

SKRIPSI

KARAKTERISTIK PELUAHAN SEBAGIAN ISOLASI KERTAS KRAFT DIBAWAH TEGANGAN BOLAK-BALIK



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

**Oleh:
FIRMAN
NIM 03041181621003**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

KARAKTERISTIK PELUAHAN SEBAGIAN ISOLASI KERTAS KRAFT DIBAWAH TEGANGAN BOLAK-BALIK

Oleh :

Firman

NIM 03041181621003

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Indralaya, Agustus 2020

Ketua Jurusan Teknik Elektro,



Muhammad Abu Bakar Sigit, S.T.,M.Eng., Ph.D.

NIP.197108141999031005

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK PELUAHAN SEBAGIAN ISOLASI KERTAS KRAFT
DIBAWAH TEGANGAN BOLAK-BALIK**

Oleh :

Firman

NIM 03041181621003

Telah diperiksa kebenarannya, diterima 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 : Firman
Nomor Induk Mahasiswa : 03041181621003
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Persentase Plagiarisme
(Turnitin) : 20 %

Menyatakan bahwa karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Karakteristik Peluahan Sebagian Isolasi Kertas Kraft Dibawah Tegangan Bolak-Balik” 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

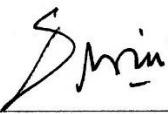
Yang Menyatakan,



Firman

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



Dr. Min

Pembimbing Utama : Ir. Hj Dwirina Yuniarti, M.T.

Tanggal

: _____ / _____ / _____

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik tegangan peluahan sebagian isolasi kertas kraft dibawah tegangan bolak-balik”. Skripsi ini merupakan karya penulis untuk memenuhi persyaratan pendidikan pada jenjang sarjana di jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya. Dalam penulisan skripsi ini penulis mengalami berbagai tantangan dan juga kesulitan, akan tetapi dengan loyalitas dan dukungan dari berbagai pihak, segala kesulitan tersebut dapat teratasi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum bisa mencapai kesempurnaan, masih terdapat kekurangan, baik dari kualitas maupun kuantitas penulisan ataupun bahan observasi yang ditampilkan. Oleh karena itu saran dan masukan yang membangun untuk meningkatkan kualitas skripsi ini sangat diharapkan. Terakhir dari kata pengantar ini saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, do'a maupun dorongan semangat dan berbagi pengalaman yang telah diberikan untuk penyelesaian skripsi ini. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna dalam pengembangan ilmu pengetahuan dibidang teknik elektro, khususnya terkait dengan bidang material isolasi.

Indralaya, Agustus 2020

Firman

HALAMAN PERSEMPAHAN

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

- ✓ Ayah (Yanto), Ibu (Suryati), adik kandung saya (Adis) dan keluarga besar yang senantiasa mendo'akan serta memberi dukungan untuk suksesnya studi saya;
- ✓ Dosen Pembimbing Ibu Ir. Dwirina Yuniarti, M.T.;
- ✓ Rektor Unsri Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, 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.;
- ✓ Dosen Pembimbing Akademik Prof. Ir. H. Zainuddin Nawawi, Ph.D., dan seluruh dosen teknik elektro yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran sampai selesaiya skripsi ini;
- ✓ Dr. Syarifa Fitria, S.T., M.T., yang telah membantu memberikan arahan dan saran selama penelitian sampai selesaiya skripsi ini;
- ✓ Pranata Senior di Laboratorium *Electrical Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Lukmanul Hakim, S.T., serta teman-teman yang tergabung dalam penelitian Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (TTTPL) 2019/2020 : Kak Intan Dwi, Mba Intan Mustika, kak Ferlian, kak Rafi, Gilang, Gustira, Gomgom, Fikri, Zen, Ejak, Noval, Yadi, Firhan dan Adin;
- ✓ Lyana Alvionita Sari, terimakasih telah membantu dan mendukung bahkan pada fase tersulit sekalipun. Membangkitkan saat terjatuh, menguatkan saat lelah, dan mengingatkan saat lengah;
- ✓ Pihak-pihak yang telah membantu selama saya menempuh pendidikan yang tidak dapat saya tuliskan satu persatu

Saya mendo'akan semoga Allah SWT memberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Indralaya, Agustus 2020

Firman

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Firman
NIM : 03041181621003
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul, "Karakteristik tegangan peluahan sebagian isolasi kertas kraft dibawah tegangan bolak-balik" 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 : Indralaya
Pada tanggal : Agustus 2020
Yang menyatakan,



Firman

ABSTRAK

KARAKTERISTIK PELUAHAN SEBAGIAN ISOLASI KERTAS KRAFT DIBAWAH TEGANGAN BOLAK-BALIK

(Firman, 03041181621003, 2020, xv + 40 Hal + Lampiran)

Pengujian untuk mendapatkan karakteristik tegangan peluahan dari isolasi kertas kraft yang mengalami impregnasi oleh minyak telah dilakukan. Pengujian dilakukan terhadap sampel kertas kraft dengan ketebalan 40 µm. Sampel dibuat dalam ukuran 60 x 60 mm² dikondisikan dalam keadaan terimpregnasi oleh minyak sebagai perlakuan. Minyak yang digunakan dalam pengujian ini yaitu Virgin Coconut Oil, dan Minyak Transformator Diala B. Volume minyak yang digunakan sebanyak 350 ml untuk setiap pengujian. Pengujian dilakukan menggunakan sistem elektroda jarum-bidang dengan tegangan tinggi bolak-balik pada celah antara permukaan sampel dan ujung elektroda sebesar 0,5 mm. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan dari Virgin Coconut Oil dan Minyak Diala B terhadap kekuatan isolasi kertas kraft dalam menahan stres tegangan. Nilai rata-rata tegangan peluahan dari isolasi kertas kraft tanpa diberikan perlakuan adalah sebesar 1,4082 kV. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa minyak Diala B dan Virgin Coconut Oil mampu meningkatkan ketahanan dielektrik sampel dalam menahan stres mekanik yang diberikan. Besar peningkatan tegangan peluahan isolasi kertas kraft jika menggunakan Virgin Coconut Oil sebesar 267,73 %, sedangkan dengan Minyak Transformator Diala B mampu memberikan peningkatan sampai 364,28%. Hasil ini juga membuktikan bahwa celah udara dengan ketahanan dielektrik yang lebih kecil dari pada Minyak Transformator Diala B dan Virgin Coconut Oil memberikan pengaruh kepada tegangan peluahan yang terjadi.

Kata Kunci : Tegangan Peluahan, Diala B, VCO, Kertas Kraft

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

ABSTRACT

CHARACTERISTICS PARTIAL DISCHARGE OF KRAFT PAPER ISOLATION UNDER HVAC APPLICATION

(Firman, 03041181621003, 2020, xv + 40 Pages + Appendices)

In order to obtain the discharge stress characteristics of kraft paper insulation impregnated liquid insulation the measurement of PDIV characteristic have been carried out. Tests carried out on kraft paper samples with a thickness of 40 µm. Samples were made in a size of 60 x 60 mm² conditioned in a state impregnated by oil as a treatment. The oils used in this test are Virgin Coconut Oil and Diala B Transformer Oil. The volume of oil used is 350 ml for each test. The test was carried out using a needle-plane electrode system under application of alternating HVAC. The gap between the sample surface and the needle electrode tip is 0.5 mm. The test results show that a significant effect on the PDIV characteristic of kraft samples. The results probably related to insulating strength of kraft paper become increase due to resistance of kraft paper was changed. The average PDIV values of kraft paper sample without treatment is 1.4082 kV. The use of oil could be increased the dielectric resistance of the sample in resisting mechanical stress. The magnitude of the discharge stress of kraft paper when using Virgin Coconut Oil was 267.73%, while Diala B Transformer Oil was able to provide an increase of up to 364.28%. This also proves that the dielectric resistance of air gap is smaller than Diala B Transformer Oil and Virgin Coconut Oil had an effect on the discharge voltage that occurred.

Keywords: Discharge Voltage, Impregnation, Kraft Paper

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 IDENTITAS.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
HALAMAN PERSEMBERAHAN.....	vii
LEMBAR PUBLIKASI.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR RUMUS.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Lingkup Kerja.....	3
1.5 Sistematika Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Isolasi	6
2.2 Isolasi Kertas	7
2.3 Isolasi Minyak	9
2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi	10
2.5 Kuat Dielektrik	12

xi

2.6 Partial Discharge.....	13
2.7 Nilai Kapasitansi.....	14
2.8 Penelitian Sebelumnya	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Umum.....	17
3.2 Lokasi Penelitian.....	17
3.3 Waktu Penelitian.....	17
3.4 Metode Penelitian	17
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.6 Pembuatan Alat Pengujii	20
3.6.1 Peralatan Pengujian Tegangan Peluahan Sebagian.....	20
3.6.2 Sistem Elektroda Pengujian Sampel	24
3.7 Pengujian Sampel.....	25
3.7.1 Bahan Material Sampel.....	25
3.7.2 Proses Pembuatan Sampel.....	27
3.8 Prosedur Pengujian	27
3.9 Rangkaian Uji	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Umum.....	30
4.2 Hasil	30
4.3 Pembahasan	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Literature Review</i>	15
Tabel 4.1 Pengujian Kertas Kraft Tanpa Minyak	31
Tabel 4.2 Pengujian Kertas Kraft Menggunakan <i>Virgin Coconut Oil</i> ...	31
Tabel 4.3 Pengujian Kertas Kraft Menggunakan Minyak Diala B.....	32

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	14
Rumus 2.2	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 Pembangkit Tegangan Tinggi AC.....	20
Gambar 3.3 Elektroda Jarum dan Elektroda Bidang	21
Gambar 3.4 Kaca Akrilik/PMMA Board	22
Gambar 3.5 Mikrometer Pengatur Jarak	22
Gambar 3.6 Mikrometer Digital	22
Gambar 3.7 HV Probe Tetrotronix P6015A	23
Gambar 3.8 <i>Picoscope tipe 4000 series</i>	23
Gambar 3.9 <i>Current Transformer</i>	24
Gambar 3.10 Sistem Elektroda Pengujian Sampel.....	25
Gambar 3.11 Isolasi Kertas Kraft	25
Gambar 3.12 Minyak Transformator Diala B	26
Gambar 3.13 Minyak nabati <i>Virgin Coconut Oil</i>	26
Gambar 3.14 Rangkaian Penguji <i>Partial Discharge</i>	29
Gambar 4.1 Tegangan PDIV untuk sampel kraft (1) tanpa minyak, (2) direndam dalam cairan VCO, (3) direndam dalam minyak diala B	32
Gambar 4.2 Arus peluahan untuk sampel kraft (2) tanpa minyak, (2) direndam dalam cairan VCO, (3) direndam dalam minyak diala B	33

DAFTAR LAMPIRAN

- | | |
|------------|---|
| Lampiran 1 | Lampiran 1 Peralatan dan bahan sampel |
| Lampiran 2 | Data Hasil Pengukuran |
| Lampiran 3 | Nilai Kapasitansi Sampel |
| Lampiran 4 | Gambar sampel setelah dilakukan pengukuran |
| Lampiran 5 | Gambar bentuk gelombang dan tampilan lonjakan arus pada monitor <i>picoscope tipe 4000 series</i> |

NOMENKLATUR

C_g	: Kapasitansi Gap Udara
C_d	: Kapasitansi Bahan Dielektrik
d	: Jarak celah udara
ϵ_0	: Vakum Permitivity ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)
A	: Luas Permukaan Elektroda
G	: Tebal Bahan Dielektrik
ϵ_r	: Konstanta dielektrik relatif
C	: Kapasitansi
Q	: Muatan
V	: Tegangan

DAFTAR ISTILAH

- *Impregnasi* : Penjenuhan dengan gas atau cairan
- *Low-density paper* : Kertas dengan Densitas Rendah
- *Medium-density paper* : Kertas dengan Densitas Medium
- *High-density paper* : Kertas dengan Densitas Tinggi
- *Needle-plan* : Jarum-Bidang
- *Needle Tip* : Ujung Jarum
- *Flashover* : Loncatan Bunga Api Listrik
- *Sparkover* : Percikan Api
- *Salt Fog* : Kabut Garam
- *Discharge* : Peluahan
- *Partial Discharge* : Peluahan Sebagian
- *Insulation Breakdown* : Tembus Isolasi
- *Insulation Failure* : Kegagalan Isolasi
- *Discharge Phenomenon* : Fenomena Peluahan
- *High Voltage Alternating Current (HVAC)* : Tegangan Tinggi Bolak-Balik
- *Discharge Voltage* : Tegangan Peluahan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik telah menjadi kebutuhan pokok yang harus terpenuhi dalam kehidupan modern saat ini. Pemanfaatan listrik dapat mempermudah pengembangan kegiatan manusia baik dalam kegiatan rumah tangga, industri, komunikasi, penerangan dan transportasi. Dengan demikian upaya menjaga kehandalan dalam perencanaan penyaluran energi listrik menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan[1].

Dalam sistem penyaluran listrik, transformator merupakan peralatan yang memiliki peranan penting. Penyaluran daya listrik dapat terganggu jika terjadi kegagalan pada suatu transformator dan dapat menyebabkan kerugian secara ekonomi. Kegagalan isolasi sering menjadi penyebab terjadinya gangguan pada transformator, sehingga ketahanan isolasi yang digunakan perlu diperhatikan. Ketahanan elektrik yang rendah dari suatu bahan isolasi dapat mengakibatkan tegangan tembus atau kegagalan isolasi, *Partial discharge* merupakan salah satu fenomena kegagalan isolasi yang dapat terjadi[1]. *Partial discharge* adalah peluahan listrik lokal yang hanya menjembatani sebagian isolasi di antara konduktor dan yang mungkin terjadi dekat dengan konduktor[2], fenomena *partial discharge* dapat memicu awal terjadinya *breakdown*. Analisis terhadap *partial discharge* dapat mendiagnosis terhadap ketahanan isolasi. Berdasarkan wujudnya bahan isolasi terbagi dalam beberapa jenis yaitu isolasi padat, isolasi cair, dan isolasi gas. Salah satu bahan isolasi jenis padat yang biasanya digunakan adalah kertas[3]. Pada transformator digunakan kertas kraft sebagai isolator pada lilitan trafo, antar fasa trafo, dan pada inti trafo.

Kertas kraft pada transformator berfungsi sebagai pemisah antar penghantar listrik yang memiliki tegangan sehingga pada masing-masing penghantar tidak memicu terjadinya percikan bunga api[4]. Pada transformator komponen utama akan berada dalam kondisi yang terendam dalam minyak transformator. Pengujian terhadap tahanan isolasi dapat dilakukan dengan memberikan perlakuan pada bahan isolator yang terendam dalam minyak trasformator. Dengan menggunakan kertas kraft sebagai bahan isolator yang dipilih, maka pemahaman mengenai karakteristik isolator menggunakan elektroda jarum-bidang (*needle-plane*), yang terhubung dengan tegangan tinggi bolak-balik sebagai bentuk perlakuan terhadap bahan isolasi menjadi sangat penting. Dengan cara demikian akan dapat diketahui karakteristik sifat kelistrikan bahan isolator dan fenomena *partial discharge* yang ditimbulkan, dan ketahanan kertas kraft yang mengalami stress mekanik selama proses aplikasi (perakitan) dibawah tegangan tinggi bolak-balik akan dipahami.

1.2 Perumusan Masalah

Dilatar belakangi akan pentingnya penggunaan isolator dalam sistem tenaga listrik, maka diperlukan perhatian khusus terhadap kertas Kraft sebagai isolator yang banyak digunakan pada kumparan transformator agar tetap memiliki daya tahan mekanis dan elektris yang baik. Dengan melakukan pengujian *partial discharge* terhadap kertas Kraft sebagai isolator dalam transformator, diharapkan dapat diketahui kekuatan isolasi dari kertas Kraft sebagai bahan isolasi pada kumparan atau lilitan transformator.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan karakteristik *Partial Discharge Inception Voltage* pada material isolasi Kertas Kraft;
2. Mendapatkan nilai *Partial Discharge Inception Voltage* kertas kraft yang mengalami stress selama proses aplikasi (perakitan);
3. Menganalisa pengaruh minyak Diala B dan *Virgin Coconut Oil* terhadap isolasi kertas kraft.

1.4 Lingkup Kerja

Dalam penelitian ini tahapan kegiatan mencakup beberapa pekerjaan sebagai berikut:

1. Membuat sistem elektroda jarum-piring sebagai elektroda pada pengujian *partial discharge*;
2. Melakukan pengukuran tegangan peluahan awal (*PDIV*) sampel material isolasi berupa kertas kraft yang berbentuk lembaran dengan ketebalan 40 μm ;
3. Melakukan analisa terhadap karakteristik tegangan *Partial Discharge Inception Voltage (PDIV)* material isolasi kertas kraft yang terimpregnasi dalam minyak diala B dan VCO.

1.5 Sistematika Penelitian

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini diuraikan sebagai berikut:

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penulisan, dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini menjelaskan secara singkat mengenai teori isolasi, material isolasi jenis kertas kraft, teori fenomena *partial discharge* isolasi pada material padat.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisi tentang peralatan dan bahan, waktu dan tempat penelitian, persiapan alat dan bahan, penyiapan *eksperimental setup* untuk pengujian sampel.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas tentang hasil pengujian *partial discharge* pada sampel, dan analisa terhadap data yang didapat.

BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, dan saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Indonesia *et al.*, “Universitas Indonesia Monitoring Partial Discharge Pada Bushing Transformator Universitas Indonesia Monitoring Partial Discharge Pada Bushing Transformator,” 2011.
- [2] Y. P, Winarko Ari, Abdul Syakur, “Analisis Partial Discharge Pada Material Polimer Resin Epoksi Dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang,” *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, pp. 1–8, 2009.
- [3] L. J. Yang, W. Sun, S. Gao, and J. Hao, “Thermal aging test for transformer oil-paper insulation under over-load condition temperature,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 12, no. 12, pp. 2846–2853, 2018.
- [4] N. Yuniarti and A. N. Afandi, “Tinjauan sifat hidrofobik bahan isolasi silicone rubber,” *Tekno UM MALANG*, vol. 8, no. 1981, pp. 1–8, 2007.
- [5] Arifianto, “Analisis Karakteristik Termal Pada Kabel Berisolasi Dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500 Volt,” *Univ. Indones.*, 2008.
- [6] Y. Cui, L. Zhu, S. Ji, P. Cao, and F. Zhang, “Partial discharge development in needle-plane configuration of oil-paper insulation under AC voltage,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 4, pp. 2469–2476, 2017.
- [7] D. Feng, L. Yang, L. Zhou, R. Liao, and X. Chen, “Effect of oil–paper–pressboard mass ratio on furfural content in transformer oil,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 26, no. 4, pp. 1308–1315, 2019.

- [8] J. Gao, L. Yang, Y. Wang, X. Liu, Y. Lv, and H. Zheng, “Condition diagnosis of transformer oil-paper insulation using dielectric response fingerprint characteristics,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 23, no. 2, pp. 1207–1218, 2016.
- [9] H. Andhang Windarto, T. Haryono, “Karakteristik Isolasi Kertas Terhadap Tegangan Tinggi AC 50Hz,” *J. Penelit. Tek. ELEKTRO*, vol. 3, no. 2010, 2010.
- [10] Z. Wang, L. Pang, T. Wang, H. Yang, Q. Zhang, and J. Li, “Breakdown characteristics of oil-paper insulation under lightning impulse waveforms with oscillations,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 22, no. 5, pp. 2620–2627, 2015.
- [11] Dhofir,M., Dona,N.R., Wibawa,U., & Hasanah,N. Minyak Kelapa Beraditif Minyak Zaitun Sebagai Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi. vol. 11,pp 69-76, 2017.
- [12] S. Province, “Study on the Impact of Initial Moisture Contents on Insulation,” pp. 1–4, 2016.
- [13] U. M. Rao, H. Pulluri, and N. G. Kumar, “Performance analysis of transformer oil/paper insulation with ester and mixed dielectric fluids,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 25, no. 5, pp. 1853–1862, 2018.
- [14] Tadjuddin, “ELEKTRO INDONESIA - ENERGI.” [Online]. Available: <https://www.elektroindonesia.com/elektro/ener13a.html>. [Accessed: 14-Nov-2019].
- [15] IEEE Standards, *IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment*, no. February. 2007.

- [16] Supriono, "Buku Ajar Teknik Tegangan Tinggi," pp. 1–99, 2014.
- [17] D. Wildan Rahadian Putra, I Made Yulistya Negara, "Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap Partial Discharge," vol. 4, no. 1, 2015.
- [18] A. Rangga, "Studi Pengaruh Sinar Ultraviolet Matahari Terhadap Kekuatan Mekanik Dan Elektrik Material Isolasi Silicone Rubber," Universitas Sriwijaya, 2008.