

SKRIPSI

**KEKUATAN TEMBUS KERTAS KRAFT DIIMPREGNASI MINYAK
KEDELAI DENGAN PENGISI NANOPARTIKEL SiO_2 DAN
*CARBON QUANTUM DOTS***



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

Oleh :

**MUHAMMAD RIDWAN SAIDI
NIM. 03041282025051**

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**KEKUATAN TEMBUS KERTAS KRAFT DIIMPREGNASI MINYAK
KEDELAI DENGAN PENGISI NANOPARTIKEL SiO_2 DAN
*CARBON QUANTUM DOTS***

Oleh :

MUHAMMAD RIDWAN SAIDI
NIM. 03041282025051

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, November 2024
Ketua Jurusan Teknik Elektro,




Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU
NIP. 198108141999031005

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**KEKUATAN TEMBUS KERTAS KRAFT DIIMPREGNASI MINYAK
KEDELAI DENGAN PENGISI NANOPARTIKEL SiO_2 DAN
*CARBON QUANTUM DOTS***

Oleh :

**MUHAMMAD RIDWAN SAIDI
NIM. 03041282025051**

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

**Palembang, November 2024
Dosen Pembimbing,**



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,


Nama : Muhammad Ridwan Saidi
Nomor Induk Mahasiswa : 03041282025051
Fakultas : Teknik
Jurusan /Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya
Persentase plagiarisme (Turnitin) : 9 %

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Kekuatan Tembus Kertas Kraft Diimpregnasi Minyak Kedelai Dengan Pengisi Nanopartikel SiO₂ Dan *Carbon Quantum Dots*”, merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian 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 keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Palembang, November 2024
Yang Menyatakan,




Muhammad Ridwan Saidi
NIM. 03041282025051

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

Dengan mengucapkan rasa puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, saya sebagai penulis dimampukan menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Kekuatan Tembus Kertas Kraft Diimpregnasi Minyak Kedelai Dengan Pengisi Nanopartikel SiO₂ Dan *Carbon Quantum Dots*”.

Skripsi ini merupakan sebuah karya ilmiah yang dibuat sebagai syarat menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro, Pembuatan skripsi ini tentunya masih jauh dari kata sempurna, karena itu saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas karya skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini tentunya saya mengalami berbagai kesulitan dan tantangan, akan tetapi banyak pihak yang membantu dan mendukung kelancarannya, mulai dari keluarga, sahabat, dosen pembimbing, dosen penguji, pranata laboratorium, dan juga teman-teman laboratorium. Saya ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, semangat, serta doa sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, khususnya di bidang teknik elektro.

Palembang, November 2024



Muhammad Ridwan Saidi
NIM. 03041282025051

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- Bapak dan Ibu tercinta Bapak Hamzierwan dan Ibu Ernawati, Kakak Muhammad Ridho Hamverna, Jidak, serta seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, doa dan harapan selama penulis menjalani pendidikan ini dan tentu untuk karir dan pekerjaan penulis kedepannya;
- Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis;
- Bapak Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D., Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T., Bapak Dr. Djulil Amri, S.T., M.T., dan 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 Ir. 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 Ir. Sri Agustina, 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.;

- Teman-teman seperjuangan, seluruh anggota Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Angkatan 2020 yaitu Fadlu, Bhanunasmi, Elam, Meiwa, Muthia, Aldhi, Rangga, Adziin, Hilman, Ryan, Raga, Derry, Iqbal, Aldo, Rama, Sahrul, Ravi, Kurniawan, Lutfi, Eric, Trio, Ahmed, dan Mozmail yang telah terlibat dan mendukung penelitian;
- Sahabat kosan Kebun Sirih Satelit, Irvin, Wisnu, Vito, Bhanu, Hilman, Rama, Raga, Rizky, Bimo, Jordy;
- 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 Ridwan Saidi
NIM. 03041282025051

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Muhammad Ridwan Saidi
Nomor Induk Mahasiswa : 03041282025051
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Jenis Karya : Skripsi

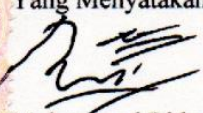
Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Kekuatan Tembus Kertas Kraft Diimpregnasi Minyak Kedelai Dengan Pengisi Nanopartikel SiO₂ Dan *Carbon Quantum Dots*” 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 Ridwan Saidi
NIM. 03041282025051

ABSTRAK

KEKUATAN TEMBUS KERTAS KRAFT DIIMPREGNASI MINYAK KEDELAI DENGAN PENGISI NANOPARTIKEL SiO_2 DAN *CARBON QUANTUM DOTS*

(Muhammad Ridwan Saidi, 03041282025051, 2024, xx + 42 halaman + lampiran)

Penelitian ini membahas mengenai peningkatan kekuatan dielektrik pada kertas kraft yang diimpregnasi minyak kedelai berpengisi campuran SiO_2 dan CQD dengan konsentrasi total 0,01 wt%. Kertas kraft yang akan diuji berbentuk persegi empat dengan panjang sisi 30 mm dan ketebalan 0,08 mm. Sampel uji akan direndam menggunakan bahan pengisi SiO_2 dan CQD dengan variasi waktu perendaman 24, 48, 72, 96, 120 jam, dan sampel uji lainnya direndam dengan variasi waktu perendaman yang sama tanpa diberi bahan pengisi SiO_2 dan CQD sebagai pembanding (kontrol). Pengujian dilakukan menggunakan sistem elektroda jarum-piring dengan jarak sela sebesar 1 mm dengan laju kenaikan tegangan sebesar 100 V/s. Hasil pengukuran PDIV dengan pengisi SiO_2 -CQD pada masing-masing variasi waktu perendaman mengalami peningkatan sebesar 2,694%; 7,684%; 8,814%; 10,571%; 9,280% dibandingkan dengan tanpa pengisi. Kemudian, hasil pengukuran V_{bd} dengan pengisi SiO_2 -CQD pada masing-masing variasi waktu perendaman mengalami peningkatan sebesar 8,159%; 4,959%; 6,671%; 7,100%; 8,023% dibandingkan dengan tanpa pengisi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai PDIV dan V_{bd} mengalami peningkatan ketika diberi pengisi SiO_2 -CQD. Ini dimungkinkan terjadi karena bahan pengisi SiO_2 memiliki kestabilan dielektrik dan termal yang baik, ditingkatkan juga dengan CQD.

Kata Kunci: Kertas Kraft, *Carbon Quantum Dots*, Silikon Dioksida, Minyak Kedelai, Impregnasi, PDIV, Tegangan Tembus

ABSTRACT

DIELECTRIC STRENGTH OF SOYBEAN OIL-IMPREGNATED KRAFT PAPER WITH SiO₂ NANOPARTICLE FILLERS AND CARBON QUANTUM DOTS

(Muhammad Ridwan Saidi, 03041282025051, 2024, xx + 42 pages + appendix)

This thesis report as result of a research with topic the improvement of dielectric strength in soybean oil-impregnated kraft paper with SiO₂ and CQD fillers with concentration of 0.01 wt%. The material sample used is solid insulating kraft paper with a thickness of 0.08 mm and a size of 30 mm length and 30 mm width. Kraft paper samples were impregnated with soybean oil with SiO₂-CQD filler under time variations of 24, 48, 72, 96, and 120 hours and the other one of sample were impregnated with soybean oil without SiO₂-CQD filler as control sample. Using needle-plate electrodes with gap distance of 1 mm under high voltage alternating current application the partial discharge inception voltage and complete breakdown were measured. Alternating high voltage was used in the test with an increase rate of 100 V/s. The measurement result of PDIV with SiO₂-CQD filler in each variation of immersion time increased by 2.694%; 7.684%; 8.814%; 10.571%; 9.280% compared without filler. Then, the measurement results of Vbd with SiO₂-CQD filler in each variation of immersion time increased by 8.159%; 4.959%; 6.671%; 7.100%; 8.023% compared without filler. This shows that the PDIV and Vbd values increase when given SiO₂-CQD fillers. This is possible because the SiO₂ filler material has good dielectric strength and thermal stability, enhanced by CQD.

Keywords: *Kraft Paper, Carbon Quantum Dots, Silicon Dioxide, Soybean Oil, Impregnation, PDIV, Breakdown Voltage*

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	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Isolasi di Transformator	5
2.2. Isolasi Kertas	6
2.3. Isolasi Minyak	7

2.4.	Minyak Kedelai	8
2.5.	Silikon Dioksida (SiO ₂).....	9
2.6.	<i>Carbon Quantum Dots</i> (CQD)	9
2.7.	Kekuatan Dielektrik	10
2.8.	Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat	11
2.9.	<i>Partial Discharge</i>	12
2.10.	Tegangan Tembus (<i>Breakdown Voltage</i>).....	14
2.11.	Penelitian Sebelumnya	14
BAB III METODOLOGI DAN EKSPERIMENTAL		19
3.1	Pendahuluan	19
3.2	Metode Penelitian.....	19
3.3	Diagram Alir Penelitian	20
3.4	Bahan yang digunakan	21
3.4.1	Kertas Kraft	21
3.4.2	Minyak Kedelai	21
3.4.3	Silikon Dioksida (SiO ₂).....	22
3.4.4	<i>Carbon Quantum Dots</i> (CQD)	23
3.5	Peralatan yang digunakan.....	24
3.5.1	<i>Glass Beaker</i>	24
3.5.2	Sistem Elektroda.....	24
3.5.3	<i>Magnetic Stirrer</i>	25
3.5.4	Neraca Analitik.....	26
3.5.5	Transformator Tegangan Tinggi Bolak - Balik	26
3.5.6	<i>High Voltage Probe</i> Tipe Tetronix P6015A	26
3.5.7	<i>Picoscope</i> Tipe 4000 <i>Series</i>	27
3.5.8	Tahanan Tinggi.....	27
3.5.9	Jangka Sorong Digital	27
3.6	Proses Penyiapan Sampel Uji.....	28

3.6.1	Bahan dan Komposisi	28
3.6.2	Proses Pencampuran SiO ₂ dan CQD	29
3.6.3	Proses Penyiapan Cairan Minyak Kedelai Berpengisi SiO ₂ -CQD	30
3.6.4	Proses Penyiapan Isolasi Kertas	31
3.7	<i>Experimental Setup</i>	32
3.7.1	Rangkaian Pengujian	32
3.8	Prosedur Pengujian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Umum.....	35
4.2	Data Hasil Penelitian.....	35
4.3	Diskusi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Kegagalan Isolasi Padat [20]	11
Gambar 2.2 Distribusi medan listrik a) Distribusi pada elektroda jarum ke kertas kraft b) Medan listrik terpusat pada ujung jarum [22].....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 Kertas kraft (dok. pribadi).....	21
Gambar 3.3 Minyak kedelai merk “Sania Royale Soya Oil”	21
Gambar 3.4 Serbuk Silikon dioksida (SiO_2) (dok. pribadi)	22
Gambar 3.5 CQD produksi XFNANO (dok. pribadi).....	23
Gambar 3.6 Glass beaker (dok. pribadi)	24
Gambar 3.7 Sistem elektroda jarum-piring (dok. pribadi).....	25
Gambar 3.8 Magnetic Stirrer (dok. pribadi)	25
Gambar 3.9 Neraca Analitik (dok. pribadi)	26
Gambar 3.10 Proses pencampuran bahan SiO_2 dan CQD (dok. pribadi)....	29
Gambar 3.11 Proses pencampuran minyak kedelai dan SiO_2 -CQD (dok. pribadi)	30
Gambar 3.12 Proses impregnasi kertas kraft dengan campuran minyak kedelai dan SiO_2 -CQD (dok. pribadi).....	31
Gambar 3.13 Rangkaian pengujian.....	33
Gambar 4.1 Grafik Nilai PDIV kertas kraft yang diimpregnasi dengan variasi lama impregnasi.....	36
Gambar 4.2 Grafik nilai V_{BD} kertas kraft yang diimpregnasi dengan variasi lama impregnasi.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang berkaitan dengan studi yang akan dilakukan.....	15
Tabel 3.1 Karakterisasi minyak kedelai[28]	22
Tabel 3.2 Karakterisasi silikon dioksida (SiO ₂).....	23
Tabel 3.3 Komposisi Sampel Uji Minyak Kedelai dengan SiO ₂ dan CQD	28

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Kekuatan Dielektrik.....	10
Persamaan 2.2 Tegangan Tembus.....	14
Persamaan 2.3 Faktor Koreksi Udara.....	14

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tahap-tahap Kegiatan Penelitian
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran
- Lampiran 3 Pengolahan Data Hasil Pengujian PDIV dan VBD
- Lampiran 4 Perhitungan Nilai Kapasitansi
- Lampiran 5 Rekaman Gelombang Sinusoidal Pada Eksperimental
Menggunakan Software Picoscope 4000 Series
- Lampiran 6 Lembar Plagiarisme *Turnitin*
- Lampiran 7 SULIET/USEPT

NOMENKLATUR

E	: Kekuatan dielektrik (kV/mm)
V_{bd}	: Tegangan tembus dielektrik (kV)
D	: Gap atau jarak sela antar elektroda (mm)
V_b	: Tegangan tembus sebenarnya
V_s	: Tegangan tembus pada keadaan normal (Volt)
δ	: Faktor koreksi udara (mmHg/°C)
p	: Tekanan udara (mmHg)
p_0	: Standar tekanan udara (760 mmHg)
t_0	: 20°C
t	: Suhu ruangan saat pengujian (°C)

DAFTAR ISTILAH

<i>Partial discharge inception voltage (PDIV)</i>	: Tegangan awal peluahan sebagian
<i>Pressboard</i>	: Papan Press
Kertas <i>Crepe</i>	: Kertas Krep
Impregnasi	: Penjenuhan dengan gas atau cairan
<i>Breakdown voltage</i>	: Tegangan tembus
<i>Pulp</i>	: Bubur kertas
<i>Inertness</i>	: sifat suatu zat yang tidak reaktif atau tidak aktif dalam reaksi kimia
<i>Dielectric strength</i>	: Kekuatan dielektrik
<i>Flashover</i>	: Loncatan bunga api listrik
<i>Breakdown</i>	: Tembus
<i>Partial discharge</i>	: Peluahan Sebagian
<i>Void</i>	: Rongga udara
<i>Contaminants</i>	: Kontaminan
<i>Protrusions</i>	: Tonjolan
<i>Electrical trees</i>	: Pemohonan listrik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Minyak transformator berbasis minyak mineral sudah mulai dicari alternatif penggantinya dalam beberapa dekade terakhir karena memiliki kekurangan seperti tak terurai secara alami [1]. Bahan alternatif yang berpotensi sebagai pengganti minyak mineral adalah minyak nabati. Minyak nabati merupakan alternatif yang ramah lingkungan untuk digunakan sebagai minyak isolasi dan pendingin transformator [2].

Salah satu minyak nabati yang dapat digunakan adalah minyak kedelai. Minyak kedelai dapat terurai secara alami dan memiliki titik nyala yang tinggi, tetapi minyak kedelai memiliki nilai tegangan tembus yang rendah dibandingkan minyak mineral, sehingga diperlukan peningkatan kekuatan dielektrik dengan penambahan nanopartikel. Silikon dioksida (SiO_2) adalah nanopartikel yang umum digunakan karena sifat dielektrik yang baik dan titik lebur yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kekuatan dielektrik dari minyak kedelai [3].

P.Kasi Viswanathan *et al.* (2019) memaparkan hasil penelitiannya terkait penambahan bahan *Carbon Quantum Dots* (CQD) pada pengisi nanopartikel Silikon Dioksida (SiO_2) yang digunakan sebagai campuran minyak transformator. Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa penambahan bahan tersebut meningkatkan nilai *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) sebesar 62% lebih tinggi dari minyak transformator tanpa penambahan bahan pengisi apapun [4].

Hasil penelitian lainnya dari S. Chandrasekar *et al.* (2021) melaporkan bahwa minyak jagung dengan penambahan SiO_2 diolah dengan CQD memiliki sifat isolasi yang sedikit lebih tinggi daripada minyak mineral

dengan penambahan SiO_2 -CQD. CQD merupakan material karbon semikonduktor dengan ukuran kurang dari 10 nm yang memiliki sifat optik dan struktural yang unik [5].

Pada kumparan transformator daya, minyak transformator digunakan sebagai isolasi cair dan juga sebagai impregnasi isolasi padat. Isolasi padat yang paling baik digunakan adalah kertas kraft karena memiliki nilai tegangan tembus dan daya serap minyak yang lebih baik dibandingkan *pressboard* dan kertas *crepe* [6]. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh peningkatan peluahan sebagian dan tegangan tembus pada minyak kedelai dengan penambahan Silikon Dioksida (SiO_2) serta bahan *Carbon Quantum Dots* (CQD) terhadap kertas kraft sebagai isolasi padat.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian sebelumnya memperlihatkan hasil pengujian tegangan tembus minyak kedelai memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan tembus minyak mineral [7]. Hasil penelitian lain menyatakan penambahan nanopartikel SiO_2 pada minyak jagung dapat meningkatkan nilai tegangan tembus dan sifat termal isolasi. Penambahan nanopartikel dengan *Carbon Quantum Dots* (CQD) juga meningkatkan sifat isolasi dielektrik yang lebih baik lagi [5].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan awal peluahan sebagian dan tegangan tembus pada kertas kraft diimpregnasi minyak kedelai, dengan penambahan nanopartikel SiO_2 dan *Carbon Quantum Dots* (CQD) pada transformator menggunakan tegangan bolak-balik.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) dari kertas kraft yang diimpregnasi minyak kedelai, berpengisi SiO₂ dan *Carbon Quantum Dots* (CQD).
2. Mendapatkan nilai *Breakdown Voltage* (V_{bd}) dari kertas kraft yang diimpregnasi minyak kedelai, berpengisi SiO₂ dan *Carbon Quantum Dots* (CQD).
3. Mendapatkan perbandingan nilai PDIV dan V_{bd} dari kertas kraft yang diimpregnasi minyak kedelai, berpengisi SiO₂ dan *Carbon Quantum Dots* (CQD) dengan waktu impregnasi yang berbeda.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Sampel uji berupa kertas kraft berukuran 30 mm x 30 mm dengan ketebalan 0,08 mm yang diimpregnasi dalam minyak kedelai, serta ditambahkan nanopartikel SiO₂ dan *Carbon Quantum Dots* (CQD), dengan waktu impregnasi yang berbeda.
2. Variasi waktu impregnasi sebesar 24, 48, 72, 96, 120 jam.
3. Pengujian pada kertas kraft yang berupa pengukuran *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) dan *Breakdown Voltage* (V_{bd}) dengan menggunakan tegangan bolak balik.
4. Pengukuran PDIV dan V_{bd} menggunakan susunan elektroda jarum-piring terhadap masing-masing sampel uji, dan dilakukan sebanyak 5 kali guna mendapatkan hasil rata-rata.

1.5. Hipotesis

Penambahan bahan *Carbon Quantum Dots* (CQD) dan nanopartikel SiO_2 pada minyak kedelai akan meningkatkan nilai PDIV dan V_{bd} kertas kraft yang diimpregnasi minyak kedelai. Kenaikan ini dimungkinkan terjadi karena SiO_2 memiliki sifat isolator yang baik, sifat *inertness*, kestabilan dielektrik dan termal yang baik. Penambahan CQD diduga akan menyebabkan dispersi dan stabilitas nanofiller sehingga memiliki stabilitas dielektrik yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Van Nguyen, L. P. Nguyen, and T. N. Quach, "Investigation of AC breakdown properties of paper insulators and enamel insulation impregnated with rice oil, corn oil and peanut oil for transformers," *IET Science, Measurement and Technology*, vol. 13, no. 9, pp. 1352–1361, 2019, doi: 10.1049/iet-smt.2018.5580.
- [2] 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.
- [3] Y. Siregar, D. N. B. Simalango, and H. Zulkarnain, "Effect Temperature on Dielectric Strength of Transformer Oil With Nanoparticle SiO₂ and CCl₄," *2022 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications: Advanced Innovations of Electrical Systems for Humanity, ISITIA 2022 - Proceeding*, pp. 350–354, 2022, doi: 10.1109/ISITIA56226.2022.9855324.
- [4] P. Kasi Viswanathan and S. Chandrasekar, "Influence of CQD Modified Silica Nano Fillers on PD Characteristics of Transformer Oil," *4th International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems, CATCON 2019*, 2019, doi: 10.1109/CATCON47128.2019.CN0051.
- [5] P. K. Viswanathan, S. Chandrasekar, and S. Balaji, "Analysis of Partial Discharge Performance of Eco Friendly Liquid Insulation," *3rd IEEE International Virtual Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2021*, pp. 3–8, 2021, doi: 10.1109/i-PACT52855.2021.9696842.
- [6] R. A. Elfreda, "Analisis Tegangan Tembus Kertas Isolasi Transformator Akibat Lama Perendaman Pada Isolasi Minyak Transformator," pp. 1–122, 2018.
- [7] N. S. Mansor, M. Kamarol, M. Y. Yusnida, and K. Azmi, "Breakdown voltage characteristic of biodegradable oil under various gap of quasi-uniform electrode configuration," *PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy*, no. December, pp. 732–735, 2012, doi: 10.1109/PECon.2012.6450312.

- [8] J. Siburian, "Karakteristik Transformator," *Jurnal Teknologi Energi UDA*, vol. VIII, no. 21, pp. 21, 23, 2019.
- [9] S. Manjang, I. Kitta, and A. Ikhlas, "Voltage Breakdown Characteristics of Transformer Mineral Oil with Varies the Composition of Corn Oil," *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*, pp. 5–8, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011119.
- [10] D. Zhang *et al.*, "Insulation condition diagnosis of oil-immersed paper insulation based on non-linear frequency-domain dielectric response," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 5, pp. 1980–1988, 2018, doi: 10.1109/TDEI.2018.007076.
- [11] T. V. Oommen and T. A. Prevost, "Cellulose insulation in oil-filled power transformers: Part II - maintaining insulation integrity and life," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 22, no. 2, pp. 5–14, 2006, doi: 10.1109/MEI.2006.1618996.
- [12] D. Nugroho, "Kegagalan Isolasi Minyak Trafo," *Media Elektrika, ISSN 1979-7451*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2010.
- [13] L. Yang, R. Liao, S. Caixin, and M. Zhu, "Influence of Vegetable Oil on the Thermal Aging of Transformer Paper and its Mechanism," pp. 692–700, 2011.
- [14] B. Basuki, M. Suyanto, and S. Hani, "Penguujian Minyak Nabati Sebagai Bahan Untuk Isolasi Trafo 20 Kv," *Jurnal Elektrikal*, vol. 2, no. 2, pp. 36–42, 2015.
- [15] A. M. S. Ali, A. Z. Syaiful, and A. Gazali, "Pengaruh Senyawa Alumina (AL₂O₃) dan Silika (SiO₂) Dalam Kualitas Batubara," *Saintis*, vol. 3, no. 1, pp. 42–49, 2022.
- [16] I. S. Hardyanti, I. Nurani, D. S. Hardjono HP, E. Apriliani, and E. A. P. Wibowo, "Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik," *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: 10.32487/jst.v3i2.257.

- [17] E. Yuniarti, "Sintesis Dan Karakteristik Optik Carbon Quantum Dot Yang Berasal Dari Asam Sitrat Dengan Variasi Massa Urea," *Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 18, no. 2, p. 99, 2021, doi: 10.31258/jkfi.18.2.99-105.
- [18] V. Magesh, A. K. Sundramoorthy, and D. Ganapathy, "Recent Advances on Synthesis and Potential Applications of Carbon Quantum Dots," vol. 9, no. July, pp. 1–27, 2022, doi: 10.3389/fmats.2022.906838.
- [19] R. Arora and W. Mosch, *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2011.
- [20] O. A. Books *et al.*, "Breakdown in Solid Dielectrics," no. 1, pp. 1–27, 2014.
- [21] V. Naidu, M.S.; Kamaraju, *High-Voltage Engineering*. New Delhi: McGraw Hill Education, 1982.
- [22] G. C. Montanari, "Insulation Diagnosis of High Voltage Apparatus by Partial Discharge Investigation," pp. 1–11, 2006.
- [23] U. Khayam, "Design , Implem entation , and Testing of Partial Discharge Signal Pattern Recognition an nd Judgment System Application Using Statistical l Method," pp. 314–318, 2015.
- [24] E. Gockenbach, "High Voltage Engineering," *Springer Handbooks*, pp. 131–182, 2021, doi: 10.1007/978-981-32-9938-2_3.
- [25] S. Chandrasekar, J. Chandramohan, G. C. Montanari, and P. Uthirakumar, "Developing eco-friendly nanostructured oil: Partial discharge and breakdown voltage characterization of transformer corn oil," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 27, no. 5, pp. 1611–1618, 2020, doi: 10.1109/TDEI.2020.008992.
- [26] R. A. Raj, R. Samikannu, A. Yahya, and M. Mosalaosi, "An overview of potential liquid insulation in power transformer," *International Journal on Energy Conversion*, vol. 8, no. 4, pp. 126–140, 2020, doi: 10.15866/irecon.v8i4.19213.

- [27] P. K. Viswanathan, "Influence of Carbon Quantum Dots Modified Silica Nanoparticles on Insulation Properties of Mineral Oil," *2019 International Conference on High Voltage Engineering and Technology (ICHVET)*, pp. 1–5, 2019.
- [28] S. O. Egbuna, O. C. Ude, and C. N. Ude, "Ijesrt International Journal of Engineering Sciences & Research Technology Suitability of Soybean Seed Oil As Transformer Oil," © *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, vol. 5, no. 10, pp. 105–112, 2016.
- [29] R. Anthony Elfreda, "Analisis Tegangan Tembus Kertas Isolasi Transformator Akibat Lama Perendaman Pada Isolasi Minyak Transformator," pp. 1–97, Jul. 2018.