

SKRIPSI

**ANALISA FAKTOR DISIPASI DIELEKTRIK PADA MINYAK NABATI
RICE BRAN OIL YANG DIBERI PENGISI TiO_2 DAN SiO_2 SEBAGAI
ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**



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

Oleh:

**MUHAMMAD RAGA NAUFAL
NIM. 03041382025110**

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**ANALISA FAKTOR DISIPASI DIELEKTRIK PADA MINYAK NABATI
RICE BRAN OIL YANG DIBERI PENGISI TiO_2 DAN SiO_2 SEBAGAI
ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**

Oleh:

**MUHAMMAD RAGA NAUFAL
NIM. 03041382025110**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

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



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

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

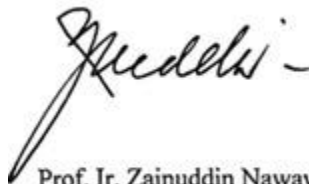
**ANALISA FAKTOR DISIPASI DIELEKTRIK PADA MINYAK NABATI
RICE BRAN OIL YANG DIBERI PENGISI TiO_2 DAN SiO_2 SEBAGAI
ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR**

Oleh:

**MUHAMMAD RAGA NAUFAL
NIM. 03041382025110**

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

**Palembang, November 2024
Dosen Pembimbing,**



**Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.
NIP.195903031985031004**

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Raga Naufal
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025110
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 10%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul "Analisa Faktor Disipasi Dielektrik Pada Minyak Nabati *Rice Bran Oil* Yang Diberi Pengisi TiO_2 Dan SiO_2 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,



Muhammad Raga Naufal
NIM. 03041382025110

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 : Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.
Tanggal : November 2024

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisa faktor disipasi dielektrik pada minyak nabati *Rice Bran Oil* yang diberi pengisi TiO_2 dan SiO_2 sebagai alternatif minyak Transformator”.

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 (TTTPL). Tentunya proses penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. 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.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya ilmu teknik elektro terkait dengan isolasi cair.

Palembang, November 2024



Muhammad Raga Naufal
NIM. 03041382025110

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- Bapak Wiun (Papa), Ibu Titing Suryani (Mama), Nenek Karnaseh, Ketiga adik Nafisah Juliani, M. Ferly Aprilyandi, Muhammad Rafa, Adik sepupu Lazza Nur Sehfitri Yean, Om Slamet Hermawan, Bibi Agustina Marlina, Om Susianto, Bibi Yeni Kusmawati, dan keluarga besar 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., dan Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T., 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 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;
- Ibu Caroline, S.T., M.T. 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 Sefianto, S.T., M.Kom.;

- Temen-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmī, 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;
- Nadya Urfa Adrina, S.K.G. yang senantiasa memberikan dukungan moral dan menemani penulis selama menyusun hingga menyelesaikan skripsi ini dari awal hingga akhir.
- Sahabat kosan Kebun Sirih Satelit, Irvin, Wisnu, Vito, Bhanu, Ridwan, Rama, Hilman, Ravi, Rizky, Bimo, Jordy;
- Sahabat rumah, Khalid, Fikri, Aldi, Bunga, Tika, Wulan, serta teman-teman Karang Taruna Bina Muda Utama (BMU);
- 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



Muhammad Raga Naufal
NIM. 03041382025110

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Raga Naufal
Nomor Induk Mahasiswa : 03041382025110
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, “Analisa Faktor Disipasi Dielektrik Pada Minyak Nabati *Rice Bran Oil* Yang Diberi Pengisi TiO_2 Dan SiO_2 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,



Muhammad Raga Naufal
NIM. 03041382025110

ABSTRAK

ANALISA FAKTOR DISIPASI DIELEKTRIK PADA MINYAK NABATI *RICE BRAN OIL* YANG DIBERI PENGISI TiO_2 DAN SiO_2 SEBAGAI ALTERNATIF MINYAK TRANSFORMATOR

(Muhammad Raga Naufal, 03041382025110, 2024, xx + 51 halaman + lampiran)

Penelitian ini melaporkan potensi *rice bran oil* sebagai alternatif minyak transformator di masa depan dengan melakukan penambahan pengisi TiO_2 dan SiO_2 serta mengetahui kinerja isolasi minyak tersebut melalui pengujian faktor disipasi dielektrik atau $\tan \delta$. Pengujian dilakukan terhadap sampel *rice bran oil* dengan pengisi TiO_2 dan SiO_2 pada konsentrasi 0,02 wt% dengan variasi temperatur yang berbeda-beda yaitu 25°C , 40°C , dan 80°C untuk mendapatkan nilai $\tan \delta$ pada masing-masing sampel. Serta dilakukan pengujian terhadap sampel *rice bran oil* tanpa pengisi sebagai kontrol dengan variasi temperatur serupa yang berguna sebagai pembandingan. Adapun sampel diuji menggunakan volume sampel 500 ml dengan sistem elektroda bola-bola berdiameter 13 mm dan jarak sela antar elektroda 2,5 mm. Hasil pengujian yang didapatkan pada sampel kontrol dengan variasi temperatur 25°C , 40°C , dan 80°C secara berturut-turut adalah $4,4424 \times 10^{-2}$; $4,5137 \times 10^{-2}$; dan $7,1079 \times 10^{-2}$. Kemudian, pada sampel berpengisi TiO_2 secara berturut-turut yaitu $3,7137 \times 10^{-2}$; $4,1215 \times 10^{-2}$; dan $6,4068 \times 10^{-2}$. Serta, pada sampel berpengisi SiO_2 secara berturut-turut adalah $2,6116 \times 10^{-2}$; $3,1117 \times 10^{-2}$; dan $5,2087 \times 10^{-2}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh temperatur panas menyebabkan peningkatan nilai $\tan \delta$ karena minyak nabati memiliki struktur molekul yang sedikit lebih polar. Lalu penambahan pengisi TiO_2 dan SiO_2 menyebabkan nilai $\tan \delta$ meningkat dibandingkan dengan sampel tanpa pengisi pada perlakuan temperatur yang sama. Kemudian perbandingan nilai $\tan \delta$ pada hasil pengujian terhadap beberapa variasi sampel menunjukkan bahwa sampel berpengisi SiO_2 mendapatkan hasil terbaik karena nilai $\tan \delta$ yang paling rendah.

Kata Kunci: *Rice Bran Oil, Titanium Dioxide, Silicon Dioxide*, Faktor Disipasi Dielektrik

ABSTRACT

ANALYSIS OF DIELECTRIC DISSIPATION FACTOR AT RICE BRAN OIL FILLED WITH TiO₂ AND SiO₂ AS AN ALTERNATIVE TRANSFORMER OIL

(Muhammad Raga Naufal, 03041382025110, 2024, xx + 51 pages + appendix)

The potential of rice bran oil as an alternative transformer oil in the future by adding TiO₂ and SiO₂ as filler and determining the insulation performance of the oil through testing the dielectric dissipation factor (DDF) or $\tan \delta$ was reported. Sample tested on rice bran oil with TiO₂ and SiO₂ filler with concentration of 0,02 wt% but with different temperature variations of 25°C, 40°C, and 80°C to obtain $\tan \delta$ value for each and sample tested too on rice bran oil without filler as an control with similar temperature variations that are useful as a comparison. The samples were tested using a sample volume 500 ml with 13-mm diameter sphere electrode system and 2,5-mm gap between the two electrodes. The results obtained on the control sample with temperature variations of 25°C, 40°C, and 80°C were sequent $4,4424 \times 10^{-2}$; $4,5137 \times 10^{-2}$; and $7,1079 \times 10^{-2}$. Then the samples with TiO₂ filler were sequent $3,7137 \times 10^{-2}$; $4,1215 \times 10^{-2}$; and $6,4068 \times 10^{-2}$. Also the samples with SiO₂ filler were sequent $2,6116 \times 10^{-2}$; $3,1117 \times 10^{-2}$; and $5,2087 \times 10^{-2}$. The results indicate that the effect of high temperature causes an increase the $\tan \delta$ value because vegetable oil has a slightly more polar of molecular structure. Then the addition of TiO₂ and SiO₂ fillers causes the $\tan \delta$ value to increase compared to samples without fillers at the same temperature treatment. Then the comparison of the $\tan \delta$ value in the test results of several sample variations shows that the SiO₂ filled sample gets the best value because the $\tan \delta$ value is the lowest.

Keywords: *Rice Bran Oil, Titanium Dioxide, Silicon Dioxide, Dielectric Dissipation Factor*

DAFTAR ISI

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

2.2 Minyak Transformator	6
2.3 Minyak Mineral	7
2.4 Minyak Nabati	8
2.5 <i>Rice Bran Oil</i> (RBO)	8
2.6 <i>Titanium Dioxide</i> (TiO ₂)	9
2.7 <i>Silicon Dioxide</i> (SiO ₂)	10
2.8 Faktor Disipasi Dielektrik atau Tan δ (DDF).....	11
2.9 Penelitian Sebelumnya.....	15
BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL.....	22
3.1 Pendahuluan.....	22
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Diagram Alir Penelitian	24
3.4 Bahan dan Alat.....	26
3.4.1 Bahan.....	26
3.4.2 Alat	29
3.5 Pembuatan Sampel Uji.....	32
3.5.1 Proses Pembuatan Sampel Uji.....	32
3.5.2 Proses Perlakuan Sampel Uji	32
3.6 <i>Experimental Setup</i>	34
3.6.1 Sistem Elektroda.....	34
3.6.2 Rangkaian Pengujian.....	35
3.7 Prosedur Pengujian	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Umum	41
4.2 Data Hasil Pengujian	41
4.2.1 Data Hasil Pengujian Tan δ Tanpa Pengisi atau Kontrol	42
4.2.2 Data Hasil Pengujian Tan δ Berpengisi TiO ₂	43
4.2.3 Data Hasil Pengujian Tan δ Berpengisi SiO ₂	44
4.3 Diskusi	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kristal silika.....	10
Gambar 2.2 Vektor diagram sudut δ	12
Gambar 2.3 Rangkaian ekivalen $\tan \delta$	12
Gambar 2.4 Rangkaian dasar jembatan schering.....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3.2 Minyak nabati rice bran oil.....	26
Gambar 3.3 Titanium dioxide (TiO_2)	27
Gambar 3.4 Silicon dioxide (SiO_2)	28
Gambar 3.5 Samgor QS30A Semi-Automatic Measuring Bridge	29
Gambar 3.6 Neraca analitik tipe MH-03B.....	29
Gambar 3.7 Glass beaker.....	30
Gambar 3.8 Magnetic Stirrer tipe SH-3.....	30
Gambar 3.9 Bejana galvanis.....	31
Gambar 3.10 Conditioning temperature chamber	31
Gambar 3.11 Oven merek digimatic.....	31
Gambar 3.12 Alur proses pembuatan sampel uji.....	32
Gambar 3.13 Alur proses perlakuan sampel uji temperatur 25°C	33
Gambar 3.14 Alur proses perlakuan sampel uji temperatur 40°C & 80°C	33
Gambar 3.15 Desain sistem elektroda bola-bola pada Sketch-Up	34
Gambar 3.16 Sistem elektroda bola-bola.....	34
Gambar 3.17 Rangkaian pengujian $\tan \delta$	35
Gambar 3.18 Alat ukur $\tan \delta$ Samgor QS30A.....	36
Gambar 4.1 Perbandingan nilai $\tan \delta$ RBO kontrol.....	42
Gambar 4.2 Perbandingan nilai $\tan \delta$ RBO berpengisi TiO_2	43
Gambar 4.3 Perbandingan nilai $\tan \delta$ RBO berpengisi SiO_2	44
Gambar 4.4 Perbandingan nilai $\tan \delta$ RBO pada variasi sampel	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian sebelumnya	15
Tabel 3.1 Informasi kandungan unsur-unsur pada RBO <i>Oryza Grace</i>	26
Tabel 3.2 Karakteristik <i>titanium dioxide</i>	27
Tabel 3.3 Karakteristik <i>silicon dioxide</i>	28
Tabel 4.1 Data hasil pengujian $\tan \delta$ pada sampel RBO kontrol	42
Tabel 4.2 Data hasil pengujian $\tan \delta$ pada sampel RBO berpengisi TiO_2	43
Tabel 4.3 Data hasil pengujian $\tan \delta$ pada sampel RBO berpengisi SiO_2	44
Tabel 4.4 Perbandingan data hasil pengujian $\tan \delta$ pada variasi sampel	45

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	12
Persamaan 2.2	13
Persamaan 2.3	13
Persamaan 2.4	13

DAFTAR LAMPIRAN

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

NOMENKLATUR

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

DAFTAR ISTILAH

<i>Rice Bran Oil</i>	: Minyak dedak padi
<i>Blackout</i>	: Pemadaman total pada sistem
<i>Mineral Oil</i>	: Minyak mineral
<i>Natural Ester</i>	: Minyak nabati
<i>Biodegradable</i>	: Ramah lingkungan
<i>Dielectric Dissipation Factor</i>	: Sifat kelistrikan suatu bahan isolasi
<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>Polish</i>	: Bekatul padi
<i>Filler</i>	: Bahan pengisi
<i>Conditioning Temperature Chamber</i>	: Tempat pengkondisian temperatur

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik, transformator daya merupakan salah satu peralatan penting, terutama pada sistem transmisi dan sistem distribusi. Kegagalan dalam transformator dapat menyebabkan gangguan hingga pemadaman total (*blackout*) pada sistem tenaga listrik. Hamid *et al.* (2021) melaporkan bahwa pasca kegagalan transformator menunjukkan kegagalan isolasi merupakan salah satu penyebab dari kegagalan transformator [1].

Dalam transformator daya, terdapat dua material isolasi yang digunakan yaitu material isolasi cair dan padat. Salah satu contoh material isolasi cair adalah minyak mineral. Kumar *et al.* (2016) dalam penelitiannya menyatakan minyak mineral atau *mineral oil* (MO) yang berbahan dasar dari minyak bumi biasanya digunakan sebagai bahan isolasi dalam beberapa dekade terakhir [2]. Selain sebagai bahan isolasi, MO juga digunakan sebagai pendingin. MO telah digunakan sebagai isolasi cair pada transformator karena memiliki kinerja yang baik, akan tetapi minyak mineral memiliki kekurangan yaitu tidak dapat terurai secara alami (*non-biodegradable*). Kekhawatiran terhadap kelangkaan produk minyak bumi di masa depan mendorong para peneliti untuk mencari alternatif produk yang dapat menggantikan peran MO. Salah satunya adalah ester alami. Ester alami dapat berasal dari tanaman dan benih yang memiliki keunggulan yaitu ramah lingkungan dan ketersediaannya tidak terbatas [2].

Dalam beberapa tahun terakhir, minyak nabati diperkenalkan sebagai alternatif pengganti MO. Beberapa minyak nabati mempunyai titik nyala dan titik api yang tinggi dibandingkan dengan MO. Kemudian minyak nabati dapat terurai secara alami sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan

lingkungan dan tidak beracun bagi organisme dan manusia. Selain itu, keunggulan termofisika dan sifat dielektrik yang ditingkatkan dapat membantu mempercepat preferensi dalam menggunakan minyak nabati sebagai minyak transformator. Minyak nabati yang berpotensi dijadikan pertimbangan adalah *rice bran oil* (RBO) atau dikenal juga minyak dedak padi. RBO banyak digunakan di negara-negara Asia. RBO merupakan produk sampingan beras penggilingan yang diperoleh dari lapisan luar inti beras yang produksinya 6% - 8% dari beras padi. RBO dapat digunakan untuk beberapa keperluan seperti memasak, bahan bakar, dan biodiesel. Tetapi belum digunakan pada transformator hingga saat ini. Kemudian hanya sedikit penelitian yang dilakukan terhadap RBO terkait sifat fisik, kimia, dan sifat kelistrikannya [3].

Salah satu sifat kelistrikan yang berkaitan dengan isolasi adalah faktor disipasi dielektrik atau *dielectric dissipation factor* (DDF). Faktor disipasi dielektrik atau disebut juga $\tan \delta$ adalah ukuran total aliran arus yang mengalir melalui isolasi. Jika minyak isolasi bebas dari pengaruh seperti kelembaban, kontaminan dan oksidasi dalam minyak, hal itu menunjukkan sifat isolasi sempurna yaitu tidak ada arus yang mengalir melalui minyak [3].

M. H. A. Hamid *et al.* (2022) melaporkan RBO memiliki nilai faktor disipasi dielektrik yang lebih rendah dibandingkan dengan *palm oil* (PO) atau minyak kelapa sawit, akan tetapi nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan dengan MO. Tingginya nilai $\tan \delta$ minyak nabati disebabkan oleh struktur molekul minyak nabati yang mempunyai karakter sedikit lebih polar dibandingkan dengan MO. Nilai $\tan \delta$ yang rendah menunjukkan minyak isolasi yang sangat baik. Selain itu, nilai $\tan \delta$ sangat bergantung pada temperatur minyak isolasi, sehingga akan meningkat seiring meningkatnya temperatur tersebut [3].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, S. A. Khan *et al.* (2021) melakukan pencampuran nanopartikel TiO₂ ke dalam minyak ester sintetis yang dapat menurunkan nilai $\tan \delta$ lebih rendah daripada minyak ester sintetis murni [4]. Kemudian pada penelitian lainnya, S. A. Khan *et al.* (2021) melakukan pencampuran nanopartikel SiO₂ ke dalam MO yang dapat menurunkan nilai $\tan \delta$ lebih rendah daripada MO murni [5]. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel TiO₂ dan SiO₂ ke dalam minyak dasar isolasi memiliki pengaruh terhadap nilai $\tan \delta$ sehingga sifat isolasi meningkat dan dapat mengurangi rugi-rugi dielektrik.

Maka dari itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel terhadap nilai $\tan \delta$ pada campuran minyak nabati RBO dengan TiO₂ dan SiO₂ sebagai alternatif minyak transformator.

1.2 Rumusan Masalah

Kekuatan isolasi transformator akan semakin menurun seiring dengan lama waktu pemakaian diakibatkan karena adanya kombinasi tekanan listrik dan tekanan panas. Investigasi efek tersebut dalam keadaan operasi membutuhkan waktu yang sangat lama. Sifat listrik dan non-listrik seperti faktor disipasi diukur untuk menyelidiki kinerja isolasi dalam berbagai kondisi [2]. Kekhawatiran terhadap kelangkaan produk minyak bumi di masa depan mendorong para peneliti untuk mencari alternatif produk yang dapat menggantikan peran MO. Dalam beberapa tahun terakhir, minyak nabati diperkenalkan sebagai alternatif pengganti MO [2]. Upaya penyelidikan kinerja isolasi dengan pengukuran nilai $\tan \delta$ yang dilakukan pada penelitian sebelumnya menunjukkan penurunan nilai $\tan \delta$ pada isolasi minyak mineral dan minyak ester sintetis yang diberi pengisi TiO₂ dan SiO₂ [4][5].

Apabila campuran RBO dengan TiO_2 dan SiO_2 akan digunakan sebagai alternatif minyak isolasi transformator pada masa yang akan datang, maka nilai $\tan \delta$ harus tetap dalam nilai yang normal berdasarkan standar IEC 60247 dengan nilai $\leq 0,05$ untuk minyak nabati. Maka penelitian mengenai pengaruh campuran RBO dengan TiO_2 dan SiO_2 terhadap nilai $\tan \delta$ menjadi penting untuk dilakukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai $\tan \delta$ pada minyak nabati RBO yang diberi pengisi TiO_2 dan SiO_2 .
2. Mengetahui pengaruh perbedaan temperatur terhadap nilai $\tan \delta$ pada minyak nabati RBO yang diberi pengisi TiO_2 dan SiO_2 .
3. Mendapatkan perbandingan hasil nilai $\tan \delta$ pada minyak nabati RBO yang diberi pengisi TiO_2 dan SiO_2 .

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan adalah minyak nabati jenis *Rice Bran Oil* dengan merek dagang *Oryza Grace*.
2. Sampel pengujian yang diberi pengisi nanopartikel TiO_2 dan SiO_2 dilakukan dengan kadar berat pengisi pada setiap sampel sebesar 0,02 wt%. Kemudian juga dilakukan pengujian sampel tanpa pengisi nanopartikel yang bertujuan sebagai pembanding.
3. Pengujian perlakuan perbedaan temperatur pada sampel campuran RBO dengan TiO_2 dan SiO_2 dilakukan menggunakan temperatur 25°C, 40°C, dan 80°C.

4. Pengujian nilai $\tan \delta$ dilakukan menggunakan alat Samgor QS30A Semi-Automatic C, L & $\tan \delta / \cos \varphi$ Precision Measuring Bridge.

1.5 Hipotesis

Penambahan nanopartikel TiO_2 dan SiO_2 akan menurunkan nilai faktor disipasi dielektrik atau $\tan \delta$ pada bahan isolasi cair minyak nabati *rice bran oil*. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel TiO_2 dan SiO_2 dapat menekan aliran arus bocor secara signifikan sehingga sifat isolasi meningkat dan dapat mengurangi rugi-rugi dielektrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. A. Hamid *et al.*, ‘Lightning Impulse Breakdown Voltage of Rice Bran Oil for Transformer Application’, *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 5084, pp. 1–22, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14165084.
- [2] S. S. Kumar, M. W. Iruthayarajan, and M. Bakrtheen, ‘Investigations on the Suitability of Rice Bran Oil and Corn Oil as Alternative Insulating Liquids for Transformers’, *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 10–14, Jan. 2016, doi: 10.1002/tee.22182.
- [3] M. H. A. Hamid *et al.*, ‘Electrical Properties of Palm Oil and Rice Bran Oil Under AC Stress for Transformer Application’, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 11, pp. 9095–9105, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.02.049.
- [4] S. A. Khan, A. A. Khan, and M. Tariq, ‘Measurement of Tan-delta and DC Resistivity of Synthetic Ester Based Oil Filled with Fe₂O₃, TiO₂ and Al₂O₃ Nanoparticles’, *Smart Science*, vol. 9, no. 3, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1080/23080477.2021.1920130.
- [5] S. A. Khan, A. A. Khan, and M. Tariq, ‘Temperature Dependence of Relative Permittivity and Dielectric Dissipation Factor of Nano-modified Mineral Oil for Use as Insulating Liquids in Transformers’, in *2021 Electrical Insulation Conference (EIC)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 313–316. doi: 10.1109/EIC49891.2021.9612339.
- [6] R. Harianto, ‘Dampak Cairan Nanodielektrik Terhadap Minyak Dedak Padi Sebagai Alternatif Isolasi Cair Transformator’, Tesis, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2021.

- [7] J. M. Siburian and J. T. M. Buulolo, 'Studi Analisis Ketahanan Isolasi Pada Transformator Di Gardu Induk Labuhan', *Jurnal Darma Agung*, vol. 29, no. 3, pp. 499–510, 2021.
- [8] M. Hussain, F. A. Mir, and M. A. Ansari, 'Nanofluid Transformer Oil for Cooling and Insulating Applications: A Brief Review', Apr. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.apsadv.2022.100223.
- [9] F. R. A. Bukit, 'Analisis Kekuatan Dielektrik Minyak Campuran Metil Ester Bunga Matahari Sebagai Isolasi Cair Pada Transformator', *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, vol. 3, no. 01, pp. 1–7, 2021.
- [10] J. Singh, Y. R. Sood, and P. Verma, 'The Influence of Service Aging on Transformer Insulating Oil Parameters', *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 2, pp. 421–426, 2012.
- [11] A. Bin Afzal, Z. A. Noorden, and A. Bin Afzal, 'A Simulation Study on Electrical and Thermal Properties of Nanofluids Based Mineral Oils for Potential Transformer Applications', *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 6, pp. 2312–2319, Dec. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3206721.
- [12] P. Sun, W. Sima, D. Zhang, Q. Chen, L. Ye, and J. Chen, 'Effects of Impulse Waveform Parameters on the Breakdown Characteristics of Nano-TiO₂ Modified Transformer Oil', *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 5, pp. 1651–1659, Oct. 2018, doi: 10.1109/TDEI.2018.006967.
- [13] H. Cong, H. Shao, Y. Du, X. Hu, W. Zhao, and Q. Li, 'Influence of Nanoparticles on Long-Term Thermal Stability of Vegetable Insulating Oil', *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical*

- Insulation*, vol. 29, no. 5, pp. 1642–1650, Oct. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3190805.
- [14] T. Mariprasath and M. Ravindaran, ‘An Experimental Study of Partial Discharge Analysis on Environmental Friendly Insulating Oil as Alternate Insulating Material for Transformer’, *Sādhanā*, vol. 47, no. 204, pp. 1–13, 2022, doi: 10.1007/s12046-022-01946-8S.
- [15] M. A. Abid, I. Khan, Z. Ullah, K. Ullah, A. Haider, and S. M. Ali, ‘Dielectric and Thermal Performance Up-Gradation of Transformer Oil Using Valuable Nano-Particles’, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 153509–153518, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2948959.
- [16] A. Beroual and U. Khaled, ‘Statistical Investigation of Lightning Impulse Breakdown Voltage of Natural and Synthetic Ester Oils-Based Fe₃O₄, Al₂O₃ and SiO₂ Nanofluids’, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 112615–112623, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3003246.
- [17] Z. B. Siddique, S. Basu, and P. Basak, ‘Aging of Transformer Pressboard Impregnated With Conductive and Semi-Conductive Nanoparticles Dispersed Soyabean Oil Blend’, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 29, no. 6, pp. 2340–2347, Dec. 2022, doi: 10.1109/TDEI.2022.3201441.
- [18] H. Sa’diyah, S. Nurhimawan, S. A. Fatoni, I. Irmansyah, and I. Irzaman, ‘Ekstraksi Silikon Dioksida Dari Daun Bambu’, in *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, Universitas Negeri Jakarta, 2016, pp. 13–16. doi: 10.21009/0305020303.
- [19] A. Beroual and U. Khaled, ‘Effect of Nanoparticles’ Mixtures on AC Breakdown Voltage of Mineral Oil’, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 28, no. 4, pp. 1216–1222, Aug. 2021, doi: 10.1109/TDEI.2021.009545.

- [20] U. Sur, 'A Modified Dielectric Dissipation Factor Measurement Technique for Transformer Insulating Oil', *Meas Sci Technol*, vol. 33, no. 9, pp. 1–9, Sep. 2022, doi: 10.1088/1361-6501/ac7634.
- [21] S. HS, E. P. Sinulingga, H. P. Nugroho, and A. Nasution, 'Diagnosis of Transformer Isolation Using Dielectric Dissipation Factor (Tan Delta) and Insulation Resistance: A Review Study', in *2021 5th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2021, pp. 1–4. doi: 10.1109/ELTICOM53303.2021.9590184.
- [22] F. H. Kreuger, *Industrial High Voltage*. Delft: Delft Univeristy Press, 1992.
- [23] L. Septya Mahendra, Zulkifli, B. Herwono, Y. Anggraini, E. Nafiatus Solikhah, and K. Nisa, 'Analisis Kondisi Belitan Stator Generator Melalui Pengujian Indeks Polarisasi Dan Tan Delta (Dissipation Factor)', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 5, no. 2, pp. 244–251, Aug. 2023, doi: 10.32528/elkom.v5i2.12716.
- [24] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, *High Voltage Engineering : Fundamentals*, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, 2000.
- [25] M. Kanno, N. Oota, T. Suzuki, and T. Ishii, 'Changes in ECT and Dielectric Dissipation Factor of Insulating Oils Due to Aging in Oxygen', *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 8, no. 6, pp. 1048–1053, 2001.
- [26] M. Meira, R. E. Alvarez, C. J. Verucchi, and H. Mayora, 'Monitoring of the Dielectric Dissipation Factor During Oil Reconditioning Process for Transformer Drying', in *2021 Electrical Insulation Conference (EIC)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 128–131. doi: 10.1109/EIC49891.2021.9612247.

- [27] W. Bassi and H. Tatizawa, 'Conductivity and Dielectric Dissipation Factor ($\tan \delta$) Measurements of Insulating Oils of New and Aged Power Transformers— Comparison of Results Between Portable Square Wave and Conventional Bridge Methods', *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 37, no. 5, pp. 14–25, 2021.
- [28] P. Livesey, M. Lashbrook, and R. Martin, 'Investigation of the Factors Affecting the Dielectric Dissipation Factor of Synthetic and Natural Esters', in *2019 IEEE 20th International Conference on Dielectric Liquid (ICDL)*, Roma, Jun. 2019, pp. 1–4.