

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK DIELEKTRIK, TRANSFER HIDROFOBIAK
PERMUKAAN MATERIAL *LIQUID SILICONE* DI BAWAH TIRUAN
POLUTAN DAN RADIASI UV**

Oleh :

CHEZIA YUSEKI RANDA PEBAKIRANG

D041 17 1025

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS KARAKTERISTIK DIELEKTRIK, TRANSFER HIDROFOBİK
PERMUKAAN MATERIAL *LIQUID SILICONE* DI BAWAH TIRUAN
POLUTAN DAN RADIASI UV**

Disusun dan diajukan oleh :

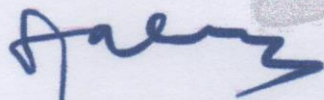
CHEZIA YUSEKI RANDA PEBAKIRANG

D041 17 1025

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 1 Desember 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

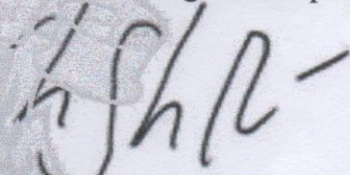
Menyetujui

Pembimbing Utama



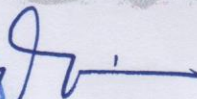
Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang M.T.
NIP. 19621231 199003 1 024

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.
NIP. 19760914 2008 1 006

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Chezia Yuseki Randa Pebakirang

Nim : D041171025

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS KARAKTERISTIK DIELEKTRIK, TRANSFER HIDROFOBİK
PERMUKAAN MATERIAL LIQUID SILICONE DI BAWAH TIRUAN
MULTI TEKANAN IKLIM**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 05 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Chezia Yuseki Randa Pebakirang

ABSTRAK

Material polimer cocok digunakan sebagai isolator karena ringan, tidak mudah pecah, dan memiliki sifat hidrofobik yang tinggi. Namun, bahan ini rentan terhadap iklim seperti intensitas radiasi UV, temperatur, kelembaban atau hujan dan polusi yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penuaan (*aging*). Adapun pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat hidrofobik, sifat dielektrik, dan pengujian menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) pada sampel uji material *Liquid Silicone* yang terkontaminasi polutan buatan yaitu polutan kaolin. Pengukuran hidrofobik menggunakan metode sudut kontak sesuai dengan standar IEC 62073 dan STRI 92/1. Sedangkan untuk pengujian kekuatan dielektrik, parameter yang ditinjau yaitu nilai permitivitas dan tegangan tembus sampel uji. Pengukuran nilai permitivitas mengacu pada *American Standar Methode* (ASTM) D150 sedangkan untuk pengujian tegangan tembus mengacu pada standar ASTM D149. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa material polimer *Liquid Silicone* dapat mentransfer sifat hidrofobiknya kelapisan polutan sehingga polutan tersebut ikut bersifat hidrofobik (menolak air) dan juga mampu memulihkan sifatnya kesemula dengan cepat yang ditandai dengan nilai sudut kontak yang berfluktuasi. Perlakuan ini juga meningkatkan nilai permitivitas sampel uji yang dimana nilai permitivitas sampel baru yaitu 1,4124 setelah diberi perlakuan menjadi 1,589 untuk sampel uji yang ditempatkan pada suhu ruang sedangkan sampel uji yang ditempatkan pada suhu rekondisi yaitu 1,5301. Adapun nilai permitivitas mempengaruhi kekuatan tegangan tembus sampel uji. Semakin besar nilai permitivitas maka semakin kecil nilai tegangan tembusnya. Perlakuan pada sampel uji mempengaruhi nilai serapan dari gugus fungsi. Penyinaran radiasi UV dengan hanya beberapa bulan memungkinkan polutan menyerap gugus fungsi $-CH_3$ lebih banyak sehingga meningkatkan nilai sudut kontak.

Kata Kunci : Polimer, *Liquid Silicone*, Transfer Hidrofobik, Dielektrik, Gugus Fungsi.

ABSTRACT

Polymer materials are suitable to be used as insulators because they are lightweight, long-lasting, and have high hydrophobic properties. However, this material is subject to climates such as UV radiation intensity, temperature, humidity, or rain, as well as high pollution, which causes aging. The tests included hydrophobic and dielectric properties testing, as well as FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) on test samples of Liquid Silicone material contaminated with artificial pollutants, specifically kaolin pollutants. The contact angle method was used to measure hydrophobic properties in accordance with the IEC 62073 and STRI 92/1 standards. The permittivity value and the breakdown voltage of the test sample are the parameters examined in the dielectric strength test. The permittivity value is measured using the American Standard Method (ASTM) D150, whereas the breakdown voltage test uses ASTM D149. The results of the tests show that the Liquid Silicone polymer material can transfer its hydrophobic properties to the pollutant layer, making the pollutant hydrophobic (repels water) and able to swiftly restore its original properties, which are characterized by fluctuating contact angle values. This treatment also increases the permittivity value of the test sample where the permittivity value of the new sample is 1.4124 after being treated to 1.589 for the test sample placed at room temperature while the test sample placed at the reconditioned temperature is 1.5301. The permittivity value affects the strength of the breakdown voltage of the test sample. The greater the permittivity value, the smaller the breakdown voltage value. The treatment of the test sample affects the absorption value of the functional group. The permittivity value affects the strength of the breakdown voltage of the test sample. The greater the permittivity value, the smaller the breakdown voltage value. The treatment of the test sample affects the absorption value of the functional group. UV radiation irradiation with only a few months allows the pollutant to absorb more -CH₃ functional group, thereby increasing the contact angle value.

Keywords: Polymer, Liquid Silicone, Hydrophobic Transfer, Dielectric, Functional Group.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas tuntunannya sehingga penulisan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Karakteristik Dielektrik, Transfer Hidrofobik, dan Struktur Permukaan Material *Liquid Silicone* Dibawah Tiruan Multi Tekanan Iklim” dapat terselesaikan dengan baik. Adapun Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dengan segala ketulusan hati penulis ingin mempersembahkan tugas akhir ini kepada kedua orang tua yang telah memberikan semangat, dorongan, dan bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini mendapati berbagai kesulitan. Namun, berkat usaha dan doa serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada akhirnya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besanya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, ide, serta gagasan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T.** selaku penguji I dan Bapak **Ir. H. Gassing, M.T.** selaku penguji II yang juga telah banyak memberi masukan serta kritikan yang sangat membangun dalam perbaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T** selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A** selaku Rektor universitas Hasanuddin

6. Orang tua yang selalu setia mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
7. Tante Seli dan keluarga yang telah memberikan semangat dan selalu menolong dikala penulis kesusahan.
8. Keluarga yang ada di Makassar terlebih khusus kepada keluarganya om Jerry dan Tante Nona yang telah membantu penulis selama berada di Makassar.
9. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan.
10. Teman-teman “EQUALIZER” yang selama ini telah membantu penulis ketika masih menuntut ilmu di kampus ini.
11. Saras, Filo, Syari, Vina, Kak Susan dan Tamara yang selalu memberikan semangat, dorongan, dan mau menjadi pendengar yang baik dikala penulis sedang kesusahan.
12. Hardiansyah yang telah banyak membantu penulis dalam melengkapi berkas-berkas untuk mendaftar wisuda dan terus memberikan semangat.
13. Arson Marianus dan Wahyu Agung yang telah membantu penulis mempersiapkan alat dan bahan penelitian.
14. Teman-teman Circle Bee yang telah menghibur penulis dikala penulis mulai kelelahan dalam mengerjakan skripsi.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Makassar, 05 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Metode Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Isolator.....	8
2.2 Bahan Dielektrik.....	8
2.3 Isolator Polimer	12
2.4 <i>Liquid Silicone Rubber (LSR)</i>	20
2.5 Metode Pengujian Sifat Hidrofobik.....	23
2.6 Pembentukan Sudut Kontak Pada Butir Air	28
2.7 Pengukuran Bobot Polusi	30
2.8 Polutan Kaolin.....	33
2.9 Tegangan Tembus	35
2.9.1 Mekanisme Tegangan Tembus	36
2.9.2 Faktor Penyebab Tegangan Tembus	38
2.10 Pengujian Tegangan Tinggi.....	42

2.10.1	Tegangan Tinggi AC.....	44
2.10.2	Tegangan Tinggi DC.....	45
2.10.3	Tegangan Tinggi Impuls	46
2.11	Penelitian Serupa.....	47
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		48
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	48
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	48
3.3	Jenis Pengambilan Data.....	53
3.4	Variasi Pengujian.....	54
3.5	<i>Treatment Aging Material Liquid Silicone</i>	54
3.6	Prosedur Penelitian.....	55
3.6.1	Pengambilan Data Sudut Kontak	55
3.6.2	Pengambilan Data Nilai Permittivitas Relatif	56
3.6.3	Pengujian Tegangan Tembus	57
3.6.4	FTIR Test (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	58
3.7	Menghitung Nilai Standar Deviasi	63
3.8	Diagram Alir Penelitian.....	64
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		65
4.1	Sudut Kontak Hidrofobik	65
4.1.1	Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Ruang	65
4.1.2	Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Rekondisi/Penuaan.....	69
4.1.3	Perbandingan Nilai Sudut Kontak Kedua Perlakuan	72
4.2	Kekuatan Dielektrik.....	75
4.2.1	Nilai Permittivitas Relatif.....	76
4.2.2	Nilai Tegangan Tembus	81
4.3	Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	86
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		92
5.1	Kesimpulan.....	92
5.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94
LAMPIRAN		96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain Isolator Polimer	14
Gambar 2.2 Ikatan Kimia <i>Silicone Rubber</i>	20
Gambar 2.3 Sintesis dan Struktur Kimia <i>Liquid Silicone</i>	22
Gambar 2.4 Standar <i>Hidrophobicity Classification</i> STRI 92/1 dan IEC 62703... 27	
Gambar 2.5 Pembentukan Sudut Kontak Antara Butir Air dan Permukaan Isolator	29
Gambar 2.6 Struktur Kaolin.....	34
Gambar 2.7 Medan Elektrik dalam Dielektrik.....	38
Gambar 2.8 Grafik Penyebab Tegangan Tembus	38
Gambar 2.9 Grafik Tegangan Terhadap Waktu Pengujian	42
Gambar 2.10 Grafik Pengujian Merusak	43
Gambar 3.1 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi DC.....	48
Gambar 3.2 Termometer Digital	49
Gambar 3.3 <i>Liquid Silicone</i>	49
Gambar 3.4 LCR Meter dan Alat Ukur Kapasitansi Meter	50
Gambar 3.5 Jangka Sorong	50
Gambar 3.6 <i>Adjustment Top-Pieppete</i>	51
Gambar 3.7 <i>Aquadest</i>	51
Gambar 3.8 Polutan Kaolin.....	52
Gambar 3.9 <i>Chamber</i>	52
Gambar 3.10 <i>Aluminium Foil</i>	53
Gambar 3.11 Pengambilan Gambar Sudut Kontak	55
Gambar 3.12 Rangkaian Uji Tegangan Tembus	57
Gambar 3.13 Spektrum IR Sampel Kaolin Kgwakgwe	60
Gambar 4.1 Grafik Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Ruang.....	68
Gambar 4.2 Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Rekondisi.....	71
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Sudut Kontak Kedua Perlakuan	74
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Permittivitas Relatif	81

Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Sampel Sebelum dan Sesudah Diberi Perlakuan	85
Gambar 4.6 Grafik Pengujian FTIR Sampel Baru <i>Liquid Silicone</i>	87
Gambar 4.7 Grafik Pengujian FTIR Polutan Baru.....	88
Gambar 4.8 Grafik Pengujian FTIR Polutan Sampel SR3.....	88
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Polutan Sampel ST3.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Properties of Thermoplasts</i>	11
Tabel 2.2 Penggolongan Bobot Polusi Berdasarkan IEC 60851.....	32
Tabel 2.3 Penentuan Tingkat Polusi Isolator Berdasarkan Metode Tinjau Lapangan	32
Tabel 2.4 Kandungan Mineral Kaolin dari Belitung (Setiadi, dkk. 2016).....	34
Tabel 3.1 Characteristic Absorption Peak of FTIR Spectrum	62
Tabel 3.2 Identifikasi Gugus Fungsi Elastomer Silikon Pada Puncak Serapan IR	62
Tabel 4.1 Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Ruang	65
Tabel 4.2 Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Rekondisi/Penuaan.....	69
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Sudut Kontak Kedua Perlakuan	72
Tabel 4.4 Nilai Kapasitansi Sampel Pada Suhu Ruang.....	77
Tabel 4.5 Nilai Permittivitas Sampel Pada Suhu Ruang.....	78
Tabel 4.6 Nilai Kapasitansi Sampel Pada Suhu Rekondisi.....	79
Tabel 4.7 Nilai Permittivitas Relatif Sampel Pada Suhu Rekondisi	79
Tabel 4.8 Nilai Permittivitas Relatif Kedua Perlakuan.....	80
Tabel 4.9 Nilai Tegangan Tembus Pada Sampel Baru	82
Tabel 4.10 Nilai Tegangan Tembus Sampel Setelah Diberi Perlakuan	83
Tabel 4.11 Nilai Rata-rata Tegangan Tembus Sampel Setelah Diberi Perlakuan	84
Tabel 4.12 Nilai Tegangan Tembus Sebelum dan Setelah Diberi Perlakuan	84
Tabel 4.13 Pengujian FTIR Sampel Baru Silicone Rubber	87
Tabel 4.14 Perbandingan Presentase Transmittansi Polutan Kaolin.....	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolator merupakan salah satu komponen listrik yang memegang peranan penting dalam penyaluran energi listrik yaitu sebagai pemisah bagian yang bertegangan dan yang tidak bertegangan serta sebagai penopang kawat penghantar atau konduktor pada tiang. Isolator umumnya dipasang di luar ruangan. Kondisi lingkungan sekitar tempat isolator terpasang sangat mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut seperti perubahan suhu, kelembaban, tekanan dan tingkat polusi. Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis sehingga menjadi cukup berbahaya bagi isolator pasangan luar karena akan terkena kondisi iklim yaitu mengalami penyinaran ultraviolet yang cukup lama yaitu 12 jam sehari, temperatur udara antara 16-35°C, kelembaban yang tinggi di malam hingga awal pagi hari, curah hujan yang cukup tinggi antara 40-500 mm. Selain itu, dari publikasi organisasi *greenpeace* mengatakan bahwa Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat polusi tertinggi di dunia.

Ada 3 bahan isolator yang sering digunakan yaitu isolator porselin/keramik, isolator kaca/gelas dan isolator polimer. Penggunaan isolator keramik dan gelas dirasa sudah tidak menguntungkan lagi karena mudah pecah dan berat sehingga pemasangan dan pemeliharaan jaringan tenaga listrik membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Selain itu, isolator keramik dan gelas juga permukaannya mudah dibasahi oleh kabut, embun atau hujan karena memiliki sifat hidrofilik yang tinggi sehingga polutan mudah menempel pada permukaannya dan dapat membentuk jalur

konduktif yang dapat menyebabkan arus bocor mengalir pada permukaan isolator. Dengan adanya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator, maka pada permukaan isolator akan timbul panas yang justru akan mengeringkan polutan tersebut. Oleh karenanya, muncullah daerah yang disebut pita kering (*dryband*) atau luas kerusakan permukaan bahan isolasi. *Dryband* dapat memicu terjadinya pelepasan muatan ke udara karena distribusi medan listrik pada *dryband* lebih tinggi dibandingkan pada daerah lainnya. Semakin meningkatnya *dryband*, maka akan menyebabkan terjadinya *flashover*. Maka dari itu, isolator keramik dan gelas kurang menguntungkan untuk digunakan pada daerah yang memiliki kelembaban dan berpolusi tinggi seperti industri/perkotaan dan pesisir pantai.

Sebagai alternatif untuk menggantikan material keramik dan gelas, dikembangkanlah material polimer yang dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dari material keramik dan gelas antara lain ringan (36,7% - 93% lebih ringan dari isolator keramik dan gelas), tidak mudah pecah dan juga memiliki sifat hidrofobik yang tinggi. Sifat hidrofobiknya bahkan mampu memindahkan (*transfer*) dan memulihkan (*recovery*) ke lapisan polutan sehingga polutan juga ikut bersifat hidrofobik. Akibatnya, pada permukaan isolator polimer tidak mudah terbentuk lapisan konduktif atau dengan kata lain menjaga konduktivitas permukaan isolator tetap rendah dengan demikian arus bocor yang terjadi sangat kecil.

Namun, isolator polimer pun memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap iklim seperti intensitas radiasi UV, temperatur, kelembaban atau hujan, polusi dan terpaan medan listrik yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penuaan (*aging*). Proses penuaan dapat menurunkan sifat hidrofobik isolator polimer sehingga

mudah terbentuk lapisan polutan pada permukaannya yang dapat meningkatkan arus bocor pada permukaannya sehingga umur penggunaan isolator polimer semakin rendah.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan terkait pengaruh radiasi sinar UV buatan dan polutan terhadap kinerja isolator polimer berbahan *Liquid Silicone*. Adapun kontaminan yang digunakan adalah kaolin. Sedangkan parameter unjuk kerja material yang diamati adalah permitifitas relatif, sudut kontak, tegangan tembus, hasil *Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Hasil akhir dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik dielektrik, menentukan tingkat hidrofobik pada material *Liquid Silicone* sebelum dan setelah diberi perlakuan oleh sinar lampu UV dan polutan kaolin, dan mempelajari kelimpahan gugus fungsi dari polutan yang masih baru dan polutan yang telah diberi perlakuan. Hal tersebut diadaptasi dari kondisi isolator tegangan tinggi yang dipasang di luar ruangan yang sering terpapar sinar UV dan polusi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas adalah :

1. Bagaimana tingkat transfer hidrofobik material *Liquid Silicone* yang berpolutan ketika ditempatkan pada suhu ruang dan suhu rekondisi/penuaan melalui pengujian sudut kontak ?
2. Bagaimana nilai permitivitas relatif material *Liquid Silicone* sebelum dan sesudah diberi perlakuan ?

3. Bagaimana perbandingan nilai tegangan tembus material *Liquid Silicone* sebelum dan sesudah diberi perlakuan ?
4. Bagaimana kelimpahan gugus fungsi CH₃ dari polutan yang masih baru dan polutan yang telah diberi perlakuan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai sebagai berikut :

1. Mengetahui tingkat transfer hidrofobik material *Liquid Silicone* yang berpolutan ketika ditempatkan pada suhu ruang dan suhu rekondisi/penuaan.
2. Mengetahui nilai permitivitas relatif material *Liquid Silicone* sebelum dan sesudah diberi perlakuan.
3. Mengetahui perbandingan nilai tegangan tembus material *Liquid Silicone* sebelum dan sesudah diberi perlakuan.
4. Mengetahui kelimpahan gugus fungsi CH₃ dari polutan yang masih baru dan polutan yang telah diberi perlakuan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Bagi PT PLN sebagai masukan atau bahan pertimbangan dalam pemilihan material isolator.
2. Memperoleh pengalaman praktis dan memberikan wawasan bagi penulis yang nantinya diharapkan dapat berguna di lapangan.

3. Dengan adanya laporan tugas akhir ini maka pembaca dapat menjadikannya sebagai referensi (bahan bacaan) di dalam mencari informasi yang berkaitan dengan tugas akhir ini.
4. Sebagai kerangka acuan dalam penelitian-penelitian berikutnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Material uji yang digunakan adalah isolator polimer jenis *Liquid Silicone* dengan ukuran luas 0,0096 m² dan ketebalan 0,002 m yang diperoleh atas kerjasama dengan industri.
2. Polutan yang digunakan adalah kaolin.
3. Pengujian yang dilakukan berfokus pada radiasi UV buatan dan polusi.

1.6 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu:

1. Studi Literatur

Kajian yang dilakukan oleh penulis atas referensi-referensi yang ada, baik berupa buku, artikel, maupun sumber lain yang berhubungan dengan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Peneliti melakukan pengamatan dan pengambilan data secara langsung terhadap objek penelitian di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Analisis Hasil Pengolahan Data

Peneliti melakukan analisis dan perbandingan data untuk memperoleh kesimpulan sementara. Selanjutnya kesimpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab hasil.

4. Penarikan kesimpulan

Peneliti membuat kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan dengan melihat korelasi antara hasil pengolahan data dan permasalahan yang diteliti.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penyusunan seminar usulan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang diperoleh dari sumber referensi untuk menyusun kerangka teori dan konseptual.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan dan analisis data, prosedur penelitian dan juga diagram alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil penelitian beserta analisis hasil keseluruhan pengujian yang diberikan dalam bentuk data ataupun grafik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator merupakan salah satu komponen listrik yang memegang peranan penting dalam penyaluran energi listrik yaitu sebagai pemisah bagian yang bertegangan dan yang tidak bertegangan serta sebagai penopang kawat penghantar atau konduktor pada tiang. Jika isolator gagal menjalankan fungsinya sebagaimana mestinya, maka penyaluran energi tersebut akan gagal atau tidak optimal. Oleh karenanya, dalam menentukan sebuah isolator perlu pemahaman yang baik tentang bagaimana unjuk kerjanya dalam melayani suatu sistem tenaga listrik.

Isolasi adalah sifat bahan yang dapat memisahkan dua atau lebih penghantar listrik bertegangan yang saling berdekatan sehingga tidak terjadi arus bocor (*leakage current*), tegangan lewat denyar (*flashover*) ataupun percikan api (*sparkover*). Sedangkan isolator merupakan komponen listrik yang dipakai untuk mengisolasi. Kemampuan suatu bahan untuk menahan tegangan disebut kekuatan dielektrik. Semakin tinggi kekuatan dielektrik suatu bahan isolasi, maka bahan isolasi tersebut semakin baik digunakan (Irfan, 2020).

2.2 Bahan Dielektrik

Dielektrik merupakan suatu bahan yang menghantarkan arus listrik yang sangat kecil bahkan hampir tidak ada. Pada bahan dielektrik tidak terdapat elektron-elektron konduksi yang bebas bergerak di seluruh bahan oleh pengaruh medan listrik. Sifat medan listriknya yang tidak akan menghasilkan pergerakan muatan

dalam bahan dielektriknya menjadikan bahan dielektrik merupakan isolator yang baik.

Dalam bahan dielektrik, semua elektron-elektron terikat dengan kuat pada intinya sehingga terbentuk suatu struktur regangan (*lattices*), bagian-bagian positif dan negatifnya terikat bersama-sama sehingga tiap aliran massa tidak merupakan perpindahan dari muatan. Karena itu, jika suatu dielektrik diberi muatan listrik, muatan ini akan tinggal terlokalisir di daerah di mana muatan tadi ditempatkan.

Isolasi padat mempunyai kekuatan tegangan tembus yang tinggi dibandingkan dengan isolasi cair dan gas. Studi yang paling penting dalam teknik isolasi adalah studi tegangan tembus dari dielektrikum padat. Jika terjadi tembus, maka isolasi padat akan rusak secara permanen sedangkan pada isolasi gas akan kembali ke sifatnya semula dan pada isolasi cair sebagian akan kembali ke sifatnya semula dan sebagian lainnya tidak (Pesa & Murdiya, 2017)

Agar dielektrik mampu menjalankan tugasnya dengan baik maka dielektrik harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, agar dimensi sistem isolasi menjadi kecil dan penggunaan bahan dielektrik semakin sedikit, sehingga harganya semakin murah.
2. Rugi-rugi dielektrik yang rendah, agar suhu bahan isolasi tidak melebihi batas yang ditentukan.
3. Memiliki kekuatan kerak tinggi, agar tidak terjadi erosi karena tekanan elektrik permukaan.

4. Memiliki konstanta dielektrik yang tepat dan cocok, sehingga membuat arus pemuatan tidak melebihi yang diijinkan.
5. Kemampuan menahan panas tinggi (daya tahan panas).
6. Kerentanan terhadap perubahan bentuk pada keadaan panas.
7. Konduktivitas panas yang tinggi.
8. Koefisien muai panas yang rendah.
9. Tidak mudah terbakar.
10. Tahan terhadap busur api.
11. Daya serap air yang rendah.

Dielektrik ini memiliki nilai permitivitas atau konstanta dielektrik. permitivitas merepresentasikan rapatnya fluks elektrostatik saat sebuah benda dilewati arus listrik. Konstanta dielektrik untuk ruang hampa atau vakum adalah $\epsilon_0 \approx 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$. Permitivitas relatif adalah nilai yang menunjukkan besarnya kemampuan isolator melewatkan medan listrik saat diberikan nilai beda potensial pada kedua sisi permukaan isolator yang tengah diuji. Kemampuan ini tentu sangat penting dimiliki oleh isolator, semakin rendah nilai permitivitasnya maka semakin kecil medan listrik yang dapat dilewatkan, sehingga persamaannya dapat dilihat seperti ini **Persamaan 2.1**

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

Hal ini berkaitan pula dengan nilai kapasitansi yang dimiliki bahan dielektrik itu yang diperoleh dari **Persamaan 2.2** berikut :

$$C_0 = \frac{\epsilon_0}{d} \quad (2.2)$$

Selanjutnya **Persamaan 2.2** disubstitusi ke dalam **Persamaan 2.3** sehingga menjadi:

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (2.4)$$

Semua bahan dielektrik memiliki tingkat ketahanan yang disebut dengan kekuatan dielektrik, diartikan sebagai tekanan listrik tertinggi yang dapat ditahan oleh elektrik tersebut tanpa merubah sifatnya menjadi konduktif. Apabila suatu dielektrik berubah sifatnya menjadi konduktif, maka dielektrik tersebut telah tembus listrik (*breakdown*). Kekuatan dielektrik juga dapat diartikan sebagai tekanan listrik terendah yang mengakibatkan dielektrik tersebut tembus listrik.

Tegangan tembus (*breakdown voltage*) suatu isolator adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk merusak dielektrik tersebut. Kekuatan dielektrik dari suatu bahan isolasi dinyatakan dengan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu medium tanpa merusaknya.

Tabel 2.1 *Properties of Thermoplasts*

Property	Unit	High-pressure PE (HDPE)	Low-pressure PE (LDPE)	Cross-pressure PE (XLPE)	Hard PVC	Soft PVC	PTFE
Breakdown field strength E_d	kV/mm	75	100	50	30	10	25
Volume resistivity ρ	Ωcm	5×10^{17}	5×10^{17}	10^{16}	10^{15}	10^{14}	10^{17}
Dielectric constant ϵ_r	-	-	2,3	2,4	2,3	5,5	2,1

Sambungan **Tabel 2.1** *Properties of Thermoplasts*

Property	Unit	High-pressure PE (HDPE)	Low-pressure PE (LDPE)	Cross-pressure PE (XLPE)	Hard PVC	Soft PVC	PTFE
Dissipation factor (1 MHz) $\tan \delta$	-	2×10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	2×10^{-2}	10^{-1}	10^{-4}
Tracking Index	-	KA 3b	KA 3c	KA 3c	KA 3a	KA 1	KA 3c
Density	g/cm^3	0,92	0,95	0,92	1,4	1,2... 1,3	2,15
E-modulus	kN/mm^2	0,15	0,7	0,1	3	0,05	0,5
Bending strength	N/mm^2	15	30	-	100	-	15
Tensile strength	N/mm^2	12	15	20	50	15... 30	20
Thermal conductivity λ	W/Km	0,3	0,4	0,3	0,17	0,17	0,25
Linear thermal expansion	$10^{-6}/\text{K}$	320	150	320	70	190	120
Thermal stability limit	$^{\circ}\text{C}$	70	80	90	65	50	250

2.3 Isolator Polimer

Penggunaan bahan polimer untuk isolator masih terbilang baru digunakan. Pada beberapa dekade terakhir penggunaannya semakin banyak sebagai pengganti isolator porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator bahan polimer memiliki

beberapa kelebihan dibandingkan bahan porselin dan gelas, antara lain (Taufiq Hidayat, 2020) :

1. Memiliki sifat hidrofobik yang baik.
2. Memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
3. Memiliki sifat dielektrik dan termal yang lebih tinggi.
4. Tahan terhadap polusi sehingga kotoran sukar menempel pada permukaan.
5. Tidak terdapat lubang karena bahan yang digunakan sangat rapat.

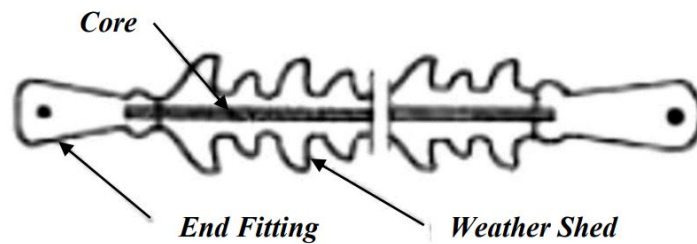
Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah :

1. Ketidakcocokan bahan antarmuka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
2. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim.
3. Penuaan/degradasi pada permukaan dan stress yang disebabkan oleh korona, radiasi UV, atau zat kimia dapat mengakibatkan reaksi kimia pada permukaan isolator polimer. Sehingga dapat mempercepat penuaan yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya.

Ada banyak bahan polimer yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan isolator antara lain *Silicone Rubber*, *Ethylene Propylene Rubber* dan *Epoxy Resin*. Polimer merupakan molekul besar yang tersusun secara berulang dari molekul-molekul kecil yang saling berikatan. Istilah polimer berasal dari bahasa Yunani, polys = banyak dan meros = bagian, yang berarti banyak bagian atau banyak monomer. Pada umumnya, polimer merupakan senyawa kimia organik

yang didasarkan pada karbon, hidrogen, dan unsur bukan logam (O, N, dan Si). Polimer alam memiliki rantai karbon utama berupa rantai karbon (C). Umumnya, polimer memiliki struktur molekul yang sangat besar (Admadi H & Arnata, 2015).

Pada **Gambar 2.1** dibawah ini memperlihatkan komponen dasar isolator polimer yang terdiri dari *core* (inti), *weathersheds* (pembungkus) dan *fitting* yang terbuat dari logam dan kedua ujungnya dihubungkan dengan core.



Gambar 2.1 Desain Isolator Polimer

Fitting pada sebuah isolator polimer dirancang untuk mampu menahan beban yang berasal dari isolator. Sebuah *fitting* terbuat dari bahan logam tuang atau tempaan antara lain aluminium, tembaga dan baja. *Fitting* pada isolator polimer berguna sebagai pemegang dari inti, dimana pada desainnya inti diletakkan pada posisi terjepit di dalam *fitting*. Inti (*core*) pada isolator polimer berguna untuk memperkuat atau menambah kekuatan mekanik dari isolator polimer. Inti (*core*) terbuat dari bahan *fiberglass*, yang kemudian dibungkus *shed* (Kusmaningrum, 2017).

Sifat isolator polimer dapat digolongkan berdasarkan sifat kimia, fisika, mekanis dan termal. Berikut ini penggolongan polimer berdasarkan sifatnya (Admadi H & Arnata, 2015).

1. Sifat Kimia

Gaya tarik menarik yang terjadi antar rantai polimer mempengaruhi sifat dari polimer. Polimer memiliki rantai yang sangat panjang sehingga gaya antar rantai menjadi berlipat ganda dibandingkan tarik menarik antara molekul biasa. Gugus samping yang berbeda dapat mengakibatkan polimer berikatan ion atau ikatan hydrogen pada rantai yang sama. Semakin kuat gaya akan berakibat naiknya kuat tarik, titik leleh, dan tingkat kristalinitas.

Gaya intermolekuler pada polimer dapat dipengaruhi oleh dipol pada unit monomer. Polimer yang mengandung gugus amida atau karbonil dapat membentuk ikatan hydrogen antara rantai yang berdekatan. Atom hidrogen yang bermuatan positif pada gugus N-H akan tertarik kuat pada oksigen yang bermuatan negative pada gugus C=O. ikatan hydrogen yang kuat ini akan berimbas pada naiknya kuat tarik dan titik leleh, misalnya pada polimer yang mengandung uretan atau urea. Polyester mempunyai ikatan dipol-dipol antara atom oksigen pada C=O dengan atom hydrogen pada gugus C-H. ikatan dipol tidak sekuat pada ikatan hydrogen, jadi titik leleh polyester lebih rendah, tetapi mempunyai fleksibilitas yang tinggi.

2. Sifat Fisik

Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat fisik polimer sebagai berikut :

a. Panjang Rata-Rata Rantai Polimer

Kekuatan dan titik leleh naik dengan bertambah panjangnya rantai polimer.

b. Gaya antarmolekul

Jika gaya antar molekul pada rantai polimer besar maka polimer akan menjadi kuat dan sukar meleleh.

c. Percabangan

Rantai polimer yang bercabang banyak memiliki daya tegang rendah dan mudah meleleh.

d. Ikatan Silang Antar Rantai Polimer

Ikatan silang antar rantai polimer menyebabkan terjadinya jaringan yang kaku dan membentuk bahan yang keras. Jika ikatan silang semakin banyak maka polimer semakin kaku dan mudah patah.

e. Sifat Kristalinitas Rantai Polimer

Polimer berstruktur tidak teratur memiliki kristalinitas rendah dan bersifat amorf (tidak keras). Sedangkan polimer dengan struktur teratur mempunyai kristalinitas tinggi sehingga lebih kuat dan lebih tahan terhadap bahan-bahan kimia dan enzim.

3. Sifat Mekanik

Sifat mekanik polimer antara lain sebagai berikut :

- a. Kekuatan (*Strength*) Kekuatan merupakan salah satu sifat mekanik dari polimer. Ada beberapa macam kekuatan dalam polimer, diantaranya yaitu sebagai berikut :

- Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan suatu sampel. Kekuatan tarik penting untuk polymer yang akan ditarik, contohnya fiber, harus mempunyai kekuatan tarik yang baik.

- *Compressive Strength*

Compressive strength adalah ketahanan terhadap tekanan. Beton merupakan contoh material yang memiliki kekuatan tekan yang bagus. Segala sesuatu yang harus menahan berat dari bawah harus mempunyai kekuatan tekan yang bagus.

- *Flexural Strength*

Flexural strength adalah ketahanan pada bending (*flexing*). Polimer mempunyai *flexural strength* jika dia kuat saat dibengkokkan.

- *Impact Strength*

Impact Strength adalah ketahanan terhadap tegangan yang datang secara tiba-tiba. Polimer mempunyai kekuatan impak jika dia kuat saat dipukul dengan keras secara tiba-tiba seperti dengan palu.

b. Elongation

Elongasi merupakan salah satu jenis deformasi. Deformasi merupakan perubahan ukuran yang terjadi saat material di beri gaya. % Elongasi adalah panjang polimer setelah di beri gaya (L) dibagi dengan panjang sampel sebelum diberi gaya (L_0) kemudian dikalikan 100.

c. Modulus

Modulus diukur dengan menghitung tegangan dibagi dengan elongasi.

Satuan modulus sama dengan satuan kekuatan (N/cm^2).

d. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan adalah pengukuran sebenarnya dari energi yang dapat diserap oleh suatu material sebelum material tersebut patah.

4. Sifat Termal

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan suhu. Hal ini disebabkan apabila suhu berubah, pergerakan molekul karena suhu akan mengubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Selanjutnya, karena panas oksigen, dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, hidrolisa, dan seterusnya pada suhu tinggi. Sifat termal polimer adalah :

a. Koefisien Pemuaihan Termal

Koefisien pemuaihan panjang pada film dan serat sering terjadi penyusutan karena panas, karena apabila temperature itu naik, cara pengumpulan molekul berubah oleh pergerakan termal dari molekul.

b. Panas Jenis

Panas jenis bahan polimer kira-kira 0,25 - 0,55 cal/g/oC yang lebih besar dibandingkan dengan bahan logam, juga lebih besar dibandingkan dengan keramik. Hal ini disebabkan karena panas jenis adalah panas yang digunakan untuk pergerakan termal dari molekul-molekul dalam struktur-strukturnya.

c. Koefisien Hantaran Termal

Koefisien hantaran termal adalah harga yang penting bagi bahan polimer sehubungan dengan panas pencetakan dan penggunaan produknya, mekanisme penghantaran panas pada bahan polimer juga merupakan akibat dari propagasi panas dari pergerakan molekul.

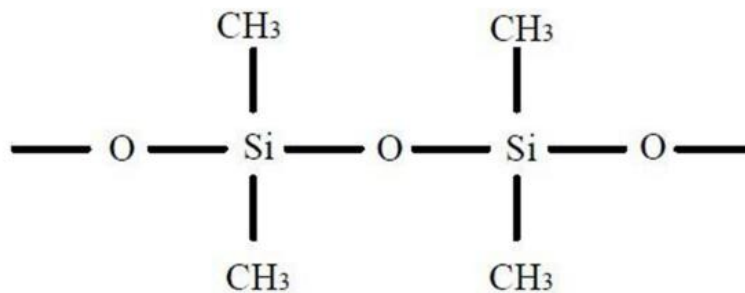
d. Titik Tahan Panas

Titik tahan panas Kalau temperature bahan polimer naik, maka pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi. Hal ini dapat menyebabkan modulus elastik dan kekerasannya rendah. Sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar.

Isolator yang dipasang diluar ruangan rentan terhadap pengaruh radiasi sinar UV dan erosi sehingga mengakibatkan kerusakan pada isolator tersebut. Umumnya kerusakan yang terjadi berhubungan dengan penggunaan material yang kurang tepat, teknik produksi, kualitas batang serat fiber yang rendah, serta penyegelan antara batang, kerangka dan ujung logam yang tidak bagus. Sedangkan penyebab kerusakan pada polimer dapat berupa pengapuran, krasing dan penetrasi air. Selain itu, pada umumnya polimer rentan terhadap pengaruh lingkungan dan polusi yang tinggi. Keuntungan dari isolator ini terletak pada massa jenis yang lebih ringan 90% dari isolator keramik, memiliki sifat hidrofobik, sifat termal dan dielektrik yang lebih baik dibanding keramik dan gelas.

2.4 *Liquid Silicone Rubber (LSR)*

Struktur kimia silicone rubber terdiri dari suatu tulang punggung silicon yang lebih fleksibel dibandingkan polimer lainnya. Di bawah ini memperlihatkan struktur kimia *Silicone Rubber*.



Gambar 2.2 Ikatan Kimia *Silicone Rubber*

Jarak ikatan Si-O sekitar $1,64^{\circ}\text{A}$ yang lebih panjang dibandingkan jarak ikatan C-C sekitar $1,5^{\circ}\text{A}$ yang banyak ditemukan pada polimer organik. Kemudian susunan ikatan Si-O-Si (180° -) - 143° lebih terbuka bila dibandingkan tetrahidrat biasa (-110°) yang berperan meningkatkan keseimbangan, dengan demikian ikatan membentuk suatu bentuk yang rapat ketika keadaan tergulung acak, dan rantai silicone yang terdapat metil mampu meluruskan sendiri untuk bersekutu menghasilkan hidrofobik pada permukaannya (Ayman H, 2015).

Material polimer Silicone Rubber adalah bahan dielektrik yang sering digunakan beberapa tahun terakhir. Jika dilihat dari sifatnya, Silicone Rubber mempunyai sifat tolak air (hydrophobicity) yang tinggi, bahkan mampu memindahkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan ikut bersifat hidrofobik. Dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang

kontinyu, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil. Kelebihan lain yang dimiliki oleh karet silikon adalah mempunyai sifat dielektrik yang sangat baik, ringan, tahan gempa, serta mudah dalam penanganan dan pemasangannya.

Silicone Rubber merupakan bahan isolasi yang tahan terhadap suhu tinggi. Secara garis besar karet silikon dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. *High Temperatur Vulcanizing (HTV)*

Bahan ini dapat digunakan pada suhu 55°C – 200°C, biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolator tegangan tinggi. Sifat yang dimiliki karet silikon jenis HTV ini adalah tahan terhadap alkohol, garam dan minyak, memiliki tahanan yang baik terhadap ozon, korona dan air.

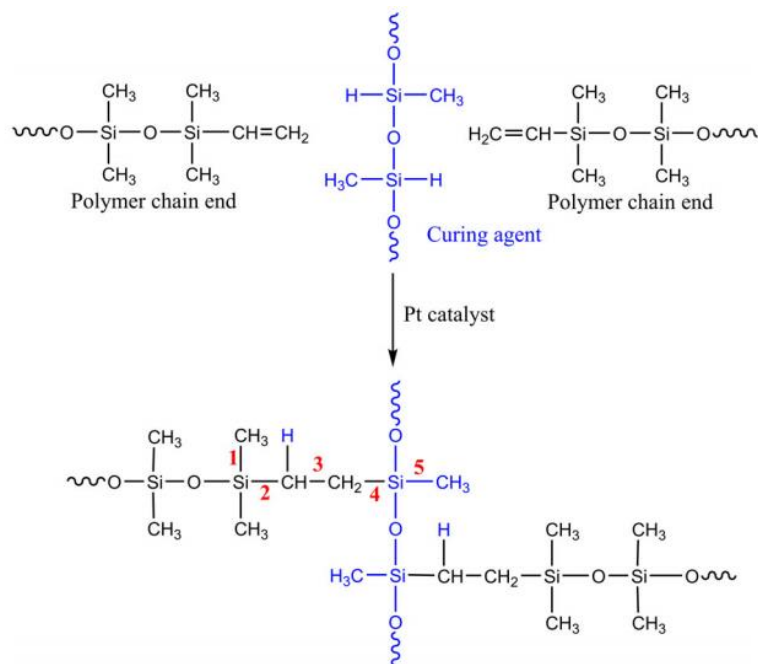
2. *Room Temperatur Vulcanizing (RTV)*

Bahan ini dibuat pada suhu 25°C – 80°C dan biasanya digunakan untuk melapisi isolator keramik.

Isolator Silicone Rubber *High Temperature Vulcanized* (HTV) banyak digunakan dalam sistem transmisi daya karena sifat mekanik, listrik, dan hidrofobiknya yang sangat baik (Hidayat, 2020). Sebagian besar isolator HTV beroperasi di luar ruangan. Secara umum material HTV dibagi menjadi dua kelompok yaitu *High Consistency Rubber* (HCR) dan *Liquid Silicone Rubber* (LSR). Menurut hasil penelitian yang berjudul *Characteristic Properties of High Consistency Rubber and Liquid Silicone Rubber* didapatkan bahwa LSR lebih

lembut dan dengan sifat tarik dan sifat listrik yang lebih baik daripada HCR dan LSR memiliki sifat hidrofobitas yang lebih baik (Kuffel, Zaengl, & Kuffel, 2000).

Dengan sifat listrik yang sangat baik, kinerja tinggi dalam kondisi basah dan tercemar, rentang suhu operasi yang luas dan pemrosesan sederhana, karet silikon cair (LSR) telah banyak digunakan sebagai bahan isolasi dalam transmisi daya dan sistem distribusi (Sun, Meng, Zhang, Wu, & Chen, 2015). *Liquid Silicone Rubber* (singkatan: LSR) memiliki viskositas rendah, fluiditas yang baik, vulkanisasi cepat, dan bahan silicone rubber yang dapat dicor. *Liquid Silicone* merupakan jenis lain yang banyak digunakan bahan *Silicone Rubber* luar ruangan, disintesis melalui reaksi hidrosililasi dengan katalis platina pada suhu tertentu. Komponen utamanya adalah polydimethylsiloxane (PDMS), yang berarti ikatan Si–O dan Si–C harus diprioritaskan untuk mencirikan perubahan mikro sampel LSR.



Gambar 2.3 Sintesis dan Struktur Kimia *Liquid Silicone*

Derajat ikatan silang berkaitan erat dengan sifat mekanik dan listrik. Seiring dengan berlalunya proses degradasi maka semakin tinggi derajat ikatan silang rantai Si–O yang berakibat pada reduksi gugus organik seperti ikatan Si–C dan CH₃. Hal ini dapat mengakibatkan kerugian hidrofobisitas dan penurunan kinerja mekanik. Ini juga berarti bahwa struktur mikro LSR telah berubah. Faktor lingkungan seperti panas, sinar matahari yang kuat dan oksigen dapat menyebabkan pembentukan radikal bebas oksigen dan radikal bebas ini mudah bereaksi dengan ikatan Si–C, yang menyebabkan putusnya -CH₃ atau gugus fungsi organik lainnya dan pembentukan titik-titik ikatan silang baru. Akibatnya, bagian organik pada isolator polimer *Liquid Silicone* menjadi semakin rendah dan derajat ikatan silang meningkat (Chen, Jia, Wang, Lu, & Guan, 2015).

2.5 Metode Pengujian Sifat Hidrofobik

Sifat kedap air (*hydrophobicity*) adalah kemampuan sebuah bahan dalam menolak air, bahkan mampu memulihkan (*recovery*) dan memindahkan (*transfer*) sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan tersebut ikut memiliki sifat hidrofobik. Hidrofobik dapat didefinisikan sebagai tolakan lapisan air pada suatu permukaan. Sifat hidrofobik isolator dapat dipengaruhi oleh paparan radiasi matahari, hujan, pembuangan korona, polusi yang diendapkan, dll. dimana isolator sebelumnya telah terpapar.

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan sifat permukaan bahan uji, bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Beberapa metode pengukuran hidrofobik telah dikembangkan oleh beberapa peneliti setelah merujuk standar STRI Guide 92/1 dan

IEC TS 62073 (2016). Berdasarkan standar internasional IEC TS 62073 (*Guidance on the measurement of hydrophobicity of insulator surfaces*) terdapat tiga metode pengukuran hidrofobik dengan akurasi yang berbeda, tingkat kesederhanaan, ukuran dari pengukuran area permukaan dan penggunaannya. Metodenya adalah sebagai berikut (Irfan, 2020) :

1. Metode Sudut Kontak (*The Contact Angle Method*)

Pengujian dengan metode sudut kontak seperti ini merupakan cara yang sederhana dengan menggunakan alat ukur goniometer yang dipasang pada bingkai dengan jarum suntik untuk meneteskan droplet ke permukaan. Kemudian dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera, di belakang tetesan tadi dipasang proyektor namun tidak menyinari secara langsung, selanjutnya hasil gambar yang diperoleh diolah terlebih dahulu pada komputer kemudian diukur sudut yang terbentuk.

Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah:

- Spesimen uji harus ditempatkan sedatar mungkin.
- Permukaan yang diukur tidak boleh di sentuh saat penetesan, setelahnya dilakukan pengukuran sesegera mungkin.
- Air yang digunakan tidak boleh mengandung kotoran, misalnya tensida, pelarut, minyak dan lainnya.
- Volume tetesan berkisar $5\mu\text{L}$ - $50\mu\text{L}$, disarankan menggunakan $50\mu\text{L}$.

2. Metode Tegangan Permukaan (*The Surface Tension Method*)

Penentuan tegangan permukaan isolator didasarkan pada fenomena tersebut yang turun dari serangkaian campuran cairan organik, dengan tegangan permukaan yang meningkat secara bertahap, memiliki kemampuan berbeda untuk membasahi permukaan isolator. Setiap jejak kotoran permukaan aktif di pereaksi cair atau di permukaan dapat mempengaruhi hasil. Oleh karena itu, penting bahwa permukaan yang akan diuji tidak boleh disentuh atau digosok, bahwa semua peralatan bersih dan itu kemurnian reagen dikendalikan dengan hati-hati.

Basahi ujung ekstrim aplikator kapas (jika aplikator kapas digunakan) dengan salah satunya campuran pereaksi atau menghapus kuas lembut yang difiksasi ke tutup botol dengan reagen. Gunakan hanya jumlah cairan minimum karena kelebihan reagen dapat mempengaruhi hasilnya.

Prosedur pengukuran yang sama kemudian digunakan dengan salah satu dari tiga aplikator. Sebarkan cairan sedikit di atas area dengan diameter sekitar 5 cm² (25 mm) isolator permukaan di lokasi yang dipilih. Perhatikan waktu yang diperlukan untuk cairan kontinu cakupan terbentuk pada permukaan untuk memecah menjadi tetesan. Jika cakupan cairan terus menerus tahan selama lebih dari 2 detik, lanjutkan ke campuran tegangan permukaan yang lebih tinggi, tetapi jika terus menerus.

Cakupan cairan pecah menjadi tetesan dalam waktu kurang dari 2 detik berlanjut ke tegangan permukaan yang lebih rendah campuran. Untuk setiap aplikasi campuran reagen baru, permukaan yang berdekatan baru harus dipilih

untuk menghindari kontaminasi dari reagen yang diterapkan sebelumnya. Jika pengukuran pada area permukaan yang sama diinginkan dan mungkin tanpa gangguan, permukaan mungkin lembut dibersihkan dengan kain kering (tanpa menggunakan deterjen apa pun) untuk menghilangkan reagen yang tersisa diterapkan sebelumnya. Jika pembersihan tidak dilakukan, disarankan untuk memulai dengan yang lebih rendah campuran tegangan permukaan dan secara progresif melanjutkan ke campuran tegangan permukaan yang lebih tinggi meminimalkan hasil yang salah karena kontaminasi dari campuran reagen yang sebelumnya diterapkan.

Ketika aplikator kapas digunakan, aplikator yang bersih dan baru harus digunakan setiap waktu untuk menghindari kontaminasi larutan. Jika kuas lembut dimasukkan ke dalam tutup digunakan, sikat dapat dibersihkan dalam volume kecil reagen sebelum dimasukkan kembali ke dalam botol reagen lagi.

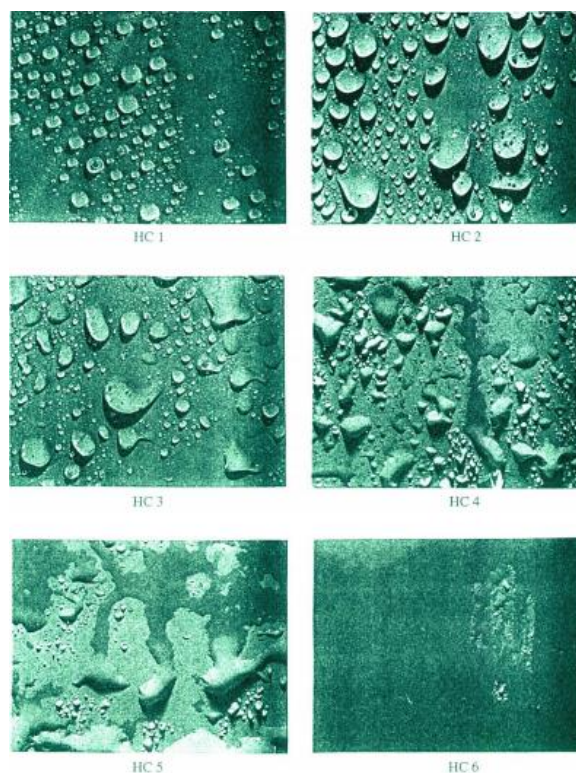
3. Metode Penyemprotan (*The Spray Method*)

Metode semprot didasarkan pada respons yang diberikan permukaan isolator setelah terpapar kabut air halus untuk waktu yang singkat. Hidrofobik setelah paparan kabut dievaluasi.

Area pengujian sebaiknya sekitar 50 cm² hingga 100 cm². Rasio antara panjang dan lebar area pengujian tidak boleh lebih besar dari 1: 3. Jika persyaratan ini tidak bisa terpenuhi, ini harus dicatat dalam laporan pengukuran. Oleskan kabut dari jarak 20 cm ± 10 cm. Permukaan harus terkena kabut untuk jangka waktu 10 detik hingga 20 detik. Biasanya, itu Jumlah air yang disemprotkan selama 10s

hingga 20s harus cukup sehingga cukup untuk air menetes dari gudang. Pengukuran hidrofobik harus dilakukan di dalam 10 detik setelah penyemprotan selesai.

Teknik ini terdiri dari pembasahan permukaan isolator dengan air kemudian mengambil gambar dengan menggunakan kamera. Selanjutnya dibandingkan dengan gambar standar internasional yang telah dikeluarkan oleh STRI Guide 92/1 dan IEC 62073 seperti pada **Gambar 2.4**, dimungkinkan untuk mengidentifikasi model hidrofobik pada permukaan. Klasifikasi ini dibuat dalam tujuh kelas hidrofobitas (HC 1-7). HC 1 mengidentifikasikan sifat sepenuhnya hidrofobik dan HC 7 mengidentifikasikan sifat sepenuhnya hidrofilik



Gambar 2.4 Standar *Hydrophobicity Classification* STRI 92/1 dan IEC 62703

2.6 Pembentukan Sudut Kontak Pada Butir Air

Sudut kontak (θ) adalah sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air destilasi pada permukaan isolator. Sudut kontak didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk antara dua garis. Garis pertama merupakan batas antara udara dan zat cair yang diteteskan sedangkan garis kedua merupakan batas antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Ketika cairan diteteskan diatas padatan pada udara terbuka, maka beberapa saat setelah penetesan maka cairan tersebut akan dalam keadaan setimbang sehingga terbentuk sebuah sudut θ yang disebut sebagai sudut kontak.

Hydrophobicity adalah kemampuan sebuah bahan dalam menolak air, bahkan mampu memulihkan (*recovery*) dan memindahkan (*transfer*) sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan tersebut ikut memiliki sifat hidrofobik. Sifat hidrofobik permukaan bahan isolasi dapat dilihat dari besar sudut kontak antara permukaan bahan isolasi yang terkontaminasi bersamaan dengan tetesan air yang mengenai permukaan bahan isolasi tersebut. Pada awal terkontaminasi, sudut kontak bahan isolasi tersebut akan menurun tetapi akan meningkat secara bertahap setelah sifat hidrofobik bahan telah tertransfer ke permukaan.

Sifat *hydrophobic* pada suatu permukaan isolator mempengaruhi besar sudut kontak air pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik berguna agar permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, sehingga nilai arus bocor yang mengalir relatif lebih kecil (S, 1979). Besar sudut kontak yang terbentuk

mempengaruhi besar arus bocor dan medan listrik pada permukaan isolator. Hal ini pun mampu menginisiasi penurunan kekuatan elektrik isolator.

Besar sudut kontak air pada suatu permukaan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu (Yusrizal, 2014) :

1. Hampir Tidak Basah (hidrofobik)

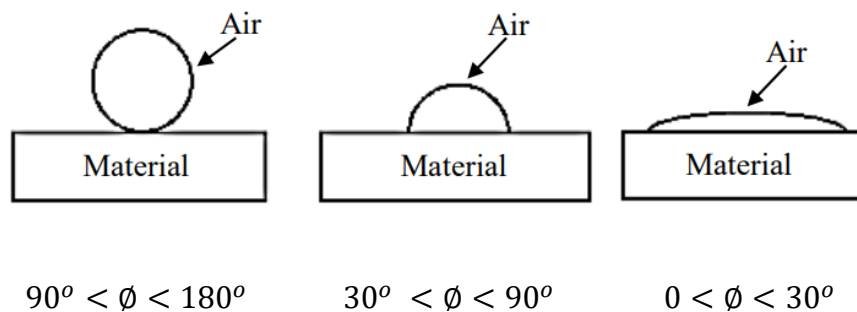
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah lebih dari 90 derajat dan kurang dari 180 derajat.

2. Basah Sebagian

Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 30 derajat hingga 90 derajat.

3. Basah Keseluruhan (hidrofilik)

Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 0 derajat hingga kurang dari 30 derajat.



Gambar 2.5 Pembentukan Sudut Kontak Antara Butir Air dan Permukaan Isolator

2.7 Pengukuran Bobot Polusi

Isolator-isolator pasangan luar akan dilapisi oleh polutan yang terkandung diudara setelah melewati waktu yang cukup lama. Polutan ini dapat mempengaruhi konduktivitas permukaan dari isolator tersebut sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Beberapa jenis polutan yang sangat berpengaruh terhadap tahanan permukaan isolator adalah (Kuffel, Zaengl, & Kuffel, 2000) :

Kondisi cuaca akan mempengaruhi polusi pada permukaan isolator ini. Angin dapat membawa polutan sampai ke permukaan isolator. Hujan deras dapat membersihkan polutan terutama di bagian atas permukaan isolator sedangkan gerimis, kelembaban yang tinggi, dan kabut akan membuat lapisan polutan menjadi basah.

Pengotoran pada permukaan isolator disebabkan adanya komponen polutan yang menempel pada permukaan solator. Komponen polutan tersebut terdiri dari dua jenis yaitu komponen konduktif dan komponen lembam. Komponen konduktif adalah komponen yang mampu dialiri arus listrik. Komponen konduktif terdiri dari lapisan garam yang terurai menjadi ion. Sedangkan komponen lembam memiliki dua kemungkinan sifat yang dimiliki, yaitu hidrofobik dan hidrofilik. Sifat hidrofobik mengakibatkan titik-titik air mudah menempel pada permukaan isolator. Sedangkan sifat hidrofilik meningkatkan kebasahan permukaan isolator (Muhammad, 2010).

Zat polutan dibagi menjadi dua komponen yaitu komponen terlarut dan tak terlarut yang akan mempengaruhi tahanan permukaan suatu isolator. Komponen

larut yaitu komponen yang sifatnya konduktif seperti garam-garam yang terdiri dari garam-garam yang dapat terurai menjadi ion-ion dalam suatu larutan yaitu Natrium Chlorida (NaCl), Magnesium Chlorida (MgCl) dan Natrium Nitrat (NaNO₃). Lapisan garam yang menempel pada permukaan isolator akan menyebabkan resistivitas turun atau konduktifitasnya naik. Kuantitas garam yang menempel pada permukaan isolator disebut ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) yang menyatakan banyaknya deposite polutan larut per luas area (mg/cm²). Komponen tak larut merupakan bagian dari zat padat yang tidak dapat menjadi ion-ion dalam larutan, tetapi komponen ini dapat mengurangi ketahanan listrik pada isolator seperti debu, tanah liat (kaolin), tonoko, dan bentonit. Polutan jenis ini diawali oleh parameter NSDD (*Non-Sulable Salt Deposit Density*) yang menyatakan banyaknya deposite polutan tak larut per luas area (mg/cm²) (Pratiwi, 2013). Komponen tak larut ini bersifat lembam. Polutan lembam terbagi menjadi dua sifat yaitu *hydrophilic* dan *hydrophobic*. Komponen hidrofilik dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan isolator karena sifatnya yang menyerap air contohnya tanah liat dan semen. Sedangkan komponen hidrofobik menurunkan tingkat kebasahan isolator karena sifatnya yang kedap air contohnya lemak dan oli sehingga air tidak dapat menempel pada permukaan isolator.

Menurut standar IEC 815 ayat 2, ada tiga metode untuk menentukan tingkat bobot polusi isolator di suatu kawasan, yaitu :

1. Berdasarkan analisa kualitatif kondisi lingkungan.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap pengalaman lapangan tentang perilaku isolator yang sudah terpasang di kawasan tersebut.

3. Berdasarkan pengukuran polutan isolator yang sudah terpasang/ sudah beroperasi.

Oleh karena itu, untuk mengukur bobot dari polutan yang menempel pada permukaan isolator, dibutuhkan suatu pengukuran bobot polusi. Berdasarkan IEC 60815 (2008) salah satu cara yang digunakan adalah metode ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*). Metode ESDD dilakukan dengan mengukur konduktivitas polutan kemudian disetarakan dengan bobot garam dalam larutan air yang konduktivitasnya sama dengan konduktivitas polutan tersebut (10-3B, 1993). Hubungan antara ESDD dengan tingkat intensitas polusi dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Penggolongan Bobot Polusi Berdasarkan IEC 60851

Tingkat Intensitas Polusi	ESDD (mg/cm ²)
Ringan	0,03 - 0,06
Sedang	0,1 - 0,2
Berat	0,3 - 0,6
Sangat Berat	> 0,6

Tabel 2.3 Penentuan Tingkat Polusi Isolator Berdasarkan Metode Tinjau Lapangan

Tingkat Intensitas Polusi	Contoh Lingkungan
Ringan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daerah dengan sedikit industri dan rumah penduduk dengan sarana pembakaran rendah. 2. Daerah pertanian dan pegunungan (Daerah-daerah diatas terletak 10 km atau lebih dari laut dan angin laut tidak berhembus atau terpapar langsung)
Sedang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Daerah industri yang tidak menghasilkan polusi gas.

Sambungan **Tabel 2.3** Penentuan Tingkat Polusi Isolator Berdasarkan Metode Tinjau Lapangan

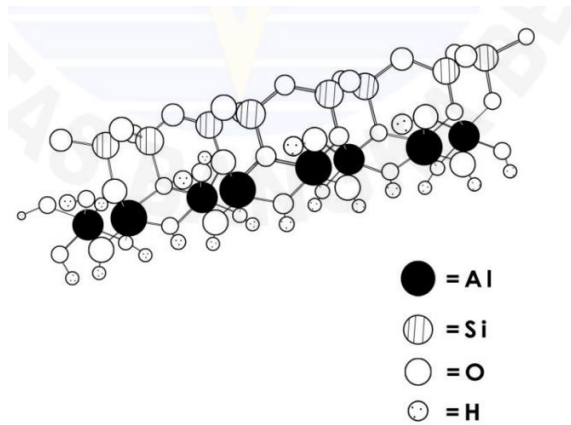
Tingkat Intensitas Polusi	Contoh Lingkungan
Sedang	2. Daerah yang tidak terlalu dekat dengan pantai.
Berat	1. Daerah industri dan perkotaan dengan sarana pembakaran tinggi. 2. Daerah dekat dengan laut dan terpapar angin laut secara langsung.
Sangat Berat	1. Daerah pantai dan terkena air laut 2. Daerah gurun atau padang pasir.

2.8 Polutan Kaolin

Kaolin adalah bahan tambang alam dan tanah liat yang mineral penyusun utamanya adalah kaolinit. Tanah liat ini berwarna putih atau putih keabu-abuan. Di alam, kaolin berasal dari dekomposisi *feldspar*. Sebagai bahan tambang, kaolin dicampur dengan oksida lain seperti kalsium oksida, magnesium oksida, dan kalium oksida, dan lain-lain (Ismail, Eltayeb, Abdel, & Mage, 2013).

Kaolin atau kaolinite adalah sejenis mineral lempung dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, dengan struktur berlapis 1:1, satuan dasarnya adalah Lembaran tetrahedral silika dan lembaran oktahedral alumina (Murray, 2000). Komponen utama hasil analisis kandungan mineral kaolin adalah silikon dioksida (SiO_2) 48,70% dan aluminium oksida (Al_2O_3) 36,73%, dan jumlah oksida logam kecil (Alkan, Hopa, Yilmas, & Guler, 2005). Susunan lapisan tetrahedral dan oktahedral pada kaolin dihubungkan oleh atom oksigen pada satu sisi dan hidrogen

dari gugus hidroksil pada sisi yang lain, sehingga menghasilkan tumpukan dengan 8 ikatan hidrogen yang kuat.



Gambar 2.6 Struktur Kaolin

Kaolin juga merupakan padatan berpori amorf, memiliki karakteristik inert dan netral, dengan luas permukaan yang besar, sehingga memiliki kinerja adsorpsi yang kuat. Adsorpsi merupakan proses dimana zat terlarut yang ada dalam larutan, akan diserap oleh permukaan zat atau benda penyerap.

Tabel 2.4 Kandungan Mineral Kaolin dari Belitung (Setiadi, dkk. 2016)

No.	Komponen	Presentase (b/b)
1	Si	42,30
2	Al	24,00
3	Fe	13,50
4	K	5,24
5	Ca	6,17
6	Ti	2,77
7	V	0,10
8	Cr	0,18

Sambungan **Tabel 2.4** Kandungan Mineral Kaolin dari Belitung (Setiadi, dkk. 2016)

No.	Komponen	Presentase (b/b)
9	Mn	0,19
10	Ni	3,53

Kaolin merupakan polimer anorganik yang mengandung mineral yang berfungsi sebagai penukar ion anorganik, sehingga secara alami dapat melakukan proses pertukaran ion yang berasal dari luar dengan bantuan air. Ion bermuatan negatif berasal dari rasio silika dan alumina (Si/Al) yang relatif kecil, sehingga permukaan kaolin memunculkan gugus oksigen dan hidroksil yang berdampak terhadap munculnya titik-titik bermuatan negatif. Muatan ini berpotensi untuk mengikat kation yang dapat dipertukarkan oleh kation lain, Inilah yang menyebabkan terjadinya pertukaran ion.

2.9 Tegangan Tembus

Fenomena ini disebabkan karena adanya faktor luar seperti sambaran petir dan terbentuknya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan penurunan tegangan tembusnya. Hal ini diakibatkan kemampuan elektris isolator berkurang. Kegagalan ini mengakibatkan karakteristik isolator tidak dapat kembali pulih seperti semula, dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.

Atom-atom yang menyusun zat padat terikat kuat satu sama lain. Keistimewaan yang paling menyolok dari kebanyakan zat padat adalah atom-

atomnya (atau grup-grup atom) yang tersusun oleh sebuah derajat tinggi dari urutan pola yang berulang-ulang yang teratur dalam tiga dimensi yang disebut kristalin. Zat padat yang atom-atomnya disusun dalam sebuah model yang tidak beraturan disebut non-kristalin atau tak berbentuk. Oleh karena sebagian besar dari sistem pengisolasian komersial adalah zat padat, studi kegagalan dielektrik padat menjadi sangat penting pada studi isolasi (Pesa & Murdiya, 2017).

Penerapan medan elektrik yang tinggi pada material dielektrik padat dapat menyebabkan gerakan pembawa muatan bebas, injeksi muatan dari elektroda-elektroda, penggandaan muatan, formasi ruang muatan dan disipasi energi dalam material. Oleh karena kondisi-kondisi tersebut, yang dapat terjadi secara tunggal atau kombinasi, maka akhirnya mengacu pada material mengalami kegagalan elektrik yang disebut juga *breakdown*. Apabila terpaan elektrik yang dipikul isolasi melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik disebut tembus listrik atau *breakdown*.

Medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat dari isolator menjadi konduktor. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan medan listrik.

2.9.1 Mekanisme Tegangan Tembus

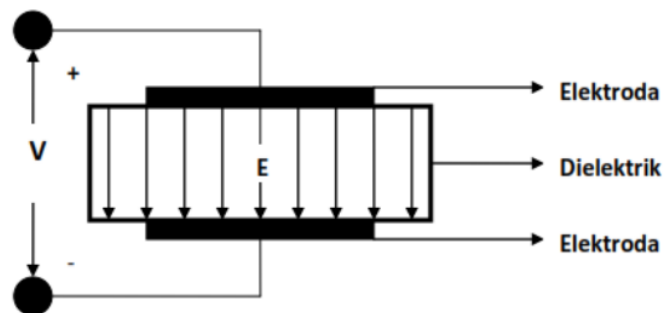
Mekanisme terjadinya tegangan tembus listrik bermula dari bahan dielektrik. Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik

tersebut. Setiap dielektrik mempunyai batas kekuatan untuk memikul terpaan elektrik. Pada **Gambar 2.7** ditunjukkan suatu bahan dielektrik yang ditempatkan di antara dua elektroda piring sejajar. Bila elektroda diberi tegangan searah V , maka timbul medan listrik (E) di dalam dielektrik. Medan elektrik ini memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Dengan kata lain, medan listrik merupakan suatu beban yang menekan dielektrik agar berubah sifat menjadi konduktor. Jika terpaan elektrik yang dipikulnya melebihi batas tersebut dan terpaan berlangsung cukup lama, maka dielektrik akan menghantar arus atau gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator. Dalam hal ini dielektrik disebut tembus listrik atau *breakdown*. Terpaan elektrik tertinggi yang dapat dipikul suatu dielektrik tanpa menimbulkan dielektrik tembus listrik disebut kekuatan dielektrik. Jika suatu dielektrik mempunyai kekuatan dielektrik E_k , maka terpaan elektrik yang dapat dipikulnya adalah $\leq E_k$.

Jika terpaan elektrik yang dipikul elektrik melebihi E_k , maka di dalam dielektrik akan terjadi proses ionisasi berantai yang akhirnya dapat membuat dielektrik mengalami tembus listrik. Proses ini membutuhkan waktu dan lamanya tidak tentu tetapi bersifat statistik. Arus listrik pendek yang mengalir dalam saluran gas terionisasi dapat menimbulkan percikan api. Saluran tersebut terbentuk dari reaksi berantai elektron yang terakselerasi pada medan listrik di mana molekul gas dapat terionisasi. Sebagai akibat ionisasi, 2 elektron tetap bebas yang pada gilirannya terakselerasi oleh medan listrik dan atom baru kembali mengalami ionisasi mengalami reaksi berantai. Waktu yang dibutuhkan sejak mulai terjadi ionisasi sampai terjadi tembus listrik disebut waktu tunda tembus (*time lag*). Jadi

tidak selamanya terpaan elektrik dapat menimbulkan tembus listrik, tetapi ada dua syarat yang harus dipenuhi, yaitu (Zulkarnaen, 2014) :

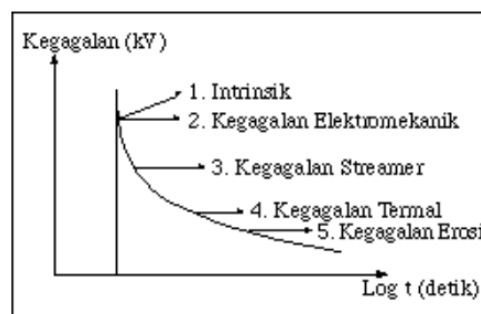
1. Terpaan elektrik yang dipikul dielektrik harus lebih besar atau sama dengan kekuatan dielektriknya.
2. Lama terpaan elektrik berlangsung lebih besar atau sama dengan waktu tunda tembus.



Gambar 2.7 Medan Elektrik dalam Dielektrik

2.9.2 Faktor Penyebab Tegangan Tembus

Penyebab terjadinya tegangan tembus terdiri dari beberapa jenis menurut waktu penerapan tegangannya terdapat pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Grafik Penyebab Tegangan Tembus

Dari **Gambar 2.8** dapat dilihat bahwa semakin tinggi tegangan keagalannya maka makin singkat waktu terjadinya kegagalan tersebut. Hal ini sesuai dengan asas pokok yang berlaku dalam bidang tegangan tinggi. Seperti diketahui setiap zat padat terdiri dari molekul-molekul. Setiap molekul terdiri dari atom-atom, yang juga terdiri dari elektron-elektron. Jika pada zat padat tersebut diterapkan suatu medan listrik E , maka zat padat tersebut akan mengalami tekanan listrik (*electric stress*). Adapun faktor-faktor penyebab tegangan tembus antara lain (Arismunandar, 1983) :

1. Kegagalan Intrinsik (Asasi)

Kegagalan intrinsik atau kegagalan asasi adalah kegagalan yang berasal dari atau disebabkan oleh jenis dan suhu bahan, dengan menghilangkan pengaruh faktor-faktor luar, seperti tekanan, bahan elektroda, ketidakmurnian, kantong-kantong udara. Kegagalan intrinsik terjadi jika tegangan yang diterapkan pada bahan dinaikkan sehingga tekanan listriknya mencapai nilai tertentu, yaitu 106 volt/cm dalam waktu yang sangat singkat, yaitu 10^{-8} detik. Karena waktu gagal yang sangat singkat, maka jenis kegagalan ini disebut kegagalan elektronik. Kegagalan intrinsik merupakan bentuk kegagalan yang paling sederhana. Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk meramalkan nilai kritis medan yang menyebabkan terjadinya kegagalan asasi, tetapi hingga kini belum diperoleh penyelesaian yang memuaskan.

2. Kegagalan Elektromekanik

Terjadinya kegagalan elektromekanik disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit zat isolasi padat. Jika pada zat padat yang terletak di antara dua elektroda pelat diberikan tegangan dengan polaritas yang berbeda, maka akan timbul tekanan listrik pada bahan tersebut. Tekanan listrik yang terjadi akan menyebabkan timbulnya tekanan mekanis. Tekanan mekanis terjadi akibat gaya tarik-menarik F antar kedua elektroda tersebut. Untuk tekanan listrik sebesar 106 volt/cm akan dihasilkan tekanan mekanis sebesar 2-6 kg/cm².

3. Kegagalan Streamer

Dalam keadaan tertentu yang terkendali, dan dalam medan yang benar-benar seragam dengan elektroda-elektroda yang terbenam dalam zat padat (yang diuji), kegagalan dapat terjadi sesudah satu banjir (avalanche). Sebuah elektron yang memasuki ban hantaran (band conduction) di katoda akan bergerak menuju anoda dibawah pengaruh medan memperoleh energi antara benturan dan kehilangan energi pada waktu membentur. Jika lintasan bebas cukup panjang maka tambahan energi yang diperoleh melebihi pengionisasi latis (latice). Akibatnya dihasilkan tambahan elektron pada saat terjadi benturan. Jika suatu tegangan V dikenakan terhadap elektroda bola, maka pada media yang berdekatan (gas atau udara) timbul tegangan. Karena gas mempunyai permitivitas lebih rendah dari zat padat sehingga gas akan mengalami tekanan listrik yang besar. Akibatnya gas tersebut akan mengalami kegagalan sebelum zat padat mencapai kekuatannya. Karena

kegagalan tersebut maka akan jatuh sebuah muatan pada permukaan zat padat sehingga medan yang tadinya seragam akan terganggu. Bentuk muatan pada ujung pelepasan ini dalam keadaan tertentu dapat menimbulkan medan lokal yang cukup tinggi (sekitar 10 MV/cm). Karena medan ini melebihi kekuatan intrinsik maka akan terjadi kegagalan pada zat padat. Proses kegagalan ini terjadi sedikit demi sedikit yang dapat menyebabkan kegagalan total.

4. Kegagalan Termal

Bila suatu medan diterapkan dalam suatu zat padat pada suhu normal, maka arus konduksi yang terjadi dalam bahan pada umumnya kecil. Dalam hal ini tidak akan terjadi apa-apa dalam zat padatnya, Walaupun E sudah cukup besar. Panas yang dibangkitkan oleh arus sebagian akan disalurkan keluar, dan sebagian akan digunakan untuk menaikkan suhu bahan. Tetapi, jika kecepatan pembangkitan panas di suatu titik dalam bahan melebihi laju pembuangan panas keluar, maka akan terjadi keadaan tidak stabil dan pada suatu saat bahan akan mengalami kegagalan. Kegagalan ini disebut kegagalan termal.

5. Kegagalan Erosi

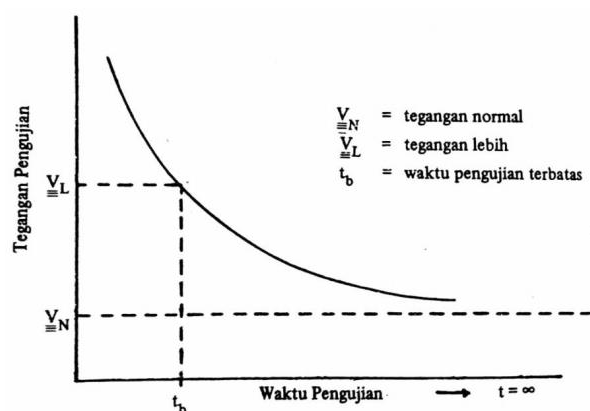
Terjadi kegagalan erosi disebabkan oleh keadaan zat isolasi padat yang tidak sempurna. Ketidaktersempurnaan tersebut misalnya, berupa lubang-lubang atau rongga-rongga dalam bahan isolasi tersebut, sehingga akan terisi oleh gas atau cairan yang kekuatan gagalannya lebih rendah daripada di dalam zat padat. Di samping itu, konstanta dielektrik di dalam rongga sering lebih rendah daripada dalam zat padat, sehingga intensitas medan dalam rongga lebih besar

daripada intensitas dalam zat padat. Oleh karena itu, mungkin saja akan terjadi tegangan kegagalan di dalam rongga tersebut, meskipun pada waktu itu diterapkan tegangan kerja normal pada zat padat.

2.10 Pengujian Tegangan Tinggi

Pengujian tegangan tinggi pada umumnya diperlukan untuk mengetahui apakah peralatan tegangan tinggi yang diuji masih memenuhi standar kualitas dan kebutuhan yang dispesifikasikan pada peralatan tersebut. Lingkup studi teknik tegangan tinggi mencakup semua masalah seperti studi tentang korona, teknik isolasi, tegangan lebih pada sistem tenaga listrik, proteksi tegangan lebih, dll. Dengan begitu banyaknya masalah yang mencakup tegangan tinggi, maka dibutuhkanlah pengujian tegangan tinggi dengan maksud sebagai berikut (Abraham, 2017) :

1. Menemukan bahan yang kualitasnya tidak baik atau kesalahan pada pembuatan.

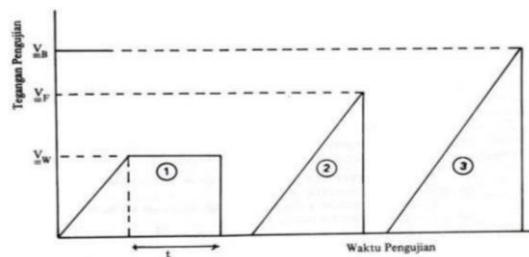


Gambar 2.9 Grafik Tegangan Terhadap Waktu Pengujian

2. Berdasarkan **Gambar 2.9**, memberikan jaminan bahwa alat-alat listrik dapat dipakai pada tegangan normalnya untuk waktu yang tak terbatas.
3. Berdasarkan **Gambar 2.9**, memberikan jaminan bahwa isolasi alat-alat listrik tahan terhadap tegangan lebih untuk waktu terbatas.

Pengujian tegangan tinggi dapat dikelompokkan berdasarkan dampak pengujian terhadap benda uji yaitu :

- a. Pengujian tidak merusak : pengukuran tahanan isolasi, pengukuran faktor daya dielektrik, pengukuran korona, pengukuran konduktivitas, pemetaan medan elektrik, dsb.
- b. Pengujian bersifat merusak



Gambar 2.10 Grafik Pengujian Merusak

- Pengujian Ketahanan (*Withstand Test*)
 Berdasarkan **Gambar 2.10**, pengujian ketahanan pada tegangan V_w selama t menit. Sebuah tegangan tertentu diterapkan untuk waktu yang ditentukan. Bila tidak terjadi lompatan api (*flashover, disruptive discharge*). Maka pengujiannya dianggap memuaskan.

- Pengujian Pelepasan Muatan (*Duscharge Test*)
Berdasarkan **Gambar 2.9**. pengujian lompatan dengan tegangan lompatan V_f . Tegangannya dinaikan sehingga terjadi pelepasan pada benda yang diuji. Sudah barang tentu tegangan pelepasan ini lebih tinggi dari tegangan ketahanan. Pengujiannya dapat dilakukan dalam suasana kering (udara biasa) dan suasana basah (menirukan keadaan hujan).
- Pengujian Kegagalan (*Breakdown Test*)
Berdasarkan **Gambar 2.9**. pengujian kegagalan dengan tegangan gagal V_b . Tegangan dinaikan sampai terjadi kegagalan di dalam benda yang diuji.

Terdapat tiga jenis tegangan tinggi yang akan diukur dalam pengujian tegangan tinggi, yaitu tegangan tinggi bolak-balik, tegangan tinggi searah, dan tegangan tinggi impuls

2.10.1 Tegangan Tinggi AC

Dalam laboratorium diperlukan tegangan tinggi bolak-balik untuk percobaan dan pengujian dengan arus bolak-balik serta untuk membangkitkan tegangan tinggi searah dan pulsa. Trafo uji yang biasa digunakan untuk keperluan tersebut memiliki daya yang lebih rendah serta perbandingan belitan yang jauh lebih besar daripada trafo daya. Arus primer biasanya disulang dengan ototrafo sedangkan untuk kasus khusus disulang dengan pembangkit sinkron.

Hampir semua pengujian dan percobaan dengan tegangan tinggi bolak-balik mensyaratkan nilai tegangan yang teliti. Hal tersebut umumnya hanya akan terpenuhi jika pengukuran dilakukan pada sisi tegangan tinggi. Untuk itu telah disusun berbagai cara dalam mengukur tegangan tinggi bolak-balik (Zulkarnaen, 2014).

2.10.2 Tegangan Tinggi DC

Pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi arus searah adalah untuk mengetahui perbandingan antara penggunaan tegangan tinggi AC dan DC akibat adanya efek mengulit pada tegangan arus bolak-balik dan juga untuk mengetahui kekuatan dielektrik bahan. Karena itu, pengujian dengan menggunakan tegangan tinggi DC harus menghasilkan tegangan ketahanan, tegangan pelepasan dan tegangan kegagalan yang lebih tinggi dibanding tegangan tinggi AC.

Prosedur pengujian atau pengukuran tegangan tinggi DC sama dengan tegangan tinggi AC. Mula-mula diterapkan tegangan yang rendah kemudian tegangan dinaikan perlahan-lahan sehingga terjadi percikan pada sela udara antara dua elektroda berbentuk bola. Dengan kata lain tegangan nilainya ditentukan oleh jarak kedua buah elektroda bola tersebut. Bilamana pada permukaan bola terdapat debu atau serat (fiber), maka spark over akan terjadi pada nilai tegangan yang lebih rendah, terutama bila jenis tegangan adalah tegangannya searah (fiber bridge). Oleh karena itu pengujian harus dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan nilai rata-rata yang baik. Nilai sebenarnya dapat diambil dari nilai rata-rata untuk tiga pengukuran yang hanya berbeda 3%.

2.10.3 Tegangan Tinggi Impuls

Untuk mensimulasi tegangan lebih akibat pengaruh luar, maka digunakan tegangan impuls. Tegangan akibat pelepasan muatan oleh petir atau akibat surja hubung ini mempunyai bentuk gelombang aperiodik yang diredam (damped aperiodic) seperti pada waktu pelepasan muatan sebuah kapasitor melalui sebuah tahanan induktif. Pada tempat yang terkena petir, gelombang berekor pendek dan bermuka curam. Selama gelombang ini berjalan melewati transmisi, bentuknya berubah (muka menjadi kurang curam, ekor bertambah panjang dan amplitudo berkurang), oleh karena pengaruh penghantaran dalam tanah dan efek kulit dari kawat.

Besarnya tegangan impuls yang harus diterapkan pada peralatan uji untuk uji ketahanan terhadap petir ditetapkan standar. Hal ini tergantung pada tempatnya dalam sirkuit, makin dekat ke “sumber petir”, maka makin besar kemungkinan kena petir, maka makin tinggi tegangan yang diterapkan. Adapun bentuk tegangan impuls yang digunakan untuk pengetesan mempunyai ukuran standar, yang melambangkan ukuran waktu muka gelombang dan waktu ekor gelombang, seperti 1,2 x 50 ms, 1 x 50 ms, 1,5 x 40 ms. standar ukuran ini tergantung dari negara ataupun komisi yang melakukan pengujian.

Sebagai contoh, untuk rekomendasi IEC, tegangan impuls yang digunakan adalah 1,2 x 50 ms, sedangkan negara Jerman dan Inggris adalah 1 x 50 ms, negara Amerika menstandarkan 1,5 x 40 ms, serta Jepang 1 x 40 ms.

2.11 Penelitian Serupa

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengambil beberapa referensi dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan latar belakang masalah pada skripsi ini. Adapun penelitian yang berhubungan dengan skripsi ini yaitu :

Penelitian yang dilakukan oleh Mustamin dan Salama Manjang (2010) yang berjudul “Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan Yang Dipercepat”. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh tekanan iklim tropis buatan seperti radiasi UV, kelembaban, hujan, dan kabut garam (polutan) terhadap arus bocor pada isolator polimer.

Penelitian yang dilakukan oleh Ying Lin, et all. yang berjudul “Effect of Ultraviolet-A Radiation on Surface Structure, Thermal, and Mechanical and Electrical Properties of Liquid Silicone Rubber”. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh radiasi UV-A terhadap perubahan struktur permukaan, termal, mekanik dan elektrik material *Liquid Silicone Rubber*.