

SKRIPSI

ARUS BOCOR PADA ISOLASI SILICONE RUBBER DENGAN KONTAMINAN PENGOTOR AMMONIA



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

Oleh:
HALIM IRAWAN
NIM. 03041281823048

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ARUS BOCOR PADA ISOLASI SILICONE RUBBER DENGAN KONTAMINAN PENGOTOR AMMONIA

Oleh:
HALIM IRAWAN
NIM. 03041281823048

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

ARUS BOCOR PADA ISOLASI SILICONE RUBBER DENGAN KONTAMINAN PENGOTOR AMMONIA

Oleh :
HALIM IRAWAN
NIM 03041281823048

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

Palembang, Agustus 2022
Dosen Pembimbing,



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Halim Irawan
Nomor Induk Mahasiswa : 03041281823048
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya
Persentase plagiarisme (*Turnitin*) : 6 %

Menyatakan bahwa,

Karya ilmiah berupa skripsi dengan judul “Arus Bocor Pada Isolasi *Silicone Rubber* Dengan Kontaminan Pengotor *Ammonia*”, 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.

Indralaya, Agustus 2022

Yang menyatakan,



Halim Irawan
NIM. 03041281823048

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

Tanda Tangan

: 

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

Tanggal

: _____

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang atas rahmat nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Arus Bocor Pada Isolasi *Silicone Rubber* Dengan Kontaminan Pengotor *Ammonia*”.

Skripsi ini dibuat guna memenuhi persyaratan akademik pada Jurusan Teknik Elektro jenjang sarjana di Universitas Sriwijaya. Dalam menulis skripsi saya mendapat berbagai tantangan seperti mempelajari literatur, melakukan pembuatan sampel dan *chamber* pengkondisian, melakukan pengujian dan pengolahan data. Akan tetapi berkat dukungan dari keluarga, yang terkasih, dosen pembimbing, pranata Laboratorium serta teman se-angkatan, saya dapat menyelesaikan skripsi saya.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih atas dukungan yang telah diberikan dan semoga dapat menjadi amal kebaikan dihadapan tuhan yang maha esa. Saya berharap skripsi ini dapat menjadi ladang ilmu dan bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama di bidang teknik elektro.

Indralaya, Agustus 2022



Halim Irawan
NIM. 03041281823048

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- ✓ Bapak dan Ibu tercinta Hermansyah dan Fatimah, Kakak Rahmad Irfan Saputra, Adik M. Zhaahir Nugraha beserta seluruh keluarga besar yang senantiasa mendo'akan untuk suksesnya studi saya;
- ✓ Dosen Pembimbing, Ibu Rizda Fitri Kurnia, S.T., M.Eng;
- ✓ Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, 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., Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Ibu Dr. Eng. Suci Dwijayanti, S.T., M.S. Dosen Pembimbing Akademik;
- ✓ Saudari Sari Rati Sevtayani, S.H. Terimakasih tak terhingga karena telah menjadi support system terbesar untuk saya dan telah menemani setiap proses penulisan skripsi ini baik dalam suka maupun duka;
- ✓ Laboran, Pranata, Senior di Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya : Pak Lukmanul Hakim, S.T., Mbak Syarifah Fitriani, S.T., Kak Intan Dwi Putri, S.T., dan Kak Ferlian Seftianto, S.T;
- ✓ Teman-teman sejawat Laboratorium *Energy and Safety* Universitas Sriwijaya 2018 yaitu Nopal, Feron, Alif Agung, Ilham, Jihan, Alif Fathur, Razka, Hafez, Nisa, Salsa dan Fini;
- ✓ Pihak-pihak yang telah membantu selama menyusun skripsi yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Saya berdo'a kepada Allah SWT memberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, Agustus 2022



Halim Irawan
NIM. 03041281823048

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Halim Irawan
NIM : 03041281823048
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, “Arus Bocor Pada Isolasi Silicone Rubber Dengan Kontaminan Pengotor Ammonia” 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 2022
Yang menyatakan,



Halim Irawan
NIM. 03041281823048

ABSTRAK

ARUS BOCOR PADA ISOLASI SILICONE RUBBER DENGAN KONTAMINAN PENGOTOR AMMONIA

(Halim Irawan, 03041281823048, 2022, xviii + 40 Halaman + Lampiran)

Skripsi ini melaporkan mengenai arus bocor pada material isolasi *Silicone Rubber* yang terkontaminasi pengotor *ammonia* dengan variasi lama pengkondisian 1; 3; 5; 7 hari, dan tanpa pengkondisian. Besar tegangan yang diaplikasikan adalah 220; 500; dan 1000 V. Penelitian ini menggunakan sistem elektroda berupa *Aluminium Tape* yang direkatkan pada kedua sisi sampel dengan jarak 5 mm, sampel yang digunakan berupa *Silicone Rubber Sheets* dengan ukuran 50 x 25 mm yang dilakukan pengkondisian didalam *chamber* pengkondisian dengan ukuran 25 x 25 x 15 cm. Hasil pengujian didapatkan nilai arus bocor tanpa pengkondisian, 1; 3; 5; dan 7 hari pengkondisian pada tegangan 220 V adalah sebesar 37,87; 38,60; 40,02; 42,82; dan 45,20 μ A, sama halnya pada tegangan 500; dan 1000 V nilai arus bocornya semakin meningkat. Lamanya pengkondisian isolasi *Silicone Rubber* terpapar *ammonia* akan menyebabkan lapisan kontaminan yang menempel pada permukaan isolasi menjadi lebih tebal sehingga meningkatkan nilai arus bocor melalui permukaan isolasi tersebut, dan semakin besar nilai tegangan yang diaplikasikan pada isolasi yang terkontaminasi *ammonia* akan menyebabkan penurunan nilai tahanan permukaan isolasi sehingga meningkatkan nilai arus bocornya.

Kata Kunci: arus bocor, kontaminan, *ammonia*, *Silicone Rubber*

ABSTRACT

LEAKAGE CURRENT OF SILICONE RUBBER INSULATION WITH AMMONIA IMPURITY CONTAMINANTS

(Halim Irawan, 03041281823048, 2022, xviii + 40 Pages + Appendices)

This report discusses the leakage current in Silicone Rubber material with ammonia impurity contaminants with variations in conditioning time ranging from without conditioning, 1; 3; 5; and 7 days. The input voltage used are 220 V, 500 V, and 1000 V. This study uses an electrode system Aluminium Tape which is affixed to both sides of the sample with a distance of 5 mm and using samples in the form of Silicone Rubber Sheets with the size of 50 x 25 mm, which was carried out conditioning in a conditioning chamber with the size of 25 x 25 x 25 cm. The result of leakage current without conditioning, 1; 3; 5; and 7 days in 220 V input voltage are 37,87; 38,60; 40,02; 42,82; dan 45,20 μ A, as well as in 500; and 1000 V input voltage the value of leakage current more increasing. The long conditioning time of Silicone Rubber insulation exposed to ammonia will cause the contaminant layer in the form of ammonia attached to the surface of the insulation to become thicker which increases the value of the leakage current through the surface of the insulation. The greater the input voltage value in Silicone Rubber insulation that have been contaminated with ammonia will cause a decrease in the resistance value of the insulating surface thereby increasing the value of its leakage current.

Key words: leakage current, contaminant, ammonia, silicone rubber

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
HALAMAN PERSEMPAHAN	vii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
NOMENKLATUR	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3

1.5 Sistematika Penulisan	4
---------------------------------	---

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Isolasi.....	5
2.1.1 Kekuatan Dielektrik	5
2.1.2 Sifat Mekanis.....	6
2.1.3 Hidrophobik.....	6
2.1.4 Ketahanan terhadap Temperature Tinggi	6
2.1.5 Resistansi terhadap Paparan Bahan Kimia/Polutan.....	6
2.2 Polimer	7
2.2.1 Kelebihan Material Isolator Polimer	7
2.2.2 Kelemahan Material Isolator Polimer	8
2.3 Silicone Rubber.....	9
2.4 Kegagalan Isolasi.....	10
2.5 Kontaminasi dan <i>Aging</i> pada Isolator	12
2.6 <i>Ammonia</i>	13
2.7 Surface <i>Tracking</i>	14
2.8 Arus Bocor	14
2.9 Metode Pengukuran Arus Bocor.....	15
2.10 Penelitian Sebelumnya.....	15

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan.....	18
3.2 Bagan Penelitian	19
3.3 Bahan dan Peralatan.....	20
3.3.1 Bahan.....	20
3.3.2 Peralatan	21
3.4 Cara Pembuatan Sampel	25

3.4.1 Bahan dan Komposisi.....	25
3.4.2 Proses Pencampuran.....	26
3.4.3 Proses Pencetakan	27
3.4.4 Pemilihan Sampel.....	27
3.4.5 Pengkondisian Sampel	28
3.5 Experimental Setup.....	28
3.5.1 Sistem Elektroda.....	29
3.5.2 Rangkaian Pengujian Arus Bocor	30
3.6 Prosedur Pengukuran	31

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Umum	33
4.2 Data Hasil Percobaan.....	33
4.3 Pembahasan.....	36

BAB V PENUTUP

4.1 Kesimpulan	39
4.2 Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Kimia <i>Polydimethylsiloxane</i>	9
Gambar 3. 1 Bagan Penelitian.....	18
Gambar 3. 2 <i>Silicone Rubber RTV 497</i> beserta <i>Catalyst</i>	19
Gambar 3. 3 Kontaminan Pengotor <i>Ammonia</i>	19
Gambar 3. 4 <i>Aluminium Tape</i>	20
Gambar 3. 5 Neraca Analitik TN-series.....	20
Gambar 3. 6 <i>Vacuum Drying Oven</i>	22
Gambar 3. 7 <i>High Voltage Alternating Current Transformator</i>	23
Gambar 3. 8 <i>High Voltage Probe</i> tipe Tetronix P6015A	23
Gambar 3. 9 <i>Picoscope 4000series</i>	24
Gambar 3. 10 Tahanan Tinggi 185 k Ω	23
Gambar 3. 11 <i>Pearson Current Monitor</i> model 411	23
Gambar 3. 12 Jangka Sorong Digital merk <i>Gauge</i>	24
Gambar 3. 13 Tahapan – tahapan pembuatan sampel uji.....	26
Gambar 3. 14 Cetakan Material Isolasi SiR.....	27
Gambar 3. 15 <i>Chamber</i> Pengkondisian.....	28
Gambar 3. 16 Rancang Bangun Sistem Elektroda	29
Gambar 3. 17 Rangkaian Pengukuran Arus Bocor	30
Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai Arus Bocor terhadap Lama Pengkondisian pada Tegangan 220 V.....	34
Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai Arus Bocor terhadap Lama Pengkondisian pada Tegangan 500 V.....	35
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai Arus Bocor terhadap Lama Pengkondisian pada Tegangan 1000 V.....	35
Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai Arus Bocor terhadap Lama Pengkondisian pada tegangan 220; 500; 1000 V	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian – penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul riset yang akan dilakukan.....	17
Tabel 4. 1 Arus Bocor pada setiap Variasi Lama Pengkondisian	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian

Lampiran 2 Tahapan Kegiatan Penelitian

Lampiran 3 Tampak Permukaan Sampel *Silicone Rubber*

Lampiran 4 Plagiarisme *Trunitin*

NOMENKLATUR

V : Tegangan

I : Arus

\circ : Derajat

d : Jarak celah

r : radius

DAFTAR ISTILAH

<i>Hydrophobic</i>	: Kedap Air
<i>Leakage Current</i>	: Arus Bocor
<i>Aging</i>	: Penuaan
<i>Flashover</i>	: Loncatan Bunga Api Listrik
<i>Surface Discharge</i>	: Peluahan Permukaan
<i>Tracking</i>	: Peristiwa terjadinya penjejakan karbon pada material isolasi
<i>Erosion</i>	: Perubahan bentuk permukaan akibat adanya pengikisan pada isolasi
<i>Density</i>	: Massa jenis
<i>Volume Resistivity</i>	: Resistivitas volume suatu isolasi
<i>Dielectric Strength</i>	: Kuat Dielektrik
<i>Dry Band</i>	: Pita Kering
<i>Depolimerisasi</i>	: Penguraian suatu senyawa organik menjadi dua molekul atau lebih
<i>Delaminasi</i>	: Pemisahan lapisan suatu material
<i>Conductive Track</i>	: Jalur yang bersifat konduktif
<i>Thermal Breakdown</i>	: Kegagalan termal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Salah satu parameter kehandalan dalam sistem distribusi tegangan menengah 20 kV adalah rendahnya frekuensi terjadinya gangguan antara lain disebabkan oleh hubung singkat antar fasa konduktor. Oleh karena itu pemilihan material yang digunakan untuk melindungi konduktor agar dapat mengurangi resiko terjadinya gangguan dan meningkatkan kehandalan sangatlah penting. Material polimer merupakan salah satu jenis isolasi yang digunakan pada saluran distribusi tegangan menengah. Material isolasi polimer yang banyak digunakan antara lain *Silicone Rubber* (SiR) yang digunakan sebagai isolasi pada kabel tenaga, dan isolator pasak pada sistem tegangan menengah [1].

Silicone Rubber (SiR) sering dipilih dan digunakan sebagai material isolasi dikarenakan beberapa hal, diantaranya memiliki sifat hidrophobik yang baik, artinya SiR memiliki keunggulan dalam hal menahan air pada saat udara lembab, tidak terbentuk tetesan atau lapisan air dipermukaan material yang dapat menjadi penyebab arus bocor, dan mempunyai kinerja yang lebih baik daripada isolator keramik ataupun isolator kaca dalam hal pencegahan terjadinya *flashover* [2]. Sifat hidrophobik dari *Silicone Rubber* (SiR) dapat berkurang, antara lain disebabkan oleh adanya paparan dari polutan yang dapat mempercepat proses penuaan (*aging*) pada isolator [3].

Aging adalah penuaan yang terjadi pada material isolasi yang dapat menyebabkan penurunan kemampuan dari isolasi. *Aging* ini dapat terjadi disebabkan karena adanya pengaruh faktor eksternal, diantaranya polutan, temperatur dan kelembaban, maupun pengaruh faktor internal yaitu pengaruh dari kinerja material isolasi [4]. Adanya zat pengotor (polutan) yang

menempel dipermukaan material isolasi dapat mempercepat proses terjadinya *aging* sehingga dapat menyebabkan terjadinya arus bocor [5].

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempercepat proses *aging* jika material isolasi *polymer* jenis *Silicone Rubber* (SiR) digunakan sebagai isolasi luar, diantaranya sinar ultraviolet, temperatur, hujan, kelembaban, serta kontaminan yang menempel dipermukaan isolasi dapat menyebabkan *surface discharge*, *tracking*, dan *erosion* sehingga dapat menurunkan kemampuan dari material isolasi *Silicone Rubber* (SiR) tersebut [6]. Zat pengotor (polutan) yang dapat ditemukan dilokasi pabrik atau industri petrokimia yaitu polutan *ammonia*. Untuk saluran yang berada didekat pantai, polutan garam laut merupakan pengotor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem distribusi.

Skripsi ini membahas tentang arus bocor pada permukaan isolasi *Silicone Rubber* yang diberi kontaminan pengotor *Ammonia*. Pemilihan *ammonia* merupakan kondisi buatan (*artificial condition*) untuk mendapatkan situasi polutan dari bahan pengotor *ammonia* yang banyak terdapat pada lingkungan industri petrokimia terhadap permukaan material isolasi *Silicone Rubber*. Pengkondisian polutan terhadap sampel uji SiR dilakukan untuk waktu bervariasi yaitu 1; 3; 5; 7 hari. Sebagai kontrol pengujian juga dilakukan terhadap sampel uji SiR tanpa pengkondisian. Pengujian dilakukan menggunakan tegangan bolak-balik dengan variasi 220, 500, dan 1000 Volt.

1.2 Perumusan Masalah

Zat pengotor yang menempel dipermukaan material isolasi dapat mempengaruhi kemampuan dari isolasi. R.G. Pandian et.al., (2016). Dalam penelitiannya telah memperlihatkan berbagai macam zat pengotor seperti sinar ultraviolet, hujan dan kotoran burung yang dapat meningkatkan nilai

arus bocor di permukaan material isolasi [7]. Pada penelitian ini *ammonia* digunakan sebagai zat pengotor untuk memberikan perlakuan permukaan sampel. Studi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh paparan serta pengaruh besarnya tegangan yang di aplikasikan pada sampel SiR yang terpapar kontaminan *ammonia* terhadap nilai arus bocor.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mendapatkan nilai arus bocor pada sampel *Silicone Rubber* terhadap lamanya pengkondisian kontaminan pengotor *ammonia*;
2. Mendapatkan nilai arus bocor pada sampel *Silicone Rubber* yang telah dilakukan pengkondisian kontaminan pengotor *ammonia* dengan nilai tegangan yang di aplikasikan masing-masing 220, 500, dan 1000 Volt.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus bocor yang mengalir pada permukaan isolasi polimer jenis *Silicone Rubber* (SiR). Pengukuran dilakukan dengan:

1. Menggunakan elektroda *aluminium tape* yang direkatkan pada permukaan lembaran SiR dengan jarak sela 5 mm.
2. Sampel uji SiR yang digunakan pada penelitian ini berukuran panjang 50 mm, lebar 25 mm, tebal 1 mm yang dibuat menyerupai *leaf-like sample*.
3. Pengkondisian menggunakan zat pengotor *ammonia* yang ditempatkan bersama-sama dengan sampel uji. Pengkondisian dibuat bervariasi dengan waktu 1; 3; 5; dan 7 hari.
4. Pengukuran menggunakan aplikasi tegangan bolak-balik 220; 500; dan 1000 Volt, dengan frekuensi kerja 50 Hz pada temperatur ruang.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, diantaranya:

Bab I : Pendahuluan

Pada bab ini terdapat beberapa hal diantaranya, 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 memiliki keterkaitan dengan material *Silicone Rubber* (SiR), arus bocor, *ammonia* dari berbagai sumber diantaranya, artikel, paper, dan skripsi.

Bab III : Metodelogi

Pada bab ini memuat bahasan tentang lokasi percobaan dilakukan, waktu percobaan, alat dan bahan yang digunakan untuk percobaan, prosedur pengujian yang akan dilakukan, teknik pengambilan data beserta pengolahan data yang akan dilakukan dalam percobaan, serta penjelasan tentang bagaimana proses melakukan percobaan secara umum.

Bab IV : Hasil Penelitian

Pada bab ini memuat bahasan tentang data yang telah diperoleh dan pengolahan data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, serta gambar dari proses percobaan yang telah dilakukan.

Bab V : Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini memuat kesimpulan dari hasil proses percobaan yang telah dilakukan beserta saran terkait pengembangan kelanjutan dari proses percobaan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.T. Nazir, B.T. Phung, and M. Hoffman, “Performance Of Silicone Rubber Composites With SiO₂ Micro/Nano-Filler Under AC Corona Discharge”, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Vol.23, No.5, PP.2804–2815, 2016.
- [2] M.T. Nazir, B.T. Phung, S.Yu, Y. Zhang, and S.Li, “Tracking, Erosion And Thermal Distribution Of Micro-Aln + Nano-SiO₂co-Filled Silicone Rubber For High-Voltage Outdoor Insulation”, *High Volt.*, Vol.3, No.4, PP.289-294, 2018.
- [3] H. Gao, Y. Mao, Z. Jia, and Z. Guan, “Time And Frequency Analysis 43 On Leakage Current Waveforms Of Discharges Along Hydrophobic And Hydrophilic Surfaces”, *Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater.*, PP.595–598, 2007.
- [4] 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 Electr. Insul. Mag.*, Vol.32, No.6, PP.20–28, 2016.
- [5] D. Fahmi, I.M.Y. Negara, A. Kusumaningrum, and D.H. Santosa, “Analysis Of Contaminant Effect On Ceramic & Polymer Insulator Surface Under Artificial Environmental Condition”, *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, Vol.2017-Janua, PP.161-164, 2017.
- [6] A. Syakur and Hermawan, “Leakage Current Characteristics At Different Shed Of Epoxy Resin Insulator Under Rain Contaminants”, *2014 1st Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. Green Technol. Its Appl. a Better Futur. ICITACEE 2014 - Proc.*, PP.413-418, 2015.

- [7] R.G. Pandian and P. Subburaj, "Leakage Current And Flash Over Performance Analysis Of 11 kV Pin Insulator Under Bird Excretion Pollution", *2016 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain.*, PP.311-314, 2016.
- [8] A. Syakur, M.E.D. Setiaji, and A. Aprianto, "Unjuk Kerja Isolator 20 kV Bahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering", Vol.14, No.2. PP.68-72, 2012.
- [9] Prof. Vasily Y. Ushakov, "Insulation of High-Voltage Equipment", *1st ed.*, Vol.53, No.9. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [10] G.G Gainer, "Electrical Insulation Material", PP.115-117, 2016.
- [11] W. Arora, Ravindra. Mosch, "High Voltage And Electrical Insulation Engineering", *Wiley-IEEE Press*, 2011.
- [12] 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 Electr. Insul. Mag.*, Vol.35, No.1, PP.38-44, 2019.
- [13] H. Khan, M. Amin, and A. Ahmad, "Performance Evalution Of Alumina Trihydrate And Silica-Filled Silicone Rubber Under Electrical And Non-Electrical Stresses", *Annu. Rep. – Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena, CEIDP*, vol. 2015-Decem, PP.189-192, 2015.
- [14] A. Syakur and Hermawan, "Leakage Current Characteristics At Different Shed Of Epoxy Resin Insulator Under Rain Contaminants", *2014 1st Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Electr. Eng. Green Technol. Its Appl. a Better Futur. ICITACEE 2014 - Proc.*, PP.413-418, 2015.
- [15] Y. Zhu, M. Otsubo, C. Honda, and S. Tanake, "Loss And Recovery In Hydrophobicity Of Silicone Rubber Exposed To Corona Discharge", *Polym. Degrad. Stab.*, Vol.91, No.7, PP.1448-1454, 2006.

- [16] M. Amin, M. Akbar, and S. Amin, “Hydrophobicity Of Silicone Rubber Used For Outdoor Insulation (An Overview)”, *Rev. Adv. Mater. Sci.*, Vol.16, No.1-2, PP.10-26, 2007.
- [17] N. Yuniarti and A.N. Afandi, “Tinjauan sifat Hidroponik Bahan Isolasi Silicone Rubber”, *Tekno UM MALANG.*, Vol.8, No.1981, PP.1-8, 2007.
- [18] E. Kuffel, W.S. Zaengl, and J. Kuffel, “High Voltage Engineering”, *High Volt. Eng. Fundam.*, PP.534, 2000.
- [19] X. Huang, P. Jiang, and T. Tanaka, “A Review Of Dielectric Polymer Composites With High Thermal Conductivity”, *IEEE Electr. Insul. Mag.*, Vol.27, No.4, PP.8-16, 2011.
- [20] J. L. Gerberding, (Agency for Toxic Substances, and D. Registry), “Draft Toxicological Profile for Ammonia,” ATSDR’s Toxicol. Profiles, no. 205, 2002.
- [21] A. Syakur and H. Berahim, “Electrical Tracking Formation on Silane Epoxy Resin under Various Contaminants”, *Department of Electrical Engineering, Diponegoro University*, 2013.
- [22] 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 Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 14, no. 2, pp. 427–435, 2007.