

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA MATERIAL  
ISOLASI *EPOXY RESIN* BERPENGGISI *NANOFILLER***

**TiO<sub>2</sub> DAN SiO<sub>2</sub>**



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

**Oleh:  
SALSABILA DWI RAJAYU  
NIM. 03041381823074**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
TAHUN 2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**


**PERBANDINGAN POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA MATERIAL  
ISOLASI *EPOXY RESIN* BERPENGISI *NANOFILLER*  
 $\text{TiO}_2$  DAN  $\text{SiO}_2$**

Oleh:  
**SALSABILA DWI RAJAYU**  
NIM. 03041381823074

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan**

**Palembang, Agustus 2022**  
**Jurusan Teknik Elektro,**  
**Ketua,**



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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

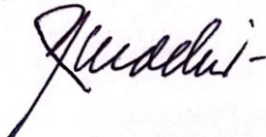
**PERBANDINGAN POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA MATERIAL  
ISOLASI *EPOXY RESIN* BERPENGISI *NANOFILLER*  
TiO<sub>2</sub> DAN SiO<sub>2</sub>**

**Oleh:  
SALSABILA DWI RAJAYU  
NIM. 03041381823074**

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

**Palembang, Agustus 2022**

**Dosen Pembimbing,**



**Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.  
NIP. 195903031985031004**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Salsabila Dwi Rajayu  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041381823074  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro  
Universitas : Sriwijaya  
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 8%

Menyatakan bahwa,

Karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Perbandingan Pola Partial Discharge Pada Material Isolasi *Epoxy Resin* Berpengisi *Nanofiller* TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>”, merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya.

Apabila ternyata dikemudian 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, Agustus 2022  
Yang menyatakan,



Salsabila Dwi Rajayu  
NIM. 03041381823074

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 : Prof. Ir. Zainuddin Nawawi, Ph.D.

Tanggal : \_\_\_\_\_

## 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 “Perbandingan Pola Partial Discharge Pada Material Isolasi Epoxy Resin Berpangisi Nanofiller TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>”. 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, Sejawat dan Teman se-angkatan, 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, Agustus 2022



Salsabila Dwi Rajayu  
NIM. 03041381823074

## HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- ✓ Papa alm. Hermin Rudy Julian, Mama Lisnawati dan Abang Ruli Faddhu Rachman. yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kesuksesan pendidikan saya;
- ✓ Dosen Pembimbing, yaitu Bapak Prof. Ir. H. Zainuddin Nawawi, Ph.D.;
- ✓ Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaf, MSCE, Rektor Universitas Sriwijaya dan Bapak Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T. Dekan Fakultas Teknik;
- ✓ Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. selaku ketua jurusan dan pembimbing akademik, serta dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Sriwijaya;
- ✓ Pranata, Senior di Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Pak Lukmanul Hakim, S.T., Mbak Dr. Syarifah Fitriani, S.T., Kak Intan Dwi Putri S.T., Kak Ferlian Seftianto S.T.,;
- ✓ Semua anggota Laboratorium *Electrical Energy and Safety* angkatan 2018 yaitu Anisa, Fini, Agus, Feron, Alif Agung, Halim, Ilham, Jihan, Alif Fathurr, Razka dan Hafez;

Agar semua kebaikan yang diberikan menjadi amal dan dibalas oleh Allah SWT.

Palembang, Agustus 2022



Salsabila Dwi Rajayu  
NIM. 03041381823074

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Salsabila Dwi Rajayu  
NIM : 03041381823074  
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, “Perbandingan Pola Partial Discharge Pada Material Isolasi *Epoxy Resin* Berpengisi *Nanofiller* TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>” 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 2022  
Yang menyatakan,



Salsabila Dwi Rajayu  
NIM. 03041381823074



**ABSTRAK**  
**PERBANDINGAN POLA *PARTIAL DISCHARGE* PADA MATERIAL**  
**ISOLASI *EPOXY RESIN* BERPENGISI *NANOFILLER***  
**TiO<sub>2</sub> DAN SiO<sub>2</sub>**

(Salsabila Dwi Rajayu, 03041381823074, 2022, xx + 52 halaman + lampiran)

---

Penelitian skripsi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai PDIV,  $V_{bd}$  dan pola PD (*PD pattern*) untuk material isolasi epoxy resin yang diberi pengisi nanofiller SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> dibawah tegangan aplikasi bolak balik. *PD pattern* digunakan untuk mendiagnosa terjadinya rongga atau kerusakan pada isolasi sampel sebelum terjadinya kegagalan isolasi secara sempurna. Pada penelitian ini sampel resin epoksi diberi pengisi dengan variasi konsentrasi pengisi 1; 2; 3; 4; dan 5wt%. Sampel berupa lembaran epoksi resin dengan ukuran panjang x lebar masing masing 50 mm dan ketebalan 1 mm. Pengujian menggunakan sistem elektroda jarum-piring dengan jarak celah antara elektroda jarum dengan permukaan sampel sebesar 1 mm. Tegangan aplikasi dinaikkan secara perlahan dengan laju kenaikan 100 V/s. Parameter PD direkam pada tegangan 2,7 kV untuk waktu selama 1 menit untuk mendapatkan *PD pattern*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan pengisi nanofiller SiO<sub>2</sub> dan nanofiller TiO<sub>2</sub> telah meningkatkan kekuatan dielektrik material isolasi resin epoksi. Kenaikan tertinggi terjadi pada konsentrasi nanofiller 3 wt% SiO<sub>2</sub> dengan nilai PDIV dan  $V_{bd}$  masing-masing 1,861 kV dan 4.506 kV sedangkan untuk penambahan pengisi nanofiller TiO<sub>2</sub> dengan komposisi 3wt% didapat nilai PDIV dan  $V_{bd}$  masing masing 1.851 kV dan 4,503 kV. Pola PD dengan jumlah kejadian (n) minimum terjadi pada konsentrasi 3wt% untuk kedua jenis bahan pengisi. Pola ini mengindikasikan adanya hubungan yang kuat antara kekuatan dielektrik material yang meningkat dengan penambahan bahan pengisi sampai dengan maksimum 3wt%. Peningkatan kekuatan dielektrik ini cukup berarti dibandingkan dengan kekuatan dielektrik dari material epoxy resin tanpa pengisi.

Kata kunci: Resin epoksi, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV), Pola PD

**ABSTRACT**

**COMPARISON OF PARTIAL DISCHARGE PATTERNS ON  
EPOXY RESIN INSULATION MATERIALS FILLED WITH  
TiO<sub>2</sub> AND SiO<sub>2</sub> NANOFILLER**

(Salsabila Dwi Rajayu, 03041381823074, 2022, xx + 52 pages+ Appendices)

---

This research was conducted to obtain the values of PDIV,  $V_{bd}$  and PD pattern for epoxy resin insulating material which was filled with SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanofillers under alternating application voltage. The PD pattern is used to diagnose the occurrence of cavities or damage to the sample insulation before the complete insulation failure occurs. In this research, the epoxy resin sample was filled with a filler concentration of 1; 2; 3; 4, and 5wt%. The sample is an epoxy resin sheet with a length x width of 50 mm each and a thickness of 1 mm. The test uses a needle-plate electrode system with a gap between the needle electrode and the sample surface of 1 mm. The applied voltage is increased slowly at an incremental rate of 100 V/s. The PD parameters were recorded at 2.7 kV for 1 minute to obtain the PD pattern. The test results show that the addition of SiO<sub>2</sub> nanofiller and TiO<sub>2</sub> nanofiller has increased the dielectric strength of the epoxy resin insulating material. The highest increase occurred in the concentration of 3 wt% SiO<sub>2</sub> nanofiller with PDIV and  $V_{bd}$  values of 1.861 kV and 4.506 kV respectively, while for the addition of TiO<sub>2</sub> nanofiller with a composition of 3wt% the PDIV and  $V_{bd}$  values were 1.851 kV and 4.503 kV, respectively. The PD pattern with the minimum number of occurrences (n) occurred at a concentration of 3wt% for both types of fillers. This pattern indicates a strong relationship between the dielectric strength of the material which increases with the addition of filler up to a maximum of 3wt%. This increase in dielectric strength is quite significant compared to the dielectric strength of unfilled epoxy resin materials.

Keywords: Epoxy resin, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Partial Discharge Inception Voltage (PDIV), PD Pattern

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>NOMENKLATUR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISTILAH.....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB I .....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	3
1.3    Tujuan Penelitian.....	4
1.4    Batasan Masalah.....	4
1.5    Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II.....</b>	<b>7</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>

2.1	Isolasi.....	7
2.2	Isolasi Polimer.....	7
2.3	<i>Epoxy Resin</i> .....	9
2.4	Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....	9
2.4.1	Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	9
2.4.2	Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> ).....	10
2.5	Kekuatan Dielektrik.....	10
2.6	<i>Partial Discharge</i> .....	11
2.7	Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat.....	16
2.8	Kapasitansi.....	18
2.9	Penelitian Sebelumnya .....	19
<b>BAB III .....</b>		<b>20</b>
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>20</b>
3.1	Pendahuluan.....	20
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	21
3.3	Bahan .....	22
3.3.1	<i>Epoxy Resin dan Hardener</i> .....	22
3.3.2	Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> ).....	22
3.3.3	Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> ).....	23
3.4	Peralatan.....	24
3.4.1	Jangka Sorong Digital .....	24
3.4.2	Neraca Analitik .....	24
3.4.3	<i>Vacuum Drying Oven</i> .....	25
3.4.4	<i>High Voltage Alternating Current</i> .....	25
3.4.5	Tahanan Tinggi .....	26
3.4.6	<i>High Voltage Probe</i> .....	26
3.4.7	<i>PicoScope</i> .....	27
3.4.8	<i>Pearson Current monitor</i> .....	27

3.5	Pembuatan Sampel Uji .....	28
3.5.1	Bahan dan Komposisi .....	28
3.5.2	Proses Pembuatan Sampel Uji .....	29
3.6	Experimental Setup .....	30
3.6.1	Sistem Elektroda .....	30
3.6.2	Rangkaian Pengujian .....	32
3.7	Prosedur Pengujian .....	34
<b>BAB IV .....</b>		<b>36</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>36</b>
4.1	Umum .....	36
4.2	Data Hasil Penelitian .....	36
4.3	Diskusi .....	48
<b>BAB V .....</b>		<b>51</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>51</b>
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber <i>Partial Discharge</i> .....	12
Gambar 2.2 Pulsa PD .....	13
Gambar 2.3 (a) Mekanisme pelepasan sebagian dan (b) bentuk gelombang .....	14
Gambar 2.4 Kegagalan Pada Bahan Isolasi Padat .....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Epoxy Resin dan hardener bermerek <i>Eposchön</i> yang diproduksi oleh PT. Perdana Chemindo Perkasa Indonesia.....	22
Gambar 3.3 TiO <sub>2</sub> jenis Rutile diproduksi oleh <i>Farm-Reaching Biochemical</i> .....	23
Gambar 3.4 SiO <sub>2</sub> diproduksi dari <i>Nanostructured &amp; Amorphous Materials</i> <i>Inc</i> .....	23
Gambar 3.5 Jangka sorong digital merk <i>Gauge</i> .....	24
Gambar 3.6 Neraca Analitik <i>TN-Series</i> .....	24
Gambar 3.7 <i>Vacuum drying oven B-ONE</i> tipe VOV-50 .....	25
Gambar 3.8 Transformator HVAC 20 kV Manufaktur <i>Musashi Electrical</i> <i>Instruments Works LTD</i> .....	25
Gambar 3.9 Tahanan tinggi 185 k $\Omega$ .....	26
Gambar 3.10 <i>High voltage probe (HV Probe)</i> tipe Tektronix P6015A .....	26
Gambar 3.11 PicoScope tipe 4000 <i>series</i> .....	27
Gambar 3.12 <i>Pearson Current Monitor</i> model 411 .....	28
Gambar 3.13 Tahapan pembuatan sampel uji.....	29
Gambar 3.14 (a) Desain menggunakan Sketch-Up (b) Sistem Elektroda jarum-piring .....	31
Gambar 3.15 Rangkaian Pengujian PD .....	32

Gambar 4.1 Perbandingan nilai PDIV terhadap variasi konsentrasi pengisi nanofiller SiO <sub>2</sub> .....	37
Gambar 4.2 Perbandingan nilai PDIV terhadap variasi konsentrasi pengisi nanofiller TiO <sub>2</sub> .....	37
Gambar 4.3 Perbandingan nilai V <sub>bd</sub> terhadap variasi konsentrasi pengisi nanofiller SiO <sub>2</sub> .....	38
Gambar 4.4 Perbandingan nilai V <sub>bd</sub> terhadap variasi konsentrasi komposisi pengisi nanofiller TiO <sub>2</sub> .....	38
Gambar 4.5 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> tanpa pengisi .....	39
Gambar 4.6 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 1wt% SiO <sub>2</sub> .....	40
Gambar 4.7 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 2wt% SiO <sub>2</sub> .....	40
Gambar 4.8 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 3wt% SiO <sub>2</sub> .....	41
Gambar 4.9 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 4wt% SiO <sub>2</sub> .....	42
Gambar 4.10 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 5wt% SiO <sub>2</sub> .....	42
Gambar 4.11 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 1wt% TiO <sub>2</sub> .....	43
Gambar 4.12 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 2wt% TiO <sub>2</sub> .....	44
Gambar 4.13 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 3wt% TiO <sub>2</sub> .....	44
Gambar 4.14 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 4wt% TiO <sub>2</sub> .....	45
Gambar 4.15 PD pattern sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi 5wt% TiO <sub>2</sub> .....	46
Gambar 4.16 Korelasi antara jumlah kejadian PD (n) untuk sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi <i>nanofiller</i> SiO <sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi. ....	47
Gambar 4.17 Korelasi antara jumlah kejadian PD (n) untuk sampel <i>epoxy resin</i> berpengisi <i>nanofiller</i> TiO <sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi. ....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian yang berkaitan dengan studi yang akan dilaksanakan	19
Tabel 3.1 Spesifikasi pengisi <i>nanofiller</i> TiO <sub>2</sub> .....	23
Tabel 3.2 Spesifikasi Dimensi Sistem Elektroda.....	30



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 .....	15
Persamaan 2.2 .....	15
Persamaan 2.3 .....	15
Persamaan 2.4 .....	16
Persamaan 2.5 .....	18
Persamaan 2.6 .....	18

## DAFTAR LAMPIRAN

- |            |  |
|------------|--|
| Lampiran 1 | Tahapan Kegiatan Penelitian  |
| Lampiran 2 | Data Hasil Pengukuran  |
| Lampiran 3 | Perhitungan Nilai Konstanta Dielektrik Gabungan dan Kapasitansi                |
| Lampiran 4 | Rekaman Grafik Gelombang Sinusoidal Pada Aplikasi <i>Picoscope 4000 Series</i> |
| Lampiran 5 | Lembar Plagiarisme Turnitin  |

## NOMENKLATUR

$C$	: Kapasitansi
$Q$	: Muatan
$V$	: Tegangan
$\epsilon_o$	: Konstanta dielektrik ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$ F/m)
$\epsilon_e$	: Konstanta dielektrik campuran
$\epsilon_r$	: Konstanta dielektrik relatif (1,00054)
$A$	: Luas permukaan bidang material elektroda
$d$	: Tebal material
$C_g$	: Kapasitansi Gap Udara
$C_d$	: Kapasitansi Material Isolasi
$v$	: Volume Material Bahan Pengisi
$E_b$	: Medan tembus
$C_{\text{void}}$	: Kapasitansi rongga
$n_{\text{PD}}$	: Jumlah <i>partial discharge</i>
$f$	: Frekuensi gelombang
$V_{\text{inc}}$	: Tegangan awal
$\Delta V$	: Tegangan jatuh melintasi rongga

## DAFTAR ISTILAH

<i>Aging</i>	: Penuaan
<i>Air Bubble</i>	: Gelembung udara pada sampel
<i>Breakdown Voltage</i>	: Tegangan tembus
<i>Cross Link</i>	: Ikatan yang selang-seling
<i>Corona Discharge</i>	: Peluahan korona
<i>Defect</i>	: Cacat
<i>Electrical Stress</i>	: Tekanan Listrik
<i>Epoxy Resin</i>	: Resin epoksi
<i>Fiberglass</i>	: Serat Kaca
<i>Filler</i>	: Pengisi
<i>Flashover</i>	: Lompatan bunga api listrik
<i>Hardener</i>	: Pengeras/katalis
<i>Indoor Insulation</i>	: Peralatan listrik pemasangan dalam
<i>Internal discharge</i>	: Peluahan yang terjadi di dalam material
<i>Nanocomposite</i>	: Penggabungan dua atau lebih materi pada skala nanostruktural
<i>Nanofiller</i>	: Pengisi yang berukuran nano
<i>Outdoor Insulation</i>	: Peralatan listrik pemasangan luar
<i>Partial Discharge Inception Voltage</i>	: Tegangan awal peluahan
<i>PD Pattern</i>	: Pola Partial Discharge
<i>Porcelin</i>	: Keramik
<i>Sheet</i>	: Lembaran
<i>Stainless Steel</i>	: Baja anti karat (stainless)
<i>Surface Discharge</i>	: Peluahan yang terjadi di permukaan
<i>Tracking</i>	: Pelacakan
<i>Void</i>	: Rongga udara

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Isolasi merupakan material yang digunakan untuk memisahkan bagian yang bertegangan satu dengan bagian bertegangan lainnya agar tidak terjadi lompatan listrik atau *flashover*. Isolator menjadi salah satu bagian terpenting dalam sistem kelistrikan untuk menghindari kerusakan pada peralatan listrik melalui peristiwa hubung singkat akibat kegagalan sistem isolasi. Kualitas suatu isolator diukur dengan kekuatan dielektrik dari bahan isolator tersebut. Semakin tinggi kekuatan dielektrik maka semakin tinggi kualitas isolator [1].

Isolasi berbahan polimer saat ini banyak dikembangkan karena mempunyai kelebihan atau keunggulan jika dibandingkan isolasi keramik (*porcelain*) dan kaca. *Epoxy resin* merupakan salah satu bahan isolasi berbahan polimer yang banyak digunakan pada berbagai peralatan listrik karena memiliki sifat yang baik dari segi kekuatan mekanik ketahanan panas, dan isolasi listrik. Material *epoxy resin* dapat diaplikasikan pada sistem tegangan rendah dan menengah contoh sebagai isolasi panel distribusi, isolator pasak, pada sistem distribusi, *bushing* transformator [2].

*Epoxy resin* di pilih karena memiliki keunggulan yaitu rapat massa 0,9-2,5 gram/cm<sup>3</sup> yang lebih kecil dibandingkan dengan isolator porselin yang rapat massanya 2,3-3,9 gram/cm<sup>3</sup> dan isolator gelas dengan rapat massa 2,5 gram/cm<sup>3</sup>, dengan proses pembuatannya yang tidak memerlukan energi yang terlalu besar hanya membutuhkan suhu antara 20°C - 30°C. Sifat dielektrik bahan isolasi resin epoksi memiliki konstanta dielektrik 2,3 - 5,5 yang lebih baik dibandingkan dengan isolator porselin dengan konstanta dielektrik 5,0 - 7,5 dan isolator gelas memiliki konstanta dielektrik 7,3 [3]. Sebagian besar

bahan isolasi polimer epoksi lebih ringan dari porselen dan kaca. Namun adapun kekurangan dari *epoxy resin* adalah rentan terhadap perubahan cuaca dan radiasi ultraviolet yang dapat menurunkan ketahanan isolasi untuk jangka panjang sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi yang berujung kegagalan operasi sistem [4].

Upaya peningkatan kekuatan dielektrik material isolasi banyak dilakukan sebagai upaya mendapatkan material baru dengan kualitas yang lebih baik dan nilai ekonomis yang bersaing. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan beberapa bobot persentase pengisi nano (*nanofiller*) telah meningkatkan sifat dielektrik material [2]. Nanokomposit menawarkan kemungkinan baru yang menarik sebagai bahan dielektrik dan isolasi, dan penggunaan yang praktis telah menjadi perhatian utama dalam penelitian terbaru. Menambahkan bahan pengisi ke polimer adalah cara untuk meningkatkan performa polimer dan memperpanjang usia pakainya [5]. Pengisi atau *filler* yang banyak digunakan pada penelitian yaitu Titanium dioksida ( $TiO_2$ ) dan Silika dioksida ( $SiO_2$ ).

Pengisi *nanofiller*  $TiO_2$  memiliki resistivitas dielektrik, konduktivitas termal yang tinggi, ketersediaan yang banyak dan murah sehingga dapat dijadikan penguat material isolasi *epoxy resin* [2]. Pada pengisi  $SiO_2$  sendiri memiliki beberapa kelebihan dari pengisi anorganik yang lain yaitu Sifat resistivitas dielektrik yang tinggi, ketersediaan yang banyak, murah, dan mudah didapatkan di Indonesia.

Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja isolasi polimer ialah *defect*. *Defect* ini dapat muncul dalam bentuk rongga, ketidakmurniaan, atau tonjolan pada permukaan isolator yang menyebabkan peningkatan medan listrik. Operasi sistem secara terus menerus mengakibatkan isolator polimer

akan mengalami penuaan akibat *stress* tegangan. Terbentuknya rongga (*void*) akibat ketidak sempurnaan dalam proses pembuatan isolator merupakan cacat (*defect*) yang sering terjadi dari sistem isolasi. Phenomena *Partial Discharge* (PD) terjadi berawal dari adanya rongga dalam sistem isolasi. Analisis PD banyak digunakan untuk mendiagnosis kualitas material. Fenomena tersebut dapat dikenali dengan mengamati hasil pengukuran parameter *partial discharge* [6].

Pada penelitian ini dilakukan studi mengenai pola PD (*PD Pattern*) yang terjadi pada material isolasi *epoxy resin* dengan pengisi *nanofiller* SiO<sub>2</sub> dan *nanofiler* TiO<sub>2</sub>. Perbandingan ini dilakukan untuk mendapatkan jenis material baru dari epoxy resin yang diberi pengisi dengan komposisi berbeda yang memiliki kekuatan lebih baik dalam menahan *stress* tegangan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pemilihan jenis material isolasi merupakan hal penting dalam sistem tenaga listrik. Kesalahan dalam pemilihan material dapat mengakibatkan kegagalan isolasi yang dapat merusak peralatan listrik. Material *epoxy resin* dipilih sebagai sampel uji karena memiliki keunggulan dibandingkan material jenis lain. Disisi lain material isolasi polimer jenis epoxy resin rentan terhadap perubahan cuaca dan radiasi ultraviolet untuk jangka waktu panjang dapat menurunkan ketahanan isolasi. Untuk mengatasi kekurangan material *epoxy resin* dapat dilakukan pemberian bahan pengisi atau *filler* [7].

Bahan pengisi *nanofiller* TiO<sub>2</sub> dipilih karena memiliki resistivitas dielektrik, konduktivitas termal yang tinggi, ketersediaan yang banyak dan nilai ekonomis sehingga dapat dijadikan salah satu penguat material isolasi *epoxy resin* [2]. Pada pengisi SiO<sub>2</sub> sendiri memiliki beberapa kelebihan dari

pengisi anorganik yang lain yaitu Sifat resistivitas dielektrik yang tinggi, ketersediaan yang banyak, murah, dan mudah didapatkan di Indonesia.

Oleh karena itu penelitian dengan membandingkan pola PD pada *epoxy resin* yang diberi pengisi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  diprediksi akan menghasilkan pilihan komposisi material *nanocomposite* yang mempunyai performa lebih baik menjadi sangat penting untuk dilakukan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Mendapatkan nilai *Partial Discharge Inception Voltage* (PDIV) dan *Breakdown Voltage* ( $V_{bd}$ ) pada material isolasi *epoxy resin* diberi pengisi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$ .
2. Mendapatkan Pola Peluahan sebagian atau *PD Pattern* dari sampel uji *epoxy resin* diberi pengisi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$ .
3. Mendapatkan komposisi material *nanocomposite* yang memiliki kinerja lebih baik sebagai alternatif sebagai bahan isolasi.

### 1.4 Batasan Masalah

Sampel uji yang digunakan berupa material *epoxy resin* dibuat dalam bentuk lembaran (*sheets*). Sampel uji dibuat dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 50 mm dan tebal 1 mm. Bahan pengisi yang digunakan berupa *nanofiller* yaitu  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  dengan komposisi 1; 2; 3; 4; dan 5wt%.

Eksperimen dilakukan dengan,

1. Menggunakan sistem elektroda susunan jarum-piring.
2. Jarak sela antara ujung elektroda dengan permukaan sampel 1 mm.
3. Tegangan tinggi bolak-balik (HVAC) pada frekuensi kerja 50 Hz.



## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan yang digunakan dalam tugas akhir yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang, tujuan, dan rumusan masalah dari penelitian ini. Adapun uraian pada bab ini membahas tentang material *epoxy resin* yang diberi pengisi *nanofiller* SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada tinjauan pustaka meliputi tentang studi literatur yang diperoleh dari sumber bacaan seperti *paper*, artikel, jurnal, skripsi dan lainnya. Tujuan dilakukan studi literatur adalah untuk mendapatkan informasi tentang penelitian terdahulu, ataupun informasi yang berkaitan mengenai isolasi polimer *epoxy resin* pengisi *nanofiller* TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat metode yang dilakukan dalam penelitian, diagram penelitian, serta bahan dan alat yang dipakai, lalu proses pembuatan sampel uji, prosedur pengujian, dan tabel data hasil penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini membahas tentang perbandingan pengaruh penambahan pengisi *nanofiller* seperti SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> pada *epoxy resin* terhadap pola *partial discharge*.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan dan saran berisi poin-poin dan saran yang diperlukan untuk penelitian-penelitian yang bisa dikembangkan selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Syakur, M. Facta, J. T. Elektro, U. Diponegoro, and J. P. Sudharto, “Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang,” *Transmisi*, vol. 7, no. 2, pp. 26-29–29, 2005, doi: 10.12777/transmisi.7.2.26-29.
- [2] T. Tanaka, G. C. Montanari, and R. Mülhaupt, “Polymer nanocomposites as dielectrics and electrical insulation- perspectives for processing technologies, material characterization and future applications,” *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 11, no. 5, pp. 763–784, 2004, doi: 10.1109/TDEI.2004.1349782.
- [3] T. Prasetyo, “Penguujian Sudut Kontak pada Bahan Isolasi Resin Epoksi Dengan Pengisi Pasir Pantai yang Mengandung Banyak Kalsium,” vol. 5 No.1, 2012.
- [4] V. K. Agarwal, “Aging of Multistressed Polymeric Insulators,” *IEEE Trans. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 5, pp. 741–764, 1989, doi: 10.1109/14.42157.
- [5] T. Imai *et al.*, “Improving epoxy-based insulating materials with nano-fillers toward practical application,” *Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul.*, pp. 201–204, 2008, doi: 10.1109/ELINSL.2008.4570310.
- [6] A. Syakur, J. Teknik, E. Fakultas, T. Universitas, E. Jarum, and E. Bidang, “Studi Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik Partial Discharge Pada Bahan Resin Epoksi,” pp. 1–4, 2008.

- [7] K. Elanseralathan, V. Karthick, R. S. D. Kumar, and S. R. Mellam, "Effect of filler concentration on the breakdown strength of epoxy nanocomposites," *2017 6th Int. Conf. Comput. Appl. Electr. Eng. - Recent Adv. CERA 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 226–229, 2018, doi: 10.1109/CERA.2017.8343331.
- [8] R. Mambela, "Studi Gangguan Hubung Singkat Pada Transformator Distribusi 20 KVA Di PT.PLN (Persero) Area Kota Pontianak."
- [9] Y. Prasetyo and F. Murdiya, "Karakteristik Dielektrik Campuran Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) Dibawah Terpaan Medan Tinggi DC Polaritas Negatif," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2017.
- [10] Rochmadi and A. Permono, "Mengenal Polimer dan Polimerisasi," vol. 2, pp. 95–96, 2018.
- [11] A. Jaya and H. Berahim, "Kinerja Bahan Isolasi Campuran Polimer Epoksipolisiloksan Dengan Pengisi Abu Sekam Padi Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi Di Daerah Beriklim Tropis," 2013.
- [12] Ravindra Arora and Wolfgang Mosch, *High voltage and electrical insulation engineering [electronic resource] / Ravindra Arora, Wolfgang Mosch*. 2011.
- [13] D. Ferdiansyah, J. M. Nainggolan "Karakteristik Peluahan Sebagian (Partial Discharge) Pada Isolasi Epoksi Resin (Resin Epoxy) Dengan Metode Emisi Akustik," *J. Inform. dan ...*, no. 1, pp. 1–6, 2016, [Online]. Available: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/531>.

- [14] P. Karunarathna, K. Chithradewa, S. Kumara, C. Weerasekara, R. Sanarasinghe, and T. Rathnayake, "Study on Dielectric Properties of Epoxy Resin Nanocomposites," *2019 Int. Symp. Adv. Electr. Commun. Technol. ISAECT 2019*, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/ISAECT47714.2019.9069694.
- [15] X. Lyu, H. Wang, Z. Guo, and Z. Peng, "Dielectric properties of epoxy-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites," *Proc. 2016 IEEE Int. Conf. Dielectr. ICD 2016*, vol. 2, pp. 1081–1084, 2016, doi: 10.1109/ICD.2016.7547806.
- [16] G. Momen and M. Farzaneh, "Survey of micro/nano filler use to improve silicone rubber for outdoor insulators," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–13, 2011.
- [17] Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi. Cetakan ketujuh, 7th ed.* Jakarta, 1994.
- [18] H. Illias, Teo Soon Yuan, A. H. A. Bakar, H. Mokhlis, G. Chen, and P. L. Lewin, "Partial discharge patterns in high voltage insulation," *PECon 2012 - 2012 IEEE Int. Conf. Power Energy*, no. December, pp. 750–755, 2012, doi: 10.1109/PECon.2012.6450316.
- [19] 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.
- [20] Profesor Suwarno, *DIAGNOSIS PERALATAN TEGANGAN TINGGI DAN SMART GRID*, no. January. 2012.
- [21] J. Lehr and P. Ron, *Foundations of Pulsed Power Technology*. 2017.

- [22] L. S. Patras, F. Lisi, T. Elektro, U. Sam, R. Manado, and J. K. B. Manado, "Perancangan Pendeteksi Partial Discharge Pada Isolasi Padat," vol. 8, no. 3, pp. 161–170, 2019.
- [23] G. F. Jian V. Li, *Capacitance Spectroscopy of Semiconductors*, 1st Editio. 2018.
- [24] I. D. M. Subrafa, "Rancang Bangun Alat Dan Fengukuran Nllal Dlelektrlk Pada Kisaran Frekuensi Radio," no. 2, 2001.
- [25] P. Preetha and M. J. Thomas, "AC breakdown characteristics of epoxy nanocomposites," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 18, no. 5, pp. 1526–1534, 2011, doi: 10.1109/TDEI.2011.6032821.
- [26] T. A. Matin, T. Kawashima, Y. Murakami, N. Hozumi, and Suwarno, "Observation of Partial Discharge Waveform of Electrical Treeing in Epoxy Resin with Filler," *Proc. 2nd Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. Towar. Sustain. Reliab. Power Deliv. ICHVEPS 2019*, pp. 208–212, 2019, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011103.
- [27] C. S. Kim, T. Kondo, and T. Mizutani, "Change in PD Pattern with Aging," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 11, no. 1, pp. 13–18, 2004, doi: 10.1109/TDEI.2004.1266311.