

SKRIPSI

ARUS BOCOR PADA ISOLATOR BERBAHAN DASAR *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)* YANG TERKONTAMINASI AMMONIA



**Dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar sarjana
Teknik Elektro pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

**Oleh:
GOMGOM OKTORIO SIREGAR
NIM 03041181621009**

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

ARUS BOCOR PADA ISOLATOR BERBAHAN DASAR HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) YANG TERKONTAMINASI AMMONIA

Oleh:
Gomgom Oktorio Siregar
NIM 03041181621009

Telah diperiksa kebenarannya, diterima dan disahkan

Palembang, Agustus 2020
Ketua Jurusan Teknik Elektro,


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

LEMBAR PERSETUJUAN

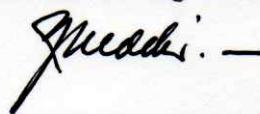
SKRIPSI

ARUS BOCOR PADA ISOLATOR BERBAHAN DASAR *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)* YANG TERKONTAMINASI *AMMONIA*

Oleh:
Gomgom Oktorio Siregar
NIM 03041181621009

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

Palembang, Agustus 2020
Dosen Pembimbing Utama,



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

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Gomgom Oktorio Siregar
Nomor Induk Mahasiswa : 03041181621009
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya
Persentase Plagiarisme (*Turnitin*) : 6 %

Menyatakan bahwa

Karya Ilmiah berupa skripsi dengan judul “*Arus Bocor Pada Isolator Berbahan Dasar High Density Polyethylene (HDPE) yang Terkontaminasi Ammonia*” merupakan karya saya sendiri dan benar keasliannya.

Apabila ternyata dikemudian hari karya ilmiah ini terbukti merupakan hasil plagiat dari karya ilmiah orang lain, maka saya akan bertanggung jawab dan bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

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

Palembang, Agustus 2020

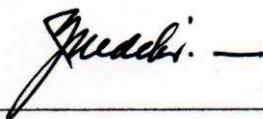
Yang Menyatakan,



Gomgom Oktorio Siregar

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



Tanggal

08 / 2020

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia dan anugrah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Arus Bocor Pada Isolator Berbahan Dasar *High Density Polyethylene* (HDPE) yang Terkontaminasi *Ammonia*”.

Tugas Akhir ini dibuat untuk menyelesaikan kewajiban akademik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penulisan Tugas Akhir ini atas dasar pengamatan langsung ke lapangan, wawancara/diskusi kepada pembimbing, dan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan isi Tugas Akhir ini. Proses pembuatan Tugas Akhir ini banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis juga menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis. Maka dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan terutama bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang memerlukan.

Palembang, Agustus 2020

Gomgom Oktorio Siregar

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

- ✓ Bapak Edison Siregar dan Mama Duma Sinambela, Abang Jekson Parhehean Siregar dan Kakak Yuni Lenti Siregar serta seluruh keluarga besar yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan dan semangat untuk kesuksesan pendidikan saya selama ini;
- ✓ Dosen Pembimbing Bapak Prof. Ir H. Zainuddin Nawawi, Ph.D. yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran hingga selesaiya skripsi ini;
- ✓ Rektor Unsri Prof. Dr. Ir. H Anis Saggaf, MSCE dan Dekan Fakultas Teknik Prof. Ir Subriyer Nasir, M.S, Ph.D.;
- ✓ Ketua Jurusan Teknik Elektro Muhamad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng, Ph.D. dan Dosen Pembimbing Akademik Ir. H. Hairul Alwani HA, M.T.;
- ✓ Dr. Syarifa Fitria, S.T., yang telah membantu memberikan arahan dan saran selama penelitian sampai selesaiya skripsi ini.
- ✓ Laboran/Pranata, Senior di Laboratorium Riset *Electrical Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Lukmanul Hakim, S.T. , dan semua Rekan Sejawat di Laboratorium Riset *Electrical Energy and Safety* Universitas Sriwijaya: Kak Intan Dwi, Mba Intan Mustika, Kak Ferlian, Kak Rafi, Addien, Ejak, Fikri, Gilang, Gustira, Zen, Firhan, Noval, Yadi;
- ✓ Sahabat saya Ahmad Munirul Ihwan, Edo Pratama, M. Fadel Zahran Zindabad, dan M. Surya Netrane Jagad yang selalu menjadi pendengar terbaik;
- ✓ Pihak-pihak yang telah membantu selama saya melaksanakan yang tidak dapat saya tuliskan satu persatu .

Saya mendoakan supaya Tuhan Yang Maha Esa memberikan ganjaran pahala atas semua keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan.

Palembang, Agustus 2020

Gomgom Oktorio Siregar

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Gomgom Oktorio Siregar
NIM : 03041181621009
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul, “Arus Bocor Pada Isolator Berbahan Dasar *High Density Polyethylene* (HDPE) yang Terkontaminasi *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 : Palembang
Pada tanggal : Agustus 2020
Yang menyatakan,



Gomgom Oktorio Siregar

ABSTRAK

ARUS BOCOR PADA ISOLATOR BERBAHAN DASAR *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)* YANG TERKONTAMINASI *AMMONIA*

(Gomgom Oktorio Siregar, 03041181621009, 2020, xvi + 45 Hal + Lampiran)

Skripsi ini membahas mengenai arus bocor pada suatu material isolasi berbahan dasar Polimer yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE) yang terkontaminasi *ammonia* dengan variasi lama waktu pengkondisian mulai dari 0 jam, 48 jam, 96 jam, 144 jam, 192 jam dan 240 jam. Level tegangan aplikasi yang digunakan adalah 220 V, 500 V dan 1000 V. Arus bocor yang terukur untuk setiap waktu pengkondisian merupakan arus yang mengalir dari konduktor menuju *ground* melalui permukaan isolator yang telah terkontaminasi *ammonia*. Penelitian ini menggunakan sistem elektroda berupa *copper tape* direkatkan melingkari sisi atas dan sisi bawah isolator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lamanya waktu pengkondisian isolator HDPE terpapar *ammonia* akan menyebabkan lapisan kontaminan berupa *ammonia* yang menempel pada permukaan isolator menjadi lebih tebal yang meningkatkan nilai arus bocor melalui permukaan isolator tersebut. Semakin besar nilai tegangan yang diaplikasikan pada isolator yang terkontaminasi *ammonia* akan meningkatkan nilai arus bocornya.

Kata Kunci : arus bocor, polimer, kontaminan, *ammonia*, *ammonium hydroxide*, HDPE (*High Density Polyethylene*)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama,


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

ABSTRACT

LEAKAGE CURRENT OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) INSULATOR CONTAMINATED OF AMMONIA

(Gomgom Oktorio Siregar, 03041181621009, 2020, xvi + 45 Pages + Appendices)

This research discusses the leakage current in an insulating material made from polymer High Density Polyethylene (HDPE) contaminated with ammonia with variations in conditioning time ranging from 0 hours, 48 hours, 96 hours, 144 hours, 192 hours and 240 hours. The input voltage levels used are 220 V, 500 V and 1000 V. The leakage current that is measured for each conditioning time is the current flowing from the conductor to the ground through the surface of the insulator which has been contaminated with ammonia. This study uses an electrode system in the form of copper tape to circle the top and bottom sides of the insulator.. The results of this study indicate that the long conditioning time of HDPE insulators exposed to ammonia will cause the contaminant layer in the form of ammonia attached to the surface of the insulator to become thicker which increases the value of the leakage current through the surface of the insulator. The greater the input voltage value in HDPE insulators that have been contaminated with ammonia will increase the value of the leakage current.

Key words: leakage current, polymer, contaminant, ammonia, ammonium hydroxide, HDPE (High Density Polyethylene)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


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

Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama,


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

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK	xv
NOMEKLATUR	xvi
DAFTAR ISTILAH.....	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum	5
2.2 Polimer.....	5

2.3	<i>Polyethylene</i>	7
2.4	<i>High Density Polyethylene (HDPE)</i>	9
2.5	<i>Leakage Current</i>	10
2.6	Kontaminasi dan <i>Aging</i> Pada Isolator Pasangan Luar.....	11
2.7	<i>Aging</i> pada Isolator Polimer.....	13
2.8	<i>Ammonia</i>	14
2.9	Penelitian Sebelumnya	15
BAB III	17
METODOLOGI PENELITIAN		17
3.1	Umum	17
3.2	Metode Penelitian.....	17
3.3	<i>Flow Chart</i> Penelitian.....	18
3.4	Rencana Penelitian	19
3.5	Bahan dan Peralatan	19
3.3.1	Bahan.....	19
3.3.2	Peralatan	21
3.6	Rancang bangun <i>Chamber</i> Pengkondisian dan Sistem Elektroda.....	27
3.7	Skema Rangkaian Percobaan	30
3.8	Prosedur Percobaan	30
3.8.1.	Prosedur Pengkondisian Sampel.....	30
3.8.2.	Prosedur Pengujian	31
3.9	Teknik Pengambilan Data.....	32

BAB IV.....	33
HASIL PENELITIAN	33
4.1 Umum	33
4.2 Data Hasil Penelitian dan Diskusi	33
4.2.1 Hasil Pengujian Arus Bocor	34
4.2.2 Tampak Permukaan Isolator HPDE.....	38
BAB V	40
PENUTUP.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur kimia HDPE	9
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian	18
Gambar 3. 2 Isolator HDPE	19
Gambar 3. 3 <i>Ammonium hydroxide</i>	20
Gambar 3. 4 Alkohol.....	20
Gambar 3. 5 <i>Copper tape</i>	21
Gambar 3. 6 <i>Container</i>	21
Gambar 3. 7 Sensor kelembaban	22
Gambar 3. 8 UPS (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)	22
Gambar 3. 9 Regulator tegangan	23
Gambar 3. 10 Transformator	23
Gambar 3. 11 Plat Aluminium.....	24
Gambar 3. 12 <i>Pearson Current Monitor model 411</i>	24
Gambar 3. 13 <i>HV Probe tipe Tetronix P6015A</i>	25
Gambar 3. 14 <i>PicoScope PC Oscilloscope tipe 4000 Series</i>	25
Gambar 3. 15 <i>Microscope</i>	26
Gambar 3. 16 Desain chamber pengkondisian	27
Gambar 3. 17 Isolator didalam <i>chamber</i> pengkondisian	27
Gambar 3. 18 Tampak atas <i>chamber</i> pengkondisian	28
Gambar 3. 19 <i>Chamber</i> pengkondisian.....	28
Gambar 3. 20 Desain sistem elektroda.....	29
Gambar 3. 21 Sistem elektroda.....	29
Gambar 3. 22 Skema rangkaian percobaan	30
Gambar 4. 1 <i>Image</i> foto permukaan isolator berdasarkan lama pengkondisian	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Electrical properties of polyethylene</i>	8
Tabel 2. 2 Bahan PE (<i>Polyethylene</i>) LDPE, LLDPE dan HDPE	10
Tabel 2. 3 <i>Physical and chemical propeties of ammonia</i>	15
Tabel 2. 4 Penelitian sebelumnya	15
Tabel 4. 1 Arus bocor pada tiap variasi lama pengkondisian.....	34

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Arus bocor terhadap lama pengkondisian.....	34
Grafik 4. 2 Arus bocor terhadap tegangan.....	36

NOMEKLATUR

Tan δ : Tangen Delta

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 penjejakkan karbon pada material isolasi
<i>Erosion</i>	: Perubahan bentuk permukaan akibat adanya pengikisan pada material isolasi
<i>Density</i>	: Massa jenis
<i>Volume Resistivity</i>	: Resistivitas volume suatu material 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

Material isolasi pada saluran transmisi dan saluran distribusi yang banyak digunakan umumnya berbahan dasar *glass* dan keramik. Teknologi yang berkembang pada saat ini untuk meningkatkan kemampuan dari isolator pasangan luar sebagai pengganti kedua jenis isolator tersebut diatas adalah pemanfaatan material *polymer* yang memiliki beberapa kelebihan seperti bersifat kedap air (*hydrophobic*), lebih ringan, konduktivitas yang lebih rendah dibandingkan porselin dan kaca serta mudah dibentuk [1]–[3]. Bahan *polymer* merupakan bahan yang berasal dari petroleum yang memiliki karakteristik *low thermal conductivity*, *low dielectric constant*, *low mechanical strength* dan *very low melting point compared with metal* [4].

Salah satu bahan *polymer* yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan isolator adalah *High Density Polyethylene* (HDPE). HDPE merupakan material *polyethylene thermoplastic* yang terbuat dari petroleum [5] dan dihasilkan melalui proses polimerisasi *ethylene* dengan *low pressure polymerisation* [6]. Saat ini penggunaan isolator berbahan dasar HDPE biasa digunakan pada instalasi listrik di pabrik atau industri lainnya [7]–[9].

Fenomena yang umum terjadi pada isolator adalah arus bocor (*leakage current*). Arus bocor merupakan fenomena mengalirnya arus dari konduktor menuju *ground* melalui permukaan isolator. Karakteristik material isolasi yang bersifat *hydrophobic* dapat mengurangi besarnya nilai arus bocor pada permukaan isolator [10]. Selain dari pengaruh karakteristik dari material itu sendiri, arus bocor pada permukaan isolator di saluran transmisi dan saluran distribusi dapat disebabkan karena adanya penuaan (*aging*) yang terjadi pada isolator.

Aging merupakan degradasi yang terjadi pada isolator dan dapat menurunkan kemampuan dari isolator. *Aging* ini dapat terjadi akibat pengaruh faktor eksternal seperti polutan, cuaca, kondisi lingkungan ataupun faktor internal dari pengaruh sistem yang berkerja pada isolator [10]–[11]. Zat pengotor (polutan) yang menempel pada permukaan isolator dapat mempercepat proses *aging* pada isolator. Zat pengotor yang menempel pada permukaan isolator akan meningkatkan konduktivitas di permukaan isolator [12] sehingga dapat meningkatkan potensi terjadinya arus bocor dan *flashover* pada permukaan isolator [12]–[13].

Ketika bahan isolator *polymer* jenis HDPE digunakan sebagai isolator luar maka terdapat beberapa faktor yang dapat mempercepat proses *aging* pada isolator tersebut, antara lain seperti sinar UV, temperatur, kelembaban, hujan dan kontaminan yang menempel pada permukaan isolator dapat menyebabkan *surface discharge*, *tracking*, dan *erosion* sehingga menurunkan kemampuan dari material isolator HDPE itu sendiri [14]–[15]. Zat pengotor (polutan) yang sering ditemukan dilokasi pabrik atau industri petrokimia adalah polutan *ammonia*. Berdasarkan informasi awal diatas, skripsi ini membahas arus bocor pada isolator berbahan dasar polimer jenis HDPE dengan bahan pengotor *ammonia* yang menempel pada permukaan isolator tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Kemampuan dari isolator dapat dipengaruhi oleh zat pengotor yang menempel pada permukaan isolator. Dimana berbagai macam zat pengotor dapat berasal dari lingkungan sekitar.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memperlihatkan berbagai macam zat pengotor seperti air garam, hujan dan kotoran burung yang dapat

meningkatkan nilai arus bocor di permukaan isolator [16]–[18]. Namun belum ada yang membahas pengaruh zat pengotor berupa *ammonia* yang merupakan salah satu limbah dari industri terhadap arus bocor pada permukaan isolator berbahan dasar HDPE.

Berdasarkan penelitian mengenai arus bocor pada isolator berbahan polimer HDPE yang terkontaminasi pengotor *ammonia* sangat penting untuk dilakukan.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus bocor pada permukaan isolator polimer jenis HDPE dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Isolator sampel yang digunakan berbahan polimer jenis HDPE dengan tinggi 35 mm, diameter bagian atas dan bawah 28 mm serta diameter bagian tengah 32 mm;
2. Tegangan yang diterapkan adalah tegangan bolak-balik 220 Volt, 500 Volt dan 1000 Volt;
3. Bahan pengotor atau polutan yang digunakan adalah *ammonium hydroxide* dengan tingkat kepekatan 5 %;
4. Pengujian dilakukan pada temperatur ruang;
5. Pengukuran yang dilakukan adalah arus bocor yang melalui permukaan isolator.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah:

1. Mempelajari pengaruh lamanya waktu pengkondisian terhadap sampel isolator HDPE yang terpapar kontaminan *ammonia* terhadap arus bocor;

2. Mempelajari hubungan antara tegangan yang diaplikasikan pada isolator HPDE yang terkontaminasi pengotor *ammonia* dengan arus bocor yang terjadi.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan Skripsi ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

1. Pendahuluan

Bagian ini membahas latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini dilakukan, serta sistematika penulisan yang digunakan penulis.

2. Studi Literatur

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan material Polimer HDPE, Arus Bocor pada permukaan isolator dan *ammonia* dari berbagai sumber seperti: artikel, paper dan skripsi.

3. Metodologi

Bagian ini membahas mengenai lokasi penelitian dilakukan, waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur pengujian yang dilakukan, teknik pengambilan data beserta pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini dan juga penjelasan mengenai proses selama melakukan penelitian secara umum.

4. Hasil Penelitian

Bagian ini menjelaskan mengenai data yang telah didapatkan dan pengolahan data yang ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, serta gambar dari penelitian yang telah dilakukan.

5. Kesimpulan dan Saran

Bagian ini berisi kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan berserta saran mengenai pengembangan kelanjutan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Pitel, “Silicone Polymer Insulators in Distribution Cutout Applications,” Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf., vol. 2018-April, pp. 1–9, 2018.
- [2] W. H. Zhong and B. Li, Polymer nanocomposites for dielectrics. 2017.
- [3] A. Kuchler, High Voltage Engineering. 2018.
- [4] R. Ramkumar and C. P. Sugumaran, “Investigation on dielectric properties of HDPE with alumina nano fillers,” 2016 IEEE 7th Power India Int. Conf. PIICON 2016, 2017.
- [5] N. A. Muhamad, K. Y. Lau, and I. S. Ibrahim, “Variation of natural rubber percentage add to high density polyethylene (HDPE) for electrical breakdown improvement,” Conf. Proceeding - 2014 IEEE Int. Conf. Power Energy, PECon 2014, pp. 27–31, 2014.
- [6] W. W. Müller, 101 Dr. Werner W. Müller (auth.)-HDPE Geomembranes in Geotechnics-Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007).pdf .
- [7] M. A. Khan and R. Hackam, “Recovery of hydrophobicity in high density polyethylene,” Conf. Rec. IEEE Int. Symp. Electr. Insul., vol. 2, pp. 351–354, 1998.
- [8] M. M. Ueki and M. Zanin, “Influence of additives on the dielectric strength of high-density polyethylene,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 6, no. 6, pp. 876–881, 1999.
- [9] N. Panklang, N. Phankong, and K. Bhumkittipich, “Design of 33 kV transformer bushing insulator from NR and HDPE,” Energy Procedia, vol. 9, pp. 95–103, 2011.
- [10] H. Gao, Y. Mao, Z. Jia, and Z. Guan, “Time and frequency analysis

- on leakage current waveforms of discharges along hydrophobic and hydrophilic surfaces,” Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater., pp. 595–598, 2007.
- [11] 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.
- [12] S. Zhao, X. Jiang, Z. Zhang, J. Hu, and L. Shu, “Flashover voltage prediction of composite insulators based on the characteristics of leakage current,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 28, no. 3, pp. 1699–1708, 2013.
- [13] 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.
- [14] J. A. Mergos, M. D. Athanassopoulou, T. G. Argyropoulos, C. T. Dervos, and P. Vassiliou, “The effect of accelerated UV-ageing on the dielectric properties of PVC, PTFE and HDPE,” Proc. 2010 IEEE Int. Conf. Solid Dielectr. ICSD 2010, pp. 4–7, 2010.
- [15] 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.
- [16] S. Deb, R. Ghosh, S. Dutta, S. Dalai, and B. Chatterjee, “Effect of humidity on leakage current of a contaminated 11 kV Porcelain Pin

- Insulator,” 2017 6th Int. Conf. Comput. Appl. Electr. Eng. - Recent Adv. CERA 2017, vol. 2018-Janua, pp. 215–219, 2018.
- [17] R. Salustiano, T. A. Nogueira, A. A. A. De Queiroz, E. T. W. Neto, C. De Salles, and I. C. Tavares, “Artificial rain accelerated aging test of HDPE Pin insulators for medium voltage distribution in Brazil,” IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 24, no. 4, pp. 2483–2492, 2017.
- [18] 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.
- [19] A. Sulaiman, A. R. Abdullah, A. Aman, N. Norddin, and N. Q. Zainal Abidin, “Performance analysis of high voltage insulators surface condition using Time-Frequency Distribution,” Proc. 2013 IEEE 7th Int. Power Eng. Optim. Conf. PEOCO 2013, no. June, pp. 603–607, 2013.
- [20] R. Arora, W. Mosch, and M. El-Hawary, High Voltage and Electrical Insulation Engineering. 2011.
- [21] M. S. Naidu and V. Kamaraju, High-Voltage Engineering. 2013.
- [22] J. H. Kwon, M. H. Park, K. J. Lim, and H. K. Lee, “Investigation on electrical characteristics of HDPE mixed with EVA applied for recyclable power cable insulation,” Proc. 2012 IEEE Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2012, no. September, pp. 1039–1042, 2012.
- [23] N. C. Mavrikakis et al., “Insulators’ pollution problem: Experience from the coastal transmission system of Crete,” 2017 52nd Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2017, vol. 2017-Janua, pp. 1–6, 2017.
- [24] M. Abdel-Salam, “High-voltage engineering : theory and practice,”

- Electr. Eng. Electron., no. 110, pp. x, 725 p., 2000.
- [25] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, “High Voltage Engineering,” High Volt. Eng. Fundam., p. 534, 2000.
- [26] J. L. Gerberding, (Agency for Toxic Substances, and D. Registry), “Draft Toxicological Profile for Ammonia,” ATSDR’s Toxicol. Profiles, no. 205, 2002.
- [27] M. J. Sanger and M. Danner, “Aqueous ammonia or ammonium hydroxide? Identifying a base as strong or weak,” J. Chem. Educ., vol. 87, no. 11, pp. 1213–1216, 2010.
- [28] Z. Liu et al., “Study on leakage current characteristics and influence factors of 110kV polluted composite insulators,” Proc. IEEE Int. Conf. Prop. Appl. Dielectr. Mater., vol. 2018-May, pp. 896–900, 2018.
- [29] R. Mahanty and P. Gupta, “Voltage stability analysis in unbalanced power systems by optimal power flow,” IEE Proceedings-Generation, Transm. ..., vol. 151, no. 3, pp. 201–212, 2004.
- [30] C. S. Engelbrecht, I. Gutman, and R. W. Garcia, Artificial Pollution Test for Polymer Insulators, no. 270. 2013.