

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK KEGAGALAN DIELEKTRIK RESIN EPOKSI
DIINDUKSI TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI BENTUK
GELOMBANG DIATAS FREKUENSI KERJA**



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

Oleh:

**Ananta Razka Syakura
NIM. 03041381823095**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
TAHUN 2023**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

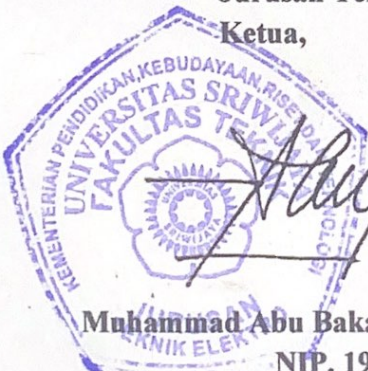
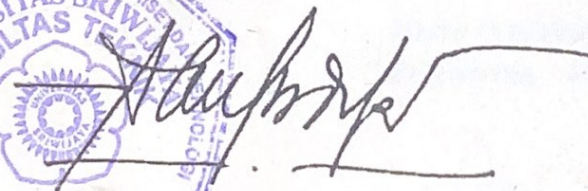
***KARAKTERISTIK KEGAGALAN DIELEKTRIK RESIN EPOKSI
DIINDUKSI TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI BENTUK
GELOMBANG DIATAS FREKUENSI KERJA***

Oleh:

**Ananta Razka Syakura
NIM. 03041381823095**

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

**Palembang, Januari 2023
Jurusan Teknik Elektro,
Ketua,**



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

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK KEGAGALAN DIELEKTRIK RESIN EPOKSI
DIINDUKSI TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI BENTUK
GELOMBANG DIATAS FREQUENSI KERJA**

Oleh:

**ANANTA RAZKA SYAKURA
NIM 03041381823095**

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

**Dosen Pembimbing,
Palembang, Januari 2023**



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Ananta Razka Syakura
Nomor Induk Mahasiswa : 03041381823095
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Persentase Plagiarisme (Turnitin) : 15%

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “Karakteristik Kerusakan Dielektrik Resin Epoksi Diinduksi oleh Berbagai Bentuk Tegangan Listrik Frekuensi Tinggi”, merupakan hasil karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila dikemudian hari penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiat terhadap karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan dan bersedia menerima sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.


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

Palembang, Januari 2023

Yang menyatakan,


E4BC0AKX421133547
Ananta Razka Syakura

Saya sebagai pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya lingkup dan kualitas tulisan ini mencukupi sebagai skripsi.

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing : Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng.

Tanggal : _____/Januari/2023

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT serta shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, karena berkat rahmat nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Karakteristik Kerusakan Dielektrik Resin Epoksi Diinduksi oleh Berbagai Bentuk Tegangan Listrik Frekuensi Tinggi”. Skripsi ini adalah karya saya dalam rangka menyelesaikan persyaratan akademik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Proses pembuatan karya ini banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari Keluarga, Dosen pembimbing, Sejawat dan Teman seangkatan, oleh karena itu pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan, semoga bantuan, perhatian dan dukungan yang diberikan menjadi amal kebaikan dimata Allah SWT. Semoga karya sederhana berbentuk skripsi ini memberikan kontribusi untuk bidang ilmu elektro khususnya yang terkait dengan material isolasi kepada semua pihak yang memerlukan.

Palembang, Januari 2023



Ananta Razka Syakura
NIM. 03041381823095

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- ✓ Buya Yan Herimen, Umi Rita Wati Ginting, adik Taqiy Aginta dan adik M Riyandra Alhisra beserta keluarga besar yang senantiasa mendo'akan dan memberi dukungan untuk suksesnya studi saya;
- ✓ Dosen Pembimbing Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng.;
- ✓ Rektor Unsri Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE dan Dekan Fakultas Teknik Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.;
- ✓ Ketua Jurusan Teknik Elektro Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., dan Dosen Pembimbing Akademik Dr. Ir. H. Syamsuri Zaini, MM;
- ✓ Bapak Prof. Zainuddin Nawawi, Ph.D., dan seluruh dosen teknik elektro yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran sampai selesainya skripsi ini;
- ✓ Dr. Syarifa Fitria, S.T. yang telah membantu memberikan arahan dan saran selama penelitian sampai selesainya skripsi ini.
- ✓ Teman seperjuangan sebingingan seangkatan yang Selalu membantu dan menemani saya yaitu M Oetih Hafez Al Assad serta teman angkatan 2018 yang telah membantu selama saya melaksanakan yang tidak dapat dituliskan satu persatu.
- ✓ Pranata senior di Laboratorium *Electrical Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Pak Lukmanul Hakim, S.T., Kak Ferlian Seftianto, S.T, dan Kak Intan Dwi Putri, S.T., Beserta teman-teman yang tergabung dalam penelitian Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik (TTTPL).
- ✓ Kak Salam, Kak Devin dan Mba Ventri sebagai admin dan akademik jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Bukit.

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

Palembang, Januari 2023



Ananta Razka Syakura

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ananta Razka Syakura
NIM : 03041381623095
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 Kerusakan Dielektrik Resin Epoksi Diinduksi oleh Berbagai Bentuk Tegangan Listrik Frekuensi Tinggi” 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 : Januari 2023

Yang menyatakan,



Ananta Razka Syakura

ABSTRAK

KARAKTERISTIK KERUSAKAN DIELEKTRIK RESIN EPOKSI DIINDUKSI OLEH BERBAGAI BENTUK TEGANGAN LISTRIK FREKUENSI TINGGI

(Ananta Razka Syakura, 03041381823095, 2023,)

Penelitian mengenai pengaruh bentuk gelombang tegangan (*waveform*) sinusoidal, rektangular, dan triangular dengan variasi frekuensi sebesar 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, dan 800 Hz terhadap besarnya *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) pada material isolasi resin epoksi di bawah tegangan aplikasi bolak balik. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terhadap sampel berbentuk lembaran dengan ukuran panjang x lebar masing-masing sebesar 50 mm dan ketebalan sebesar 1 mm. Pengujian menggunakan sistem elektroda piring-piring dengan tidak ada jarak celah antara elektroda piring dengan permukaan sampel, jumlah sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah lima sampel untuk setiap frekuensi dan jenis gelombang sehingga total sampel sebanyak 75. Tegangan aplikasi dinaikkan secara perlahan dengan laju kenaikan 10 V/s. Pada frekuensi 50 Hz dengan masing-masing jenis gelombang sinus, triangular, dan rektangular didapatkan masing-masing nilai PDIV sebesar 2,337; 2,058; 2,228. Sedangkan pada frekuensi 800 Hz dengan masing-masing jenis gelombang sinus, triangular, dan rektangular didapatkan masing-masing nilai PDIV sebesar 105; 106,6; 106. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bentuk gelombang yang berbeda memberikan tekanan elektrik (*electrical stress*) yang berbeda pada sampel resin epoksi, hal ini dipengaruhi oleh waktu kenaikan dari titik nol ke puncak gelombang (*rise time*) berbeda pada setiap gelombang, gelombang yang memiliki waktu kenaikan yang konstan menghasilkan lebih sedikit *electrical stress*. Besarnya nilai frekuensi memberikan pengaruh yang berbeda pada besarnya tekanan elektrik (*electrical stress*) yang menyebabkan turunnya nilai *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV). Semakin besar frekuensi yang diterapkan maka semakin besar juga tekanan elektrik (*electrical stress*) yang dihasilkan oleh karena itu semakin cepat juga terjadinya peluahan sebagian.

Kata Kunci: *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV), *Electrcial Stress*, *Waveform*, Epoksi Resin

ABSTRAK

DIELECTRIC DAMAGE CHARACTERISTICS OF EPOXY RESIN INDUCED BY VARIOUS FORMS OF HIGH-FREQUENCY ELECTRIC VOLTAGE

(Ananta Razka Syakura, 03041381823095, 2023,)

Research on the effect of sinusoidal, rectangular, and triangular waveforms with frequency variations of 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, and 800 Hz on the magnitude of the Partial Discharge Inception Voltage (PDIV) in epoxy resin insulating materials under alternating application voltage. In this study, tests will be carried out on samples in the form of sheets with a length x width of 50 mm each and a thickness of 1 mm. The test uses a plate electrode system with no gap between the plate electrodes and the sample surface, the number of samples used in this test is five samples for each frequency and type of wave so that the total sample is 75. The application voltage is increased slowly at a rate of 10 V/s. At a frequency of 50 Hz with each type of sine, triangular, and rectangular waves, the PDIV value was 2.337; 2.058; 2,228. Meanwhile, at a frequency of 800 Hz with each type of sine, triangular, and rectangular waves, the PDIV value is 105; 106.6; 106. The test results show that different waveforms give different electrical stress to the epoxy resin sample, this is affected by the different rise time for each wave, which wave has a rising time. which is constant produces less electrical stress. The magnitude of the frequency value has a different effect on the amount of electrical stress which causes a decrease in the Partial Discharge Inception Voltage (PDIV) value. The greater the applied frequency, the greater the electrical stress generated, therefore the faster the partial discharge will occur.

Keywords: *Partial Discharge Inception Voltage (PDIV), Electrical Stress, Waveform, Epoxy Resin*

NOMENKLATUR

- V_{inc} : Tegangan awal (Volt)
- E_b : Medan tembus ($= V_b/t'$)
- C_{void} : Kapasitansi rongga (Farad)
- ΔV : Tegangan jatuh melintasi rongga
- ΔQ : Jumlah Muatan (Volt)
- nPD : jumlah *partial discharge* per setengah siklus tegangan yang diberikan.
- f : frekuensi gelombang tegangan yang digunakan

DAFTAR ISTILAH

<i>Air Bubble</i>	: Gelembung udara pada sampel
<i>Breakdown Voltage</i>	: Tegangan tembus
<i>Corona Discharge</i>	: Peluahan korona
<i>Defect</i>	: Cacat
<i>Electrical Stress</i>	: Tekanan Listrik
<i>Epoxy Resin</i>	: Resin epoksi
<i>Flashover</i>	: Lompatan bunga api listrik
<i>Hardener</i>	: Pengeras/katalis
<i>Outdoor Insulation</i>	: Peralatan listrik pemasangan luar
<i>Partial Discharge Inception Voltage</i>	: Tegangan awal peluahan
<i>Porcelain</i>	: Keramik
<i>Sheet</i>	: Lembaran
<i>Surface Discharge</i>	: Peluahan yang terjadi di permukaan

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK.....	ix
NOMENKLATUR.....	xi
DAFTAR ISTILAH.....	vixi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Isolator	5
2.2 Bahan Isolasi.....	5
2.3 Isolasi Padat	6

2.3.1 Resin Epoksi.....	7
2.4 Mekanisme Kegagalan Bahan Isolasi Padat.....	8
2.5 Kekuatan Dielektrik	11
2.9 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Umum	22
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.4 Material Sampel.....	24
3.4.1 <i>Resin Epoksi dan Hardener</i>	24
3.5 Peralatan penilitian	25
3.5.2 Amplifier Tegangan Tinggi	25
3.5.3 Osiloskop	26
3.5.5 High Voltage Probe (HV Probe) Tipe Tetronis P6015A.....	27
3.5.6 Tahanan Tinggi.....	28
3.5.7 Automatic Voltage Regulator	28
3.6 Rangkaian Uji.....	29

3.6.1 Sistem Elektroda	29
3.7 Prosedur Percobaan	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Umum	34
4.2 Data Hasil Pengujian	34
4.3 Pembahasan	37
BAB V PENUTUP	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Terjadinya Peluahan Sebagian.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tegangan Tembus.....	19
Gambar 3.2 <i>Resin Epoksi</i>	20
Gambar 3.3 <i>Function Generator</i>	20
Gambar 3.4 Amplifier Tegangan Tinggi	21
Gambar 3.5 Osiloskop	22
Gambar 3.6 Picoscope tipe 4000 series	22
Gambar 3.7 High Voltage Probe	23
Gambar 3.8 Automatic Voltage Regulator	23
Gambar 3.9 High Voltage Probe (HV Probe) Tipe Tetronis P6015A.....	24
Gambar 3.10 Desain Elektroda.....	25
Gambar 3.11 Proses pembuatan sampel.....	25
Gambar 3.12 Eksperimental Setup.....	26

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian tentang pengaruh frekuensi tinggi pada transformator solidstate dengan isolasi Resin Epoksi.....	16
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Solid state transformer (SST) adalah jenis konverter daya yang menggantikan trafo tradisional yang digunakan dalam distribusi daya. Bahan isolasi yang biasa digunakan dalam SST adalah bahan isolasi polimer. Insulasi polimer saat ini banyak digunakan dan terus dikembangkan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan insulasi keramik (*porcelain*) dan kaca. Resin epoksi merupakan bahan isolasi berbasah dasar polimer yang banyak digunakan pada berbagai peralatan listrik karena sifatnya yang baik dalam hal kekuatan mekanik, ketahanan panas, dan isolasi listrik. [1]. Pada sisi lain, resin epoksi pada SST sering mengalami kegagalan termal panas yang berlebihan. Salah satu penyebab *overheating* SST adalah frekuensi tinggi. Peningkatan frekuensi mengakibatkan penurunan kekuatan dielektrik epoksi[2].

Penelitian yang dilakukan oleh Dong et.al [2018] membuktikan bahwa adanya pengaruh bentuk gelombang tegangan terhadap besarnya "*electrical stress*", sehingga berpengaruh terhadap karakteristik *partial dischargenya* yang berdampak pada masa pakai (*life-time*) suatu isolator. Dalam penelitian itu digunakan tiga bentuk gelombang tegangan berbeda dan didapatkan nilai parameter *partial discharge* yang berbeda [3]. Serta menurut Bodega et.al [2002] frekuensi mempengaruhi besarnya suatu *partial discharge* [4].

Oleh karena itu, penelitian untuk mendapat pola PD yang terjadi dengan aplikasi frekuensi yang bervariasi, dengan tiga bentuk gelombang

tegangan yang berbeda yang diterapkan pada material isolasi Resin Epoksi menjadi menarik untuk dilakukan, data pola PD ini akan berguna untuk membuat analisa ketahanan resin epoksi dibawah kondisi frekuensi tinggi dan bentuk gelombang yang berbeda.

1.2 Perumusan Masalah

Peranan isolator dalam transformator sangat penting, oleh karena itu perlu diberikan perhatian khusus terhadap isolasi resin epoksi yang banyak digunakan sebagai isolator diantara belitan dan inti magnet transformator karena kelemahannya terhadap panas yang terjadi akibat frekuensi yang tinggi yang mengakibatkan peningkatan electrical stress dan panas. Besarnya *Electrical stress* dapat dipengaruhi dengan besarnya frekuensi, dikarenakan terdapat kerapatan gelombang yang berbeda. Hal itu dapat mempengaruhi proses *ageing* terhadap suatu isolator yang menyebabkan kekuatan isolasi dielektrik tersebut menurun sehingga Partial Discharge dapat terjadi lebih awal. Oleh karena itu studi ini perlu dilakukan untuk mempelajari pengaruh bentuk gelombang tegangan terhadap pola PD (*PD pattern*) pada sampel epoksi resin.

1.3 Tujuan Penulisan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh bentuk gelombang tegangan (*Waveform*) terhadap Tegangan Peluahan Awal dan Pola PD pada isolasi resin epoksi.
2. Mengetahui pengaruh besar frekuensi terhadap Tegangan awal Peluahan pada resin epoksi.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pengujian menggunakan tegangan tinggi pada frekuensi yang bervariasi 50, 100, 200, 400 dan 800 Hz.
2. Bentuk gelombang yang diterapkan adalah Sinusoidal, Rectangular, dan Triangular.
3. Sampel uji berupa lembaran Resin epoxy ditempatkan diantara dua elektroda piring tanpa celah udara, dan tegangan yang diaplikasikan dinaikkan secara perlahan dengan laju kenaikan 100V/s.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I

PENDAHULUAN

Dibagian pendahuluan ini memberikan pengenalan singkat tentang masalah yang sedan g dipecahkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan literatur membahas tinjauan pustaka. Gambaran singkat tentang topik utama penelitian ini yang disajikan dari berbagai sumber bacaan seperti *paper*, jurnal, skripsi serta sumber literatur lainnya. Studi literatur ini dilakukan untuk memperoleh informasi tentang epoksi resin, *partial discharge*, bentuk gelombang, isolator padat, dan kuat dielektrik.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian membahas metodologi dan menjelaskan secara rinci peralatan penelitian seperti persiapan sampel uji, rangkaian pengujian *partial discharge* pada sampel epoksi resin dengan frekuensi yang bervariasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menguraikan perhitungan, analisis dan pembahasan terhadap besarnya *partial discharge* dan bentuk gelombang dengan frekuensi yang bervariasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada akhir penelitian didapatkan kesimpulan berdasarkan hasil yang diperoleh berupa poin poin dan juga saran untuk pengembangan lebih lanjut kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wang, X. Wang, J. He, Y. Liu, and S. Li, "Dielectric Breakdown Characteristics of Resin Epoksi Induced by High Frequency Electric Stress Used in Solid State Transformer," *Proc. 2020 IEEE 3rd Int. Conf. Dielectr. ICD 2020*, pp. 162–165, 2020, doi: 10.1109/ICD46958.2020.9341863.
- [2] T. Jiang, A. Cavallini, G. C. Montanari, and J. Li, "The role of HVDC voltage waveforms on partial discharge activity in paper/oil insulation," *Annu. Rep. - Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP*, pp. 424–427, 2012, doi: 10.1109/CEIDP.2012.6378810.
- [3] G. Dong, T. Liu, M. Zhang, Q. Li, and Z. Wang, "Effect of voltage waveform on partial discharge characteristics and insulation life," *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, vol. 2018-May, pp. 144–147, 2018, doi: 10.1109/ICPADM.2018.8401151.
- [4] R. Bodega, A. Cavallini, P. H. F. Morshuis, and F. J. Wester, "The effect of voltage frequency on partial discharge activity," *Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenom. (CEIDP), Annu. Rep.*, pp. 685–689, 2002, doi: 10.1109/ceidp.2002.1048889.
- [5] J. Lehr and P. Ron, "Electrical Breakdown in Solids, Liquids, and Vacuum," *Found. Pulsed Power Technol.*, pp. 439–492, 2017, doi: 10.1002/9781118886502.ch9.
- [6] R. Kurnia, "Investigasi Karakter Partial Discharge Pada Material Isolasi Tegangan Tinggi Melalui Pengukuran Tegangan Awal Partial Discharge," *J. Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2015.
- [7] J. S. T. Looms, *Insulators for high voltages*, no. 7. IET, 1988.

- [8] I. M. Y. Negara, “Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis,” *Graha Ilmu*, 2013.
- [9] C. Wang, Q. Sun, L. Zhao, J. Jia, L. Yao, and Z. Peng, “Mechanical and dielectric strength of laminated epoxy dielectric graded materials,” *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 3, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/polym12030622.
- [10] H. Sayogi, A. Sayakur, and M. Facta, “Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum–Bidang.” Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, 2011.
- [11] M. Latif, “Pengaruh Temperatur Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Nabati Sebagai Bahan Isolasi Transformator Daya.” TeknikA, 2008.
- [12] F. H. Krueger, “Industrial High Voltage,” no. September 2013. Delft University Press, pp. 117–132, 1992.
- [13] Suwarno, “Partial discharges in high voltage insulations: Mechanism, patterns and diagnosis,” *Proc. 2014 Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. ICEECS 2014*, no. November, pp. 369–375, 2014, doi: 10.1109/ICEECS.2014.7045280.
- [14] Profesor Suwarno, *DIAGNOSIS PERALATAN TEGANGAN TINGGI DAN SMART GRID*, no. January. 2012.