

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO TERHADAP
PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA SAWIT RBDPO
OLEIN MENGGUNAKAN ELEKTRODA BOLA-BOLA**



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :
RIZKI ADITAMA
03041281520106

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO TERHADAP
PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK RBDPO OLEIN
MENGGUNAKAN ELEKTRODA BOLA-BOLA**



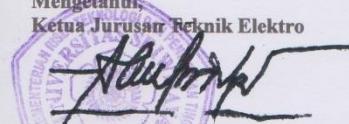
**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

RIZKI ADITAMA

03041281520106

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

Indralaya, 25 Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama



Ir. Ansвори, M.T.
NIP. 195708311987031001

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa Saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kuantitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan

Pembimbing Utama : Ir. Ansyori, M.T.

Tanggal

: 25 / Feb / 2019

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rizki Aditama
NIM : 03041281520106
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul "PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO TERHADAP PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN ELEKTRODA BOLA-BOLA" merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya 25 Juli 2019



Rizki Aditama

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah S atas rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO TERHADAP PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK KELAPA SAWIT MINYAK KELAPA SAWIT RBDPO OLEIN MENGGUNAKAN ELKTRODA BOLA BOLA”. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW, beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua, Ayah Asuluddin dan Ibu Sardianah, saudari-saudari Electrina Rahmdani dan Hilda Lestrai, beserta keluarga besar yang telah mendukung penulis pada proses perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D yang telah memberi banyak arahan kepada penulis selama proses perkuliahan.
3. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Ir. Ansyori, M.T. yang telah membimbing penulis dalam penyelesaian penulisan tugas akhir.
4. Dosen pembimbing akademik Ibu Desi Windisari, S.T, M.Eng., yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam pengambilan mata kuliah.
5. Guru halaqah penulis, Bapak Reza Firsandya Malik yang telah banyak memberikan ilmu serta motivasi selama masa kuliah berlangsung.
6. Teman teman VIP Class, Ruly, Rhedo, As’at, Utak, Sahab, Berto, Aldo, RD, Asyef.
7. Grup positif penulis, Menjalin Ukhwah, Pembangkit Islami, IMMETA Sumsel, Muhasabah Squad, dan RPS Affection.

8. Teman teman satu pembimbing penulis, Sanny, Johan, Ana, Kak Samuel, Kak Odi, Kak rudi, Kak jhon yang selama ini saling mendukung terselesaikannya tugas akhir ini.
9. Teman yang telah banyak membantu meminjamkan keyboard laptopnya, Adnan Brilian.
10. Teman seperjuangan elektro 2015.

Indralaya, 25 Juli 2019



Penulis

ABSTRAK

Minyak isolasi merupakan salah satu bagian yang sangat penting pada transformator. Minyak isolasi yang digunakan pada masa sekarang ini sebagian besar bahan utamanya berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan, dengan limbah yang sulit terurai. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari alternatif minyak isolasi dengan menggunakan minyak nabati yang ramah lingkungan. Salah satu penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan minyak kelapa sawit RBDPO Olein. Penelitian yang dilakukan ini menggunakan minyak kelapa sawit RBDPO Olein dengan penambahan *Zinc Oxide (ZnO)* yang bertujuan meningkatkan performa dari minyak nabati sebagai alternatif minyak isolasi. Pembahasan dilakukan mencakup tegangan tembus, viskositas, kadar air, dan titik nyala. Penambahan konsentrasi *Zinc Oxide (ZnO)* 0,025%, 0,05% dan 0,075%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terjadi kenaikan tegangan tembus yang paling optimal pada konsentrasi penambahan 0,05% dengan kenaikan terbesar 47,37%. Nilai viskositas mengalami kenaikan terhadap penambahan konsentrasi *Zinc Oxide (ZnO)*. Serta nilai titik nyala dan kadar air mengalami penurunan terhadap penambahan konsentrasi *Zinc Oxide (ZnO)*.

Kata Kunci: Minyak kelapa sawit, *Zinc Oxide*, Tegangan Tembus, Viskositas, Kadar Air, Titik Nyala

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Indralaya, Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama


Ir. Ansvori, M.T.
NIP. 195708311987031001

ABSTRACT

Insulation oil is one of the most important parts of the transformer. Insulation oil used in the present day most of the main material comes from non-renewable petroleum, with waste that is difficult to decompose. Several studies have been conducted to find alternative insulation oils using environmentally friendly vegetable oils. One of the studies has been carried out using RBDPO Olein palm oil. This research uses palm oil RBDPO Olein with the addition of *Zinc Oxide* (ZnO) which aims to improve the performance of vegetable oils as an alternative to insulating oil. The discussion included breakdown stress, viscosity, water content, and flash point. The addition of *Zinc Oxide* (ZnO) concentration was 0.025%, 0.05% and 0.075%. Based on the research that has been done, there is an increase in the most optimal breakdown voltage at an additional concentration of 0.05% with the largest increase of 47,37%. The viscosity value increases with the addition of *Zinc Oxide* (ZnO) concentration. As well as the flash point and water content values decreased with the addition of *Zinc Oxide* (ZnO) concentrations.

Keywords: Palm oil, *Zinc Oxide*, Breakdown Voltage, Viscosity, Water Content, Flash Point



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

Indralaya, Juli 2019
Menyetujui,
Pembimbing Utama

Ir. Ansyori, M.T.
NIP. 195708311987031001

DAFTAR ISI

COVER SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	ii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Ruang Lingkup Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	Error! Bookmark not defined.
TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Minyak Isolasi	Error! Bookmark not defined.
2.2 Syarat – Syarat Minyak Isolasi[13]	Error! Bookmark not defined.
2.3 Jenis-Jenis Minyak Isolasi[14]	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Minyak Isolasi Mineral	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Minyak Isolasi Sintesis	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 Minyak Isolasi Nabati.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 <i>Zinc Oxide (ZnO)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5 Dielektrik.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi	Error! Bookmark not defined.
2.7 Teori Kegagalan Isolasi Cair	Error! Bookmark not defined.
2.8 Standarisasi Minyak Isolasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.9 Penelitian terdahulu	Error! Bookmark not defined.
BAB III.....	Error! Bookmark not defined.

METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1. Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2 Waktu Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Peralatan dan Bahan.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1 Kotak Uji.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2 Minyak kelapa sawit	Error! Bookmark not defined.
3.3.3 <i>Hot Plate</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.4 Rangkaian Pembangkitan dan Pengukuran Tegangan Tinggi AC Error! Bookmark not defined.	
3.3.5 <i>High Voltage Testing Unit</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.6 Kabel Penghubung	Error! Bookmark not defined.
3.3.7 <i>Viscometer Bath</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.8 Oven.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.9 <i>Heater Flash Point</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.10 <i>Zinc Oxide</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.11 <i>SketchUp</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.12 Origin	Error! Bookmark not defined.
3.4 Tahapan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.1 Studi Literatur.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2 Studi Bimbingan	Error! Bookmark not defined.
3.4.3 Pengumpulan Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.4.4 Perancangan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.5 Pengolahan Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB 4	Error! Bookmark not defined.
HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Pendahuluan	Error! Bookmark not defined.
4.2 Pengukuran Tegangan Tembus	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Analisa Tegangan Tembus Setiap Pengujian....	Error! Bookmark not defined.
4.2.3 Pengaruh Penambahan <i>Zinc Oxide</i> (<i>ZnO</i>).....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pengukuran Viskositas.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Pengukuran Titik Nyala	Error! Bookmark not defined.
4.5 Pengukuran Kadar Air	Error! Bookmark not defined.

BAB 5	Error! Bookmark not defined.
KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	6
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batasan Minyak Isolasi Baru IEC 60296 - 2003.....	14
Tabel 2.2. Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3.1. Sampel Uji Penelitian	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Kotak Uji.....	18
Gambar 3.2. Minyak Kelapa Sawit (RBDPO Olein).....	18
Gambar 3.3. <i>Hot Plate</i>	19
Gambar 3.4. Rangkain Pembangkit dan Pengukuran Tegangan Tinggi AC.....	20
Gambar 3.5. High Volatge Testing Unit.....	20
Gambar 3.6. Kabel Penghubung.....	21
Gambar 3.7. <i>Viscometer Bath</i>	21
Gambar 3.8. Oven.....	22
Gambar 3.9. <i>Heater Flash Point</i>	23
Gambar 3.10. <i>Zinc Oxide</i>	23
Gambar 3.11. Diagram Alur Proses Pencampuran Minyak.....	25
Gambar 3.12. Kotak Uji dan Elektroda Uji.....	28
Gambar 3.13. Kotak Uji dan Elektroda Uji dalam Bentuk 3D.....	28
Gambar 3.14. Diagram Alir Pengujian.....	32
Gambar 4.1. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 30° C.....	34
Gambar 4.2. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 40° C.....	35
Gambar 4.3. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 50° C.....	35
Gambar 4.4. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 60° C.....	36
Gambar 4.5. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 70° C.....	36
Gambar 4.6. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 80° C.....	37
Gambar 4.7. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 90° C.....	37
Gambar 4.8. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 100° C.....	38
Gambar 4.9. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 110° C.....	38
Gambar 4.10. Pengujian Tegangan Tembus Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein pada Suhu 120° C.....	39
Gambar 4.11. Grafik Pengaruh Penambahan Zinc Oxide (ZnO) terhadap Tegangan Tembus Minyak kelapa sawit Minyak kelapa sawit RBDPO Olein.....	40

Gambar 4.12. Data Tegangan Tembus minyak kelapa sawit RBDPO Olein murni[25].....	40
Gambar 4.13. Grafik Kenaikan Tegangan Tembus Setelah Ditambah Zinc Oxide (ZnO).....	41
Gambar 4.14. Nilai Viskositas Kinematik 40° pada minyak kelapa sawit RBDPO Olein dengan Konsentrasi Penambahan Zinc Oxide (ZnO).....	43
Gambar 4.15. Nilai Pengujian Titik Nyala pada Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein.....	44
Gambar 4.16. Nilai Kadar Air yang Terkandung Dalam Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman, penggunaan akan teknologi begitu maju. Dimana kemajuan teknologi ini mengakibatkan kebutuhan akan listrik meningkat, dikarenakan penggunaan alat-alat yang menggunakan listrik dalam membantu kerja manusia. Pada sektor rumah tangga listrik dapat membantu dalam berbagai kegiatan penerangan perkebunan dan lain sebagainya. Pada sektor industri, listrik berguna dalam pengoperasian mesin-mesin operasi dan penerangan. Dan pada sektor pelayanan masyarakat, listrik membantu dalam penggunaan alat medis, penerangan jalan dan kebutuhan perkantoran layanan publik.

Pada sistem tenaga listrik, untuk dapat membangkitkan listrik dari pembangkit sampai kepada konsumen diperlukan peralatan-peralatan listrik, salah satu dari perlengkapan tersebut adalah transformator. Dimana transformator adalah alat listrik yang berfungsi memindahkan energi dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Pada transformator terdapat bagian-bagian utama, salah satu bagian utama transformator adalah isolator[1].

Salah satu jenis isolator yang digunakan pada transformator adalah minyak isolasi. Minyak isolasi yang digunakan pada masa sekarang ini sebagian besar bahan utamanya berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan[2].

Dengan keadaan lingkungan saat ini, dimana efek pemanasan global meningkat, dituntut penggunaan suatu produk yang aman dan ramah lingkungan. Sehingga diperlukannya penggunaan isolasi yang aman dan ramah terhadap lingkungan serta mudah terurai dengan tanah dengan pencemaran lingkungan yang sedikit. Dilihat dari faktor lingkungan, maka minyak nabati merupakan produk alternatif yang kemungkinan mampu menjadi isolasi cair pada transformator[3].

Dalam penelitiannya, Elia et al[4], berpendapat bahwa minyak nabati telah layak untuk dijadikan alternatif minyak isolasi cair. Dimana karakteristik yang ada pada minyak nabati telah memenuhi standar kelayakan minyak isolasi.

Minyak nabati yang direkomendasikan untuk diteliti sebagai minyak isolasi cair yaitu minyak kelapa sawit dengan pertimbangan ketersediaan minyak kelapa sawit di indonesia[5]. Dari beberapa jenis minyak kelapa sawit, minyak kelapa sawit jenis RBDPO Olein paling baik dijadikan minyak isolasi cair dikarenakan asam lemak *monounsaturated* yang terkandung pada jenis RBDPO Olein cukup tinggi[6]. Kekuatan dielektrik dari minyak kelapa sawit RBDPO Olein cukup tinggi[7]. Namun, kekuatan dielektrik minyak kelapa sawit RBDPO Olein masih mempunyai kemungkinan untuk ditingkatkan dengan penambahan nanopartikel kedalam minyak kelapa sawit RBDPO Olein menjadi nanofluida

Penelitian tentang nanofluida berbasis minyak transformator menunjukkan bahwa sebagian dari nanofluida memiliki kekuatan dielektrik lebih besar daripada minyak transformator pada umumnya[8].

1.2 Perumusan Masalah

Kegagalan isolasi yang terjadi pada transformator mampunyaii dampak yang buruk pada sistem kelistrikan. Beberapa dampak buruk terjadi kegagalan isolasi yaitu pasokan listrik ke konsumen mengalami pemadaman dan memberikan kerugian kuangan pada penyedia layanan listrik untuk perbaikan transformator.

Beberapa penelitian tentang minyak isolasi telah dilakukan untuk meningkatkan performa dari minyak isolasi. dalam salah satu penelitian, penambahan nanopartikel pada minyak isolasi mineral memberikan peningkatan tegangan tembus [9]. beberapa contoh nanopartikel yang dapat digunakan untuk perbaikan tegangan tembus yaitu *Titanium Dioxide*, *Zinc Oxide*, *Copper Oksida*[10].

Penelitian lebih lanjut tentang pencampuran *Zinc Oksia (ZnO)* dengan minyak nabati sebagai bahan penelitian belum dilakukan secara intensif. Oleh sebab itu, akan dilakukan penelitian membahas mengenai nilai tegangan tembus dari minyak kelapa sawit dengan penambahan *Zinc Oxide (ZnO)* serta mengetahui pengaruh penambahan *Zinc Oxide (ZnO)* terhadap viskositas, titik nyala dan kadar air untuk suatu minyak isolasi layak menjadi alternatif minyak isolasi cair pada transformator.

1.3 Tujuan Penulisan

Yang menjadi tujuan dari penulisan ini, yaitu :

1. Mengetahui pengaruh penambahan *Zinc Oxide (ZnO)* terhadap tegangan tembus minyak kelapa sawit RBDPO Olein.
2. Mengetahui kadar penambahan konsentrasi yang paling optimum untuk campuran minyak kelapa sawit Minyak kelapa sawit RBDPO Olein dengan *Zinc Oxide (ZnO)*.
3. Mengetahui pengaruh dari penambahan *Zinc Oxide (ZnO)* terhadap viskositas, titik nyala dan kadar air pada minyak kelapa sawit.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan dari skripsi ini, penulis membatasi masalah yang dibahas agar hasil pembahasan yang dicapai tidak jauh menyimpang dari tujuan ditulisnya skripsi ini, maka batasan masalahnya adalah:

1. Sampel yang digunakan yaitu minyak kelapa sawit RBDPO Olein.
2. Minyak kelapa sawit yang digunakan di tambahkan dengan *Zinc Oxide (ZnO)* dengan konsentrasi penambahannya 0.025%, 0.05%. 0.075%
3. Pengujian yang dilakukan terdiri dari tegangan tembus, viskositas, titik nyala dan kadar air.
4. Tidak membahas pengaruh pemanasan terhadap sampel uji.

5. Pengujian dilakukan setiap kenaikan suhu 10° dimulai pada suhu $30^{\circ} - 120^{\circ}$ C.
6. Pengujian tegangan tembus mengacu pada standar IEC 156.
7. Pengujian titik nyala menggunakan ISO 2719.
8. Pengujian viskositas menggunakan ISO 3104.
9. Pengujian kadar air menggunakan metode Gravimetri.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada Penulisan Tugas Akhir ini memiliki sistematika yang sebagai terdiri dari lima bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan penjelasan-penjelasan awal mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, ruang lingkup penulisan, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini membahas tentang pengertian dielektrik, minyak isolasi, minyak kelapa sawit, tegangan tembus, viskositas dan titik nyala sehingga dapat membantu memberi informasi untuk pembaca.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini menerangkan tentang cara pengujian dan pengukuran tegangan tembus, viskositas dan titik nyala.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisa penelitian dan pembahasan sehingga dapat diketahui kelayakan minyak kelapa sawit sebagai alternatif isolatif cair pada transformator.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi bagian penutup yang merupakan kesimpulan dari hasil dan pembahasan penlitian serta saran saran yang diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi sumber sumber referensi yang digunakan selama proses penulisan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Memuat lampiran gambar, rumus-rumus, tabel yang berhubungan dengan isi laporan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hermawan, A. Syakur, dan I. Iryanto, “Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pembebatan Dan Penuaan,” *TEKNIK*, vol. 32, no. 3, 2011.
- [2] E. P. Raharjo, “Evaluasi Kandungan Gas (Dga) Dengan Metode Kromatografi Gas Terhadap Nilai Yang Telah Melalui Proses,” *Mikrotiga*, vol. 1, no. 3, hal. 23–31, 2014.
- [3] N. Asmani, “Kelapa sawit komoditas unggulan sumatera selatan yang ramah lingkungan,” *Makalah Seminar Pelantikan Pengurus Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (Gapki) Sumatera Selatan*, vol. 1, hal. 1–7, 2014.
- [4] E. Krismiandaru, A. Syakur, dan M. Facta, “Uji Tegangan Tembus Arus Bolak-Balik Pada Minyak Jarak Sebagai Alternatif Isolasi Cair,” *Skripsi Teknik Elektro, Univ Diponegoro*, 2016.
- [5] A. Rajab, “Evaluasi Sifat Listrik Minyak Kelapa Sawit RBDPO Olein Sebagai Kandidat Minyak Isolasi Transformator Ramah Lingkungan,” *TeknikA*, vol. 1, no. 28, hal. 26–29, 2007.
- [6] A. Rajab, Suwarno, dan S. A. Aminuddin, “Properties of RBDPO oleum as a candidate of palm based-transformer insulating liquid,” *Proc. 2009 Int. Conf. Electr. Eng. Informatics, ICEEI 2009*, vol. 2, no. August, hal. 548–552, 2009.
- [7] S. Aditama, “Dielectric properties of palm oils as liquid insulating materials: effects of fat content,” *Proc. 2005 Int. Symposium on Electrical Insulating Materials*, hal. 91-94 Vol. 1, 2005.
- [8] Y. A. O. Li, G. J. Chan, J. Chen, L. I. Min, dan H. U. Yi, “Study on Viscosity Behavior of Fe 3 O 4,” *Int. Conf on High Voltage Engineering and Application* hal. hal 2–5, 2012.
- [9] M. Bin Yahya dan R. M. K. R. Chik, “Study on breakdown voltage for vegetable oils with additive TiO2,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 12, no. 1, hal. 175–181, 2018.
- [10] H. Jin, "Dielectric Strength and Thermal Conductivity of Mineral Oil based Nanofluids," *Disertasi, Master of Electrical Engineering, Delft University of Technology, the Netherlands* 2015.
- [11] A. Chumaidy, “Analisis kegagalan minyak isolasi pada transformator daya berbasis kandungan gas terlarut,” *Bina_teknika.*, vol 8, no 1, hal. 41–54, 2012.
- [12] S. Panggabean, “Berbagai Minyak Isolasi Transformator : Program Pendidikan Sarjana Ekstensi (Gulf , Nynas , Shell Diala B Dan Total),”

skripsi Fak. Tek. elektro, Univ USU, 2008.

- [13] H. Sayogi, “Anallisa Mekanisme Kegagalan Isolasi pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbea pada Jarum-Bidang,” *Semarang Tek. Elektro, Univ. Diponegoro*.
- [14] I. N. Anggraini, M. K. A. Rosa, dan Diana, “Analisa Tegangan Tembus Minyak Nabati Dengan Perlakuan Pemanasan Berulang,” *Bengkulu Progr. Stud. Tek. Elektro, Univ. Bengkulu*, 2015.
- [15] N. Pasaribu, “Minyak Buah Kelapa Sawit,” *e-USU Repository*, hal. 1–8, 2004.
- [16] S. Alfarisa, D. A. Rifai, dan P. L. Toruan, “Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Zinc Oxide (ZnO) X-ray Diffraction Study on ZnO Nanostructures,” vol. 2, no. 2, hal. 53–57, 2018.
- [17] R. K. Putra dan F. Murdiya, “Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (Jatropha curcas) Sebagai Alternatif Isolasi Cair,” vol. 4, 2017.
- [18] S. Abduh, *Teori Kegagalan Isolasi*. Universitas Trisakti, 2003.
- [19] C. S. Association, “international Electrotechnical Commission 60296,” 2003.
- [20] C. Olmo, I. Fernandez, F. Ortiz, C. J. Renedo, dan S. Perez, “Dielectric properties enhancement of vegetal transformer oil with TiO₂, CuO and ZnO nanoparticles,” *Int. Conf. Renew. Energies Power Qual.*, vol. 1, no. 16, hal. 623–627, 2018.
- [21] M. S. Sulemani, A. Majid, F. Khan, N. Ahmad, M. A. Abid, dan I. U. Khan, “Effect of nanoparticles on breakdown, aging and other properties of vegetable oil,” *Proc. - 2018, IEEE 1st Int. Conf. Power, Energy Smart Grid, ICPESG 2018*, no. May, hal. 1–6, 2018.
- [22] R. Setiawan dan F. Murdiya, “Perancangan Alat dan Pengujian Tegangan Tembus dengan Minyak Isolasi RBDPO Olein Menggunakan Elektroda Bola-Bola,” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, hal. 1–14, 2017.
- [23] A. Fallah-Shojaie, A. Tavakoli, M. Ghomashpasand, dan S. Hoseinzadeh, “Experimental evaluation on the dielectric breakdown voltage of fresh and used transformer oil mixed with titanium dioxide nanoparticles in the Gilan electrical distribution company,” *2013 21st Iran. Conf. Electr. Eng. ICEE 2013*, vol. c, hal. 13–16, 2013.
- [24] M. Abu Bakar Sidik dan Zubaida, “Efek Penambahan Nano-Filler Silica Treated By Silane Pada Minyak Rbdpo Olein Dan Oleum Maydis,” *mikrotiga*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [25] P. O. Wijaya, “Penelitian Tegangan Tembus , Viskositas, Titik Nyala, dan Kadar Air,” Indralaya, 2019.

- [26] W. Saenkhumwong dan A. Suksri, “Engineering and Applied Science Research The improved dielectric properties of natural ester oil by using ZnO and TiO₂ nanoparticles,” *Engineering and Applied Science Research*, vol. 44, no. September, hal. 148–153, 2017.
- [27] G. Rika Ritonga dan Yulian, “Studi titik nyala(flash point) pada minyak biodiesel ditambah cpo menggunakan alat pensky martyne closed tester di laboratorium proses industri kimia di kampus ptki medan,” *Jur. teknik kimia industri, Politeknik teknologi kimia industri medan*, 2015.
- [28] A. Windarto, Suharyanto, dan T. Haryono, “Pengaruh Kadar Air terhadap Karakteristik Tegangan,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 2, hal. 2–5, 2015.

