

**SKRIPSI**

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN OBJEK UJI TERHADAP  
KEMAMPUAN ISOLASI *SILICONE RUBBER* YANG DIBERI  
PENGISI  $\text{SiO}_2$  DI BAWAH APLIKASI TEGANGAN AC**



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

**Oleh:  
TRY SATIO  
NIM. 03041381924080**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN OBJEK UJI TERHADAP  
KEMAMPUAN ISOLASI *SILICONE RUBBER* YANG DIBERI  
PENGISI SiO<sub>2</sub> DI BAWAH APLIKASI TEGANGAN AC**

Oleh:  
**TRY SATIO**  
**NIM. 03041381924080**

**Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan**

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



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

**LEMBAR PERSETUJUAN**

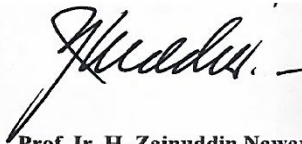
**SKRIPSI**

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN OBJEK UJI TERHADAP  
KEMAMPUAN ISOLASI *SILICONE RUBBER* YANG DIBERI  
PENGISI SiO<sub>2</sub> DI BAWAH APLIKASI TEGANGAN AC**

Oleh :  
**TRY SATIO**  
NIM. 03041381924080

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

**Palembang, Juli 2023  
Dosen Pembimbing,**



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

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Try Satio  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041381924080  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/ Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sriwijaya  
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 11%

Dengan ini menyatakan karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Sudut Kemiringan Objek Uji Terhadap Kemampuan Isolasi *Silicone Rubber* yang diberi Pengisi SiO<sub>2</sub> di bawah Aplikasi Tegangan AC”, 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, Juli 2023

Yang menyatakan,



Try Satio

NIM. 03041381924080

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. H. Zainuddin Nawawi, Ph.D.

Tanggal : /Juli/2023

## KATA PENGANTAR

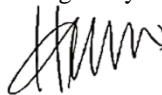
Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah menganugerahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Sudut Kemiringan Objek Uji Terhadap Kemampuan Isolasi *Silicone Rubber* yang diberi Pengisi SiO<sub>2</sub> di bawah Aplikasi Tegangan AC”.

Skripsi ini dibuat dalam rangka memenuhi persyaratan pendidikan pada jenjang sarjana di Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan skripsi ini penulis mengalami beberapa hambatan, tantangan dan juga kesulitan, akan tetapi berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat teratasi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas tata tulis ataupun bahan observasi yang ditampilkan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang diperoleh tentunya akan dapat meningkatkan kualitas skripsi ini bagi penulis di masa mendatang.

Akhir kata, penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, do'a maupun dorongan semangat dan berbagai pengalaman yang telah diberikan dalam penyelesaian penulisan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu di bidang teknik elektro, khususnya terkait dengan material isolasi.

Palembang, Juli 2023  
Yang menyatakan,



Try Satio

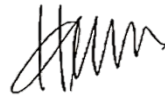
## HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ilmiah skripsi ini saya dedikasi dan persembahkan sebagai penghargaan dan rasa hormat saya kepada:

1. Orang tua tercinta, Bapak Sukurman, S.Pd., M.Si. dan Ibu Lusdiana, serta ketiga saudara kandung saya (April Yeni, Edwin Riansyah dan Tata Muzaqi), beserta seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan saya selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi;
2. Bapak Prof. Ir. H. Zainuddin Nawawi, Ph.D., Ibu Ir. Hj. Dwirina Yuniarti, M.T., dan Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng. yang memberikan bimbingan untuk menyelesaikan tugas akhir;
3. Rektor Universitas Sriwijaya Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, M.Sc.E., IPU., MKU., ASEAN.Eng. dan Dekan Fakultas Teknik Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.;
4. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU. selaku ketua jurusan, serta dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Sriwijaya;
5. Ibu Hj. Hermawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik;
6. Pranata, Senior di Laboratorium *Electrical Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Pak Lukmanul Hakim, S.T., Mba Dr. Syarifah Fitriani, S.T., Kak Intan Dwi Putri, S.T., dan Kak Ferlian Seftianto, S.T.;
7. Rekan seperjuangan di Laboratorium *Electrical Energy and Safety* dalam penelitian Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran Besaran Listrik tahun 2023 yaitu Fadil, Sandy, Dani, Iqbal, Govin, Azmi, Yogi, Bintang, Dicky, Ipan, Dessy, Kiki, Nadia dan Disha;
8. Tenaga kependidikan yang berada di lingkungan Universitas Sriwijaya, baik berasal dari Jurusan, Fakultas dan Universitas;
9. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Angkatan 2019 Universitas Sriwijaya;
10. Beserta pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama mengerjakan penulisan skripsi yang tidak bisa saya tuliskan satu per satu.

Dengan segenap hati, saya berdo'a kepada Allah SWT, semoga mereka diberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan kepada saya.

Palembang, Juli 2023  
Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a final flourish.

Try Satio  
NIM. 03041381924080



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Try Satio  
Nomor Induk Mahasiswa : 03041381924080  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : 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 “Pengaruh Sudut Kemiringan Objek Uji Terhadap Kemampuan Isolasi *Silicone Rubber* yang diberi Pengisi SiO<sub>2</sub> di bawah Aplikasi Tegangan AC” beserta perangkat yang ada.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/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 : Juli 2023



Try Satio  
NIM. 03041381924080

## ABSTRAK

### PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN OBJEK UJI TERHADAP KEMAMPUAN ISOLASI *SILICONE RUBBER* YANG DIBERI PENGISI $\text{SiO}_2$ DI BAWAH APLIKASI TEGANGAN AC

(Try Satio, 03041381924080, 2023, xxi + 60 Halaman + Lampiran)

---

Penelitian ini melaporkan nilai arus bocor dan nilai resistansi pada material isolasi *Silicone Rubber* (SiR) yang diberi pengisi *Silicone dioxide* ( $\text{SiO}_2$ ) dengan mengaplikasikan tegangan kerja sebesar 220 V; 500 V; dan 1000 V. Objek uji dibuat dalam bentuk lembaran (*sheet*) dengan berdimensi panjang  $50 \times 25$  mm dan tebal 1 mm. Pengujian objek uji dilakukan dengan menggunakan sistem elektroda *Aluminium tape* yang direkatkan pada kedua sisi objek dengan jarak sela sebesar 20 mm. Metode penelitian yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Inclined Plane Tracking* (IPT), yaitu pelacakan pada bidang miring. Variabel kontrol dalam pengujian ini berupa sudut kemiringan permukaan objek uji ( $\angle 30^\circ$ ;  $\angle 45^\circ$ ; dan  $\angle 60^\circ$ ) serta pengaruh penambahan bahan pengisi jenis silika masing-masing sebesar 1 wt%; 2 wt%; 3 wt% dan objek uji tanpa pengisi sebagai kontrol. Pengukuran nilai arus bocor dilakukan dengan cara meneteskan larutan kontaminan jenis *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) pada permukaan objek uji dengan massa butiran dan laju kecepatan sebesar 0.30 gr/ 10 sec. Perhitungan nilai resistansi objek uji menggunakan persamaan hukum Ohm ( $V=I.R$ ). Hasil eksperimental memperlihatkan bahwa nilai arus bocor tertinggi ditunjukkan pada sudut  $\angle 30^\circ$ , lalu nilai arus bocor terendah yaitu pada sudut  $\angle 60^\circ$ . Kontaminan cair yang diteteskan pada permukaan objek uji pada sudut  $\angle 30^\circ$  meninggalkan residu aliran air yang berkelanjutan, sehingga memicu tingginya nilai arus bocor. Bahan pengisi jenis silika terbukti dapat meningkatkan nilai resistansi seiring dengan penambahan komposisi, bahkan dalam permukaan asimetris sekalipun. Walaupun demikian, objek uji gagal karena terdapat bekas abrasi dan jalur karbon pada pita kering.

**Kata Kunci:** *Silicone Rubber*, *Silicone dioxide*, *Ammonium Chloride*, Arus bocor

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF OBJECT ANGLE ON THE ISOLATION SILICONE RUBBER FILLED WITH SiO<sub>2</sub> UNDER AC VOLTAGE APPLICATION

(Try Satio, 03041381924080, 2023, xxi + 60 Pages + Appendices)

---

This study reported the leakage current and resistance value in Silicone Rubber (SiR) insulation material mix Silicone dioxide (SiO<sub>2</sub>) filler by applying voltage of 220 V, 500 V, and 1000 V. Test samples were sheet form with dimensions of 50 × 25 mm and thickness 1 mm. Test are carried out using an Aluminum tape electrode system glued on both sides of the object with a gap distance of 20 mm. The measurements system used in this test is Inclined Plane Tracking (IPT), which is tracking on an inclined plane. The control variable in this test is the angle of inclination of the surface of the test object (∠30°; ∠45°; and ∠60°) and the effect of adding silica-type fillers of 1 wt%; 2 wt%; and 3 wt%, with test objects without fillers as a comparison. The measurement of the leakage current value is carried out by dripping a solution of Ammonium Chloride (NH<sub>4</sub>Cl) type contaminant on the surface of the test object with a grain mass and velocity rate of 0.30 gr/ 10 sec. The calculation of the resistance value of the test object uses the Ohm's law equation ( $V = I.R$ ). Experimental results show that the highest leakage current value is shown at an angle of ∠30°, and the lowest leakage current value is at an angle of ∠60°. Liquid contaminants dripping on the surface of the test object at an angle of ∠30° leave a continuous residue of water flow, thus triggering a high value of leakage current. Silica-type fillers are proven to increase the resistance value as the composition increases, even on asymmetrical surfaces. However, the test object failed because there were traces of abrasion and carbon paths on the dry tape.

**Keywords:** Silicone Rubber, Silicone dioxide, Ammonium Chloride, Leakage current

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<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</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	<b>xviii</b>
<b>NOMENKLATUR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Isolator .....	7
2.2 Isolator Polimer .....	9
2.2.1 Kelebihan Material Isolator Polimer.....	9
2.2.2 Kelemahan Material Isolator Polimer .....	10

2.3 <i>Silicone Rubber</i> (SiR).....	10
2.4 Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat.....	12
2.5 Bahan pengisi ( <i>filler</i> ) .....	16
2.6 <i>Silicone dioxide</i> (SiO <sub>2</sub> ).....	16
2.7 Kekuatan Dielektrik.....	17
2.8 Pelacakan Permukaan ( <i>Surface Tracking</i> ) .....	18
2.9 Kontaminasi dan <i>Aging</i> pada Isolator .....	19
2.10 <i>Ammonium Chloride</i> (NH <sub>4</sub> Cl).....	20
2.11 Arus Bocor .....	21
2.13 Sudut Trigonometri.....	22
2.14 Penelitian Sebelumnya.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Pendahuluan.....	28
3.2 Metodologi.....	28
3.3 Diagram Alir .....	30
3.4 Material dan Peralatan yang digunakan .....	32
3.4.1 Material.....	32
3.4.2 Peralatan .....	34
3.5 Pembuatan Objek Uji.....	39
3.5.1 Bahan dan Komposisi .....	39
3.5.2 Proses Pembuatan Sampel Uji .....	40
3.5.3 Proses Pencetakan Sampel Uji.....	41
3.5.4 Pemilihan Sampel .....	42
3.6 <i>Experimental Setup</i> .....	43
3.7 Rangkaian Pengujian .....	44
3.8 Prosedur Pengujian .....	45
3.9 Teknik Pengambilan Data .....	47

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>48</b>
4.1 Umum .....	48
4.2 Data Hasil Penelitian .....	49
4.3 Diskusi .....	54
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>60</b>
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur kimia <i>polydimethylsiloxane</i> .....	11
Gambar 2. 2 Kegagalan material isolasi padat.....	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	30
Gambar 3. 2 <i>Silicone Rubber</i> (SiR) RTV 497.....	32
Gambar 3. 3 Nano <i>filler Silicone dioxide</i> (SiO <sub>2</sub> ) .....	32
Gambar 3. 4 <i>Ammonium Chloride</i> (NH <sub>4</sub> Cl).....	33
Gambar 3. 5 <i>Aluminium tape</i> .....	33
Gambar 3. 6 Transformator HVAC 20 kV .....	34
Gambar 3. 7 Mikroskop Digital.....	34
Gambar 3. 8 Kamera CCD.....	35
Gambar 3. 9 Jangka Sorong Digital .....	35
Gambar 3. 10 <i>High Voltage Probe</i> tipe Tetronix P6015A.....	36
Gambar 3. 11 <i>Picoscope</i> tipe 4000 series .....	36
Gambar 3. 12 <i>Pearson current monitor</i> model 411 .....	37
Gambar 3. 13 <i>Vacuum Drying Oven</i> tipe VOV-50 .....	37
Gambar 3. 14 Neraca Digital .....	38
Gambar 3. 15 EC Meter.....	38
Gambar 3. 16 Botol Infus .....	39
Gambar 3. 17 Proses Pencetakan Sampel Uji .....	40
Gambar 3. 18 Cetakan material isolasi SiR .....	42
Gambar 3. 19 Rancang Bangun Sistem Elektroda <i>Aluminium tape</i> .....	43
Gambar 3. 20 Rangkaian Pengujian Arus Bocor .....	44
Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai Arus Bocor Antar Sudut dengan Variasi Komposisi Pengisi SiO <sub>2</sub> di Tegangan 220 V .....	50

Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai Arus Bocor Antar Sudut dengan Variasi Komposisi Pengisi SiO <sub>2</sub> di Tegangan 500 V .....	51
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai Arus Bocor Antar Sudut dengan Variasi Komposisi Pengisi SiO <sub>2</sub> di Tegangan 1000 V .....	51
Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai Resistansi Antar Sudut Kemiringan Objek Uji Tegangan 220 V .....	52
Gambar 4. 5 Perbandingan Nilai Resistansi Sudut Kemiringan Objek Uji Tegangan 500 V .....	53
Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai Resistansi Sudut Kemiringan Objek Uji Tegangan 1000 V .....	53



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan konduktivitas termal dan koefisien dari peningkatan laju termal pada berbagai macam material di suhu ruangan .....	17
Tabel 2. 2 Penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan .....	23
Tabel 3. 1 Perbandingan Komposisi Bahan Pengisi Sampel Uji.....	40
Tabel 4. 1 Nilai Arus Bocor Pada Setiap Kemiringan Permukaan Objek Uji .....	49
Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata Resistansi Objek Uji Pada Setiap Sudut Kemiringan .....	52

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2. 1 .....	13
Persamaan 2. 2 .....	13
Persamaan 2. 3 .....	13
Persamaan 2. 4 .....	13
Persamaan 2. 5 .....	14
Persamaan 2. 6 .....	15
Persamaan 2. 7 .....	15
Persamaan 2. 8 .....	18

## NOMENKLATUR

$C_v$	: Kalor jenis (J)
$d$	: Jarak antar elektroda (mm)
$E$	: Kekuatan Dielektrik (kV/mm)
$\epsilon_0$	: Vakum Permittivitas ( $8,854 \times 10^{-12}$ F/m)
$\epsilon_r$	: Permittivitas relatif dari dielektrik material
$f$	: Frekuensi (Hz)
$h$	: Ketebalan bahan dielektrik (mm)
$K$	: Konduktivitas termal ( $W/m^2 K$ )
$T$	: Suhu (K)
$t$	: waktu (s)
$\tan \delta$	: Faktor disipasi
$V$	: Tegangan yang diterapkan (kV)
$W$	: Energi (joule)
$Y$	: Modulus Young ( $N/m^2$ )

## DAFTAR ISTILAH

<i>Aging</i>	: Penuaan
<i>Avalanche</i>	: Benturan elektron
<i>Bushing</i>	: Konduktor penghubung dengan jaringan
<i>Carbon</i>	: Jejak karbon dari proses <i>flashover</i>
<i>Corona Discharge</i>	: Peluahan korona
<i>Curing</i>	: Pengawetan
<i>Defect</i>	: Cacat
<i>Dry Band Arching</i>	: Loncatan busur pada pita kering
<i>Electrical Discharge</i>	: Peluahan elektrik
<i>Erosion</i>	: Pengikisan
<i>Filler</i>	: Pengisi
<i>Flashover</i>	: Lompatan bunga api listrik
<i>Grounding</i>	: Pentanahan
<i>High Temperature Vulcanizing</i>	: Vulkanisasi pada temperatur ruang
<i>High Voltage Alternating Current</i>	: Tegangan tinggi bolak-balik
<i>Impurities</i>	: Ketidakmurnian
<i>Inclined Plane Tracking</i>	: Metode pengukuran arus bocor pada bidang miring
<i>Leaf-Like Sample</i>	: Sample menyerupai lembaran daun
<i>Leakage Current</i>	: Arus bocor
<i>Low Density Polyethylene</i>	: Polietilena yang berdensitas rendah
<i>Outdoor Insulation</i>	: Isolator pemasangan luar
<i>Protrusion</i>	: Tonjolan/permukaan yang tidak rata
<i>Room Temperature Vulcanizing</i>	: Vulkanisasi pada temperatur ruang
<i>Sheet</i>	: Lembaran
<i>Silicone Rubber</i>	: Material isolasi polimer

<i>Spark Over</i>	: Percikan bunga api listrik
<i>Streamer</i>	: Banjiran elektron
<i>Surface Tracking</i>	: Pelacakan permukaan
<i>Software</i>	: Perangkat lunak
<i>Tracking</i>	: Pelacakan
<i>Ultraviolet</i>	: Sinar ultraviolet
<i>Void</i>	: Rongga udara
<i>Website</i>	: Kumpulan halaman pada suatu domain

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan energi listrik di Indonesia tumbuh sejalan dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi secara beriringan mendorong kemampuan produktivitas di dunia industri. Proses penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban melewati saluran yang sangat panjang, dalam proses penyaluran tersebut memungkinkan terjadi *energy loss* yang cukup besar. Hal tersebut salah satunya disebabkan oleh kerusakan material isolator sebagai akibat dari pengaruh lingkungan sekitar, misalnya yaitu perubahan suhu ekstrem, iklim, radiasi sinar matahari dan faktor lingkungan lainnya [1].

Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam menekan *energy loss* yang diakibatkan oleh kerusakan material isolasi pada jaringan distribusi yaitu dengan menjaga agar tegangan tetap terisolasi dengan baik pada jalur transmisi. Dalam sistem tenaga listrik seperti gardu induk, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi, isolator memegang peranan yang sangat penting [2]. Ada berbagai jenis bahan dasar pembuatan isolator yang biasa digunakan pada jaringan distribusi. Isolator polimer adalah jenis isolator yang populer digunakan saat ini. Isolator polimer memiliki banyak keunggulan, antara lain biaya yang murah, ringan, perawatan mudah, waktu produksi cepat, resistansi tinggi, kekuatan mekanik tinggi, kekuatan dielektrik tinggi, rugi-rugi dielektrik rendah, dan resistansi isolasi yang besar. Bahan isolator polimer *Silicone Rubber*, *epoxy*, *ethylene propylene diene monomer (EPDM)* dan poliester umumnya digunakan sebagai isolator dalam transmisi, distribusi, dan terminasi kabel bawah tanah, *bushing* dan penangkal petir [3].

*Silicone Rubber* (SiR) biasanya digunakan sebagai bahan isolasi karena berbagai alasan, termasuk sifat hidrofobiknya yang baik, dimana ketika udara lembab, tidak ada tetesan atau lapisan air yang terbentuk di permukaan bahan yang dapat mengurangi penyebab terjadinya arus bocor, termasuk kinerjanya yang lebih baik daripada isolator keramik atau kaca dalam mencegah *flashover* [4]. Mekanisme *flashover* pada isolator salah satunya dipengaruhi oleh posisi permukaan. Posisi material isolasi yang bersudut mampu mempengaruhi sifat mekanik dan kemampuan dielektrik material isolasi. Sebagai contoh, titik-titik air yang dihasilkan oleh kabut dan rintik hujan cenderung akan menggeling pada permukaan yang lebih landai sejalan dengan pengaruh gravitasi bumi. Sehingga, hal tersebut tentunya akan membuat material isolator terpolutan sebagian dan menghasilkan kekasaran permukaan material isolasi yang tidak seragam [5]. *Ammonium Chloride* adalah salah satu jenis pengotor (polutan) yang dapat dijumpai pada kawasan dataran tinggi khususnya pada gunung berapi aktif yang menghasilkan abu vulkanik. *Ammonium Chloride* dapat terbentuk secara alami pada daerah vulkanik. Pencemaran tersebut dapat mengganggu kinerja material isolasi pada saluran distribusi yang berada pada pemukiman dataran tinggi. Selain itu, abu vulkanik juga dapat mempengaruhi konduktivitas permukaan isolator secara elektrik [6]. Kecenderungan kemiringan isolator juga dapat terjadi karena faktor eksternal lainnya seperti pohon tumbang, geser angin yang tinggi, serta curah hujan yang berlebihan [7].

Untuk meningkatkan sifat mekanik dan dielektrik material *Silicone Rubber* (SiR) maka perlu dilakukan pemberian bahan pengisi (*filler*) berukuran mikro maupun nano. Secara teori, *Silicone dioxide* ( $\text{SiO}_2$ ) dapat digunakan sebagai pengisi karena dapat meningkatkan kekuatan tarik dan jeda perpanjangan material *Silicone Rubber* (SiR). Penambahan bahan

pengisi juga berperan untuk meningkatkan kerapatan ikatan silang dan kekuatan material isolator. Selain itu, penambahan bahan pengisi memfasilitasi interaksi antara matriks *Silicone Rubber* [8].

Dalam penelitian ini akan membahas tentang arus bocor pada permukaan isolasi *Silicone Rubber* dengan pengisi  $\text{SiO}_2$ , yang selanjutnya diberi kontaminan pengotor *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) guna meninjau kemampuan isolasi objek uji dalam menahan tegangan (*stress*). Rangkaian pengujian dilakukan dengan merekatkan objek uji dengan variasi sudut trigonometri yaitu  $\angle 30^\circ$ ;  $\angle 45^\circ$ ; dan  $\angle 60^\circ$  di bawah aplikasi tegangan AC.

## 1.2 Rumusan Masalah

Material isolasi *Silicone Rubber* (SiR) memiliki peran penting dalam isolasi peralatan listrik. Terdapat beberapa faktor yang dapat mendorong kerusakan material isolator yaitu ozon, corona, sinar UV dan lain-lain. Selain itu, pengaruh gabungan dari sudut saluran listrik mendukung gaya yang menarik isolator dari kedua arah yang berbeda, dimana akibat peristiwa ini menunjukkan pengurangan sudut isolator yang dihasilkan. Dalam waktu yang cepat atau lambat, gaya yang dihasilkan ini akan menyebabkan kemiringan isolator (isolator tidak vertikal  $\angle 90^\circ$ ). Propagasi medan listrik bergantung pada jarak, jarak yang lebih pendek akan meningkatkan medan listrik [9]. Berkaitan dengan hal tersebut, jarak medan listrik yang kecil dapat mendorong penurunan sifat dielektrik, dimana hal tersebut ditandai dengan berubahnya susunan polimer material isolasi yang menginisiasi terbentuknya *carbon* dan erosi, sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi. *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) memiliki reaksi terhadap udara, angin dan medan listrik pada isolator yang pada akhirnya membentuk lapisan kontaminan. Kontaminan *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dapat terbentuk secara alami di sebagian besar wilayah vulkanik. Pencemaran tersebut dapat



mengganggu kinerja isolator. Pada penelitian yang dilakukan oleh M. S. A. Rahman, M. Z. A. Ab. Kadir, M. Izadi, C. Gomes, J. Jasni, dan F. A. Jamaludin memperlihatkan perbandingan pengukuran arus bocor dan *flashover* pada sudut  $45^\circ$ ;  $60^\circ$ ; dan  $90^\circ$ . Hasil pengujian didapatkan bahwa pada sudut  $45^\circ$  menunjukkan fenomena arus bocor yang besar dan terjadinya mekanisme *flashover* paling cepat jika dibandingkan dengan sudut  $60^\circ$  dan  $90^\circ$ . Sementara itu, pada sudut  $90^\circ$  menunjukkan fenomena arus bocor yang lebih kecil dan *flashover* yang lebih lambat. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian terkait dengan pengaruh variasi kemiringan objek uji pada sudut  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ; dan  $60^\circ$  terhadap nilai arus dengan menggunakan kontaminan *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Dimana, dalam hal ini perlu dilakukan percobaan, guna meninjau pengaruh bahan pengisi  $\text{SiO}_2$  dalam menahan tegangan (*stress*).

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengukur nilai arus bocor dari variasi sudut kemiringan objek uji ( $\text{SiR} + \text{SiO}_2$ ) menggunakan kontaminan pengotor *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).
2. Mendapatkan nilai komposisi pengisi *Silicone dioxide* ( $\text{SiO}_2$ ) yang ideal terhadap campuran material isolasi *Silicone Rubber* ( $\text{SiR}$ ).

### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus bocor pada permukaan isolasi polimer jenis *Silicone Rubber* ( $\text{SiR}$ ). Pengukuran dilakukan dengan:

1. Sistem elektroda *Aluminium tape* yang direkatkan pada permukaan lembaran ( $\text{SiR} + \text{SiO}_2$ ). Ukuran objek uji berdimensi panjang 50 mm; lebar 25 mm; dan ketebalan 1 mm.

2. Berat total objek uji sebesar 7 gram, tersusun atas material *Silicone Rubber* dan 3 variasi bahan pengisi yaitu ; 1 wt%; 2 wt%; 3 wt% dan objek uji tanpa pengisi.
3. Kontaminan cair berupa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dialirkan pada permukaan objek uji, dengan mengaplikasikan *High Voltage Alternating Current* (HVAC) masing-masing sebesar 220 V; 500 V; dan 1000 V, dalam frekuensi kerja 50 Hz pada temperatur ruang.
4. Pengukuran dilakukan dengan merekatkan objek uji pada variasi sudut trigonometri yaitu  $\angle 30^\circ$ ;  $\angle 45^\circ$ ; dan  $\angle 60^\circ$  selama pengujian dilakukan.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Dalam tulisan ini memuat 5 bagian utama yang terdiri dari pendahuluan, studi literatur, metodologi, hasil dan diskusi serta kesimpulan dan saran, masing-masing bagian secara ringkas dijelaskan sebagai berikut:

#### **BAB I       PENDAHULUAN**

Secara umum bagian ini menjelaskan terkait dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **BAB II       TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini memuat bahasan tentang dasar teori yang berkaitan dengan isolator, isolator polimer, material *Silicone Rubber* (SiR), mekanisme kegagalan isolasi padat, bahan pengisi *Silicone dioxide* ( $\text{SiO}_2$ ), kekuatan dielektrik, *surface tracking*, kontaminasi dan *aging*, *Ammonium Chloride* ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), arus bocor, metode pengukuran arus bocor, sudut trigonometri dan pembahasan penelitian sebelumnya terkait

dengan pengujian yang akan dilakukan dari berbagai sumber bacaan diantaranya, artikel, paper, dan skripsi.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini mencakup uraian tentang tempat percobaan, waktu, alat dan bahan, prosedur pengujian yang akan dilakukan, metode pengumpulan dan pengolahan data yang akan digunakan dalam percobaan, serta penjelasan dasar terkait bagaimana penelitian akan dilakukan.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang data yang telah dikumpulkan dan bagaimana data tersebut diolah. Pengolahan data ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, dan foto dari percobaan yang telah dilakukan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini mencakup kesimpulan yang ditarik dari temuan percobaan serta rekomendasi bagaimana percobaan dapat dikembangkan dan dilaksanakan di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Ali and A. Syakur, "Analisis Arus Bocor Pada Bahan Isolator Resin Epoksi Campuran Silicone Rubber dan Silika Abu Sekam Padi Dengan Variasi Tegangan Menggunakan Metode Inclined-Plane Tracking," 2017.
- [2] A. Syakur, A. Sutaryono, Hermawan, and Y. Christyono, "Analisis Arus Bocor Pada Bahan Isolasi Resin Epoksi Dengan Metode Inclined-Plane Tracking dan Acoustic Wave Signal," pp. 33–37, 2019.
- [3] L.A. Dissado and J.C. Fothergill, *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, Series 9. IET Mater Devices 1992, 1992.
- [4] M. Tariq Nazir, B. T. Phung, S. Yu, Y. Zhang, and S. Li, "Tracking, Erosion and Thermal Distribution of Micro-AlN+Nano-SiO<sub>2</sub> Co-filled Silicone Rubber for High Voltage Outdoor Insulation," 2018. Accessed: Dec. 25, 2022. [Online]. Available: DOI:10.1049/hve.2018.5033
- [5] Agus Supardi, "Karakteristik Flashover pada Isolator Non Keramik," *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, vol. 2, 2002.
- [6] O. Powell and L. Tobing, "Pengaruh Kelembaban Terhadap Arus Bocor Isolator Piring Jenis Porselen Terpolusi Abu Vulkanik," vol. 14, no. 38, pp. 7–12, Jan. 2016.
- [7] M. Izadi, M. S. Abd Rahman, M. Z. A. Ab-Kadir, C. Gomes, J. Jasni, and M. Hajikhani, "The influence of lightning induced voltage on the distribution power line polymer insulators," *PLoS One*, vol. 12, no. 2, Feb. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0172118.
- [8] L. Jiesheng, W. Shaopeng, C. Meizhu, and M. Yixuan, "The effect of filler on the properties of silicone rubber," in *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications Ltd, 2009, pp. 311–314. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.620-622.311.
- [9] M. S. A. Rahman, M. Z. A. Ab. Kadir, M. Izadi, C. Gomes, J. Jasni, and F. A. Jamaludin, "Considering the Effect of Angle on Polymer

- Insulator Performance under Wet Condition,” *Centre for Electromagnetic and Lightning Protection Research (CELP)*, pp. 358–362, 2015.
- [10] J. Lehr, “Electrical Breakdown in Solids, Liquids, and Vacuum,” 2017. doi: 10.1002/9781118886502.ch9.
- [11] A. Syakur, M. Ervan Dwi Setiaji, and A. Aprianto, “Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering,” 2012, [Online]. Available: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi>
- [12] Prof. Vasily Y. Ushakov, “Insulation of High-Voltage Equipment,” 1st ed. Springer Berlin Heidelberg, 2004, p. 9.
- [13] G. G. Gainer, “Electrical insulation Materials,” 2016, pp. 115–117.
- [14] R. Arora and W. Mosch, *High voltage and electrical insulation engineering*. 2011.
- [15] J. M. B. Bezerra, S. H. M. S. Rodrigues, B. R. F. Lopes, D. S. Lopes, and V. A. L. Ferreira, “Evaluating failures of polymer insulators in Brazilian distribution networks,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 35, no. 1, pp. 38–44, Jan. 2019, doi: 10.1109/MEI.2019.8575685.
- [16] H. Khan, M. Amin, and A. Ahmad, “Performance evaluation of alumina trihydrate and silica-filled silicone rubber composites for outdoor high-voltage insulations,” *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 26, no. 5, pp. 2688–2700, 2018, doi: 10.3906/elk-1609-284.
- [17] G. Momen and M. Farzaneh, “Survey of Micro/Nano Filler Use to Improve Silicone Rubber for Outdoor Insulators,” 2011.
- [18] Y. Zhu, M. Otsubo, C. Honda, and S. Tanaka, “Loss and recovery in hydrophobicity of silicone rubber exposed to corona discharge,” *Polym Degrad Stab*, vol. 91, no. 7, pp. 1448–1454, 2006, doi: 10.1016/j.polyimdeggradstab.2005.10.014.
- [19] N. Yuniarti and A. N. Afandi, “Tinjauan Sifat Hidrofobik Bahan Isolasi Silicon Rubber,” vol. 8, no. 1–8, 2007.

- [20] T. Sugiono, "Analisa Pola dan Spektrum Partial Discharge Terhadap Kerusakan Transformator," Pekanbaru, 2020.
- [21] E. Kuffel and M. Abdullah, *High Voltage Engineering*. London: Permagon Press, 2000.
- [22] M. S. Naidu and V. Kamaraju, *High-Voltage Engineering*, vol. 5. 2013. Accessed: Jan. 04, 2023. [Online]. Available: Available: [www.LearnEngineering.in](http://www.LearnEngineering.in)
- [23] W. S. Z. and J. K. E. Kuffel, *High Voltage Engineering: Fundamentals*, vol. 2. Butterworth-Heinemann/Newnes, 2000.
- [24] L. Li, "Dielectric properties of aged polymers and nanocomposites," Ames Iowa, 2011. [Online]. Available: <https://lib.dr.iastate.edu/etd>
- [25] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, *High voltage engineering: fundamentals*. Butterworth-Heinemann/Newnes, 2000.
- [26] P. J. and T. T. X. Huang, "A Review of Dielectric Polymer Composites With High Thermal Conductivity," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 8–16, 2011.
- [27] I. M. Y. Negara, *Teknik Tegangan Tinggi: Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [28] D. Kind and H. Karner, *High Voltage Insulation Technology*. 2008. doi: 10.1007/978-3-663-14090-0.
- [29] A. Syakur, H. Berahim, N. Tumiran, and N. Rochmadi, "Electrical Tracking Formation on Silane Epoxy Resin under Various Contaminants," *TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control)*, vol. 11, no. 1, Mar. 2013, doi: 10.12928/telkomnika.v11i1.689.
- [30] N. Dhahbi-Megrache and A. Beroual, "Time-frequency analyses of leakage current waveforms of high voltage insulators in uniform and non-uniform polluted conditions," *IET Science, Measurement and Technology*, vol. 9, no. 8, pp. 945–954, Nov. 2015, doi: 10.1049/iet-smt.2015.0116.

- [31] S. S. Shunmugam, N. Vasudev, K. N. Ravi, and K. A. Venkatesh, "Influence of profile on the pollution performance of cap-and-pin insulators-an experimental study," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 32, no. 6, pp. 20–28, Nov. 2016, doi: 10.1109/MEI.2016.7656807.
- [32] G. Rhaska and R. Zainul, "Analisis Molekular dan Transpor Ion Amonium klorida," 2015.
- [33] Pendy, A. R. Astika, Fadlin, S. Dwi Wibowo, "Fasies Gunung Api Purba Manganti, Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen Jawa Tengah," pp. 1341–1353, 2017, Accessed: Jan. 05, 2023. [Online]. Available: <https://repository.ugm.ac.id/274254/1/PVK-01.pdf>
- [34] A. Syakur, "Leakage Current Characteristics at Different Shed of Epoxy Resin Insulator under Rain Contaminants," 2014.
- [35] R. Kurnianto, Y. Murakami, N. Hozumi, and M. Nagao, "Characterization of tree growth in filled epoxy resin: The effect of filler and moisture contents," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, no. 2, pp. 427–435, Apr. 2007, doi: 10.1109/TDEI.2007.344623.
- [36] M. S. Dr. Kristayulita, *Trigonometri*. Mataram: Sanabil, 2020.
- [37] R. Atef Ghunem, E. A. Charney, and S. H. Jayram, "Tracking and Erosion of Silicone Rubber and EPDM Insulation in the DC Inclined Plane Test," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 28, no. 5, pp. 1636–1641, Oct. 2021, doi: 10.1109/TDEI.2021.009684.
- [38] N. Norddin, I. M. Saadon, N. Kamarudin, N. Rahim, and J. bin A. Razak, "DC inline plane test of silicone rubber samples with different filler for high-voltage insulation," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, pp. 607–613, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v18.i2.pp607-613.
- [39] K. Mafasigodo, "Using Inclined Plane Test To Compare Tracking on Silicone Rubber Under HVAC and HVDC," University of Kwazulu-Natal, South Africa, 2018.

- [40] A. Syakur, A. Sutaryono, and Y. Christyono, "Analisis Arus Bocor Pada Bahan Isolasi Resin Epoksi Dengan Metode Inclined-Plane Tracking dan Acoustic Waves Signal," *Transmisi*, vol. 21, no. 2, pp. 33–37, 2019, doi: 10.14710/transmisi.21.2.33-37.
- [41] D. Ali, A. Syakur, and Hermawan, "Analisis Arus Bocor Pada Bahan Isolator Resin Epoksi Silicone Rubber dan Silika Abu Sekam Padi Dengan Variasi Tegangan Menggunakan Metode Pengukuran Inclined-Plane Tracking," *Transient*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [42] R. A. Ghunem, E. A. Cherney, and S. H. Jayram, "Tracking and Erosion of Silicone Rubber and EPDM Insulation in the DC Inclined Plane Test," 2021.
- [43] Faiza, A. Khattak, and S. U. Butt, "Investigation of hydrothermally stressed silicone rubber/silica micro and nanocomposite for the coating high voltage insulation applications," *Materials*, vol. 14, no. 13, Jul. 2021, doi: 10.3390/ma14133567.
- [44] M. S. A. Rahman, M. Z. A. Ab. Kadir, M. Izadi, C. Gomes, J. Jasni, and F. A. Jamaludin, *Considering the Effect of Angle on Polymer Insulator Performance under Wet Condition*. Serdang, Selangor, Malaysia: Centre for Electromagnetic and Lightning Protection Research (CELP), 2015.