

SKRIPSI

KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *VIRGIN COCONUT OIL* DENGAN PENAMBAHAN SILIKON DIOKSIDA NANOPARTIKEL DIBAWAH APLIKASI TEGANGAN TINGGI AC



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

Oleh:

MUHAMMAD FIKRI IZDIHAR
NIM 03041281621062

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2020

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *VIRGIN COCONUT OIL*
DENGAN PENAMBAHAN SILIKON DIOKSIDA NANOPARTIKEL
DIBAWAH APLIKASI TEGANGAN TINGGI AC**

Oleh :
MUHAMMAD FIKRI IZDIHAR
NIM 03041281621062

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Indralaya, Agustus 2020
Ketua Jurusan Teknik Elektro,


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031605

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *VIRGIN COCONUT OIL*
DENGAN PENAMBAHAN SILIKON DIOKSIDA NANOPARTIKEL
DIBAWAH APLIKASI TEGANGAN TINGGI AC**

**Oleh :
MUHAMMAD FIKRI IZDIHAR
NIM 03041281621062**

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

**Indralaya, Agustus 2020
Dosen Pembimbing Utama,**



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Muhammad Fikri Izdihar
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281621062
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Persentase Plagiarisme
(Turnitin) : 17 %

Menyatakan bahwa

Karya Ilmiah berupa skripsi dengan judul "*Karakteristik Tegangan Tembus Pada Virgin Coconut Oil Dengan Penambahan Silikon Dioksida Nanopartikel Dibawah Aplikasi Tegangan Tinggi AC*" merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya.

Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini terbukti 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 keadaan sadar dan tanpa paksaan

Indralaya, Agustus 2020

Yang Menyatakan,



Muhammad Fikri Izdihar

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 : _____

Tanggal : _____ / _____ / _____

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan judul “Karakteristik Tegangan Tembus Pada Virgin Coconut Oil Dengan Penambahan Silikon Dioksida Nanopartikel Dibawah Aplikasi Tegangan Tinggi AC”.

Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan pendidikan di Universitas Sriwijaya. Dalam proses penyusunan skripsi ini penulis mengalami kesulitan dan penulis tidak akan bisa menyelesaikan skripsi ini tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Semoga skripsi yang sederhana ini bermanfaat bagi para pembaca dan menjadi ladang ilmu khususnya bagi bidang ilmu teknik elektro.

Palembang, Agustus 2020

Muhammad Fikri Izdihar

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya Ilmiah skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

- ✓ Kedua orang tua saya Zahwani dan Rita, serta kedua Adik saya (Nashwa Zahri Wardah dan Muhammad Riza Dzakwan), dan juga seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan untuk kesuksesan pendidikan saya ;
- ✓ Dosen Pembimbing Ibu Ir. Hj Dwirina Yuniarti, M.T.;
- ✓ Rektor Unsri Prof. Dr. Ir. H Anis Saggaf, MSCE dan Dekan Fakultas Teknik Prof. Ir Subriyer Nasir, M.S, Ph.D.;
- ✓ Ketua Jurusan Teknik Elektro Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng, Ph.D. dan Dosen Pembimbing Akademik Ir. Armin Sofijan, MT;
- ✓ Bapak Prof. Ir H. Zainuddin Nawawi, Ph.D. dan seluruh dosen teknik elektro yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran sampai selesainya skripsi ini;
- ✓ Pranata, Senior dan semua Rekan Sejawat di Laboratorium *Safety and Energy* Universitas Sriwijaya : Dr. Syarifah Fitria, S.T., Lukmanul Hakim, S.T. , Kak Intan Dwi, Mba Intan Mustika, kak Ferlian, Kak Rafi, Gilang, Gustira, Gomgom, Addien, Zen, Ejak, Noval, Yadi, Firhan;
- ✓ Pihak-pihak yang telah membantu selama saya melaksanakan yang tidak dapat saya tuliskan satu persatu

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : M. Fikri Izdihar
NIM : 03041281621062
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

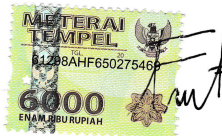
Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Karakteristik Tegangan Tembus Pada Virgin Coconut Oil Dengan Penambahan Silikon Dioksida Nanopartikel Dibawah Aplikasi Tegangan Tinggi AC” 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.

Dibuat di : Palembang
Pada tanggal : Agustus 2010

Yang menyatakan,



M. Fikri Izdihar

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TEGANGAN TEMBUS PADA *VIRGIN COCONUT OIL* DENGAN PENAMBAHAN SILIKON DIOKSIDA NANOPARTIKEL DIBAWAH APLIKASI TEGANGAN TINGGI AC

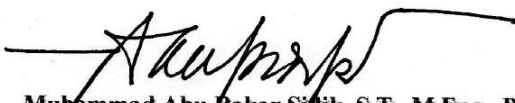
(Muhammad Fikri Izdihar, 03041281621062, 2020, 43 Hal + Lampiran)

Virgin Coconut Oil (VCO) yang umumnya digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, juga dapat dijadikan sebagai alternatif minyak transformator. VCO komersil yang umum beredar di pasaran belum memenuhi standar untuk digunakan langsung sebagai minyak transformator, khususnya dilihat dari parameter kekuatan tembus tegangan. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya meningkatkan kekuatan tembus VCO dengan cara penambahan silikon dioksida nanopartikel sebagai bahan pencampur. Variasi konsentrasi silika yang diberikan adalah 0, 0.25, 0.5, 0.75 dan 1 wt.%. Pengujian menggunakan sistem elektroda bola-bola ukuran 20 mm pada sela 1 mm dengan aplikasi tegangan tinggi AC yang dinaikkan secara perlahan sampai terjadi *Breakdown* pada sela. Hasil yang diperoleh untuk masing-masing konsentrasi campuran wt% SiO₂ 0, 0.25, 0.5, 0.75 dan 1 secara berturut-turut masing-masing adalah 2.34 kV, 2.66 kV, 3.18 kV, 2.63 kV dan 2.33 kV. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa penambahan silikon dioksida nanopartikel dapat meningkatkan kekuatan tembus VCO sampai konsentrasi 0.5 wt.%. Untuk konsentrasi lebih dari 0.75 wt.% tegangan tembus yang terjadi mengalami penurunan walaupun lebih besar dari nilai tembus untuk VCO tanpa diberi campuran SiO₂. Semakin banyak bahan pengisi akan mengakibatkan nilai tahanan tegangan tembus dari VCO menjadi lebih rendah.

Kata Kunci : *Virgin Coconut Oil*, Silikon Dioksida, Tegangan Tembus

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama,



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



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

ABSTRACT

BREAKDOWN VOLTAGE CHARACTERISTICS OF VIRGIN COCONUT OIL WITH FILLER SILICON DIOXIDE UNDER HVAC APPLICATION

(Muhammad Fikri Izdihar, 03041281621062, 2020, xix + 43 Pages + Appendices)

Virgin Coconut Oil (VCO) which is generally used for household needs, it can be used for transformer oil alternative. VCO does not yet meet the standards for direct use as transformer oil, especially in the parameter of breakdown voltage. Addition of silicon dioxide nanoparticle as a filler may increase the breakdown voltage resistance of VCO. The concentration of silicon dioxide for VCO is 0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1 wt.%. By mixing silicon dioxide and virgin coconut oil then tested it on the ball electrode with 20 mm diameter and 1 mm gap between two electrode. And by providing High Voltage Alternating Current until breakdown voltage occurred. The results showed for every concentration of silica in VCO is 0 wt.% was 2.34 kV, 0.25 wt.% was 2.66 kV, 0.5 wt.% was 3.18 kV, 0.75 wt.% was 2.63 kV and for the 1 wt.% was 2.33 kV. The result from the experiment showed that the addition of SiO₂ to VCO can increased the breakdown voltage resistance of VCO until 0.5 wt.%. For more than 0.75 wt.% addition of SiO₂ to VCO the breakdown voltage is decreased although more than breakdown voltage of VCO without addition of SiO₂.

Keywords : Virgin Coconut Oil, Silicon Dioxide, Breakdown Voltage

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



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

**Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama,**



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

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
NOMENKLATUR	xviii
DAFTAR ISTILAH.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Batasan masalah.....	3
1.5 Sistematika penulisan.....	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Isolasi cair	6
2.2	Jenis – jenis isolasi cair	7
2.2.1	Minyak mineral	7
2.2.2	Minyak nabati	7
2.3	Minyak kelapa	8
2.3.1	Virgin coconut oil	8
2.3.2	Minyak kopra	9
2.3.3	Minyak RBD	10
2.4	Silikon dioksida	10
2.5	Tegangan tembus	11
2.5.1	Tegangan tembus zat murni	11
2.5.2	Tegangan tembus disebabkan oleh gelembung udara	12
2.5.3	Tegangan tembus bola cair	13
2.5.4	Tegangan tembus disebabkan oleh butiran padat	13
2.6	Penelitian sebelumnya	14
BAB III		16
METODOLOGI PENELITIAN		16
3.1	Pendahuluan	16
3.2	Diagram alir penelitian eksperimental di laboratorium	17
3.3	<i>Virgin coconut oil</i> dan silikon dioksida	18
3.4	Peralatan yang digunakan	19
3.5	Penyiapan sampel uji	24
3.5.1	Bahan dan komposisi	24
3.5.2	Proses pencampuran	24
3.6	Rangkaian pengujian	25
3.6.1	Sistem elektroda	25

3.6.2	Rangkaian pengujian tegangan tembus	26
3.7	Prosedur pengujian.....	26
3.8	Pengolahan data	27
BAB IV	.....	28
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	28
4.1.	Umum.....	28
4.2	Hasil pengujian.....	28
4.3	Diskusi	31
BAB V	.....	32
PENUTUP	.....	32
5.1.	Kesimpulan	32
5.2.	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Dielektrik Minyak Transformator	6
Tabel 2.2 Komposisi Asam Lemak Pada <i>Virgin Coconut Oil</i>	9
Tabel 2.3 Penelitian – penelitain sebelumnya.....	14
Tabel 3.1 Komposisi VCO dan Bahan Pengisi	24
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Viskositas Menggunakan Metode Bola Jatuh	29
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tegangan tembus akibat elektron.....	12
Gambar 2.2 Gelembung air yang dapat memicu tegangan tembus.....	13
Gambar 3.1 <i>Virgin coconut oil</i>	18
Gambar 3.2 Silikon dioksida	19
Gambar 3.3 Neraca digital	19
Gambar 3.4 Inkubator	20
Gambar 3.5 <i>Magnetic stirrer</i>	21
Gambar 3.6 HV Prove Tetronix P6015A.....	21
Gambar 3.7 Pembangkit tegangan tinggi.....	22
Gambar 3.8 <i>Pearson current monitor</i>	22
Gambar 3.9 Resistor tegangan tinggi pembatas arus	23
Gambar 3.10 Picoscope PC Oscilloscope 4000series	23
Gambar 3.11 Sistem elektroda.....	25
Gambar 3.12 Rangkaian pengujian.....	26

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Pesebaran data viskositas	29
Grafik 4.2 Pesebaran data tegangan tembus	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil pengujian

Lampiran 2 Nilai standar deviasi dan varian

Lampiran 3 Tampilan grafik hasil pengujian pada picoscope

Lampiran 4 Foto proses perhitungan viskositas dengan metode bola jatuh

NOMENKLATUR

s : Standar Deviasi
 s^2 : Varian
 ρ : Densitas Zat Cair
v : Kecepatan
m: Massa
g : Gravitasi
r : Jari – jari
 ρ' : Densitas Bola

DAFTAR ISTILAH

<i>Breakdown Voltage</i>	: Tegangan Tembus
<i>Virgin Coconut Oil</i>	: Minyak Kelapa
<i>Silicon Fluids</i>	: Cairan Silikon
<i>Refined</i>	: Disaring
<i>Bleach</i>	: Dikelentang
<i>Deodorize</i>	: Dihilangkan Baunya
<i>Bubble</i>	: Gelembung air
<i>Gap</i>	: Celah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Fungsi transformator daya pada sistem kelistrikan sangat penting, oleh karena itu untuk dapat beroperasi dengan baik harus didukung dengan sistem isolasi yang baik. Penggunaan minyak transformator dari minyak mineral mengalami keterbatasan dalam jumlah, oleh karena itu penelitian tentang penggunaan minyak nabati sebagai minyak transformator banyak dilakukan.

Minyak kelapa pada umumnya digunakan untuk kebutuhan dalam rumah tangga seperti untuk memasak dan juga untuk kecantikan. Tiga produk utama dari minyak kelapa yaitu *Virgin Coconut Oil* (VCO), minyak kopra dan minyak RBD (*Refined, Bleached, Deodorized*). Tiga produk minyak kelapa tersebut berbeda pada proses pembuatannya.

Untuk VCO, minyak diekstrak langsung dari daging kelapa segar. Proses ini dipertimbangkan sebagai metode basah, tidak ada penambahan bahan kimia dan pemanasan dengan temperatur tinggi pada proses penyaringan. Minyak kopra, diketahui sebagai metode kering, diproduksi melalui pemanasan dan pengeringan daging kelapa yang diambil dari batok kelapa. Untuk minyak RBD, minyak kopra yang sudah diekstrak di saring, dikelantang dan dihilangkan bau busuknya[1].

Minyak kelapa selain sebagai kebutuhan rumah tangga sudah banyak penelitian yang menggunakan minyak kelapa sebagai minyak alternatif

transformator. Minyak kelapa dijadikan sebagai minyak alternatif transformator digunakan untuk mengatasi harga minyak transformator yang mahal. Beberapa literatur yang menjelaskan tentang minyak kelapa sebagai minyak alternatif transformator khususnya VCO telah didapatkan hasil tegangan tembusnya[1]–[5].

Kelebihan penggunaan minyak kelapa sebagai minyak transformator adalah minyak kelapa dapat dengan mudah ditemukan dan persediaan kelapa masih berlimpah. Kekurangan yang ada pada minyak kelapa jenis VCO adalah tegangan tembus yang di uji coba kan beberapa kali tidak selalu sampai ataupun melebihi standar minyak transformator IEC 60422-2013 dimana tahanan tegangan tembusnya lebih dari 30 kV[4].

Tegangan tembus pada minyak transformator terjadi karena adanya gelembung gas yang berada pada minyak transformator yang menjembatani antara dua buah elektroda sehingga terjadinya tembus tegangan.

Untuk mengatasi hal tersebut penggunaan nanopartikel banyak dilakukan. Pada penelitian sebelumnya penggunaan nanopartikel sebagai campuran dapat meningkatkan tahanan tegangan tembus minyak transformator. Nanopartikel yang digunakan adalah Al_2O_3 , Fe_3O_4 , TiO_2 dan SiO_2 [6]–[9].

Oleh karena itu penggunaan silikon dioksida pada VCO dilakukan untuk meningkatkan tahanan tegangan tembus pada VCO sebagai minyak transformator alternatif.

1.2 Perumusan masalah

Untuk mendapatkan VCO yang diberi pengisi berupa silikon dioksida nanopartikel dengan kekuatan dielektrik yang baik, maka beberapa percobaan untuk mendapatkan komposisi bahan pencampur yang optimum penting untuk dilakukan. Untuk menguji kekuatan tembus dari minyak transformator penting untuk dilakukan dengan beberapa percobaan menggunakan komposisi SiO₂ nanopartikel yang berbeda.

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk meningkatkan kinerja isolasi dari VCO dengan cara memberikan SiO₂ nanopartikel.
2. Untuk mengetahui nilai tegangan tembus dari VCO yang telah ditambahkan SiO₂ nanopartikel.
3. Untuk mengetahui nilai viskositas dari VCO yang telah ditambahkan SiO₂ nanopartikel.

1.4 Batasan masalah

Penelitian ini menggunakan sampel uji VCO dengan merk *Vico Bagoes* yang dapat ditemui di pasaran. Pengujian dilakukan dalam batasan-batasan sebagai berikut:

1. Sistem elektroda menggunakan dua buah elektroda bola 20 mm dengan celah 1 mm.
2. Pencampuran nanopartikel dan *Virgin Coconut Oil* dengan komposisi silikon dioksida nanopartikel antara 0, 0.25, 0.5, 0.75 dan 1 wt.%.

3. Pengukuran tegangan tembus pada VCO untuk setiap komposisi sampel dilakukan sebanyak tiga kali pengukuran dengan interval antara masing – masing pengukuran adalah 2 (dua) menit lalu dilakukan pengadukan menggunakan pengaduk *stainless stell* tipis untuk menghilangkan gelembung udara yang mungkin terjadi setelah pengukuran sebelumnya.

1.5 Sistematika penulisan

Penulisan penelitian skripsi ini dilakukan dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

1. Pendahuluan

Pada bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. Tinjauan pustaka

Tinjauan pustaka merupakan dasar teori yang membahas tentang isolasi, minyak kelapa, *Virgin Coconut Oil*, nanopartikel dan silikon dioksida.

3. Metodologi penelitian

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, pertama dari pembuatan sampel lalu pembuatan sistem elektroda. Setelah itu prosedur pengujian dijelaskan melalui langkah – langkah percobaan.

4. Hasil dan pembahasan

Pada bagian ini dijelaskan hasil pengujian tegangan tembus dan viskositas setiap sampel dan diolah dengan menggunakan metode statistic dan dipresentasikan dalam bentuk tabel dan grafik data.

5. Penutup

Pada bagian akhir ini berisi tentang kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. H. M. S. Y. Matharage, M. A. R. M. Fernando, M. A. A. P. Bandara, and G. A. Jayantha, "Performance of Coconut Oil as an Alternative Transformer Liquid Insulation," vol. 20, no. 3, 2013.
- [2] A. A. H. Zaidi, N. Hussin, and M. K. M. Jamil, "Experimental study on vegetable oils properties for power transformer," *2015 IEEE Conf. Energy Conversion, CENCON 2015*, pp. 349–353, 2015, doi: 10.1109/CENCON.2015.7409567.
- [3] D. Hinduja, Gayathri, C. S. Kalpage, and M. A. R. M. Fernando, "Laboratory investigation of treated coconut oil as transformer liquid insulation," *2011 6th Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIIS 2011 - Conf. Proc.*, pp. 108–113, 2011, doi: 10.1109/ICIINFS.2011.6038050.
- [4] Ansyori, Z. Nawawi, M. Abubakar Siddik, and I. Verdana, "Analysis of Dielectric Strength of Virgin Coconut Oil as an Alternative Transformer Liquid insulation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1198, no. 5, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1198/5/052003.
- [5] R. Kurnianto, M. Taufan, Z. Nawawi, M. Nagao, and N. Hozumi, "Breakdown strength of biodegradable dielectric liquid: The effect of temperature and viscosity," *2012 22nd Australas. Univ. Power Eng. Conf. "Green Smart Grid Syst. AUPEC 2012*, 2012.
- [6] M. Rafiq, D. Khan, and M. Ali, "Insulating properties of transformer oil-based silica nanofluids," *2015 Power Gener. Syst. Renew. Energy Technol. PGSRET 2015*, pp. 1–3, 2015, doi: 10.1109/PGSRET.2015.7312201.
- [7] D. U. Yue-fan, L. V Yu-zhen, Z. Jian-quan, L. I. Xiao-xin, and L. I. Cheng-rong, "Breakdown Properties of Transformer Oil-based TiO₂ Nanofluid," pp. 3–6, 2010.
- [8] B. Du, J. Li, B. M. Wang, and Z. T. Zhang, "Preparation and breakdown strength of Fe₃O₄ nanofluid based on transformer oil," *ICHVE 2012 - 2012 Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, pp. 311–313, 2012, doi: 10.1109/ICHVE.2012.6357115.
- [9] M. Rafiq, C. Li, Y. Lv, and K. Yi, "Preparation and Breakdown Properties of Mineral Oil Based Alumina Nanofluids," pp. 2–4, 2015.
- [10] B. Vahidi and A. Teymouri, *Quality Confirmation Tests for Power Transformer Insulation Systems*. 2019.
- [11] M. Martins, "Vegetable oils, an alternative to mineral oil for power transformers- experimental study of paper aging in vegetable oil versus mineral oil," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 26, no. 6, pp. 7–

- 13, 2010, doi: 10.1109/MEI.2010.5599974.
- [12] A. R. ARRAHMAN, “Pengaruh Suhu Dan Lama Pengeringan Kopra Terhadap Rendemen Minyak,” 2018.
- [13] Susilowati, “Pembuatan Virgin Coconut Oil Dengan Metode Penggaraman,” *Kim. Jur. Tek. Ind. Fak. Teknol.*, vol. 3, no. 2, pp. 246–251, 2010.
- [14] A. J. Sprenkels, W. Olthuis, and P. Bergveld, “Application of silicon dioxide as an electret material,” pp. 165–169, 1988, doi: 10.1109/ise.1988.38543.
- [15] M. Heidelberger and H. P. Treffers, “Quantitative chemical studies on hemolysins: I. The estimation of total antibody in antisera to sheep erythrocytes and stromata,” *J. Gen. Physiol.*, vol. 25, no. 4, pp. 523–531, 1942, doi: 10.1085/jgp.25.4.523.
- [16] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, “High Voltage Engineering,” *High Volt. Eng. Fundam.*, p. 534, 2000.
- [17] D. K. Cahyaningrum, “Analysis of Characteristic Pre-Breakdown Voltage Phenomenon Based Experiment on Oil Insulation,” pp. 1–51, 2017.
- [18] K. Swati, K. S. Yadav, R. Sarathi, R. Vinu, and M. G. Danikas, “Understanding Corona discharge activity in titania nanoparticles dispersed in transformer oil under AC and DC voltages,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 4, pp. 2325–2336, 2017, doi: 10.1109/TDEI.2017.006529.