )" beserta perangkat yang ada.

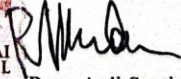
Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Palembang, November 2024

Menyatakan,



  
Ryan Ardi Septiandi  
03041382025098

## ABSTRAK

### PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL TiO<sub>2</sub>, ZnO PADA MINYAK JAGUNG TERHADAP *DIELECTRIC LOSS* (TAN $\delta$ )

(Ryan Ardi Septiandi, 03041382025098, 2024, xxi + 50 halaman + lampiran)

Skripsi ini melaporkan hasil studi mengenai pengaruh penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan ZnO terhadap *dielectric loss* (tan  $\delta$ ) pada *corn oil* yang berpotensi sebagai alternatif minyak transformator. Pengujian dilakukan terhadap sampel *corn oil* dengan pengisi TiO<sub>2</sub> dan ZnO dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,1; 1 g/l pada temperatur 80°C serta dilakukan pengukuran terhadap sampel *corn oil* tanpa pengisi sebagai kontrol yang bertujuan sebagai pembandingan. Pengujian menggunakan sistem elektroda bola-bola *stainless steel* dengan diameter 13 mm dan jarak sela antar elektroda 2,5 mm. Hasil pengukuran tan  $\delta$  pada sampel kontrol dengan perlakuan pada temperatur ruang dan temperatur 80°C diperoleh nilai sebesar  $6,772 \times 10^{-2}$  dan  $7,104 \times 10^{-2}$ . Pada sampel temperatur 80°C berpengisi TiO<sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi 0,01; 0,1; 1 g/l diperoleh nilai sebesar  $4,752 \times 10^{-2}$ ;  $4,432 \times 10^{-2}$ ;  $4,184 \times 10^{-2}$ . Kemudian, pada sampel temperatur 80°C berpengisi ZnO diperoleh nilai sebesar  $4,943 \times 10^{-2}$ ;  $4,649 \times 10^{-2}$ ;  $4,462 \times 10^{-2}$ . Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan ZnO dapat menurunkan nilai tan  $\delta$  sehingga dapat mengurangi *dielectric loss* dan meningkatkan ketahanan isolasi dari *corn oil*. Penambahan nanopartikel telah memodifikasi struktur dan sifat dielektrik dalam *corn oil*, sehingga menyebabkan peningkatan arus konduksi dalam material isolasi dan mempengaruhi nilai tan  $\delta$ . Selain itu, pada temperatur tinggi, TiO<sub>2</sub> dan ZnO lebih mudah mengalami oksidasi sehingga mempercepat kerusakan dielektrik. Nilai Tan  $\delta$  terbaik terdapat pada variasi *corn oil* yang diberi pengisi 0,01 g/l TiO<sub>2</sub>.

**Kata Kunci:** Minyak Jagung, Titanium Dioksida, Seng Oksida, Kerugian Dielektrik, Minyak Transformator

## ABSTRACT

### EFFECT OF ADDING TiO<sub>2</sub>, ZnO NANOPARTICLES TO CORN OIL ON DIELECTRIC LOSS (TAN $\delta$ )

(Ryan Ardi Septiandi, 03041382025098, 2024, xxi + 50 pages + appendix)

---

---

This thesis reports the results of a study on the effect of the addition of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles on dielectric loss ( $\tan \delta$ ) in corn oil which has the potential as an alternative to transformer oil. Tests were conducted on corn oil samples with TiO<sub>2</sub> and ZnO fillers with concentration variations of 0,01; 0,1; 1 g/l at 80°C and measurements were made on corn oil samples without fillers as a control for comparison purposes. The test used a stainless steel ball electrode system with a diameter of 13 mm and a gap distance between electrodes of 2,5 mm. The  $\tan \delta$  measurement results on the control sample with treatment at room temperature and 80°C obtained values of  $6,772 \times 10^{-2}$  and  $7,104 \times 10^{-2}$ . At 80°C temperature samples filled with TiO<sub>2</sub> with a concentration variation of 0,01; 0,1; 1 g/l obtained a value of  $4,752 \times 10^{-2}$ ;  $4,432 \times 10^{-2}$ ;  $4,184 \times 10^{-2}$ . Then, in the 80°C temperature sample filled with ZnO, the value of  $4,943 \times 10^{-2}$ ;  $4,649 \times 10^{-2}$ ;  $4,462 \times 10^{-2}$  was obtained. These results show that TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles can reduce the  $\tan \delta$  value so as to reduce dielectric loss and increase the insulation resistance of corn oil. The addition of nanoparticles has modified the structure and dielectric properties in corn oil, thus causing an increase in the conduction current in the insulating material and affecting the  $\tan \delta$  value. In addition, at high temperatures, TiO<sub>2</sub> and ZnO are more prone to oxidation, accelerating dielectric breakdown. The best  $\tan \delta$  value is found in the corn oil variation which is filled with 0,01 g/l TiO<sub>2</sub>.

**Keywords:** *Corn Oil, Titanium Dioxide, Zinc Oxide, Dielectric Loss, Transformer Oil*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	ix
<b>ABSTRAK</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>NOMENKLATUR</b> .....	xix
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Hipotesis .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Isolator .....	6

2.2	Dielektrik Cair.....	6
2.3	Nanofluida.....	7
2.4	Nanopartikel.....	8
2.5	<i>Corn Oil</i> .....	8
2.6	<i>Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>)</i> .....	9
2.7	<i>Zinc Oxide (ZnO)</i> .....	10
2.8	$\tan \delta$ ( <i>Dielectric Loss</i> ).....	11
2.9	Penelitian Sebelumnya ( <i>Literature Review</i> ).....	15
<b>BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL</b> .....		22
3.1	Pendahuluan .....	22
3.2	Metode Penelitian.....	22
3.3	Diagram Alir Penelitian .....	23
3.4	Bahan dan Alat yang Digunakan.....	25
	3.4.1 Bahan Penelitian.....	25
	3.4.2 Peralatan Penelitian .....	28
3.5	Pembuatan Sampel Uji .....	32
	3.5.1 Proses Pembuatan Sampel Uji.....	32
	3.5.2 Proses Perlakuan Sampel Uji .....	33
3.6	<i>Experimental Setup</i> .....	34
	3.6.1 Sistem Elektroda .....	34
	3.6.2 Rangkaian Pengujian.....	35
3.7	Prosedur Pengujian.....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		41
4.1	Umum.....	41
4.2	Hasil Experimental .....	41
4.3	Diskusi.....	46

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	50

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Standar minyak transformator .....	7
Gambar 2.2 Diagram phasor faktor disipasi .....	12
Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen $\tan \delta$ .....	13
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian $\tan \delta$ .....	24
Gambar 3.2 <i>Corn oil</i> merk CCO .....	25
Gambar 3.3 <i>Titanium Dioxide</i> .....	26
Gambar 3.4 <i>Zinc Oxide</i> .....	27
Gambar 3.5 Oven .....	28
Gambar 3.6 <i>Magnetic stirrer</i> .....	28
Gambar 3.7 Samgor QS30A <i>semi automatic</i> .....	29
Gambar 3.8 Neraca analitik .....	29
Gambar 3.9 Cawan petri .....	30
Gambar 3.10 <i>Glass Beaker</i> .....	30
Gambar 3.11 Bejana galvanis .....	31
Gambar 3.12 Alur proses pembuatan sampel uji .....	32
Gambar 3.13 Alur proses perlakuan sampel uji temperatur 80°C ...	33
Gambar 3.14 Desain 3D sistem elektroda bola-bola pada <i>Sketch Up</i> .....	34
Gambar 3.15 Sistem elektroda bola-bola .....	34
Gambar 3.16 Rangkaian pengukuran $\tan \delta$ .....	36
Gambar 3.17 Bagian Samgor QS30A <i>Semiautomatic</i> .....	37
Gambar 4.1 Hasil pengukuran nilai $\tan \delta$ pada CO kontrol .....	42
Gambar 4.2 Hasil pengukuran nilai $\tan \delta$ pada CO yang diberi pengisi $\text{TiO}_2$ .....	43

Gambar 4.3 Hasil pengukuran nilai $\tan \delta$ pada CO yang diberi pengisi ZnO .....	44
Gambar 4.4 Perbandingan nilai $\tan \delta$ CO pada variasi pengisi $\text{TiO}_2$ dan ZnO.....	45



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik sifat <i>corn oil</i> .....	9
Tabel 2.2 Penelitian sebelumnya.....	15
Tabel 3.1 Kandungan informasi <i>corn oil</i> merk CCO.....	25
Tabel 3.2 Informasi umum dan karakteristik <i>Titanium Dioxide</i> .....	26
Tabel 3.3 Informasi umum dan karakteristik <i>Zinc Oxide</i> .....	27
Tabel 4.1 Hasil pengujian $\tan \delta$ pada variasi sampel.....	42
Tabel 4.2 Hasil pengujian $\tan \delta$ pada sampel CO berpengisi $\text{TiO}_2$	43
Tabel 4.3 Hasil pengujian $\tan \delta$ pada sampel CO berpengisi $\text{ZnO}$	44
Tabel 4.4 Perbandingan hasil pengujian $\tan \delta$ pada variasi pengisi .....	45

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2.1).....	13
Persamaan (2.2).....	13
Persamaan (2.3).....	14
Persamaan (2.4).....	14

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahap-Tahap Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Hasil Pengukuran Nilai  $\tan \delta$  Pada Alat Samgor  
QS30A
- Lampiran 4 Lembar Plagiarisme *Turnitin*
- Lampiran 5 SULIET/USEPT

## NOMENKLATUR

$Tan \delta$	= nilai rugi-rugi isolasi
$I_C$	= arus yang mengalir melalui kapasitor (A)
$I_R$	= arus yang mengalir melalui resistor (A)
$f$	= frekuensi sistem (Hz)
$\omega$	= frekuensi sudut
$C$	= nilai kapasitansi (Farad)
$R$	= nilai hambatan ( $\Omega$ )
$P$	= daya sistem (W)
$V$	= nilai tegangan terukur (V)
$d$	= jarak sela antar elektroda (mm)

## DAFTAR ISTILAH

<i>Acidity</i>	: Keasaman
<i>Biodegradable</i>	: Dapat terurai secara hayati
<i>Corn Germ</i>	: Bibit jagung
<i>Corn Oil</i>	: Minyak jagung
<i>Chamber Test</i>	: Tes ruang
<i>Density</i>	: Kepadatan
<i>Dielectric Loss</i>	: Kerugian dielektrik
<i>Dielectric Dissipation Factor</i>	: Sifat kelistrikan suatu bahan isolasi
<i>Experimental Setup</i>	: Pengaturan eksperimental
<i>Flash Point</i>	: Titik nyala
<i>Glass Beaker</i>	: Gelas ukur kimia
<i>Grounding</i>	: Bahan pengisi
<i>Magnetic Stirrer</i>	: Pengaduk magnet
<i>Mineral Oil</i>	: Minyak mineral
<i>Nanofiller</i>	: Pengisi nano
<i>Natural Ester</i>	: Ester alami
<i>Pour Point</i>	: Titik tuang
<i>Power Supply</i>	: Catu daya
<i>Smoke Point</i>	: Titik asap
<i>Titanium Dioxide</i>	: Titanium Dioksida
<i>Viscosity</i>	: Kekentalan
<i>Voltage Regulator</i>	: Pengatur tegangan
<i>Water Content</i>	: Kadar air
<i>Zinc Oxide</i>	: Seng Oksida

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga yang menggunakan isolasi cair sebagai fluida isolasi yang juga berfungsi sebagai pendingin. Minyak transformator mengisolir bagian trafo yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan seperti inti besi, kumparan (lilitan), dan bodi trafo. Bagian-bagian pada transformator tersebut terendam minyak transformator. Kegagalan transformator dalam mengisolir bagian yang bertegangan dapat memberi dampak yang berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik [1].

Pada umumnya transformator tegangan tinggi bergantung pada dielektrik cair sebagai bahan isolasi. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi telah mengarah pada pembentukan bahan baru yang dihasilkan melalui penambahan nanopartikel dalam isolasi cair. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral karena ketersediaannya semakin terbatas. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi penggunaan minyak mineral adalah dengan mencari alternatif isolasi cair seperti minyak nabati. Isolasi cair mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan peningkatan kemampuan pendinginan yang signifikan. Namun, sebagian besar isolasi cair jenis tertentu belum tersedia secara komersial karena faktor-faktor tertentu yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut. Misalnya, stabilitas nanopartikel ketika didispersikan ke dalam isolasi cair [3].

Isolasi cair mempunyai tingkat isolasi yang tinggi, mempunyai kemampuan mencegah arus listrik mengalir dalam isolasi cair. Selain itu melalui isolasi cair dapat diukur nilai  $\tan \delta$  yang dapat menjadi indikasi adanya kerusakan pada isolasi. Pengukuran  $\tan \delta$  dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti pengisi nanopartikel, kontaminasi, penuaan bahan isolasi, temperatur, lama pengujian, serta besar tegangan dan frekuensi yang dipakai dalam pengujian. Pemantauan  $\tan \delta$  secara teratur dapat membantu mendeteksi perubahan kondisi isolasi seiring waktu. Penurunan nilai  $\tan \delta$  dapat mengindikasikan kondisi yang baik dari isolasi tersebut [4].

Dalam beberapa tahun terakhir, minyak nabati diperkenalkan sebagai alternatif pengganti isolasi cair. Adapun jenis minyak nabati terbuat dari berbagai sumber seperti zaitun, kelapa sawit, kedelai, jagung, lobak, kelapa, kacang tanah, bunga matahari dan lainnya. Selama ini minyak nabati lebih sering digunakan dalam industri makanan, namun karena keunggulannya dapat terurai secara alami dan minyak nabati mempunyai stabilitas oksidatif sangat baik yang dipengaruhi oleh derajat tingkat lemak tak jenuhnya, stabilitas termal yang baik, sangat penting untuk mencegah pembentukan gas dan endapan yang dapat merusak isolasi [5][6]. Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan minyak mineral yang sulit terurai dapat menggunakan minyak jagung sebagai alternatif. Minyak jagung memiliki beberapa keunggulan yaitu *smoke point* yang tinggi, non-kolesterol, viskositas tinggi, volalitas rendah, kelarutan dalam aditif pelumas yang tinggi, stabilitas termal yang baik, dan stabilitas penguapan yang baik, serta tidak beracun [2][7][8]. Agar dapat meningkatkan kekuatan dielektrik pada minyak jagung, perlu dilakukan penambahan nanopartikel.

Penambahan nanopartikel bertujuan untuk memperbaiki sifat dielektrik bahan isolasi, mengurangi hilangnya daya dielektrik (penurunan  $\tan \delta$ ) dalam bahan isolasi serta memperpanjang umur operasional sistem. Penambahan nanopartikel dapat meningkatkan keandalan dan kinerja peralatan listrik [9]. Adapun nanopartikel yang dapat digunakan sebagai pengisi yaitu *Titanium Dioxide* ( $\text{TiO}_2$ ) dan *Zinc Oxide* ( $\text{ZnO}$ ).  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  memiliki sifat dielektrik yang sangat baik untuk digunakan dalam pengukuran  $\tan \delta$  pada sistem isolasi elektrik. Nanopartikel ini dapat digunakan sebagai pengisi dalam bahan isolasi serta dapat meningkatkan kekuatan mekanik, termal, serta sifat dielektrik dan kekuatan isolasi [10]. Oleh karena itu, salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan adalah pengaruh sifat listrik dari nanopartikel dalam nanofluida yang dapat menurunkan nilai  $\tan \delta$  [11].

Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel terhadap nilai  $\tan \delta$  pada campuran minyak jagung dengan  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  sebagai salah satu alternatif minyak transformator.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan *corn oil* sebagai bahan dielektrik memiliki potensi besar sebagai alternatif minyak transformator karena sifat isolasinya yang baik. Namun, peningkatan kinerja dielektrik sering kali diperlukan, terutama dalam hal mengurangi nilai *dielectric loss* atau  $\tan \delta$ , yang menunjukkan seberapa banyak energi listrik yang hilang dalam bentuk panas. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  dalam *corn oil*, yang diduga dapat mempengaruhi sifat dielektrik



dan  $\tan \delta$ . Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana pengaruh penambahan nanopartikel terhadap nilai  $\tan \delta$  *corn oil* dapat mempengaruhi performa kinerja *corn oil* sebagai bahan dielektrik isolasi cair.

Upaya penyelidikan kinerja isolasi dengan pengukuran  $\tan \delta$  yang dilakukan B. Chakraborty *et al.* (2021) melakukan pengujian  $\tan \delta$  pada kondisi temperatur 80°C pada isolasi dasar minyak mineral yang diberi pengisi senyawa TiO<sub>2</sub> didapatkan hasil nilai  $\tan \delta$  sebesar 33,06% lebih rendah daripada minyak mineral [31]. Lalu pada penelitian N. Pattanadech *et al.* (2022) melakukan pengujian  $\tan \delta$  pada kondisi temperatur yang sama dengan isolasi dasar *palm oil* yang diberi pengisi senyawa ZnO didapatkan hasil nilai  $\tan \delta$  sebesar 5%-12% lebih rendah daripada *palm oil* [28].

Apabila campuran *corn oil* dengan TiO<sub>2</sub> dan ZnO akan digunakan sebagai minyak isolasi alternatif diwaktu yang akan datang, tentu harus memenuhi standar IEC 60247 dengan nilai  $\leq 0,05$  untuk minyak nabati. Oleh karena itu, pengaruh nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan ZnO terhadap *dielectric loss* ( $\tan \delta$ ) dari *corn oil* penting untuk diteliti.

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengukur nilai  $\tan \delta$  dari material sampel *corn oil* yang diberi pengisi TiO<sub>2</sub> dan ZnO serta sampel kontrol.
2. Melakukan analisa pengaruh penambahan konsentrasi pengisi TiO<sub>2</sub> dan ZnO pada sampel *corn oil* dengan variasi yang berbeda.
3. Mendapatkan nilai  $\tan \delta$  optimal dari campuran *corn oil* dengan bahan pengisi nanopartikel sebagai alternatif bahan isolasi minyak transformator.

#### 1.4 Batasan Masalah

Untuk rencana penelitian ini, akan diberlakukan beberapa batasan sebagai berikut :

1. Untuk studi sampel yang akan digunakan yaitu *corn oil* merk CCO.
2. Sampel dilakukan pengisian nanopartikel Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dan Seng Oksida (ZnO) dengan kadar berat setiap nanopartikel terhadap volume nanofluida yaitu 0,01; 0,1; 1 g/l dan setiap sampel memiliki volume 500 ml. Selain itu, dilakukan pengukuran kelompok kontrol (tanpa nanopartikel) dengan tujuan sebagai pembandingan.
3. Pengukuran yang dilakukan adalah melakukan pengukuran  $\tan \delta$  dengan sampel *corn oil* yang diberi pengisi nanopartikel  $\text{TiO}_2$ , ZnO masing-masing sebanyak 3 jenis sampel dan 2 jenis sampel kontrol tiap jenis nya dilakukan 5 kali pengujian.
4. Pengukuran  $\tan \delta$  menggunakan alat “*Samgor QS30A Semi Automatic Measuring Bridging*”.

#### 1.5 Hipotesis

Pada penelitian ini dengan penambahan bahan pengisi nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan ZnO diharapkan dapat menurunkan nilai  $\tan \delta$  minyak nabati dari jenis *corn oil* (CO). Hal ini disebabkan oleh perubahan karakteristik dielektrik yang diakibatkan oleh interaksi antara nanopartikel dan struktur molekul dalam *corn oil*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Romadhona and T. Haryono, "Karakteristik Minyak Zaitun dan Minyak Goreng Kelapa Sawit sebagai Minyak untuk Transformator," *Jnteti*, vol. 2, no. 4, pp. 287–291, 2013.
- [2] S. Samsurizal, A. Makkulau, and S. A. Zahra, "Studi Pengukuran Karakteristik Minyak Nabati Terhadap Tegangan Tembus Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Trafo," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 11, no. 1, pp. 81–89, 2022, doi: 10.36055/setrum.v11i1.14051.
- [3] M. Zul, H. Makmud, H. A. Illias, and C. Y. Chee, "Partial Discharge in Nanofluid Insulation Material with Conductive and Semiconductive Nanoparticles," 2019, doi: 10.3390/ma12050816.
- [4] A. Solihin, J. M. Nainggolan, and D. Despa, "Karakteristik Peluahan Sebagian (Partial Discharge) Pada Isolasi Karet Silikon (Silicone Rubber) Menggunakan Sensor Emisi Akustik," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 4, no. 2, 2016, doi: 10.23960/jitet.v4i2.541.
- [5] M. S. A. Kamal, N. Bashir, M. H. Ahmad, and Z. Bamalli, "Dielectric properties and oxidation stability assessment of vegetable-based oils as insulation for power transformers," *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, vol. 17, no. 9–10, pp. 1582–1588, 2015.
- [6] A. Rajab, H. Yestian, R. M. Pradipta, and T. U. Septiyeni, "Stabilitas oksidatif minyak nabati sangat baik dipengaruhi oleh derajat tingkat tak jenuhnya," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 1, p. 22, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i1.113730.
- [7] G. K. Sari and M. Saraswati, "Pemanfaatan Ekstrak Jagung (*Zea Mays*) di Kabupaten Grobogan dalam Bentuk Sediaan Gel Sebagai Pelindung dari Sinar UVB," *Pratama Med. J. Kesehat.*, vol. 1, no. 1,

pp. 59–68, 2022.

- [8] M. Said, R. Ayu Sugiarti, and M. Shaza Fita, “Sintesis Senyawa Poliol Melalui Reaksi Hidroksilasi Senyawa Epoksi Minyak Jagung,” *J. Tek. Kim.*, vol. 22, no. 4, pp. 20–27, 2016.
- [9] A. Manab, A. Aulia, E. Putra Walidi, M. Kodrat, and G. Widia, “Pengaruh Penuaan Elektrik Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus dan PDIV Minyak NanoNynas,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, p. 18, 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.522.2018.
- [10] A. Aulia, R. Alfajri, E. P. Walidi, and N. Novizon, “Pengaruh Partikel Nanosilika Terhadap Sifat Tolak Air Bahan Isolasi Bionanokomposit,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 74, 2020, doi: 10.25077/jnte.v9n2.716.2020.
- [11] M. O. Kim, “A Study On Mechanical Behaviour Of Lead-Free Solder Using Nanoindentation Test,” 2018.
- [12] M. H. A. Hamid, M. T. Ishak, N. S. Suhaimi, N. I. A. Katim, and K. Lumpur, “Dielectric Properties of Natural Ester Oils Used for Transformer Application Under Temperature Variation,” pp. 54–57, 2016.
- [13] Jamaaluddin, *Konduktor – Isolator dan Semi Konduktor*. 2019.
- [14] R. Kamerlisa Putra *et al.*, “Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair,” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, p. 1, 2017.
- [15] T. Mahsunadi, “Studi Pengaruh Minyak Kelapa Sebagai Fluida Dielektrik Alternatif Terhadap Kinerja Edm Die Sinking Pada Benda Kerja Aisi P21,” pp. 978–979, 2012.
- [16] B. A. Nugroho, “Pengaruh Persentase Fenol Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Jagung,” pp. 35–40, 2013.
- [17] R. Y. C. H. S. Shinta, “Karakteristik Fisika Kimia Formulasi Minyak

- Lumas Trafo Inhibited Chemical Physical Characteristics of Inhibited Transformer Oil,” pp. 23–31, 2015.
- [18] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and C. Sutowo, “Studi Literatur Pengembangan Nanofluida Untuk Aplikasi Pada Bidang Teknik Di Indonesia,” *Simp. Nas. Teknol. Terap.*, pp. 35–40, 2013.
- [19] B. Mehta, D. Subhedar, H. Panchal, and Z. Said, “Synthesis, stability, thermophysical properties and heat transfer applications of nanofluid – A review,” *J. Mol. Liq.*, vol. 364, p. 120034, 2022, doi: 10.1016/j.molliq.2022.120034.
- [20] H. Saragih, D. Richard, and A. Limbong, “Penggunaan Ruang Reaksi Berbentuk Tabung Berdiameter 500  $\mu\text{m}$  untuk Menumbuhkan Nanopartikel ZnO Berdispersi Tunggal The Use of Tube Reactor with Diameter of 500  $\mu\text{m}$  for Growing ZnO Monodisperse Nanoparticles,” vol. 18, no. August 2013, pp. 49–56, 2013.
- [21] S. M. Priadi, “Analisa Stabilitas Homogenisasi Salad Dressing Dari Minyak Jagung dan Air Jeruk Nipis dengan Penambahan Kuning Telur sebagai Emulsifier,” 2012.
- [22] G. Andrianda and R. Widyasaputra, “Karakteristik Campuran Minyak Sawit Merah dengan Minyak Jagung sebagai Bahan Baku Label Indikator Suhu-Waktu,” vol. 1, pp. 2257–2272, 2023.
- [23] A. J. Haider, Z. N. Jameel, and I. H. M. Al-Hussaini, “Review on: Titanium dioxide applications,” *Energy Procedia*, vol. 157, pp. 17–29, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.159.
- [24] S. K. W. Ningsih, “Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu<sup>2+</sup> Melalui Metoda Sol-Gel,” *EKSAKTA Berk. Ilm. Bid. MIPA*, vol. 18, no. 02, pp. 39–51, 2017, doi: 10.24036/eksakta/vol18-iss02/51.
- [25] 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.
- [26] H. Sayogi, “Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang,” *Tek. Tegangan Tinggi*, vol. 1, no. 1, pp. 2–10, 2020.
- [27] A. Multi and S. P. Handojo, “Analisis Pengukuran Tangen Delta Pada Bahan Isolasi Generator,” *Sainstech J. Penelit. Dan Pengkaj. Sains Dan Teknol.*, vol. 32, no. 1, pp. 9–23, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i1.1216.
- [28] N. Pattanadech and P. Muangpratoom, “The Influence Of Nanoparticles On The Dielectric Dissipation Factor And Lightning Properties In Palm Oil-Based Nanofluids,” vol. 17, no. 2, pp. 1173–1187, 2022.
- [29] L. S. Mahendra, Z. Zulkifli, B. Herwono, Y. Anggraini, E. N. Sholikha, and K. Nisa, “Analisis Kondisi Belitan Stator Generator Melalui Pengukuran Indeks Polarisasi dan Tan Delta (Dissipation Factor),” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 5, no. 2, pp. 244–251, 2023, doi: 10.32528/elkom.v5i2.12716.
- [30] S. Maneerot, N. Pattanadech, Y. Kittikhuntharadol, P. Nimsanong, and C. Bunlaksananusorn, “Polarization and Conduction Characteristics of Mineral Oil and Natural Ester Mixed with Nanoparticles,” vol. 2022, 2022.
- [31] B. Chakraborty, K. Y. Raj, A. K. Pradhan, B. Chatterjee, S. Chakravorti, and S. Dalai, “Investigation of Dielectric Properties of TiO<sub>2</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids by Frequency Domain Spectroscopy at Different Temperatures,” vol. 330, 2021, doi: 10.1016/j.molliq.2021.115642.
- [32] M. A. Abid, I. Khan, Z. Ullah, and K. Ullah, “Dielectric and Thermal

- Performance Up-Gradation of Transformer Oil Using Valuable Nano-Particles,” pp. 153509–153518, 2019.
- [33] Y. Zhong *et al.*, “Insulating Properties and Charge Characteristics of Natural Ester Fluid Modified by TiO<sub>2</sub> Semiconductive Nanoparticles,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 20, no. 1, pp. 135–140, 2013, doi: 10.1109/TDEI.2013.6451351.
- [34] L. Nasrat, M. Dardeer, and N. Sayed, “Zinc Oxide Filler Effect on Dissipation Factor of High-Density Polyethylene,” *South Asian Res. J. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 02, pp. 67–74, 2024, doi: 10.36346/sarjet.2024.v06i02.002.
- [35] D. Kaur, A. Bharti, T. Sharma, and C. Madhu, “Dielectric Properties of ZnO-Based Nanocomposites and Their Potential Applications,” *Int. J. Opt.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/9950202.
- [36] 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.
- [37] M. H. A. Hamid *et al.*, “Electrical Properties of Palm Oil and Rice Bran Oil Under AC Stress for Transformer Application,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 11, pp. 9095–9105, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.02.049.