

SKRIPSI

**PERFORMA HIDROFOBİK & DIELEKTRİK *SILICON*
RUBBER RTV 683 CAMPURAN SiO_2 , ATH, & TiO_2 DI BAWAH
PERLAKUAN RADIASI UV SEBAGAI ISOLATOR
TEGANGAN TINGGI**

Disusun dan diajukan oleh :

CHRISTIAN EDWARD

D041 19 1062



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PERFORMA HIDROFOBİK & DIELEKTRİK *SILICON RUBBER*
RTV 683 CAMPURAN SIO₂, ATH, & TIO₂ DI BAWAH
PERLAKUAN RADIASI UV SEBAGAI ISOLATOR TEGANGAN
TINGGI**

Disusun dan diajukan oleh

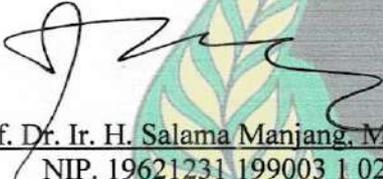
Christian Edward
D041 19 1062

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 21 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

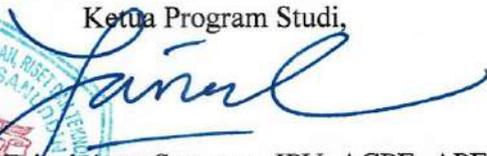
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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


Dr. Ikhlas Kitta, ST.MT
NIP. 19760914 20080 11006

Ketua Program Studi,


Prof. Dr.-Ing. H. Faizal Arya Samman, IPU, ACPE, APEC Eng.
NIP. 19750605 200212 1 004



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Christian Edward

NIM : D041191062

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PERFORMA HIDROFOBİK & DIELEKTRİK SILICON RUBBER RTV
683 CAMPURAN SiO_2 , ATH, & TIO_2 DI BAWAH PERLAKUAN
RADIASI UV SEBAGAI ISOLATOR TEGANGAN TINGGI**

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 10 Oktober 2024

Yang Menyatakan



Christian Edward

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, kasih dan penyertaan-Nya yang tiada terkira, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Performa Hidrofobik & Dielektrik *Silicon Rubber RTV 683* Campuran SiO₂, ATH, & TiO₂ Di Bawah Pelakuan Radiasi UV Sebagai Isolator Tegangan Tinggi”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Selanjutnya, Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang membantu kelancaran penulisan skripsi ini. Baik berupa dorongan moril maupun materil. Karena penulis yakin tanpa bantuan dan dukungan tersebut, Sulit rasanya bagi penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Disamping itu, izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua tercinta yang paling berjasa dalam hidup penulis, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral serta material kepada penulis. Tanpa dukungan dan pengorbanan kalian penulis tidak akan mencapai tahap ini. Terima kasih atas kesabaran yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT., IPM** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Ikhlas Kitta, ST.MT.** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, ide, serta gagasan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu **Ir. Zaenab Muslimin, M.T** selaku penguji I dan Bapak **Ir. Gassing, MT.** selaku penguji II yang telah banyak memberi masukan serta kritikan yang membangun dalam perbaikan penulisan skripsi ini.
4. Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, IPU, ACPE, APEC Eng.

selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan pengalaman dalam kelancaran perkuliahan serta penyusunan tugas akhir ini.
6. Teman-teman TR19GER yang selalu memberikan semangat, bantuan, dan kerjasama dalam suka dan duka selama masa perkuliahan. Karena semua akan mudah bila kita kuat bersama. Semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua.
7. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur ketenagalistrikan. Terutama Sinta, Tasya, Riskal, Zilpa, Richard, Sahid, Yahasiel, Imam, Fadil, Raste dan Dennis.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semuapihak yang membacanya.

Gowa, 10 Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

Christian Edward *Performa Hidrofobik & Dielektrik Silicon Rubber RTV 683 Campuran SiO₂, ATH, & TiO₂ Dibawah Perlakuan Radiasi UV Sebagai Isolator Tegangan Tinggi* (dibimbing oleh Salama Manjang dan Ikhlas Kitta)

Isolator polimer mulai dikembangkan sebagai pengganti isolator keramik dan kaca dikarenakan bobotnya yang lebih ringan, lebih tahan air (hidrofobis), dan memiliki kekuatan dielektrik yang baik. Kekurangan dari isolator polimer adalah rentan terhadap kondisi lingkungan seperti perubahan cuaca ekstrim dan radiasi dari sinar UV. Iklim tropis di Indonesia menyebabkan matahari bersinar dengan rata-rata 10-11 jam sehari, dimana sinar UV yang dipancarkan dapat merusak isolator polimer. Dalam mengatasi masalah ini, maka penambahan bahan pengisi/*filler* dapat menjadi salah satu solusi untuk menambah performa dari isolator polimer. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan/*treatment* dan campuran serta konsentrasi bahan pengisi/*filler* Silika+ATH+TiO₂ dengan berbagai macam konsentrasi, terhadap performa transfer hidrofobik dan dielektrik dari *silicon rubber RTV 683*. Adapun metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan memberikan perlakuan pelapisan kaolin dan sinar UVa terhadap sampel uji selama 18 hari, kemudian setelah itu melakukan pengujian sudut kontak dan dielektrik yang terdiri dari resistivitas (permukaan & volume), permitivitas, tegangan *flashover*, dan tegangan tembus untuk melihat bagaimana kinerja dari sampel uji setelah mengalami penuaan. Dari penelitian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan antara lain, isolator polimer memiliki kemampuan untuk mempertahankan sifat hidrofobiknya dengan cara mentransfer sifatnya kepada polutan kaolin, dimana kecepatan transfer tersebut dapat lebih cepat terjadi pada suhu yang lebih tinggi. Selain itu perlakuan yang diberikan kepada sampel uji dapat menyebabkan nilai dielektrik dari sampel uji menurun atau mengalami degradasi, adapun penambahan *filler* dapat menambah performa dielektrik dari sampel uji. Adapun pengaruh dari konsentrasi *filler* yang diberikan menunjukkan sampel dengan *filler* yang tinggi (20%) memiliki performa dielektrik yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah.

Kata Kunci : *Filler*, Polutan, Sinar UV, Hidrofobik, Dielektrik, *Silicon Rubber RTV 683*

ABSTRACT

Christian Edward *Hydrophobic & Dielectric Performance Of Silicon Rubber RTV 683 Mixed With SiO₂, ATH, & TiO₂ Under UV Radiation Treatment As High Voltage Insulator* (supervised by Salama Manjang dan Ikhlas Kitta)

Polymer insulators are starting to be developed as a replacement for ceramic and glass insulators because they are lighter in weight, more air-resistant (hydrophobic), and have high dielectric and thermal strength. The disadvantage of polymer insulators is that they are susceptible to environmental conditions such as extreme weather changes and radiation from UV rays. The tropical climate in Indonesia causes the sun to shine an average of 10-11 hours a day, where the UV rays emitted can damage insulating polymers. In overcoming this problem, the addition of filler material can be one solution to improve the performance of polymer insulators. The aim of this research is to determine the effect of treatment and mixture and concentration of Silica+ATH+TiO₂ filler (with concentrations of 5%, 10%, 15% and 20%) on hydrophobic and dielectric transfer performance from RTV 683 silicone rubber. The method used in this research was to treat the test samples with a layer of kaolin and UVa light for 18 days, then after that carry out contact angle and dielectric tests consisting of resistivity (surface & volume), permittivity, flashover voltage, and breakdown voltage to see how the test sample performs after aging. From the research carried out, it can be concluded, among other things, that polymer insulators have the ability to maintain their hydrophobic properties by transferring properties to kaolin pollutants, where the transfer speed can occur more quickly at higher temperatures. Apart from the treatment given to the test sample it can cause the dielectric value of the test sample to decrease or experience degradation, the addition of filler can improve the dielectric performance of the test sample. However, if the filler concentration given is high (20%), then the dielectric value will be smaller compared to samples that have a lower concentration.

Keywords : Filler, Pollutant, UV Light, Hidrophobic, Dielectric, Silicon Rubber RTV 683

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Isolator	5
2.2 Bahan Penyusun Isolator.....	6
2.2.1 Isolator Porselin	6
2.2.2 Isolator Gelas	7
2.2.3 Isolator Polimer.....	8
2.3 Struktur Kimia Isolator Polimer.....	10
2.4 RTV Silicon Rubber.....	17
2.5 Sudut Kontak Hidrofobik.....	20
2.6 Penyebab Kegagalan pada Isolator Polimer.....	21
2.6.1 Kontaminasi Pada Isolator	21
2.6.2 <i>Flashover</i> dan <i>Breakdown</i> pada Isolator	23
2.7 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	25
2.7.1 Silika (SiO ₂)	25
2.7.2 ATH (<i>Alumina Trihydrate Hydroxide</i>)/Aluminium Hidroksida	26
2.7.3 TiO ₂ (Titanium Dioksida).....	28
2.8 Penelitian yang Relevan.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	32

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	32
3.1.1 Waktu Penelitian	32
3.1.2 Lokasi Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	32
3.2.1 Alat.....	32
3.2.2 Bahan penelitian.....	36
3.3 Populasi dan Sampel	38
3.4 Variasi Pengujian.....	38
3.5 Teknik Pengumpulan Data	38
3.6 Prosedur Penelitian	39
3.7 Diagram Alur Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4. 1 Sudut Kontak Transfer Hidrofobik	44
4. 1. 1 Nilai Sudut Kontak Pada Suhu Ruang	44
4. 1. 2 Nilai Sudut Kontak Pada Perlakuan Sinar UVa	53
4.1.3 Perbandingan Sudut Kontak antara Suhu Ruangan Dengan Terpaan UV.....	61
4. 2 Performa Resistivitas	63
4. 2. 1 Resistivitas Permukaan	63
4. 2. 1 Resistivitas Volume.....	74
4. 3. Permittivitas	84
4.3.1 Nilai Permittivitas Relatif Akibat Suhu Ruang	84
4. 3. 2. Nilai Permittivitas Relatif Akibat Sinar UVA.....	88
4. 3. 3 Perbandingan Permittivitas Relatif Dari Kedua Perlakuan	91
4. 4 . Flash Over.....	94
4.4.1 Flashover Pada Suhu Ruang	95
4.4.2 <i>Flashover</i> pada Perlakuan Sinar UVA	97
4. 4. 3 Perbandingan Pengujian <i>Flashover</i> dari Kedua Perlakuan.....	100
4. 5. Tegangan Tembus.....	102
Bab V Kesimpulan dan Saran	107
5. 1 Kesimpulan	107
5.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) gambar fisik dan (b) penampang isolator porselen (Santosa, 2017)	7
Gambar 2. Isolator gelas	8
Gambar 3. Karakteristik hidrofobik pada isolator polimer	9
Gambar 4. (a) Molekul berulang (repeating unit), (b) Struktur polimer	11
Gambar 5. Konfigurasi pengujian resistansi permukaan	15
Gambar 6. Lapisan RTV digunakan pada sebuah bushing trafo 230 kV	18
Gambar 7. Bahan kimia penyusun karet silikon	19
Gambar 8. Pembentukan sudut kontak pada permukaan isolator	21
Gambar 9. Struktur Lewis SiO ₂	26
Gambar 10. Struktur Molekul ATH	27
Gambar 11. Struktur Lewis TiO ₂	28
Gambar 12. Diagram alur penelitian	43
Gambar 13. Grafik kecepatan transfer hidrofobik suhu ruang (SR-ID, SR-NF, SR-A)	48
Gambar 14. Grafik kecepatan transfer hidrofobik suhu ruang (SR-B)	49
Gambar 15. Grafik kecepatan transfer hidrofobik suhu ruang (SR-C)	50
Gambar 16. Grafik kecepatan transfer hidrofobik suhu ruang (SR-D)	51
Gambar 17. Grafik kecepatan transfer hidrofobik sinar UVa (SR-ID, SR-NF, SR-A)	57
Gambar 18. Grafik kecepatan transfer hidrofobik sinar UVa (SR-B)	58
Gambar 19. Grafik kecepatan transfer hidrofobik sinar UVa (SR-C)	59
Gambar 20. Grafik kecepatan transfer hidrofobik sinar UVa (SR-D)	60
Gambar 21. Resistivitas permukaan suhu ruang	66
Gambar 22. Resistivitas permukaan sinar UVa	70
Gambar 23. Perbandingan resistivitas kedua perlakuan	72
Gambar 24. Grafik resistivitas volume suhu ruang	77
Gambar 25. Grafik resistivitas volume sinar UVa	80
Gambar 26. Grafik perbandingan resistivitas kedua perlakuan	82
Gambar 27. Grafik permitivitas relatif perlakuan suhu ruang	87
Gambar 28. Grafik permitivitas relatif perlakuan sinar UVa	90
Gambar 29. Grafik perbandingan permitivitas kedua perlakuan	93
Gambar 30. Grafik tegangan <i>flashover</i> perlakuan suhu ruang	96
Gambar 31. Grafik tegangan <i>flashover</i> pada perlakuan sinar UVa	99
Gambar 32. Grafik perbandingan tegangan <i>flashover</i> kedua perlakuan	101
Gambar 33. Grafik perbandingan tegangan tembus kedua perlakuan	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis polimer dan penggunaannya.....	11
Tabel 2. Tingkat pengotoran isolator menurut IEEE.....	23
Tabel 3. Tingkat pengotoran isolator menurut IEC 815.....	23
Tabel 4. Penelitian yang relevan	29
Tabel 5. Alat Penelitian	32
Tabel 6. Bahan penelitian	36
Tabel 7. Komposisi sampel uji	38
Tabel 8. Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang.....	45
Tabel 9. Transfer Hidrofobik pada Sinar UVa.....	54
Tabel 10. Resistansi Permukaan Suhu Ruang	64
Tabel 11. Resistivitas Permukaan Suhu Ruang.....	65
Tabel 12. Resistansi Permukaan Perlakuan Sinar UVa	68
Tabel 13. Resistivitas Permukaan Perlakuan Sinar UVa.....	69
Tabel 14. Perbandingan Resistivitas Permukaan Kedua Perlakuan	71
Tabel 15. Resistansi Volume pada Perlakuan Suhu Ruang	75
Tabel 16. Resistivitas Volume pada Perlakuan Suhu Ruang.....	75
Tabel 17. Resistansi Volume pada Perlakuan Sinar UVa	78
Tabel 18. Resistivitas Volume pada Perlakuan Sinar UVa	79
Tabel 19. Perbandingan Resistivitas Volume Kedua Perlakuan.....	81
Tabel 20. Permittivitas Relatif Virgin Suhu Ruang	85
Tabel 21. Permittivitas Relatif Setelah Perlakuan	86
Tabel 22. Permittivitas Relatif Virgin (UVa).....	89
Tabel 23. Permittivitas Relatif Setelah Perlakuan (UVa)	89
Tabel 24. Perbandingan Permittivitas Relatif dari Kedua Perlakuan	92
Tabel 25. Tegangan <i>Flashover</i> Pada Suhu Ruang.....	95
Tabel 26. Tegangan <i>Flashover</i> Pada Perlakuan Sinar UVa.....	98
Tabel 27. Perbandingan tegangan <i>flashover</i> dari kedua perlakuan	100
Tabel 28. Perbandingan tegangan tembus dari kedua perlakuan	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data virgin sampel perlakuan suhu ruang.....	113
Lampiran 2. Data virgin sampel perlakuan sinar UVa.....	116
Lampiran 3. Data kecepatan transfer hidrofobik suhu ruang (ID11, NF11, A11, B11, C11, D11).....	119
Lampiran 4. Data transfer hidrofobik suhu ruang (ID12, NF12, A12, B12, C12, D12).....	121
Lampiran 5. Data transfer hidrofobik suhu ruang (ID13, NF13 A13, B13, C13, D13)).....	123
Lampiran 6. Data transfer hidrofobik sinar UVa (ID11, NF11, A11, B11, C11, D11)).....	125
Lampiran 7. Data transfer hidrofobik sinar UVa (ID12, NF12 A12, B12, C12, D12)).....	127
Lampiran 8. Data transfer hidrofobik sinar UVa (ID13, NF13 A13, B13, C13, D13)).....	129
Lampiran 9. Data Setelah Perlakuan Suhu Ruang.....	131
Lampiran 10. Data Setelah Perlakuan Sinar UV.....	133
Lampiran 11. Hasil pengujian tegangan <i>flashover</i> dan tegangan tembus.....	135
Lampiran 12. Pengambilan data tegangan <i>flashover</i> dan tegangan tembus.....	132
Lampiran 13. Pengambilan data sudut kontak.....	136
Lampiran 14. Pengambilan data kapasitansi.....	137
Lampiran 15. Pengambilan data resistansi volume.....	137
Lampiran 16. Pengambilan data resistansi permukaan.....	138
Lampiran 17. Data sudut kontak.....	138

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk dan industri di Indonesia harus disertai dengan peningkatan sarana dan prasarana suplai energi listrik yang memadai. Energi listrik yang disediakan oleh produsen diharapkan dapat memenuhi tingkat kebutuhan energi listrik yang akan semakin meningkat di masa mendatang dan tetap kontinu dalam kondisi apapun serta meminimalisir gangguan yang terjadi. Untuk menunjang kehandalan sistem distribusi energi listrik ini diperlukan kinerja isolator yang mumpuni (Priambada et al., 2021).

Ketertarikan akan kebutuhan energi listrik dari hari ke hari semakin meningkat, perlu dilakukannya suatu perencanaan dalam sistem ketenagaan yang dapat menyediakan energi listrik yang handal. Keandalan suatu sistem tenaga listrik salah satunya ditopang oleh perencanaan sistem transmisi dan distribusi yang baik. Salah satu komponen utama dari sistem distribusi dan transmisi adalah isolator.

Isolator listrik adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolator valensi elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya. Bahan-bahan ini dipergunakan dalam alat-alat elektronika sebagai isolator, atau penghambat mengalirnya arus listrik. Isolator berguna pula sebagai penopang beban atau pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya arus mengalir ke luar atau antara konduktor. Istilah ini juga dipergunakan untuk menamai alat yang digunakan untuk menyangga kabel transmisi listrik pada tiang listrik (Dissado dan Fothrgill, 1992).

Bahan isolator yang paling umum digunakan adalah isolator jenis keramik dan kaca. Salah satu jenis isolator selain keramik dan kaca adalah isolator jenis polimer, dimana isolator jenis ini sudah mulai dikembangkan pada tahun 1963 hingga saat ini. Isolator jenis ini digunakan dalam sistem tenaga karena sifat listrik dan mekaniknya yang unggul dari isolator anorganik. Hal ini dikarenakan bahan polimer mempunyai sifat hidrofobik (menolak air) yang tinggi, rapat massa yang rendah, mudah dibuat karena tidak memerlukan suhu yang sangat tinggi dalam

proses pembuatannya, mempunyai tingkat kerekatan yang tinggi dan lebih murah harganya. Penggunaan isolator polimer untuk pasangan luar akan mengalami pengaruh simultan dari terpaan iklim dan cuaca yang terjadi. Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa merupakan wilayah beriklim tropis dimana rata-rata lama penyinaran matahari sekitar 10-11 jam. Kontaminasi pada permukaan isolator menjadi masalah besar terhadap kinerja isolator pasangan luar. Pada daerah pantai dan industri terdapat kontaminan garam, debu, dan bahan kimia yang dapat menempel pada permukaan isolator sehingga menyebabkan kristalisasi yang berakibat bertambahnya kekasaran permukaan material isolasi. Pada kondisi lingkungan dengan polusi dan kelembaban tinggi, lapisan polutan yang menempel pada permukaan terjadi pembasahan menyebabkan arus bocor mengalir sehingga terjadi pemanasan polutan pada lapisan. Lapisan polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat membentuk pita kering (*dry band*) akibat dialiri arus bocor yang terus menerus. Kondisi ini pada tegangan tertentu dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Busur pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terjadi *flashover* yang melalui seluruh permukaan isolator. Untuk mengevaluasi ketahanan jangka panjang dari rancangan isolator jenis polimer pasangan luar, diperlukan penelitian mengenai parameter listrik dari isolator, yaitu arus bocor. Faktor utama yang mempengaruhi performa material isolasi polimer adalah sifat menolak air atau hidrofobik (Priambada et al., 2021)

Iklim tropis di Indonesia menyebabkan matahari bersinar dengan rata-rata 10-11 jam sehari, dimana pada sin...ar matahari ini mengandung UV. Isolator polimer luar ruangan yang terpapar oleh sinar UV ini dapat menyebabkan isolator tersebut mengalami penurunan kinerja isolator, hal ini disebabkan karena sinar UV dapat menyebabkan efek fotodegradasi dimana efek ini dapat menyebabkan perubahan ikatan molekul pada isolator polimer.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat elektrik dari isolator polimer jenis silicon rubber dengan bahan pengisi SiO₂, ATH, dan TiO₂ dimana sampel tersebut terlebih dahulu memberikan polutan pada permukaan sampel dengan lama penuaan dipercepat dengan menggunakan sinar UVa yang durasinya selama 18 hari.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh perlakuan dan campuran serta konsentrasi bahan pengisi/*filler* Silika+ATH+TiO₂, terhadap kinerja transfer sifat hidrofobik pada material *silicon rubber RTV 683*.
2. Bagaimana pengaruh perlakuan dan campuran serta konsentrasi bahan pengisi/*filler* Silika+ATH+TiO₂, terhadap kinerja dielektrik sampel uji *silicon rubber RTV 683*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan dan campuran serta konsentrasi bahan pengisi/*filler* Silika+ATH+TiO₂, terhadap kinerja transfer sifat hidrofobik pada material *silicon rubber RTV 683*.
2. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan dan campuran serta konsentrasi bahan pengisi/*filler* Silika+ATH+TiO₂, terhadap kinerja dielektrik sampel uji *silicon rubber RTV 683*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan dan teknologi sehingga dapat menambah khasanah perbendaharaan yang telah ada, khususnya tentang bahan isolator polimer.
2. Penelitian ini dapat membuka jalan bagi peneliti lanjutan dalam bidang material dan teknologi isolator tegangan tinggi.
3. Penulis memperoleh kesempatan untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta memberikan dampak positif dalam meningkatkan performa isolator tegangan tinggi secara keseluruhan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Sampel uji yang digunakan adalah Isolator Polimer Silicone Rubber dengan campuran *Nano Filler Silica*+ATH+TiO₂ dengan komposisi 5%, 10%, 15% dan 20%.
2. Penelitian ini menguji hanya menguji sudut kontak untuk performa hidrofobik, dan untuk performa dielektrik yang diuji adalah permitivitas relatif, resistivitas permukaan, resistivitas volume, flasover dan tegangan tembus.
3. Polutan yang digunakan dalam pengujian adalah polutan kaolin.
4. Proses penuaan dengan terpaan UV yang dilakukan pada chamber dilakukan selama 18 hari.
5. Sampel yang diuji masih dalam bentuk matriks dan bukan dalam bentuk isolator jadi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Isolator

Pengertian Isolator adalah bahan yang tidak dapat atau sulit untuk melakukan perpindahan muatan listrik, atau secara umum isolator adalah penghambat aliran listrik. Fungsi Isolator yg lainnya ialah sebagai penopang beban ataupun pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya aliran arus yang mengalir keluar atau antara konduktor. Alat ini juga sering digunakan sebagai alat yg digunakan untuk menyangga kabel transmisi listrik yang terdapat pada tiang listrik (Jamaaluddin, 2019).

Jika isolator gagal dalam kegunaannya sebagai pemisah antara saluran maupun saluran dengan pentanahan maka penyaluran energi tersebut akan gagal atau tidak optimal. Pengaruh keadaan udara sekitar dan polutan yang menempel pada permukaan yang menyebabkan permukaan isolator bersifat konduktif. Dalam menentukan sebuah isolator yang akan dibuat serta bagaimana unjuk kerjanya dalam melayani suatu sistem tenaga listrik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan yaitu, sifat-sifat kandungan material dengan bahan dasar untuk membuat isolator kemampuannya pada cuaca buruk, keadaan saat terkontaminasi serta pertimbangan masalah biaya produksi (Arismunandar, 2001).

Isolasi adalah sifat bahan yang berfungsi dapat memisahkan secara elektrik dua atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, tidak terjadi lompatan api atau lewat denyar (*flashover*), ataupun percikan api (*sparkover*). Sedangkan isolator adalah alat yang dipakai untuk mengisolasi. Kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan disebut kekuatan dielektrik. Kekuatan dielektrik dari bahan isolasi sangat penting dalam hal menentukan kualitas isolator yang nantinya akan mendukung keseluruhan sistem tenaga listrik. Semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi semakin baik dipakai, terutama pada peralatan listrik tegangan tinggi (Arismunandar, 2001).

2.2 Bahan Penyusun Isolator

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kemampuan listrik dan mekanis isolator tersebut. Secara umum bahan penyusun yang sering digunakan adalah porselin, gelas, polimer, dan epoksi resin (Patel & Goyena, 2019).

2.2.1 Isolator Porselin

Gambar 1 merupakan gambar fisik dan bentuk penampang isolator porselin, yang terdiri dari bahan campuran tanah porselin, *kwarts*, dan *veld spat*, yang pada bagian permukaannya dilapisi dengan bahan glazur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Bahan Porselin bergantung pada ikatan kimia polar yang kuat antara silikon dan oksigen untuk memberikan bahan yang stabil pada suhu tinggi, dan kuat. Isolator jenis ini memiliki kekuatan dielektrik yang sangat tinggi serta memiliki kekuatan mekanis yang sangat besar. Kekuatan dielektrik pada bahan ini lebih stabil karena adanya ikatan *ionic* yang kuat antar atom sehingga tidak mudah rusak oleh pengaruh lingkungan. Dengan lapisan glazur ini permukaan isolator menjadi licin dan mengkilat, sehingga tidak dapat menghisap air. Kekuatan mekanis porselin standar berdiameter 2-3 cm adalah 45.000 kg/cm² untuk beban tekan; 700 kg/cm² untuk beban tekuk; dan 300 kg/cm² untuk beban tarik. Bahan ini pun cenderung tahan lama. Namun, disisi lain isolator porselin mudah mengalami aktivitas *treeing* karena adanya void sehingga arus melewati celah tersebut. Isolator porselin pun lebih mudah terkontaminasi karena sifat hidrofobik yang rendah, sehingga kontaminan mudah menempel pada permukaan isolator ini (Farzaneh & Chisholm, 2009).



Gambar 1. (a) gambar fisik dan (b) penampang isolator porselen (Santosa, 2017)

2.2.2 Isolator Gelas

Isolator gelas seperti pada Gambar 2 banyak digunakan pada jaringan distribusi sekunder. Isolator gelas mudah mengembun, sehingga kontaminan mudah melekat pada permukaan isolator ini. Hal ini mengakibatkan mudah terjadinya *breakdown* dan arus bocor semakin besar pada isolator ini. Isolator jenis ini pun rentan terhadap perubahan temperature, semakin besar perubahan suhu yang dialami isolator gelas maka kemungkinan keretakan pada permukaan isolator akan semakin besar. Di dalam gelas terdapat kandungan alkali yang akan menambah sifat higroskopis permukaan isolator sehingga konduktivitas permukaan isolator semakin besar. Kekuatan dielektrik gelas alkali tinggi adalah 17,9 kVrms /mm dan gelas alkali rendah adalah 48 kVrms /mm, yakni dua kali lebih tinggi daripada kekuatan dielektrik porselen. Dilihat dari proses pembuatannya isolator gelas terdiri dari dua jenis, yaitu gelas yang dikuatkan (*annealed glass*) dan gelas yang dikeraskan (*hardened glass*). Dari kedua jenis isolator gelas tersebut, isolator gelas yang dikeraskan lebih baik daripada isolator gelas yang dikuatkan. Keunggulan isolator bahan ini adalah kuat dielektriknya tinggi, kuat tekanannya lebih besar dibandingkan porselen, serta kerusakan pada permukaan isolator gelas mudah dideteksi. (Santosa, 2017)



Gambar 2. Isolator gelas

(Ramos et al., 1993)

2.2.3 Isolator Polimer

Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator polimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas diantaranya sifat hidrofobiknya yang baik, dapat dilihat pada gambar 3 untuk karakteristik sifat hidrofobik pada isolator polimer. Untuk kelebihan-kelebihan isolator polimer adalah seperti berikut :

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



Gambar 3. Karakteristik hidrofobik pada isolator polimer

(Macey & Vosloo, 2022)

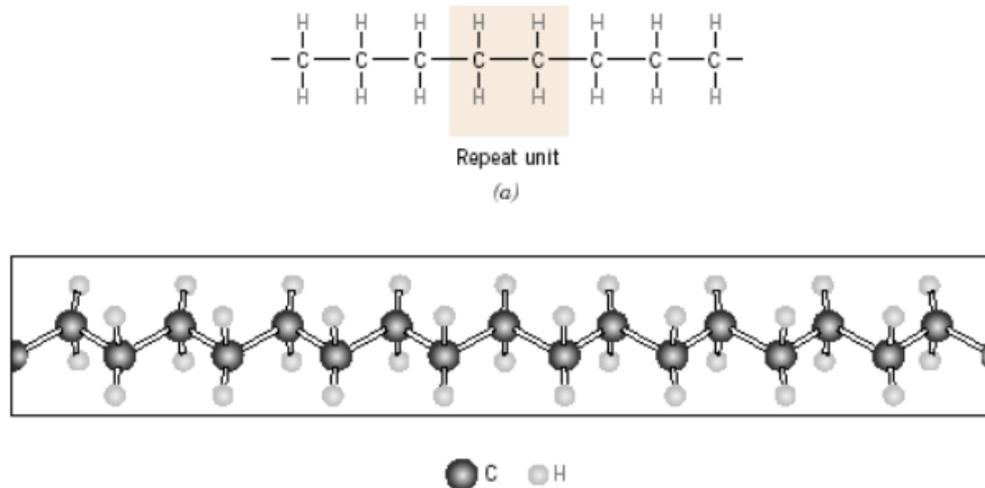
Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah:

1. Kekuatan mekanis isolator polimer lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
2. Ketidakcocokan bahan antar muka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
3. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim.
4. 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.
5. Kurang tahan terhadap perubahan cuaca, dimana hal ini mengakibatkan isolator polimer dapat mengalami degradasi atau kerusakan pada sifat mekanisnya, dikarenakan perubahan cuaca yang ekstrem dapat menyebabkan isolator polimer memuai.

2.3 Struktur Kimia Isolator Polimer

Pada akhir tahun 1950-an, pengembangan isolator saluran dengan pengurangan berat dan peningkatan karakteristik listrik dan mekanik, dibandingkan dengan isolator *string* keramik konvensional, dianggap sebagai suatu prasyarat untuk saluran transmisi 1000 kV. Meskipun minat pada transmisi 1000 kV secara bertahap mulai memudar, minat pada isolator ringan terus berlanjut, sedemikian rupa sehingga isolator non keramik pertama diperkenalkan oleh General Electric pada tahun 1959. Pada saat itu, produsen menggunakan berbagai jenis bahan *shed* polimer termasuk teflon, resin epoksi, karet silikon vulkanisasi suhu kamar (RTV), karet silikon vulkanisasi suhu tinggi (HTV), monomer etilena propilena (EPR) dan kopolimernya, monomer etilena propilena diena (EPDM) dan kopolimernya, dan kopolimer karet silikon dan etilen, polimer instan berdasarkan kimia uretan, dan polipropilena. Beberapa dari polimer ini diisi dengan bahan pengisi anorganik seperti silika dan alumina trihidrat untuk mendapatkan sifat anti-pelacakan yang diinginkan. Perlengkapan *end fitting* logam dipasang ke batang dengan berbagai metode diantaranya pengeleman dengan resin epoksi, penyisipan irisan atau kerucut ke dalam batang *fiberglass*, dan kompresi logam untuk mencengkeram batang (Baker & Gorur, 2012)

Polimer adalah material organik yang dibentuk oleh sejumlah senyawa hidrokarbon (monomer) yang tersusun secara berulang-ulang. Senyawa hidrokarbon terdiri dari atom hidrogen (H) dan karbon (C). Ikatan antara molekul hidrokarbon adalah ikatan kovalen. Setiap atom karbon memiliki empat elektron dan atom hidrogen memiliki satu elektron yang akan saling membentuk ikatan kovalen yang dapat dilihat pada gambar 4. (Kristianto, 2010)



Gambar 4. (a) Molekul berulang (repeating unit), (b) Struktur polimer
(Kristianto, 2010)

Pada senyawa hidrokarbon dapat terjadi tiga buah ikatan yaitu ikatan tunggal, ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga. Polimer dan monomer terdapat banyak jenisnya, dimana dalam kimia, suatu monomer adalah struktur molekul yang dapat berikatan secara kimia dengan monomer lainnya untuk menyusun molekul polimer panjang dan berulang-ulang. Monomer dapat berupa hidrokarbon, asam amino, dan asam lemak. Adapun jenis polimer dan monomer serta penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Jenis polimer dan penggunaannya

No	Polimer	Monomer	Terdapat pada
1	Polietena	Etena	Kantong plastik
2	Polipropena	Propena	Tali, karung, botol plastik
3	PVC	Vinil klorida	Pipa paralon, pelapis lantai
4	Polivinil alcohol	Vinil alcohol	Bak air
5	Teflon	Tetrafluoroetena	Wajan atau panci anti lengket

Sambungan Tabel 1

6	Dakron	Metil dan etinell glikol	Kain atau tekstil (wol sintetis)
7	Nilon	Asam adipat	Tekstil
8	Polibutadina	Butadina	Ban motor
9	Poliester	Ester dan etilena glikol	Ban mobil
10	Melamin	Fenol formaldehida	Piring dan gelas melamin
11	Epoksi resin	Metoksi benzena dan alkohol sekunder	Penyalut cat (cat epoksi)

Berdasarkan sifat-sifatnya polimer dapat dibagi ke dalam tiga kelompok umum, yaitu elastomer, serat, dan plastik. Ciri elastomer adalah kemampuannya untuk diregang di bawah tekanan (diregangkan) dan dapat kembali pada bentuk awalnya bila tekanan dikurangi (elastis). Dari tiga kelompok tersebut polimer dapat digolongkan berdasarkan sifat kimia, fisika, mekanika, dan termal. Berikut ini penggolongan polimer berdasarkan sifat kimia, fisika, mekanika, dan termal.

1. Karakteristik Listrik Polimer

Bahan polimer banyak yang bersifat isolator dan tahan terhadap medan listrik. Oleh karena itu, sering digunakan sebagai isolator listrik. Karakteristik listrik suatu material dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa besaran listrik yang patut diketahui, seperti:

a.) Kekuatan hancur dielektrik/bahan isolasi

Sejauh mana isolator bisa bertahan terhadap tegangan listrik bergantung pada kekuatan hancur dielektrik tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya ini dinyatakan dengan rumus :

$$E = V_{bd}/h \quad (1)$$

dimana,

E = kekuatan hancur dielektrik (kV/mm)

V_{bd} = tegangan tembus dielektrik/material isolasi (kV)

h = ketebalan dielektrik (mm)

$h = d^n$ untuk material polimer

d = ketebalan (mm)

n = konstanta dari keadaan yang diuji, tergantung dari macam benda uji,

$n = 0$ untuk tegangan arus searah dan n berkisar 0.3 sampai 0.5 untuk tegangan AC

Kekuatan hancur dielektrik berubah banyak dipengaruhi lingkungannya. Kalau tegangan hancur dielektrik suatu media sekeliling isolator besar maka kekuatan hancur dielektriknya menjadi besar. Hal ini terjadi terutama pada arus bolak-balik. Kekuatan hancur dielektrik dari bahan polimer pada umumnya berkurang kalau temperatur dinaikkan demikian halnya terhadap kadar air. Oleh karena itu, tanpa perlakuan yang cukup untuk menghilangkan bahan higroskopik dari berbagai bahan yang dipakai untuk polimer seperti perekat, kekuatan tersebut sangat berkurang karena absorpsi air. Selanjutnya pada tegangan AC untuk waktu yang lama, bahan rusak walaupun tegangan rendah (Agung et al., 2022).

b. Tahanan Isolasi

Kalau tegangan DC diberikan pada isolator yang terbuat dari bahan polimer, arus listrik melalui bagian dalam dan permukaannya. Perbandingan tegangan DC yang diberikan dan arus listrik total disebut tahanan isolasi. antara tegangan dengan arus listrik (dalam volume) disebut tahanan volume, dan antara tegangan dengan arus permukaan disebut tahanan permukaan.

Jika tegangan DC diberikan pada bahan polimer, arus volume berkurang dengan berjalannya waktu sampai harga tertentu setelah waktu yang lama. Oleh karena itu biasanya dalam standar pengujian bahan dipakai waktu satu menit setelah dimulai selama tegangannya rendah, hukum ohm berlaku untuk arus tersebut, tetapi untuk tegangan yang lebih besar, arus listrik bertambah dan dipercepat, maka hukum tersebut tidak berlaku (Arifianto, 2008)

c. Resistivitas dan Resistansi

Resistansi berbeda dengan resistivitas dimana resistansi adalah sifat atau kemampuan suatu material untuk menghambat aliran listrik melalui suatu medium atau objek tertentu dan diukur dalam satuan ohm (Ω). Resistansi sendiri bergantung pada geometri dari material, seperti panjang

dan luas penampang. Di sisi lain resistivitas adalah sifat dari material yang menunjukkan seberapa baik suatu bahan untuk menghambat arus listrik dimana resistivitas tidak bergantung pada geometri objek, seperti panjang dan luas penampang dan diukur dalam satuan ohm meter ($\Omega.m$) (Maryniak et al., 2003).

Terdapat dua macam resistivitas, yaitu resistivitas permukaan dan resistivitas volume. Untuk mencari resistivitas permukaan dibutuhkan ukuran resistansi permukaan. Konsep dari resistivitas permukaan dan resistansi permukaan kadang membingungkan. Pengertian dari kedua istilah ini dapat ditemukan dari berbagai literatur maupun standar-standar kelistrikan. Resistansi permukaan atau R_s didefinisikan sebagai rasio antara tegangan DC terhadap arus yang mengalir antara kedua elektroda yang disusun dengan konfigurasi tertentu terhadap permukaan material yang sedang diuji, dirumuskan sebagai :

$$R_s = \frac{U}{I_s} \quad (2)$$

dimana,

R_s = Resistansi Permukaan ($G\Omega$)

U = Tegangan Sumber (kV)

I_s = Arus Bocor (A)

Resistivitas permukaan atau ρ_s , didefinisikan sebagai rasio antara tegangan DC atau tegangan searah terhadap panjang permukaan per satuan lebar, dapat dirumuskan :

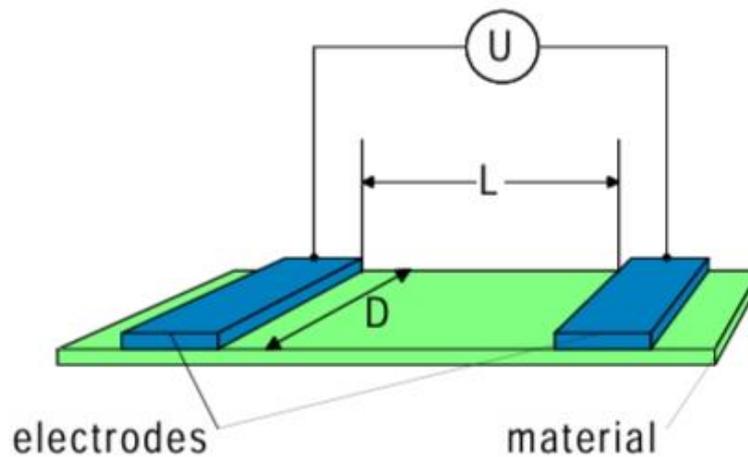
$$\rho_s = \frac{\left(\frac{U}{L}\right)}{\frac{I_s}{D}} \quad (3)$$

dimana,

ρ_s = Resistivitas Permukaan

L = Jarak elektroda (mm)

D = Luas elektroda mm^2



Gambar 5. Konfigurasi pengujian resistansi permukaan

(Maryniak et al., 2003)

Gambar 5 merupakan konfigurasi elektroda yang digunakan dalam pengukuran resistansi permukaan. Hasil pengukuran dalam resistansi permukaan sangat bergantung pada kandungan material dan geometri elektroda yang digunakan dalam pengukuran. Satuan dari resistansi permukaan adalah Ohm (Ω), sedangkan satuan dari resistivitas permukaan adalah Ohm/luas (Ω/A) (Maryniak et al., 2003)

Berbeda dengan resistivitas permukaan yang dimana arus bocor terjadi di permukaan suatu material dalam hal ini isolator, resistivitas volume merupakan tahanan yang menahan arus bocor yang melawati *body* suatu material dimana dalam hal ini adalah isolator. Dalam menentukan besaran resistivitas volume juga membutuhkan besaran dari resistansi volume (Maryniak et al., 2003).

Pengukuran resistansi volume dapat dilakukan dengan mengapit suatu material dengan elektroda yang diberikan sumber tegangan DC. Resistivitas volume juga berbeda dengan resistansi volume, dimana resistansi volume sangat dipengaruhi oleh geometri dari material sedangkan resistivitas volume tidak dipengaruhi oleh geometri dari material. Satuan dari resistansi volume adalah ohm (Ω), sementara itu resistivitas volume adalah Ohm/luas (Ω/A). Resistansi volume sendiri dapat dirumuskan

dengan :

$$\rho v = Rv \frac{L}{A} \quad (4)$$

Keterangan :

Rv = Resistansi Volume (Ohm)

A = Luas Permukaan (cm^2)

d = Tebal Sampel (cm)

d. Permittivitas

Permittivitas adalah konstanta proporsionalitas yang terkait medan listrik dalam suatu material dengan perpindahan listrik dalam bahan itu. Permittivitas mencirikan muatan atom dalam bahan isolator akan terdistorsi di hadapan medan listrik. Semakin besar kecenderungan muatan mengalami distorsi (juga disebut polarisasi listrik), semakin besar nilai permittivitas (Yawan, 2018).

Dalam elektromagnetisme, permittivitas merupakan cara untuk mengukur tingkat resistensi yang dialami setiap kali adanya medan listrik di dalam medium. Dengan kata lain permittivitas dapat digambarkan sebagai perhitungan yang terkait dengan bagaimana pengaruh medan listrik yang dipengaruhi medium dielektrik. Dalam satuan SI, permittivitas dinilai dalam Farad per meter (Yawan, 2018).

Permittivitas dari isolator, atau bahan dielektrik yang biasa dilambangkan dengan huruf epsilon Yunani, ϵ permittivitas vakum atau ruang hampa, dilambangkan ϵ_0 dan rasio ϵ/ϵ_0 disebut konstanta dielektrik (κ), dilambangkan dengan huruf Yunani Kappa, K . Besarnya permittivitas vakum dari ϵ_0 adalah 8.854×10^{-12} F/m. Dalam sistem mks, permittivitas ϵ dan konstanta dielektrik K berdimensi secara resmi berbeda dan terkait dengan permittivitas ϵ_0 ruang hampa;

$$\epsilon = K \epsilon_0 \quad (5)$$

dimana,

ϵ = permittivitas bahan

K = permittivitas dielektrik

ϵ_0 = permittivitas ruang hampa

2. Sifat Kimia

Gaya tarik menarik antara rantai polimer memainkan peranan yang besar terhadap sifat polimer. Karena rantai polimer sangat panjang, gaya antar rantai menjadi berlipat ganda dibandingkan tarik menarik antara molekul biasa. Gugus samping yang berbeda dapat mengakibatkan polimer berikatan ion atau ikatan hidrogen pada rantai yang sama. Semakin kuat gaya akan berakibat naiknya kuat tarik, titik leleh, dan tingkat kristalinitas Yuliani, G. (2009). Gambaran Umum tentang Polimer. *Kimia Polimer*, 41.

3. Sifat Termal Polimer

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena temperatur akan mengubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Selanjutnya karena panas, oksigen, dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, hidrolisis, dan seterusnya pada temperatur tinggi (Yuliani, 2009).

2.4 RTV Silicon Rubber

Karet silikon digunakan dalam banyak aplikasi kelistrikan. Lapisan ini memiliki sifat dielektrik yang baik dan fleksibilitas pada rentang suhu yang luas, dikombinasikan dengan ketahanan yang sangat baik terhadap radiasi ultraviolet, bahan kimia, degradasi termal, dan lucutan korona. Salah satu sifat paling penting dari karet silikon untuk aplikasi isolator adalah retensi penolak air di bawah pelapukan luar ruangan dan kondisi tegangan tinggi. Telah dibuktikan bahwa karet silikon memberikan sifat penolak air karena energi permukaannya yang rendah. Ketika diterapkan pada isolator porselen, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6, permukaan hidrofobik menahan perkembangan arus bocor dan busur pita kering, bahkan dengan adanya kontaminan.

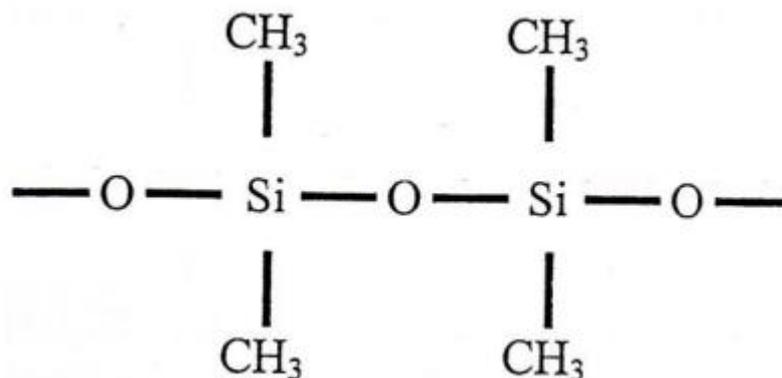


Gambar 6. Lapisan RTV digunakan pada sebuah bushing trafo 230 kV

(Gorur et al., 2023)

RTV silicon rubber atau karet silikon *RTV* adalah jenis polimer sintetik yang memiliki fungsi dan kelebihan yang sangat istimewa, hal ini disebabkan karena *RTV silicon rubber* memiliki beberapa sifat fisik yang tidak ditemukan pada jenis polimer sintetik / karet sintetik lainnya. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh *RTV silicon rubber* ini adalah tahan terhadap cuaca, penuaan (*aging*), terhadap suhu panas hingga 250°C dan juga tahan terhadap suhu dingin, sifat tahan api yang baik dan merupakan isolasi listrik yang sangat baik. Sifat-sifat seperti ketahanan volume kekuatan dielektrik dan faktor kekuatan lain tidak terpengaruh oleh perubahan suhu. Sifat-sifat ini dikenal sebagai stabilitas thermal, tahan terhadap sinar matahari, tahan terhadap kelembapan yang tinggi serta tahan beberapa bahan kimia dan minyak. Karet silikon tersusun atas monomer-monomer *cilicxiloxane* yang membentuk *polydimethylsiloxane* (PDMS). Karet silikon memiliki derajat polimerisasi (n) dari 4.000 sampai 10.000 dan memiliki berat molekul yang tinggi. Setelah melalui reaksi polimerisasi, diperoleh karet silikon yang memiliki derajat polimerisasi yang sangat tinggi yang berkisar antara 30.000 sampai 10.000 dengan berat molekul yang sangat tinggi. Produk dari *RTV silicon rubber* dapat diformulasikan menjadi produk yang bersifat elektrik insulatif, hal ini membuat produk dari bahan karet silikon cocok untuk dipergunakan sebagai pembungkus kabel, isolasi gasket, dan lain-lain. (Simatupang, 2018)

Kelompok material ini telah digunakan sebagai bahan rumah isolator yang digunakan pada isolator transmisi, distribusi dan gardu induk. Ada tiga jenis karet silikon yang digunakan saat ini yaitu tipe *High Temperature Vulcanizing* (HTV) yang juga disebut *Heat Cured Rubber* (HCR), tipe *Room Temperature Vulcanizing* (RTV) dan *Liquid Silicone Rubber* (LSR) yang juga disebut sebagai *Liquid Injection Moulding Rubber* (LIM). Material tipe HTV diawetkan pada suhu dan tekanan tinggi. Material tipe ini digunakan untuk semua aplikasi isolator non-keramik (transmisi, distribusi, dan gardu induk). Material tipe RTV diawetkan pada suhu kamar dan tersedia dalam dua jenis, yaitu sistem satu komponen dan sistem dua komponen. RTV satu komponen saat ini digunakan sebagai pelapis yang dapat disemprotkan untuk meningkatkan kinerja kontaminasi dari isolator porselen dan kaca. Vulkanisasi terjadi saat lapisan terpapar udara pada suhu kamar. Vulkanisasi sistem dua komponen umumnya terjadi pada suhu sekitar 60°C, lebih tinggi dari suhu ruangan tetapi lebih rendah dari 180°C, suhu yang digunakan untuk vulkanisasi karet HTV. Sistem dua komponen digunakan terutama untuk rumah peralatan pada gardu induk besar. Material Silikon Karet Silikon Cair (LSR) digunakan untuk rumah peralatan pada gardu induk. Vulkanisasi material ini terjadi pada suhu 150°C hingga 200°C.



Gambar 7. Bahan kimia penyusun karet silikon

(Simatupang, 2018)

Bahan kimia penyusun karet silikon ditunjukkan pada Gambar 7, terdiri dari tulang punggung silikon-oksigen (Si-O) anorganik, dan dua rantai samping organik yang melekat pada atom silikon. Rantai samping pada sebagian besar karet silikon yang digunakan untuk isolator HV adalah gugus metil (CH₃), maka polimer dengan jenis ini dikenal sebagai *polydimethylsiloxane* (PDMS). Rantai samping dapat terdiri dari kelompok organik lainnya, seperti fenil atau vinil.

2.5 Sudut Kontak Hidrofobik

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik, atau hidrofilik. Sifat hidrofobik merupakan suatu karakteristik bahan isolasi, dalam keadaan terpolusi, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh ke permukaannya. Sifat hidrofobik berguna untuk isolasi pasang luar karena dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinu pada permukaan isolator, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas rendah yang mengakibatkan arus bocor akan sangat kecil (Hidayat et al., 2017).

Besar sudut kontak air pada suatu permukaan dapat dibagi menjadi tiga macam, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 8.

1. Hampir tidak basah

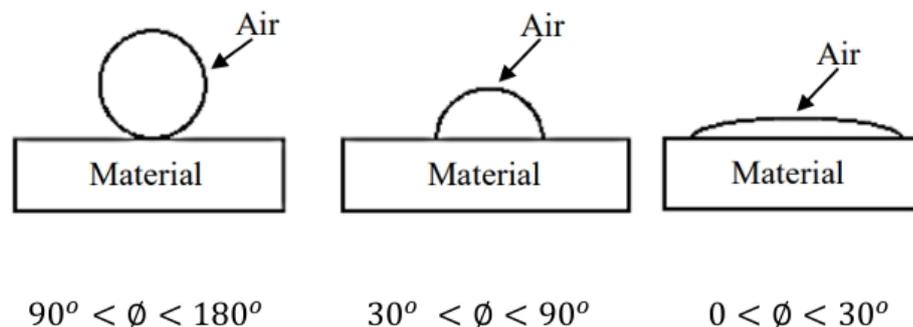
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah lebih dari 90 derajat dan kurang dari 180 derajat.

2. Basah sebagian

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

3. Basah keseluruhan

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



Gambar 8. Pembentukan sudut kontak pada permukaan isolator

(Kusumaningrum, 2017)

Bahan isolator diharapkan mempunyai sifat hidrofobik karena dengan sifat tersebut isolator akan mampu menahan tegangan baik dalam kondisi basah maupun terkontaminasi (Kusumaningrum, 2017).

2.6 Penyebab Kegagalan pada Isolator Polimer

Secara garis besar isolator tegangan tinggi mempunyai fungsi dalam pengaplikasiannya yang terdiri dari fungsi mekanik dan fungsi listrik. Secara mekanik isolator menahan konduktor pada jaringan sedangkan secara listrik isolator berfungsi sebagai pemisah yaitu untuk mencegah mengalirnya arus dari penghantar ke tanah.

2.6.1 Kontaminasi Pada Isolator

Pengotoran pada permukaan isolator disebabkan adanya komponen polutan yang menempel pada permukaan isolator. 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. 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

Komponen-komponen tersebut akan membentuk suatu lapisan polutan yang menempel pada permukaan isolator. Lapisan polutan ini bersifat konduktif. Lapisan polutan konduktif tersebut dapat dianggap sebagai resistansi yang menghubungkan bagian-bagian di isolator. (pr) Kontaminasi yang terjadi pada permukaan isolator akan mengakibatkan melemahnya kemampuan mekanik dan kemampuan elektrik isolator tersebut. Tinggi rendahnya tingkat kontaminasi juga ter gantung oleh konstruksi atau bentuk dari isolator dan kondisi lingkungan setempat. Peristiwa kontaminasi dapat berakibat menurunnya kemampuan isolator untuk menahan tegangan *flashover*, disamping itu dapat menyebabkan hilangnya sifat hidrofobik khususnya pada isolator polimer (Yuniarti & Afandi, 2007)

Lapisan

pengotor yang menempel pada permukaan isolator secara umum terdiri dari dua komponen, yaitu komponen yang bersifat konduktif dan komponen lembab. Komponen yang bersifat konduktif yang paling umum terdiri dari garam-garam yang dapat terurai menjadi ion-ion (garam ionik) seperti natrium klorida, magnesium klorida, natrium sulfat, dan lain-lain. Larutan garam ini akan mempengaruhi unjuk kerja isolator apabila menempel pada permukaan isolator dalam bentuk lapisan tipis konduktif. Beberapa komponen konduktif lainnya terutama yang terdapat di daerah industri adalah gas-gas yang dapat larut seperti SO₂, yang membentuk larutan konduktif asam. Bahan-bahan ini sulit dideteksi, karena apabila permukaan isolator menjadi kering, maka gas SO₂ akan menguap. Komponen yang bersifat lembab dari bahan pencemar adalah bahan yang padat dan tidak dapat larut menjadi ion-ion, misalnya debu-debu semen atau tanah. Bahan-bahan tersebut membentuk ikatan mekanis yang akan mempersulit proses pencucian permukaan secara alamiah. Sebagian besar

zat pengotor baik yang bersifat konduktif maupun yang bersifat lembab (non-konduktif), dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Peranan angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan pada permukaan isolator (Armansyah, 2021).

Menurut standar IEEE tingkat pengotoran pada isolator dapat digolongkan pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Tingkat pengotoran isolator menurut IEEE

Tingkat Pengotoran	ESDD (mg/cm^2)
Sangat Ringan	0 – 0,03
Ringan	0,03 – 0,06
Sedang	0,06 – 0,1
Berat	> 0,1

Sumber : Armansyah (2021)

Sedangkan menurut standar IEC 815 penggolongan tingkat pengotoran isolator yang dipengaruhi kondisi geografis di suatu tempat dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Tingkat pengotoran isolator menurut IEC 815

Tingkat Pengotoran	ESDD (mg/cm^2)
Sangat Ringan	0,03 – 0,06
Ringan	0,1 – 0,2
Sedang	0,3 – 0,6
Berat	> 0,6

Sumber : Armansyah (2021)

2.6.2 *Flashover* dan *Breakdown* pada Isolator

Flashover adalah kegagalan yang terjadi pada permukaan isolator yang disebabkan oleh berbagai faktor baik itu faktor eksternal maupun internal diantaranya yaitu suhu, kelembaban, dan lingkungan sekitarnya (debu, asap pabrik, dan polutan garam). Secara singkatnya *flashover* adalah suatu fenomena yang terjadi karena tegangan yang sangat besar dan melebihi kemampuan dari isolator. *Breakdown* adalah kegagalan isolasi di bawah

tekanan listrik dimana *discharge* menjembatani sepenuhnya isolasi yang diuji dan mengurangi tegangan antara elektrode menjadi hampir nol (Pratiwi, 2013).

Flashover yang terjadi pada isolator berpolutan biasanya merupakan proses yang lambat yang terjadi pada nilai medan listrik rata-rata yang cukup rendah. Polutan yang menempel pada isolator, lama kelamaan akan menimbulkan suatu lapisan konduktif (*conducting film*). Lapisan konduktif ini biasanya terbentuk tidak merata dan tidak seragam. Ketika konduksi dimulai, arus listrik dalam orde beberapa mA dapat pemanasan larutan konduktif yang terbentuk pada permukaan isolator. Arus bocor mulai mengeringkan lapisan konduktif dan resistivitas lapisan tersebut bertambah di area-area tertentu. Hal ini menyebabkan pembentukan pita kering (*dry band*) yang biasanya terdapat di area dengan kerapatan arus tertinggi. Di Indonesia pada musim kemarau terjadi penumpukan partikel-partikel kontaminan pada permukaan isolator dengan jenis dan tingkat kontaminan yang berbeda-beda. Sesuai dengan kondisi sekitar isolator itu dipasang, semakin jauh dari pantai semakin kecil *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD) nya. Tegangan *flashover* adalah nilai atau ukuran tegangan yang dapat ditahan isolator sampai terjadinya lompatan api / *flashover* (Darmadi et al., 2023).

Kegagalan tegangan pada isolator dapat dibedakan dalam dua kejadian, yaitu kegagalan tegangan tembus (*puncture voltage*) dan kegagalan permukaan yang berupa *flashover*. Tegangan gagal *flashover* lebih rendah dari tegangan gagal tembus. Apabila isolator mengalami tegangan tembus, maka isolator dapat mengalami kerusakan total (hancur) (Rahman, 2012). Kegagalan *flashover* berawal dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Terbentuknya lapisan konduktif di permukaan isolator diakibatkan oleh adanya polutan yang menempel. Lapisan ini yang menyebabkan mengalirnya arus bocor (*leakage current*). Dengan mengalirnya arus bocor, terjadi pemanasan di lapisan tersebut. Lapisan ini dapat membentuk pita kering akibat dialiri arus bocor secara terus menerus. Pada tegangan tertentu, kondisi ini dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terbentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi *flashover* yang melalui seluruh permukaan isolator (Mawardi, 2018).

2.7 Bahan Pengisi (*Filler*)

Pada isolator polimer, *filler* (atau bahan pengisi) memiliki beberapa fungsi penting yang berkontribusi pada kinerja isolator secara keseluruhan. Isolator polimer umumnya terbuat dari bahan dasar polimer seperti polietilena atau polipropilena, dan bahan pengisi ditambahkan ke dalam campuran untuk meningkatkan sifat mekanis, termal, dan listrik isolator tersebut.

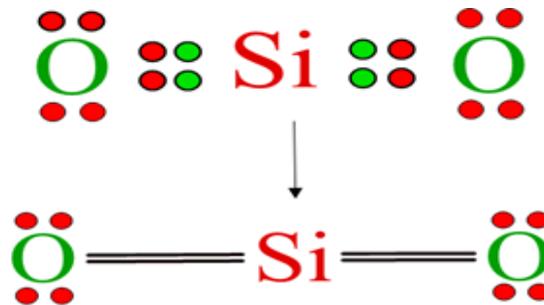
2.7.1 Silika (SiO_2)

Silika atau yang dikenal sebagai silikon dioksida (SiO_2) merupakan salah satu bahan yang terkandung dalam lempung. Silika merupakan senyawa logam oksida yang banyak terdapat di alam, namun keberadaannya di alam tidak dalam kondisi bebas, melainkan terikat dengan senyawa lain baik secara fisik maupun secara kimia. Silika pada umumnya bersifat hidrofobik atau hidrofilik sesuai dengan struktur dan morfologinya (Elharomy, I. 2013).

Dengan perkembangan teknologi, mulai banyak aplikasi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan nanosilika. Sebagai salah satu contoh silika dengan ukuran mikron banyak diaplikasikan dalam material building, yaitu sebagai bahan campuran pada beton. Rongga yang kosong di antara partikel semen akan diisi oleh mikrosilika sehingga berfungsi sebagai bahan penguat beton (*mechanical property*) dan meningkatkan daya tahan (*durability*). Ukuran lainnya yang lebih kecil adalah nanosilika banyak digunakan pada aplikasi di industri ban, karet, cat, kosmetik, elektronik, dan keramik. Sebagai salah satu contoh adalah pada produk ban dan karet secara umum. Manfaat dari penambahan nanosilika pada ban akan membuat ban memiliki daya lekat yang lebih baik terlebih pada jalan salju, mereduksi kebisingan yang ditimbulkan dan usia ban lebih panjang daripada produk ban tanpa penambahan nanosilika (Aprianto et al., 2012).

Silika dapat diperoleh dari mineral, nabati, dan sintesis. Silika mineral biasanya diperoleh melalui proses penambangan. Karena silika mineral sulit untuk didapatkan, maka diperlukan alternatif lain untuk mendapatkan silika seperti silika nabati (alam) dan sintesis. Silika sintesis didapatkan dengan menggunakan bahan fumed silika TEOS dan TMOS menggunakan metode

pelelehan. (Yawan, 2018). Adapun struktur Lewis dari senyawa SiO₂ dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Struktur Lewis SiO₂

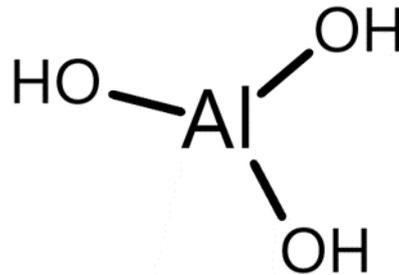
Silika (SiO₂) digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator listrik yang digabungkan dengan *Silicon Rubber* untuk meningkatkan ketahanan isolator terhadap panas dan kelembaban. Beberapa sifat SiO₂ yang berkontribusi terhadap sifat isolator listrik yang baik adalah sebagai berikut:

1. Tahan suhu tinggi : Silika memiliki titik leleh yang sangat tinggi, sehingga isolator yang mengandung SiO₂ dapat bertahan pada suhu tinggi dan tidak mudah rusak.
2. Kekerasan dan kekuatan : Silika memiliki kekerasan dan kekuatan yang baik, yang membantu meningkatkan kekuatan dan daya tahan isolator terhadap tekanan dan regangan.
3. Sifat dielektrik : Silika memiliki sifat dielektrik yang baik, yang penting untuk isolasi listrik dan mengurangi kemungkinan terjadinya arus bocor.
4. Stabilitas kimia : Silika stabil secara kimia dan tidak bereaksi dengan banyak bahan kimia, sehingga isolator yang mengandung SiO₂ tidak mudah terdegradasi.

2.7.2 ATH (*Alumina Trihydrate Hyroxide*)/Aluminium Hidroksida

Aluminium hidroksida adalah suatu senyawa kimia dengan rumus kimia Al(OH)₃, ditemukan di alam sebagai mineral *gibbsite* (dikenal pula sebagai *hydrargillite*) dan tiga polimorfnya yang langka: *bayerit*, *doyleit*, dan *nordstrandit*. Aluminium hidroksida bersifat amfoterik di alam, yaitu, senyawa ini memiliki sifat asam dan basa. Senyawa terkait yang berhubungan dengan senyawa ini seperti aluminium oksida hidroksida, Al₂O(OH), dan aluminium

oksida atau alumina (Al_2O_3), yang terakhir juga bersifat amfoterik. Senyawa ini bersamasama merupakan komponen utama dari bijih bauksit aluminium yang secara jelas dapat dilihat strukturnya pada gambar 10. (Lutfi Hidayat et al., 2019).



Gambar 10. Struktur Molekul ATH

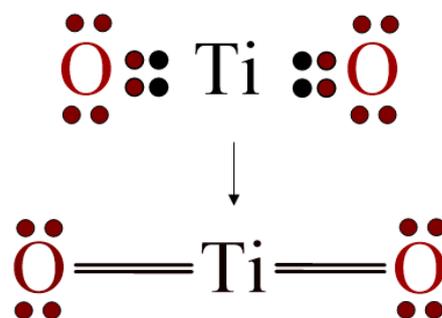
Aluminium trihydroxide (ATH) yang juga dikenal sebagai aluminium hidroksida memiliki struktur molekul $\text{Al}(\text{OH})_3$. Selain biaya rendah, manfaat lain dari ATH juga termasuk tidak berbau, mudah ditangani, tidak beracun, lembam secara kimia dan tidak mudah menguap. Ketika komposit yang diisi dengan ATH sedang dipanaskan dan kemudian dibakar, ATH dapat menyerap panas yang sedang diaplikasikan padanya. Panas yang diserap tersebar secara seragam dalam partikel ATH dan mengurangi laju pemanasan komposit. Panas yang diserap tersebar secara seragam dalam partikel ATH dan mengurangi laju pemanasan komposit. Dekomposisi ATH akan membentuk alumina dan uap air. Kemampuan ATH untuk mengencerkan gas yang mudah terbakar dan memperlambat api. Penambahan Aluminium Hidroksida menyebabkan terjadi transfer muatan serbuk terhadap serat sehingga fungsi serat kurang optimal sehingga terjadi ikatan yang kurang antara serbuk dan penarikan serat sehingga menurunkan sifat tensile dan bending pada GFRP. Sedangkan semakin banyak flame retardant yang akan menjadi komposit di matriks. Aluminium Hidroksida akan mengambil sejumlah panas pada saat pembakaran, melepaskan uap air dan menekan asap (Lutfi Hidayat et al., 2019).

Beberapa senyawa terurai secara endotermik saat mengalami suhu tinggi. Magnesium dan aluminium hidroksida adalah contohnya, bersama dengan berbagai karbonat dan hidrat seperti campuran huntite dan *hydromagnesite*.

Reaksi ini menghilangkan panas dari substrat, sehingga mendinginkan material. Penggunaan hidroksida dan hidrat dibatasi oleh suhu dekomposisi yang relatif rendah, yang membatasi suhu pemrosesan maksimum polimer biasanya digunakan dalam poliolefin untuk aplikasi kawat. Gas inert (paling sering karbon dioksida dan air) diproduksi oleh degradasi termal beberapa bahan. Gas ini bertindak sebagai pengencer gas yang mudah terbakar, menurunkan tekanan parsial dan tekanan parsial oksigen, dan memperlambat laju reaksi (Lutfi Hidayat et al., 2019).

2.7.3 TiO₂ (Titanium Dioksida)

Titanium Dioksida (TiO₂) merupakan senyawa kimia yang terdiri dari atom titanium (Ti) dan dua atom oksigen (O). Titanium dioksida umumnya ditemukan dalam bentuk padat berwarna putih, dengan struktur kristal yang berbeda, seperti anatas dan rutil. Titanium dioksida (TiO₂) juga bisa disebut Titania atau Titanium (IV) oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan TiO₂. Senyawa ini dimanfaatkan secara luas dalam bidang anatas sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya Titanium dioksida (TiO₂) dapat dihasilkan dari reaksi antara senyawa titanium tetraklorida (TiCl₄) dan O₂ yang dilewatkan melalui lorong silika pada suhu 700^oC. Sifat senyawa TiO₂ adalah tidak tembus cahaya, mempunyai warna putih, lembam, tidak beracun, dan harganya relatif murah. Titanium dioksida dapat dihasilkan dari proses sulfat ataupun klorin (Elfianti. A et al., 2023). Struktur Lewis dari senyawa TiO₂ dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Struktur Lewis TiO₂

Titanium dioksida (TiO_2) memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatas, rutil, brookit. Akan tetapi hanya anatas dan rutil saja yang keberadaannya di alam cukup stabil. Kemampuan fotoaktivitas semikonduktor TiO_2 dipengaruhi oleh morfologi, luas permukaan, kristanilitas dan ukuran partikel. Anatas diketahui sebagai kristal titania yang lebih fotoaktif daripada rutil. Hal ini disebabkan harga E_g TiO_2 jenis anatas yang lebih tinggi yaitu sebesar 3,2 eV sedangkan rutil sebesar 3,0 eV. Harga E_g yang lebih tinggi akan menghasilkan luas permukaan aktif yang lebih besar sehingga menghasilkan fotoaktivitas yang lebih efektif (Elfianti. A et al., 2023).

2.8 Penelitian yang Relevan

Tabel 4. Penelitian yang relevan

No.	Nama Penulis	Judul	Parameter Ukur	Kesimpulan
1	Anisa Kusumaningrum (2017)	Analisis Akselerasi Umur Isolator Polimer 20 Kv Akibat Pengaruh Kontaminan Berdasarkan Pengukuran Arus Bocor	- Tegangan tembus - Arus bocor - Tingkat salinitas	- Semakin tinggi salinasi yang diberikan, nilai arus bocor yang terukur akan semakin tinggi
2.	M. Dermawan Arif (2022)	Studi Hidrofobik, Permittivitas Dan Tegangan Tembus Isolasi Liquid Silicone Dibawah Pengaruh Difusi Air Dan Korona	- Sudut kontak - Kapasitansi - Tegangan tembus - Berat	- Hubungan antara permittivitas dan tegangan tembus pada sampel yang telah direndam selama 30 hari bertolak belakang.
3.	Satrianto Magu'ga (2023)	Pengaruh Difusi Air Terhadap Dielektrik Dan Hidrofobik Pada Material Elastomer Silikon	- Sudut kontak - Permittivitas - Berat	-Semakin banyak konsentrasi fillernya semakin tinggi nilai permittivitas relatifnya

Sambungan Tabel 4

4.	Armansyah (2021)	Analisa Pengaruh Endapan Polutan Garam Pada Isolator Terhadap Arus Bocor	- Arus bocor - Tegangan tembus	- Semakin besar kepadatan endapan polutan garam pada permukaan isolator, maka semakin besar pula arus bocornya - Apabila terjadi pengotoran maka tahanan isolator berkurang
5.	Muhammad Syahrizal	Pengaruh Polutan Lumut <i>Bryum SP</i> terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Jenis Tarik Menggunakan Metode <i>Slow Rate Test</i>	- <i>Flashover</i> - Konduktivitas Polutan	- Penggunaan metode <i>Slow Rate Test</i> menunjukkan pengaruh polutan akan mengakibatkan tegangan <i>flashover</i> turun
6.	Andhika Ilham Wahyu Nugroho, Abdul Syakur (2021)	Analisis Unjuk Kerja Isolator Polimer 20 Kv Resin Epoksi Bahan Pengisi TiO ₂ (<i>Titanium Dioxide</i>) Dengan Sirip Seragam Pada Kondisi Konduktivitas Yang Bervariasi	- Sudut kontak - Tegangan tembus - Tahanan isolasi	- Nilai arus bocor bahan isolator mengalami peningkatan seiring penambahan tegangan pengujian - Tahanan isolasi dengan terendah pada kondisi basah dibanding kondisi kering
7.	Nurhening Yuniarti, A.N. Afandi (2020)	Tinjauan Sifat Hidrofobik Bahan Isolasi <i>Silicone Rubber</i>	- Sudut kontak	- Presentase filler mempunyai pengaruh terhadap penurunan sudut kontak hidrofobik, hal ini disebabkan karena bahan dasar <i>silicone rubber</i> mempunyai sifat tolak air yang lebih baik.
8.	Adhitya Fauzan, Hermawan (2017)	Pengaruh Sinar Ultraviolet Dan Komposisi <i>Fly Ash</i> Pada Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Terhadap Nilai Arus Bocor	- Sudut kontak -Konduktifitas - Arus bocor	- Semakin lama penyinaran ultraviolet sudut kontak permukaan isolator semakin berkurang

Sambungan Tabel 4

9.	Valdi Rizki, Nurhatsiyah (2012)	Fenomena <i>Flashover</i> Akibat Arus Bocor Pada Isolator Keramik Dan Resin Epoksi	- <i>Flashover</i> - Arus bocor - Sudut kontak	- Keramik lebih mudah bereaksi dengan molekul air dibandingkan dengan resin epoksi - Resin epoksi lebih sulit bereaksi dengan molekul garam
10.	Isaias Ramirez, Ramiro Hernandez (2019)	<i>Accelerated Ageing Test Of Non- Ceramic Insulators Using Solid Layer Method</i>	- Tingkat polutan - <i>Flashover</i> - Arus bocor	- Semakin tinggi tingkat pengotoran permukaan isolator maka penuaan akan terjadi lebih cepat seperti timbulnya arus bocor.

Adapun perbedaan dari penelitian kali ini menggunakan material *silicon rubber RTV 683*, yang dimana berbeda dengan penelitian sebelumnya yang terdapat pada tabel, menggunakan tiga buah jenis campuran bahan pengisi yaitu SiO₂ (Silikon Dioksida), TiO₂ (Titanium Dioksida), dan ATH (Aluminium Hidroksida). Kemudian dari segi konsentrasi *filler* yang ditambahkan kepada material *silicon rubber RTV 683* pada penelitian ini terdiri dari 5%, 10%, 15%, dan 20%. Untuk ukuran dari *filler* yang digunakan pada penelitian kali ini terdiri dari dua jenis, yaitu mikro dan nano-*filler*.

Kemudian dari segi metode yang digunakan seperti *treatment* yang diberikan yaitu dengan menggunakan sinar UVa dan pelapisan kaolin pada permukaannya. Untuk tebal kaolin yang diberikan pada permukaan sampel pada penelitian kali ini adalah setebal 2 milimeter. Selain itu, pada penelitian kali ini menggunakan tiga buah lampu UVa berjenis TL, lampu ini akan memancarkan sinar radiasi UVa yang akan menjadi bagian dari *treatment* sinar UVa ditambah dengan polutan kaolin.