

SKRIPSI

**STUDI DIFUSI AIR TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK
DAN KEKUATAN DIELEKTRİK ISOLATOR POLİMER
TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI
KOMPOSISI *FILLER***

Disusun dan diajukan oleh:

SINTA KRISTIANI

D041 19 1016



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI DIFUSI AIR TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DAN KEKUATAN DIELEKTRİK ISOLATOR POLİMER TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI KOMPOSISI *FILLER*

Disusun dan diajukan oleh



Sinta Kristiani

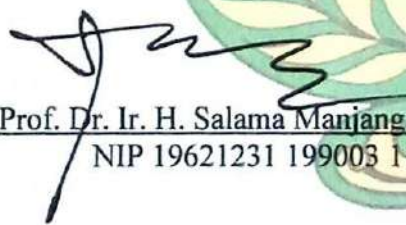
D041 19 1016

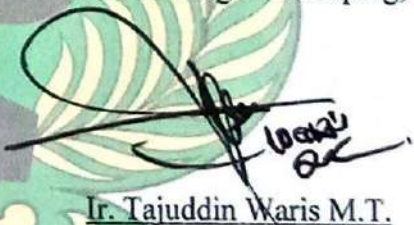
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 14 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Pembimbing Pendamping,


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


Ir. Tajuddin Waris M.T.
NIP 19650424 199203 1 003

Ketua Program Studi,




Eng. Ir. Dewiani, M.T. IPM
NIP 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sinta Kristiani
NIM : D041191016
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**STUDI DIFUSI AIR TERHADAP SIFAT HIDROFOBİK DAN
KEKUATAN DIELEKTRİK ISOLATOR POLİMER TEGANGAN TINGGI
DENGAN VARIASI KOMPOSISI *FILLER***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil 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, 16 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Sinta Kristiani

ABSTRAK

SINTA KRISTIANI. *STUDI DIFUSI AIR TERHADAP SIFAT HIDROFOBIAK DAN KEKUATAN DIELEKTRIK ISOLATOR POLIMER TEGANGAN TINGGI DENGAN VARIASI KOMPOSISI FILLER* (dibimbing oleh Salama Manjang dan

Tajuddin Waris)

Listrik merupakan salah satu kebutuhan mendasar dengan permintaan yang terus mengalami peningkatan. Penyaluran energi listrik, pada saluran udara tegangan tinggi, penghantar melekat pada tiang transmisi dengan isolator yang berfungsi untuk menahan beban kawat dan mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus. Saat ini, terdapat beberapa jenis isolator digunakan yaitu isolator porselen, kaca dan polimer. Porselen dan kaca memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap panas dari aktivitas pelepasan listrik namun mudah basah sehingga harus memiliki jarak kebocoran yang cukup untuk mempertahankan kinerjanya. Isolator polimer lebih mudah mengalami kerusakan oleh panas akan tetapi memiliki sifat hidrofobik sehingga terus dikembangkan penelitian pada isolator ini untuk meningkatkan performanya. Daerah dengan tingkat kelembaban dan curah hujan yang tinggi akan mempengaruhi kinerja dari isolator listrik dimana meningkatkan risiko penetrasi air ataupun terpapar air dalam jumlah besar sehingga dapat menyebabkan proses penyerapan dan difusi air ke dalam isolator, yang mana kecepatan penyerapan maupun difusi air tersebut akan bergantung pada bahan pengisi isolator, kelembaban udara dan temperatur sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari perlakuan difusi air terhadap sifat hidrofobik dan kekuatan dielektrik sampel isolator serta untuk mengetahui gugus fungsi pada isolator polimer sebelum dan setelah diberi perlakuan difusi. Pada penelitian ini, dilakukan perendaman sampel isolator pada suhu ruang, suhu 50°C, dan suhu 70°C. Sampel dibuat dari *silicone rubber* RTV 683 dengan filler SiO₂, ATH dan TiO₂. Parameter uji meliputi persentase penyerapan air, sudut kontak, permitivitas relatif, resistivitas, tegangan *flashover*, tegangan tembus, dan FTIR. Dalam menganalisis data sudut kontak digunakan *software* ImageJ, sedangkan analisis FTIR menggunakan *software* OriginPro 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu perendaman dan konsentrasi *filler* cenderung menyebabkan peningkatan penyerapan air dan permitivitas relatif serta menurunkan nilai resistivitas pada sampel terutama pada sampel SR-A4 dan SR-C4. Sedangkan sampel dengan performa terbaik ditunjukkan pada sampel dengan konsentrasi yang lebih kecil, seperti SR-A1, SR-B1, SR-B2, SR-C1 dan SR-D1. Pada suhu yang lebih tinggi, terutama pada suhu 50°C dan suhu 70°C menyebabkan kecenderungan sampel tidak mengalami *flashover*. Tegangan tembus yang diperoleh juga sangat kecil hingga hanya 2 kV/mm. Sampel menunjukkan perubahan beberapa senyawa pada sampel sebelum dan setelah perlakuan, terutama pada gugus OH.

Kata kunci : Difusi air, Hidrofobik, Dielektrik, FTIR.

ABSTRACT

SINTA KRISTIANI. *STUDY OF WATER DIFFUSION ON HYDROPHOBIC PROPERTIES AND DIELECTRIC STRENGTH OF HIGH VOLTAGE POLYMER INSULATORS WITH VARYING FILLER COMPOSITION* (supervised by Salama Manjang and Tajuddin Waris)

Electricity is one of the basic needs with demand continuing to increase. Electrical energy distribution, in high-voltage aerial lines, conductors are attached to transmission poles with insulators that function to withstand wire loads and isolate lines that are in tension with towers or channels with channels so that current leakage does not occur. Currently, there are several types of insulators used, namely porcelain, glass and polymer insulators. Porcelain and glass have very high resistance to heat from electrical discharge activities but get wet easily so they must have sufficient leakage distance to maintain their performance. Polymer insulators are more susceptible to heat damage but have hydrophobic properties so research continues to be developed on these insulators to improve their performance. Areas with high levels of humidity and rainfall will affect the performance of the electrical insulator which increases the risk of water penetration or exposure to large amounts of water so that it can cause the process of absorption and diffusion of water into the insulator, where the speed of absorption and diffusion of water will depend on the insulator filler material, air humidity and ambient temperature. This study aims to determine the impact of water diffusion treatment on the hydrophobic properties and dielectric strength of insulator samples as well as to determine the functional groups in polymer insulators before and after diffusion treatment. In this study, insulator samples were immersed at room temperature, 50°C, and 70°C. The sample was made from RTV 683 silicone rubber with SiO₂, ATH and TiO₂ fillers. The test parameters include water absorption percentage, contact angle, relative permittivity, resistivity, flashover voltage, breakdown voltage, and FTIR. In analyzing contact angle data, ImageJ software is used, while FTIR analysis uses OriginPro 2024 software. The results showed that the increase in immersion temperature and filler concentration tended to lead to an increase in water absorption and relative permittability and decreased the resistivity value in the samples, especially in the SR-A4 and SR-C4 samples. Meanwhile, the samples with the best performance were shown in samples with smaller concentrations, such as SR-A1, SR-B1, SR-B2, SR-C1 and SR-D1. At higher temperatures, especially at 50°C and 70°C, the sample tends not to experience flashover. The breakdown voltage obtained is also very small to only 2 kV/mm. The sample showed changes in some compounds in the sample before and after treatment, especially in the OH group.

Keywords : Water diffusion, Hydrophobic, Dielectric, FTIR.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Isolator.....	6
2.2 Isolator Polimer.....	7
2.3 <i>Silicone rubber</i>	9
2.4 Difusi Air.....	13
2.5 Pengujian Karakteristik Isolator.....	15
2.5.1 Pengujian Sifat Hidrofobik	15
2.5.2 Pengujian Sifat Dielektrik.....	16
2.6 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	21
2.7 Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	22
2.7.1 SiO ₂ (Silikon Dioksida).....	22
2.7.2 ATH (Alumina Trihidrat).....	24
2.7.3 TiO ₂ (Titanium Dioksida).....	25
2.8 Penelitian yang Relevan.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	28
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	28

3.2.1 Alat penelitian	28
3.2.2 Bahan penelitian.....	32
3.3 Spesifikasi Partikel Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	33
3.4 Jenis Pengambilan Data	34
3.4.1 Data primer.....	34
3.4.2 Data sekunder.....	34
3.5 Variasi Pengujian.....	34
3.5 Komposisi Sampel Uji	34
3.6 Parameter Observasi.....	35
3.7 Prosedur Penelitian.....	35
3.8 Diagram Alur Penelitian.....	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Data Berat Harian Sampel Isolator RTV 683	41
4.1.1 Data persentase penyerapan air pada suhu ruang.....	41
4.1.2 Data persentase penyerapan air pada suhu 50°C	46
4.1.3 Data persentase penyerapan air pada suhu 70°C	51
4.2 Data Sudut Kontak Sampel Isolator RTV 683	57
4.2.1 Data sudut kontak pada suhu ruang	58
4.2.2 Data sudut kontak pada suhu 50°C	62
4.2.3 Data sudut kontak pada Suhu 70°C.....	66
4.3 Data Permittivitas Relatif Sampel Isolator RTV 683	71
4.3.1 Data permitivitas relatif pada suhu ruang	72
4.3.2 Data permitivitas relatif pada suhu 50°C	77
4.3.3 Data permitivitas relatif pada suhu 70°C	81
4.4 Data Resistivitas Sampel Isolator RTV 683.....	86
4.4.1 Data resistivitas permukaan sampel isolator RTV 683	86
4.4.2 Data resistivitas volume sampel isolator RTV 683	102
4.5 Data Tegangan <i>Flashover</i>	116
4.6 Data Tegangan Tembus (<i>Breakdown</i>)	120
4.7 Perbandingan Data FTIR.....	124
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	135
5.1 Kesimpulan	135
5.2 Saran.....	135
DAFTAR PUSTAKA	136
LAMPIRAN.....	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Struktur ikatan kimia polyethylene	8
Gambar 2 Ikatan berulang dari <i>silicon rubber</i> (Polydimethyl Siloxane).....	10
Gambar 3 Pengukuran sudut kontak	15
Gambar 4 Pengujian sudut kontak	16
Gambar 5 Kegagalan Isolator.....	20
Gambar 6 Struktur kimia SiO ₂	24
Gambar 7 Struktur kimia ATH	24
Gambar 8 Struktur kimia TiO ₂	25
Gambar 9 Diagram alur penelitian	40
Gambar 10 Berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu ruang	41
Gambar 11 Persentase penyerapan air SR-A pada suhu ruang	42
Gambar 12 Persentase penyerapan air SR-B pada suhu ruang	43
Gambar 13 Persentase penyerapan air SR-C pada suhu ruang	44
Gambar 14 Persentase penyerapan air SR-D pada suhu ruang	44
Gambar 15 Persentase penyerapan air SR-ID dan SR-NF pada suhu ruang.....	45
Gambar 16 Berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu 50°C	47
Gambar 17 Persentase penyerapan air SR-A pada suhu 50°C	48
Gambar 18 Persentase penyerapan air SR-B pada suhu 50°C	48
Gambar 19 Persentase penyerapan air SR-C pada suhu 50°C	49
Gambar 20 Persentase penyerapan air SR-D pada suhu 50°C	50
Gambar 21 Persentase penyerapan air SR-ID dan SR-NF pada suhu 50°C.....	50
Gambar 22 Berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu 70°C	52
Gambar 23 Persentase penyerapan air SR-A pada suhu 70°C	53
Gambar 24 Persentase penyerapan air SR-B pada suhu 70°C	53
Gambar 25 Persentase penyerapan air SR-C pada suhu 70°C	54
Gambar 26 Persentase penyerapan air SR-D pada suhu 70°C	55
Gambar 27 Persentase penyerapan air SR-ID dan SR-NF pada suhu 70°C.....	55
Gambar 28 Pengaruh suhu terhadap persentase penyerapan air	56
Gambar 29 Sudut kontak SR-A pada suhu ruang	58
Gambar 30 Sudut kontak SR-B pada suhu ruang	58
Gambar 31 Sudut kontak SR-C pada suhu ruang	59
Gambar 32 Sudut kontak SR-D pada suhu ruang	60
Gambar 33 Sudut kontak SR-ID dan SR-NF pada suhu ruang.....	60
Gambar 34 Sudut kontak SR-A pada suhu 50°C.....	62
Gambar 35 Sudut kontak SR-B pada suhu 50°C.....	63
Gambar 36 Sudut kontak SR-C pada suhu 50°C.....	64
Gambar 37 Sudut kontak SR-D pada suhu 50°C	64
Gambar 38 Sudut kontak SR-ID dan SR-NF pada suhu 50°C	65
Gambar 39 Sudut kontak SR-A pada suhu 70°C.....	66
Gambar 40 Sudut kontak SR-B pada suhu 70°C.....	67
Gambar 41 Sudut kontak SR-C pada suhu 70°C.....	68
Gambar 42 Sudut kontak SR-D pada suhu 70°C	69
Gambar 43 Sudut kontak SR-ID dan SR-NF pada suhu 70°C.....	70
Gambar 44 Permittivitas relatif SR-A pada suhu ruang.....	72
Gambar 45 Permittivitas relatif SR-B pada suhu ruang.....	73

Gambar 46 Permittivitas relatif SR-C pada suhu ruang.....	74
Gambar 47 Permittivitas relatif SR-D pada suhu ruang.....	75
Gambar 48 Permittivitas relatif SR-ID dan SR-NF pada suhu ruang.....	76
Gambar 49 Permittivitas relatif SR-A pada suhu 50°C.....	77
Gambar 50 Permittivitas relatif SR-B pada suhu 50°C.....	78
Gambar 51 Permittivitas relatif SR-C pada suhu 50°C.....	79
Gambar 52 Permittivitas relatif SR-D pada suhu 50°C.....	79
Gambar 53 Permittivitas relatif SR-ID dan SR-NF pada suhu 50°C.....	80
Gambar 54 Permittivitas relatif SR-A pada suhu 70°C.....	82
Gambar 55 Permittivitas relatif SR-B pada suhu 70°C.....	82
Gambar 56 Permittivitas relatif SR-C pada suhu 70°C.....	83
Gambar 57 Permittivitas relatif SR-D pada suhu 70°C.....	84
Gambar 58 Permittivitas relatif SR-ID dan SR-NF pada suhu 70°C.....	85
Gambar 59 Resistivitas permukaan SR-A pada suhu ruang.....	87
Gambar 60 Resistivitas permukaan SR-B pada suhu ruang.....	88
Gambar 61 Resistivitas permukaan SR-C pada suhu ruang.....	89
Gambar 62 Resistivitas permukaan SR-D pada suhu ruang.....	90
Gambar 63 Resistivitas permukaan SR-ID dan SR-NF pada suhu ruang.....	90
Gambar 64 Resistivitas permukaan SR-A pada suhu 50°C.....	92
Gambar 65 Resistivitas permukaan SR-B pada suhu 50°C.....	93
Gambar 66 Resistivitas permukaan SR-C pada suhu 50°C.....	94
Gambar 67 Resistivitas permukaan SR-D pada suhu 50°C.....	95
Gambar 68 Resistivitas permukaan SR-ID dan SR-NF pada suhu 50°C.....	96
Gambar 69 Resistivitas permukaan SR-A pada suhu 70°C.....	97
Gambar 70 Resistivitas permukaan SR-B pada suhu 70°C.....	98
Gambar 71 Resistivitas permukaan SR-C pada suhu 70°C.....	99
Gambar 72 Resistivitas permukaan SR-D pada suhu 70°C.....	100
Gambar 73 Resistivitas permukaan SR-ID dan SR-NF pada suhu 70°C.....	101
Gambar 74 Resistivitas volume SR-A pada suhu ruang.....	102
Gambar 75 Resistivitas volume SR-B pada suhu ruang.....	103
Gambar 76 Resistivitas volume SR-C pada suhu ruang.....	104
Gambar 77 Resistivitas volume SR-D pada suhu ruang.....	105
Gambar 78 Resistivitas volume SR-ID dan SR-NF pada suhu ruang.....	106
Gambar 79 Resistivitas volume SR-A pada suhu 50°C.....	107
Gambar 80 Resistivitas volume SR-B pada suhu 50°C.....	108
Gambar 81 Resistivitas volume SR-C pada suhu 50°C.....	109
Gambar 82 Resistivitas volume SR-D pada suhu 50°C.....	109
Gambar 83 Resistivitas volume SR-ID dan SR-NF pada suhu 50°C.....	110
Gambar 84 Resistivitas volume SR-A pada suhu 70°C.....	111
Gambar 85 Resistivitas volume SR-B pada suhu 70°C.....	112
Gambar 86 Resistivitas volume SR-C pada suhu 70°C.....	113
Gambar 87 Resistivitas volume SR-D pada suhu 70°C.....	114
Gambar 88 Resistivitas volume SR-ID dan SR-NF pada suhu 70°C.....	115
Gambar 89 Tegangan flashover RTV 683.....	117
Gambar 90 Tegangan breakdown RTV 683.....	121
Gambar 91 Spektrum Infrared sampel SR-A.....	125
Gambar 92 Spektrum Infrared sampel SR-B.....	127
Gambar 93 Spektrum Infrared sampel SR-C.....	129

Gambar 94 Spektrum Infrared sampel SR-D.....	131
Gambar 95 Spektrum Infrared sampel SR-ID dan SR-NF.....	133

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penelitian yang relevan	26
Tabel 2 Alat penelitian	28
Tabel 3 Bahan Penelitian.....	32
Tabel 4 Spesifikasi Partikel Filler	33
Tabel 5 Komposisi bahan uji.....	35
Tabel 6 Data tegangan <i>flashover</i> RTV 683 sebelum dan setelah diberi perlakuan	116
Tabel 7 Data tegangan <i>breakdown</i> RTV 683 sebelum dan setelah diberi perlakuan	120
Tabel 8 Identifikasi gugus fungsi pada puncak serapan IR.....	124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu ruang	140
Lampiran 2 Data persentase penyerapan air sampel isolator RTV 683 pada suhu ruang.....	141
Lampiran 3 Data berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu 50°C	142
Lampiran 4 Data persentase penyerapan air sampel isolator RTV 683 pada suhu 50°C	143
Lampiran 5 Data berat harian sampel isolator RTV 683 pada suhu 70°C	144
Lampiran 6 Data persentase penyerapan air sampel isolator RTV 683 pada suhu 70°C	145
Lampiran 7 Data sudut kontak RTV 683 pada suhu ruang	146
Lampiran 8 Data sudut kontak RTV 683 pada suhu 50°C	147
Lampiran 9 Data sudut kontak RTV 683 pada suhu 70°C	148
Lampiran 10 Data permitivitas relatif RTV 683 pada suhu ruang	149
Lampiran 11 Data permitivitas relatif RTV 683 pada suhu 50°C	150
Lampiran 12 Data permitivitas relatif pada suhu 70°C.....	151
Lampiran 13 Data resistivitas permukaan RTV 683 pada suhu ruang.....	152
Lampiran 14 Data resistivitas permukaan RTV 683 pada suhu 50°C.....	153
Lampiran 15 Data resistivitas permukaan RTV 683 pada suhu 70°C.....	154
Lampiran 16 Data resistivitas volume RTV 683 pada suhu ruang.....	155
Lampiran 17 Data resistivitas volume RTV 683 pada suhu 50°C	156
Lampiran 18 Data resistivitas volume RTV 683 pada suhu 70°C	157
Lampiran 19 Data <i>virgin</i> suhu ruang.....	158
Lampiran 20 Data <i>virgin</i> suhu 50°C.....	159
Lampiran 21 Data <i>virgin</i> suhu 70°C.....	160
Lampiran 22 Data harian (<i>after treatment</i>) pada suhu ruang	161
Lampiran 23 Data harian (<i>after treatment</i>) pada suhu 50°C	173
Lampiran 24 Data harian (<i>after treatment</i>) pada suhu 70°C	185
Lampiran 25 Data tegangan <i>flashover</i> dan <i>breakdown</i> sampel <i>virgin</i>	197
Lampiran 26 Data tegangan <i>flashover</i> dan <i>breakdown</i> sampel setelah perlakuan difusi air pada suhu ruang, 50°C, dan 70°C	198
Lampiran 27 Data FTIR pada sampel <i>virgin</i>	199
Lampiran 28 Data FTIR pada sampel yang telah diberi perlakuan	217
Lampiran 29 Dokumentasi pengambilan data.....	235

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Studi Difusi Air Terhadap Sifat Hidrofobik dan Kekuatan Dielektrik Isolator Polimer Tegangan Tinggi dengan Variasi Komposisi *Filler* ini dengan baik. Tanpa penyertaan dan kasih Tuhan, penulis tidak bisa berada saat ini, dengan segala kekurangan dan keterbatasan yang penulis miliki. Seperti mazmur Daud, Ia membaringkan aku di padang yang berumput hijau, Ia membimbing aku ke air yang tenang; Ia menyegarkan jiwaku, demikian kasih dan bimbingan-Nya senantiasa menyertai penulis hingga saat ini.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi S1 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Selama proses perkuliahan dan penelitian tugas akhir ini, penulis mendapat banyak pengalaman, bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis (Demmangiring dan Anthomina Demmatande) menjadi rumah ternyaman yang selalu memberikan dorongan, do'a dan dukungan terbesar kepada penulis. Menjadi tempat yang hangat bagi penulis dan saudara-saudara penulis dan menjadikan rumah sebagai lingkungan yang positif bagi kami bertumbuh.
2. Saudara penulis (Ayu Hartina, Hans Boy, Yusniati, Yusnita dan Yahya) yang selalu peduli kepada penulis bahkan dalam hal-hal kecil. Selalu mendukung dalam hal-hal positif yang penulis kerjakan yang mendorong penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPM selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T selaku pembimbing II yang senantiasa sabar dalam membimbing dan selalu memberikan dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Mustamin, S.T, M.T., yang memberikan banyak arahan dan ilmu kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini dan kak Reinhardt Ramadhan selaku Laboran TTT yang selalu membantu penulis dalam memastikan alat laboratotium baik digunakan untuk pengambilan data tugas akhir penulis.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta staf Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan.
7. Jaemshon menjadi teman sekaligus sahabat bagi penulis yang selalu mendukung dan memberi rasa peduli. Menjadi tempat nyaman bagi penulis untuk berbagi cerita, selalu memberi bantuan dan dorongan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. Zilpani Ro'ren Salili yang menjadi teman dan saudara penulis. Selalu membantu, memberi dukungan dan mengajari penulis mulai awal perkuliahan hingga saat ini selalu mendorong penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir bersama.
9. Teman-teman kos (Bela, Inda, Yuli, Zilpa) yang mendukung dan selalu ingin yang terbaik bagi penulis, tempat berbagi cerita dan pengalaman, dan selalu mendukung hal-hal positif yang penulis lakukan.
10. Teman-teman (Novita, Cyntika, Merianty, Lidya) menjadi tempat berbagi cerita meskipun sudah jarang berkumpul bersama dan selalu menyebarkan *vibes* positif serta mendorong penulis untuk semakin produktif.
11. Teman-teman lab riset terkhusus Christian Edward, Richard Septian Sampe, Riskal Toding dan Zilpani Ro'ren Salili yang selalu menemani, mendorong dan membantu penulis hingga selesainya tugas akhir ini.
12. Saudara "Keluarga Cemara Bahagia" dan "PPK" (Ayu, Gege, Roy, Sultan, Tandi, Vidal, dan Zilpa) selalu memberi rasa simpati, saling menguatkan ketika merasa gundah dalam kepanitiaan. Menjadi tempat berbagi cerita, tawa dan tingkah-tingkah lucu yang menjadi sumber humor bagi penulis.

13. Teman-teman “Mizka Family” (Ayu, Briel, Dennis, Edo, Fitman, Gabriel, Jefri, Jendri, Juan, Richard, Riskal dan Zilpa) yang menjadi rumah dan saudara penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
14. Teman Posko KKN “AKAMSI SANANE” (Feren, Nuris dan Taufiq) atas kebersamaan selama mengikuti kegiatan KKN di Pulau Sanane. Banyak pengalaman baru yang penulis alami dan rasakan selama ber-KKN bersama.
15. Teman-teman (Amriasty, Nuriqrima, Nur Isnun, Kurniawati, dan Zilpani) menjadi teman penulis dari masa awal perkuliahan yang selalu memberikan dukungan dan mengajar penulis dalam memahami materi mata kuliah.
16. Rekan-rekan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan yang menemani penulis selama proses riset dan kegiatan praktikum tegangan tinggi.
17. Keluarga Cynosure, Cornerstone, dan Ground yang memberikan warna dan pengalaman baru kepada penulis selama menjalani kepanitiaan di KMKO Teknik maupun di KMKO Elektroteknik.
18. Teman-teman angkatan 2019 Teknik Elektro “Tr19ger” atas pengalaman, kebersamaan, dukungan dan bantuan kepada penulis selama proses perkuliahan.
19. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini, masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan tugas akhir ini. Kiranya tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi serta manfaat bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang isolator polimer tegangan tinggi.

Gowa, 16 Agustus 2024

Penulis

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju pertumbuhan ekonomi serta perkembangan dalam bidang industri dan teknologi, pembangunan infrastruktur dan fasilitas umum, pemenuhan kebutuhan akses listrik secara menyeluruh pada beberapa wilayah terpencil dan pedesaan, serta pertambahan jumlah penduduk adalah beberapa faktor yang sangat berkontribusi besar dalam kebutuhan listrik, dimana akan semakin besar permintaan energi listrik untuk mendukung aktivitas ekonomi, industri dan konsumsi rumah tangga itu sendiri. Listrik mengambil peran besar dan merupakan salah satu kebutuhan mendasar dalam kehidupan manusia.

Berdasarkan data PLN tahun 2022, total panjang jaringan transmisi pada akhir tahun 2022 mencapai 68.205,81 km, yang terdiri atas jaringan 500 kV sepanjang 6.970,92 km, jaringan 275 kV sepanjang 3.828,11 km, jaringan 150 kV sepanjang 51.395,60 km, jaringan 70 kV sepanjang 5.910,21 km dan jaringan 25 & 30 kV sepanjang 100,95 km. Total panjang jaringan distribusi sepanjang 1.033.662,09 km, terdiri atas JTM sepanjang 430.509,15 km dan JTR sepanjang 603.152,94 km (PT PLN (PERSERO), n.d.). Dari data tersebut tampak bahwa kebutuhan dan permintaan akan energi listrik terus mengalami peningkatan. Sehingga untuk memenuhi permintaan energi listrik yang semakin besar tersebut dibutuhkan penyaluran tenaga listrik yang baik dan handal. Dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit ke beban sebagian besar dilakukan melalui saluran udara yang mana memiliki jarak yang cukup jauh, mencapai ratusan atau ribuan kilometer untuk bisa mencapai beban. Sehingga, dibutuhkan saluran transmisi untuk mengurangi rugi-rugi jaringan dengan menggunakan tegangan tinggi. Pada saluran udara tegangan tinggi tersebut, penghantar akan melekat pada penopang atau tiang transmisi. Secara mekanik, isolator berfungsi untuk menahan beban kawat saluran udara, secara elektrik mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus, lompatan listrik baik lewat denyar (*flashover*) atau percikan (*sparkover*). Oleh karena itu, diperlukan keandalan isolator yang baik dalam mengisolasi listrik tegangan tinggi tersebut. Saat ini, ada beberapa jenis material isolator yang digunakan dalam jalur transmisi

yaitu jenis porselen (keramik), kaca (gelas) dan polimer. Jenis isolator keramik dan kaca dikenal tahan terhadap degradasi oleh unsur-unsur alam selama bertahun-tahun. Dimana bahan ini memiliki titik leleh diatas 1500°C. Oleh karena itu, kedua jenis material isolator ini memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap panas dari aktivitas pelepasan listrik dalam bentuk busur api, ataupun korona. Akan tetapi, kedua jenis material isolator ini mudah basah oleh air sehingga isolator ini harus memiliki jarak kebocoran yang cukup untuk mempertahankan kinerjanya dalam kondisi basah. Sedangkan untuk jenis material polimer lebih mudah mengalami kerusakan oleh panas dari aktivitas pelepasan energi listrik sehingga isolator jenis ini dapat mengalami penurunan sifat listrik dan mekanik dari waktu ke waktu. Semua jenis material isolator akan mengalami penuaan, akan tetapi pada tingkat yang berbeda. Pada material polimer, penuaan akan lebih sering dijumpai dibandingkan dengan jenis material isolator lain. Kelebihan yang dimiliki oleh isolator polimer ini yaitu sifat penolak air atau yang dinamakan hidrofobitas (Shea, 2005).

Kondisi geografis di Indonesia mempengaruhi iklim yang ada yaitu iklim tropis dimana iklim ini memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, serta memiliki curah hujan yang tinggi. Dengan keadaan tersebut akan mempengaruhi kinerja dari isolator itu sendiri. Kelembaban yang tinggi akan meningkatkan risiko penetrasi air, sedangkan curah hujan yang tinggi akan menyebabkan isolator terpapar air dalam jumlah yang besar sehingga dapat menyebabkan proses penyerapan dan difusi air pada isolator, yang mana kecepatan penyerapan maupun difusi air tersebut akan bergantung pada bahan pengisi dari isolator, kelembaban udara dan temperatur sekitar.

Secara umum, molekul air berdifusi ke dalam struktur polimer dan tinggal di dalam struktur polimer dalam bentuk air bebas dan air terikat. Air bebas biasanya tinggal di dalam *void* mikro, sedangkan air terikat berinteraksi dengan atom/molekul reaktif untuk berikatan secara Van der Waals atau hidrogen. Proses difusi air kedalam polimer dapat mengikuti hukum kedua Fick dan dapat pula menyimpang, hal tersebut tergantung pada beberapa faktor seperti struktur polimer, suhu penyerapan, dan ketebalan polimer. Difusi air pada polimer dengan struktur

yang tidak homogen, pada suhu penyerapan tinggi dan pada polimer tipis cenderung menyimpang dari hukum Fick (Sugiman dkk., 2015).

Pengembangan dan penelitian mengenai isolator polimer ini terus dilakukan dengan tujuan meningkatkan keandalan, daya tahan dan performa dari isolator polimer itu sendiri dengan berbagai macam *filler* atau bahan pengisi. Merujuk pada penelitian sebelumnya yakni penelitian yang dilakukan oleh Satrianto Magu'ga (2023) mengenai pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material elastomer silikon, dengan parameter uji yakni sudut kontak, permitivitas relatif serta berat sampel saat diberi perlakuan difusi air. Peneliti saat ini ingin mengembangkan penelitian serupa dengan objek penelitian dan parameter uji yang lebih beragam sehingga dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan terkait kinerja dan performa isolator polimer terhadap sifat dielektrik serta sifat hidrofobiknya dengan perlakuan (*treatment*) difusi air dengan bahan pengisi (*filler*) yaitu SiO₂(Silikon Dioksida), ATH (Alumina Trihidrat) dan TiO₂ (Titanium Dioksida). Untuk parameter unjuk kerja material yang diamati adalah berat, sudut kontak, permitivitas relatif, resistivitas, tegangan *flashover* dan tegangan tembus, serta FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana performa sifat hidrofobik dan kekuatan dielektrik isolator polimer yang diberi perlakuan difusi air?
2. Bagaimana perubahan gugus fungsi pada isolator polimer sebelum dan setelah diberi perlakuan difusi air.?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui performa sifat hidrofobik dan kekuatan dielektrik isolator polimer yang diberi perlakuan difusi air.
2. Mengetahui perubahan gugus fungsi pada isolator polimer sebelum dan setelah diberi perlakuan difusi air.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Bagi pihak industri sebagai masukan atas perbandingan kinerja dan performa isolator polimer yang diproduksi sebelumnya dengan isolator polimer dengan *filler* baru yang diteliti.
2. Bagi pihak PLN, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai data perbandingan ataupun masukan dalam pemilihan penggunaan isolator tegangan tinggi.
3. Bagi peneliti, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai penambah wawasan dan pengalaman praktis dalam pembuatan dan pengujian isolator polimer.
4. Memberikan informasi mengenai pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik dan hidrofobik dari isolator polimer dengan beberapa variasi komposisi *filler*.
5. Memberikan informasi dan referensi sebagai kerangka acuan untuk pengembangan penelitian isolator polimer berikutnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
2. Objek penelitian yang digunakan adalah sampel uji isolator polimer dengan material *Silicon Rubber* RTV 683, dengan variasi campuran *filler* SiO₂, ATH dan TiO₂ serta sampel non *filler* dan sampel uji isolator polimer industri sebagai pembanding.
3. Penelitian ini membahas tentang sifat hidrofobik, kekuatan dielektrik serta perubahan gugus fungsi sampel isolator sebelum dan setelah diberi perlakuan difusi air.
4. Suhu pengujian untuk perlakuan difusi air pada sampel yakni suhu ruang, 50°C dan 70°C.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi rancangan penelitian, waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, Jenis pengambilan data, variasi pengujian, komposisi sampel uji, parameter observasi, *treatment* difusi air pada sampel pengujian, dan prosedur penelitian yang membahas tentang metode yang dilakukan untuk memperoleh data yang sesuai dengan topik penelitian serta terdapat diagram alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pengolahan data dan analisis yang diperoleh pada beberapa parameter yang telah diuji serta pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian serupa selanjutnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektrik antara kawat dengan penopang kawat maupun dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik. Hal yang perlu diambil untuk menghindarkan terjadinya kerusakan terhadap peralatan listrik akibat tegangan lebih dan loncatan bunga api, ialah dengan menentukan pemakaian isolator berdasarkan kekuatan daya isolasi dan kekuatan mekanis bahan-bahan isolator yang dipakai. Karena sifat suatu isolator ditentukan oleh bahan yang digunakan kemampuan suatu bahan untuk mengisolir atau menahan yang mengenainya tanpa menjadikan cacat atau rusak tergantung pada kekuatan dielektriknya.

Fungsi utama isolator yaitu :

1. Sebagai penyekat untuk mengisolasi penghantar dengan tanah dan antar penghantar dengan penghantar.
2. Untuk memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat penghantar atau gaya tarik penghantar.
3. Untuk menjaga agar jarak antar penghantar tetap (tidak berubah).

Kriteria bahan yang baik digunakan sebagai isolator jaringan distribusi yaitu :

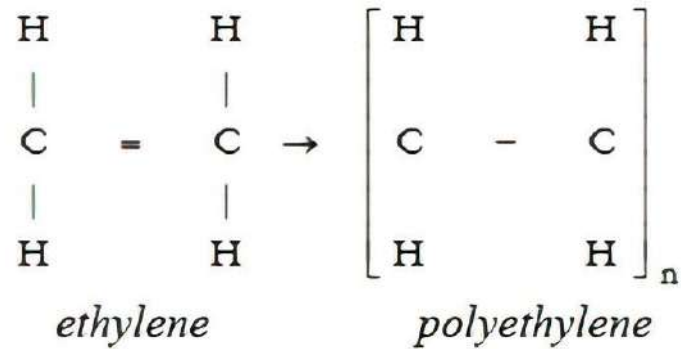
1. Bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik
2. Bahan isolasi ekonomis, tanpa mengurangi kemampuannya sebagai isolator. Sebab semakin berat dan besar ukuran isolator tersebut akan mempengaruhi beban penyangga pada sebuah tiang listrik.
3. Bahan yang terbuat dari bahan padat, dan memiliki kekuatan mekanis tinggi seperti : porselin, gelas mika, ebonit, keramik, parafin, kuartz, dan veldspaat.
4. Mempunyai tahanan jenis yang tinggi.

5. Memiliki kekuatan mekanis yang tinggi.
6. Memiliki sifat-sifat tidak berubah oleh perubahan suhu, siraman air, kelembaban, sinar matahari, polaritas listrik.
7. Bila mengalami loncatan listrik tidak akan meninggalkan jejak atau cacat (Jumari dkk., 2020).

Isolator memiliki beberapa media isolasi, yaitu bahan padat, bahan cair dan bahan gas. Isolasi padat biasanya digunakan pada sistem yang terletak diluar dan mempunyai *space* yang luas. Aplikasi isolator padat diantaranya isolator pada tiang-tiang jaringan distribusi dan transmisi, isolator pada trafo sebagai pemisah bagian bertegangan dengan tangki trafo. Bahan isolasi padat yang selama ini digunakan yaitu bahan porselin atau keramik dan kaca. Sekarang ini telah mulai dikembangkan bahan isolasi padat dari jenis polimer. Isolasi padat digunakan secara luas dalam peralatan sistem tenaga listrik, terutama untuk isolator pasangan luar. Oleh karena itu, bahan dielektrik pada isolator pasangan luar harus memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan tidak dipengaruhi oleh kondisi sekitarnya. Bahan seperti porselin memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, namun dari segi mekanik, isolator berbahan dasar porselin memiliki beban yang cukup berat. Sedangkan isolator berbahan gelas memiliki sifat higroskopis pada permukaan isolator, hal ini dikarenakan adanya larutan alkali dalam komposisi gelas, sehingga konduktifitas isolator menjadi lebih besar. Kelebihannya yaitu dari segi ekonomi isolator gelas lebih murah dibanding isolator porselin. Untuk menyelesaikan masalah mekanis yang berat dari isolator porselin dan sifat higroskopis permukaan isolator gelas, maka sebagai alternatif dikembangkan bahan polimer (Heri & Syakur, 2012).

2.2 Isolator Polimer

Isolator polimer mempunyai struktur kimia terdiri atas molekul makro rantai panjang dengan ulangan unit monomer atau mer yang biasanya diberi nama awalan poly pada muka monomer, contoh monomer *ethylene* adalah monomer ulangan pada *polyethylene* seperti rumus kimia pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Struktur ikatan kimia polyethylene (Heri & Syakur, 2012)

Isolasi polimer secara umum dapat dibagi ke dalam dua kelompok :

1. Termoplastik (*Termoplastic Polymer*), terdiri dari ikatan fisika yang linear atau cabang molekul besar yang pada temperatur ruang atau sekeliling berbentuk padat dan akan berubah bentuknya pada temperatur lebih tinggi.
2. Termoset, pada temperatur ruang atau sekeliling berbentuk cair, dapat berbentuk padat melalui pengerasan dengan reaksi kimia antara komponen yang berbeda pada temperatur ruang. Setelah padat tidak dapat kembali cair (*irreversible*).

Polimer juga mempunyai ikatan-ikatan kimia di dalam rantai-rantai polimer selain mempunyai cabang-cabang. Ikatan ini diikat oleh molekul-molekul pendek, panjang atau bahkan molekul *polimeric* yang membentuk cabang-cabang yang berhubungan. Polimer terikat silang adalah satu molekul yang sangat besar dan mempunyai titik lebur di atas titik leburnya atau suhu transisi kaca. Ikatan silang diperoleh dengan beberapa cara berikut :

1. Pembentukan dengan katalis

Suatu katalis ditambahkan/dicampurkan ke dalam polimer, setelah pencampuran ini dibentuk sesuai cetakan tertentu, kemudian dipanaskan dan/atau diberi tekanan untuk membentuk reaksi ikatan silang. Pada beberapa kasus, katalis cukup reaktif sehingga reaksi dapat terjadi pada suhu kamar. Polimer yang tidak terikat silang dikenal sebagai *termoplastic*. Contoh *polyethylene*, *polypropylene* dan *poly (etheretherketone)*. Jenis polimer ini dapat dibentuk menjadi bentuk lain.

2. Pembentukan dengan radiasi

Prosesnya hanya dapat digunakan untuk menghasilkan ikatan silang. Prosesnya hanya dapat digunakan pada bahan tipis dan dapat menyebabkan degradasi lain seperti pengurangan panjang rantai. Teknik ini hanya dapat digunakan pada aplikasi terbatas, karena membutuhkan alat tambahan yang mahal.

3. Pembentukan dengan bahan pengeras

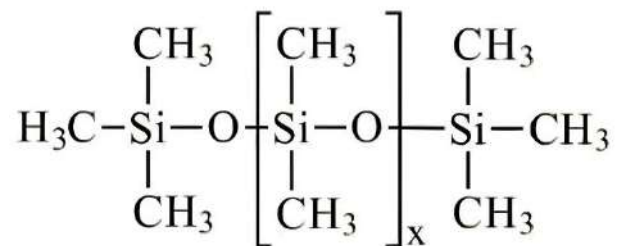
Pengeras kimia dapat ditambahkan untuk menghasilkan ikatan silang. Resin epoksi adalah keluarga dari *thermoset* polimer yang dua komponen dicampur untuk menghasilkan bahan seperti kaca sehingga akan mempunyai sifat isolasi listrik yang baik.

Suatu sistem polimer tersusun atas kristal-kristal padat yang mempunyai ikatan *interatomic* dan intermolekul yang diberikan oleh gaya dari hubungan antar atom dan antar molekul dari bahan. Ikatan *interatomic* dan intermolekul akan memberikan pengaruh terhadap kekuatan dari bahan. Ikatan *interatomic* akan memiliki gaya yang lebih besar daripada intermolekul. Tingkat pengkristalan akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan fisik dari bahan polimer. Sifat kristal juga akan menentukan apakah suatu bahan bersifat elastis atau kaku. *Silicone rubber* merupakan salah satu contoh bahan yang memiliki tingkat pengkristalan yang rendah, sehingga ikatan antar molekul akan cukup lemah, yang rentan terhadap terjadinya proses degradasi. Tetapi pada bahan *silicone rubber* memiliki ikatan silang sehingga akan dapat memperbaiki struktur ikatan pada rantai kimianya (Heri & Syakur, 2012).

2.3 Silicone rubber

Silicone rubber adalah elastomer (bahan mirip karet) yang terdiri dari silikon-silikon polimer itu sendiri mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. *Silicone rubber* banyak digunakan dalam industri, dan ada beberapa formulasi. *Silicone rubber* sering terdiri dari satu atau dua bagian polimer, dan mungkin berisi pengisi (*filler*) untuk meningkatkan sifat atau mengurangi biaya. *Silicone rubber* umumnya non-reaktif, stabil, dan tahan terhadap lingkungan yang ekstrim dan suhu dari -55°C sampai 300°C, dengan tetap mempertahankan sifat manfaatnya. Karena

sifat-sifat dan kemudahan manufaktur dan pembentukannya, *silicone rubber* dapat ditemukan dalam berbagai macam produk termasuk isolator tegangan tinggi .



Gambar 2 Ikatan berulang dari silicon rubber (Polydimethyl Siloxane) (Yuniarti & Afandi, 2012)

Silicone rubber merupakan bahan polimer yang tersusun dari monomer-monomer *cilcicsiloxane* yang membentuk *polydimethylsiloxane*. Secara kimia dituliskan dengan rumus $[\text{CH}_3\text{SiO}]_n$. Berdasarkan rumus kimia tersebut dapat terlihat pengulangan monomernya yang dinyatakan dengan derajat polimerisasi (n). Karet silikon memiliki berat molekul yang tinggi dan memiliki derajat polimerisasi antara 4.000 sampai 10.000. Satu atom silikon diperoleh dengan cara mereduksi SiO_2 dengan karbon melalui peristiwa pemanasan listrik. Reaksi reduksi tersebut adalah sebagai berikut:



Sedangkan untuk menggantikan silikon dengan methyl (CH_3) dilakukan dengan cara mereaksikan dengan methyl chlorida (CH_3SiCl_2). Selanjutnya dengan penguraian diperoleh dimethylchlorosilane (CH_2SiCl_2) atau methylchlorosilane. Kemudian dilakukan hidrolisis sampai dihasilkan silanol, dengan demikian unsur dasar penyusun *silicone rubber* sudah didapatkan. Melalui proses polycondensation dari unsur silanol maka akan terbentuk *silicone rubber*. 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 kontinu, 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.

Karet silikon merupakan bahan isolasi yang tahan terhadap suhu tinggi. Karet silikon dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. *High Temperature 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 Temperature Vulcanizing* (RTV), bahan ini dibuat pada suhu 25°C - 80°C dan biasanya digunakan untuk melapisi isolator keramik (Yuniarti & Afandi, 2012).

Penggolongan polimer berdasarkan sifat kimia, fisika, dan termal, sebagai berikut (Bambang dkk., 2015) :

1. 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.

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 hidrogen yang kuat ini akan berimbans 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 antar molekul
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 termal

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan temperature. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena temperature 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 temperature tinggi. Sifat termal polimer yaitu:

- a. Koefisien pemuaian termal
Koefisien pemuaian panjang pada film dan serat sering terjadi penyusutan akibat panas, karena apabila temperatur 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/°C 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

Apabila temperatur bahan polimer naik, maka pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi. Hal ini dapat menyebabkan modulus elastic dan kekerasannya rendah. Sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar.

2.4 Difusi Air

Salah satu syarat bahan isolator polimer pasangan luar yakni harus tahan terhadap kerusakan akibat air. Pada kondisi tekanan yang berbeda antara material dan lingkungan sekitarnya, air yang berasal dari embun akan menembus ke dalam polimer. Banyaknya air yang diserap dan kecepatan difusi tergantung pada polimer itu sendiri dan keadaan atmosfer disekitar polimer ditempatkan (Manjang, Kitta, Muhammadiyah, & Mulya, 2015).

Keadaan pembatasan klasik dari difusi dapat dijelaskan dengan hukum kedua Fick dengan koefisien difusi atau difusivitas, D sehingga

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \nabla^2 c \quad (2)$$

Dimana c adalah konsentrasi uap dan t adalah waktu. Untuk difusi satu dimensi melalui pelat tak terbatas dengan ketebalan L , persamaan diatas diturunkan menjadi

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3)$$

Dimana D_x adalah difusivitas melalui ketebatalan material. Difusi uap air ke dalam polimer kaca umumnya mengikuti hukum ini, ketika proses uap air sepenuhnya dikontrol oleh difusi, yaitu ketika mekanisme difusi yang berkaitan dengan degradasi, relaksasi molekuler, atau pengawetan yang cukup, misalnya tidak aktif. Selanjutnya, D_x sering menunjukkan ketergantungan pada suhu yang mengikuti hubungan Arrhenius sebagai berikut

$$D_x = D_0 \exp\left(\frac{-A_0}{RT}\right) \quad (4)$$

Dimana D_0 adalah koefisien konstan, A_0 adalah energi aktivasi untuk difusi, R adalah gas universal konstan, dan T adalah suhu yang diukur pada skala absolut.

Untuk beberapa aplikasi praktis, perubahan presentase kadar air, M dapat diukur secara gravimetri, yaitu sebagai perubahan berat atau massa spesimen polimer seperti berikut

$$M = \frac{w-w_d}{w_d} \cdot 100\% \quad (5)$$

Dimana w adalah berat atau massa material setiap saat, dan w_d adalah berat atau massa material kering. Berat total atau massa uap dalam spesimen setiap saat sebagai berikut,

$$w - w_d = \frac{1}{L} \int_0^L c dx \quad (6)$$

Untuk bahan yang awalnya kering, nilai D_x dapat dihitung dari kemiringan awal, F dari sebidang $M(t)$ sebagai fungsi dari $t^{1/2}/L$ menggunakan hubungan berikut ini :

$$D_x = \left(\frac{\pi}{16}\right) \left(\frac{F}{M_{sat}}\right) \quad (7)$$

Dimana M_{sat} adalah tingkat kejenuhan kelembaban keseimbangan untuk lingkungan tertentu. Plot tersebut harus linear hingga $M = 0,6 M_{sat}$ dengan deviasi kurang dari 2% untuk difusi Fickian yang sebenarnya.

Meskipun difusivitas secara umum tidak bergantung pada konsentrasi kelembaban lingkungan sekitar, tingkat kejenuhan kelembaban sering kali diamati bergantung pada kelembaban relatif sesuai dengan hubungan.

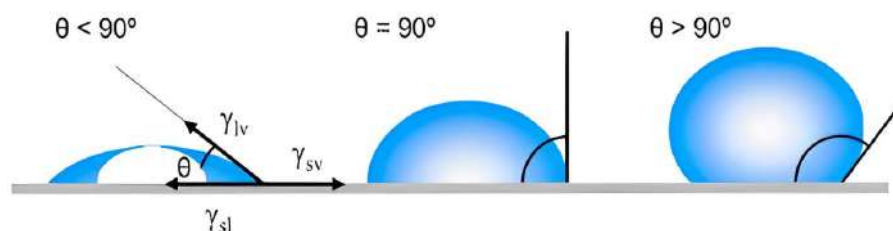
$$M_{sat} = a(RH)^b \quad (8)$$

Dimana a dan b adalah parameter konstan, dan RH adalah persentase kelembaban relatif. M_{sat} telah diamati menjadi tergantung dan tidak tergantung suhu untuk sistem polimer yang berbeda (Vanlandingham et al., 1999).

2.5 Pengujian Karakteristik Isolator

2.5.1 Pengujian Sifat Hidrofobik

Sifat hidrofobik permukaan bahan isolasi dinotasikan dengan besarnya sudut kontak antara bahan yang terkena kontaminasi bersamaan dengan tetesan air permukaan yang mengenai bahan isolasi tersebut. Sudut kontak bahan akan menurun pada saat awal terkontaminasi, tetapi akan meningkat secara bertahap setelah sifat hidrofobik bahan telah tertransfer ke permukaan, sifat hidrofobik ini tidak berlaku untuk permukaan bahan yang bersih yang digunakan sebagai rujukan. Besarnya sudut kontak ini akan menentukan karakteristik isolator apakah isolator itu bersifat hidrofobik yang mempunyai sifat menolak air atau hidrofilik yang mempunyai sifat menyerap air. Jika sudut kontak kurang dari 30° maka bahan tersebut bersifat hydrophilic (bersifat basah), sudut kontak antara 30° sampai 89° disebut partially wetted (basah sebagian) dan jika lebih besar dari 90° bersifat hydrophobic (menolak air). Bahan isolator diharapkan mempunyai sifat hidrofobik karena dengan sifat tersebut isolator akan mampu menahan tegangan baik dalam kondisi basah maupun terkontaminasi.

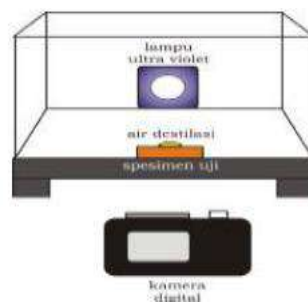


Gambar 3 Pengukuran sudut kontak (Syahara, 2016)

Untuk menghitung besarnya sudut kontak dapat digunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Sudut kontak} = \frac{\text{Sudut kontak kiri} + \text{sudut kontak kanan}}{2} \quad (9)$$

Sudut kontak hidrofobik dapat diukur dengan meletakkan sampel pada plat sandaran yang dapat diatur keseimbangan posisi horisontal dan ketinggiannya secara tepat. Setelah sampel dalam kondisi kesetimbangan kemudian air diteteskan dari assipete ke permukaan spesimen uji. sudut kontak hidrofobik harus mendapatkan penerangan secara tidak langsung agar tidak terjadi penguapan akibat panas yang ditimbulkan oleh lampu. Kamera yang dilengkapi dengan mikrozoom diatur untuk mendapatkan pembesaran tetesan air yang fokus. Waktu pemotretan dilakukan 2 menit setelah tetesan air di atas permukaan spesimen uji. Hasil pemotretan dicetak, dan dilakukan pengukuran sudut kontak dengan membuat garis singgung pada sisi kiri dan sisi kanan dari tetesan air tersebut (Yuniarti & Afandi, 2012).



Gambar 4 Pengujian sudut kontak (Yuniarti & Afandi, 2012)

2.5.2 Pengujian Sifat Dielektrik

Dielektrik sebagai salah satu bahan listrik mempunyai beberapa sifat-sifat kelistrikan. Sifat-sifat bahan isolasi ditentukan dari sampel berupa model isolasi pada kondisi standar, sehingga nilai ekstrapolasi seluruh sampel tidak selalu pas dengan nilai sesungguhnya. Adapun fungsi yang paling penting dari suatu bahan dielektrik adalah:

1. Untuk mengisolasi antara satu penghantar dengan penghantar lainnya.
2. Menahan gaya mekanis akibat adanya arus pada konduktor yang diisolasinya.
3. Mampu menahan tekanan yang diakibatkan panas dan reaksi kimia.

Tekanan yang diakibatkan oleh medan elektrik, gaya mekanik, thermal maupun kimia dapat terjadi secara serentak. Dengan kata lain, suatu bahan dielektrik dapat dikatakan ekonomis jika bahan dielektrik tersebut dapat bertahan

dalam jangka waktu yang lama dengan menahan semua tekanan tersebut diatas (Kunto Wibowo dkk., 2008)

Isolator tegangan tinggi adalah perangkat yang digunakan untuk memisahkan konduktor listrik dari lingkungan sekitarnya, dengan tujuan untuk menghantarkan tegangan tinggi tanpa terjadi arus bocor yang signifikan melalui bahan isolator tersebut. Kemampuan dielektrik adalah sifat penting dari isolator tegangan tinggi yang menggambarkan seberapa baik bahan tersebut dapat mempertahankan isolasi listriknya di bawah tekanan tegangan yang tinggi.

1. Pengujian Permittivitas Relatif (*Relative Permittivity*):

Permittivitas relatif atau yang biasa disebut konstanta dielektrik merepresentasikan rapatnya fluks elektrostatik dalam suatu bahan ketika diberi potensial listrik. Konstanta ini adalah perbandingan energi listrik yang tersimpan dalam suatu bahan jika diberi potensial relatif terhadap ruang hampa (Manjang, Kitta, Muhammadiyah, & Mulya R., 2015).

Persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (10)$$

Dalam menentukan nilai permittivitas relatif suatu bahan atau material, maka perlu untuk mengetahui nilai kapasitansi material tersebut, secara matematis dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{l} \quad (11)$$

Sehingga, jika persamaan (10) disubstitusi kedalam persamaan (11) maka diperoleh persamaan berikut.

$$C_0 = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{l} \quad (12)$$

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot l}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (13)$$

Dengan :

ε_r = permitivitas relatif (F/m)

C = kapasitansi (Farad)

l = jarak yang memisahkan dua pelat (m)

ε_0 = nilai permitivitas vakum ($8,854 \times 10^{-12} F/m$)

A = luas penampang (m^2)

2. Pengujian Resistivitas

Resistansi adalah ukuran hambatan listrik yang ditemui oleh suatu material ketika arus listrik mengalir melalui material tersebut. Nilai resistansi atau hambatan pada suatu bahan/material dapat berbeda-beda tergantung pada jenis material yang digunakan, panjang material/bahan dan luas penampangnya. Material yang memiliki hambatan listrik yang besar apabila diberi tegangan maka akan menyebabkan tidak adanya arus yang mengalir. Material tersebut disebut isolator, Resistansi disimbolkan dengan R . satuan dari hambatan dalam SI adalah Ohm (Ω). Besarnya resistansi suatu bahan dapat diukur dengan persamaan berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (14)$$

Dengan R adalah hambatan/resistansi dengan satuan (Ω), ρ adalah hambatan jenis atau resistivitas dengan satuan (Ωm), l adalah panjang material dalam satuan (m) dan A adalah luas penampang material (m^2). Setiap bahan atau material memiliki nilai resistivitas masing-masing (Siswanto dkk., 2018).

Secara umum, resistivitas dibagi menjadi dua jenis yaitu resistivitas permukaan dan resistivitas volume. Resistivitas permukaan dan volume adalah dua parameter penting yang digunakan untuk mengukur sifat isolasi suatu material, khususnya dalam aplikasi listrik. Resistivitas permukaan dan volume dari isolator dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, kelembaban dan jenis material yang digunakan. Resistivitas permukaan mengukur kemampuan suatu material untuk menghambat aliran arus listrik melalui permukaannya, sedangkan resistivitas volume mengukur kemampuan suatu material untuk menghambat aliran arus listrik

melalui volume materialnya. Untuk menentukan nilai resistivitas permukaan suatu material, dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$\rho_s = R_s \cdot l/r \quad (15)$$

Dimana, ρ_s adalah resistivitas permukaan (ohm), R_s adalah resistansi permukaan (Ohm), l adalah lebar elektroda (cm) dan r adalah jarak elektroda (cm).

Untuk menentukan nilai resistivitas volume, dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\rho_v = R_v \cdot A/d \quad (16)$$

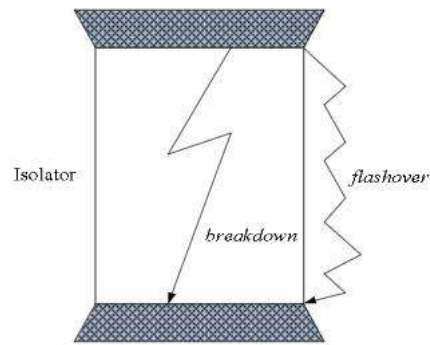
Dimana, ρ_v adalah resistansi volume (Ohm.cm), R_v adalah Resistansi volume (Ohm), A adalah luas penampang material (cm²) dan d adalah ketebalan sampel (cm) (Mustamin dkk., 2023).

3. Pengujian *flashover* dan tegangan tembus (*breakdown voltage*):

Kegagalan isolator dalam melaksanakan fungsinya dapat dibagi ke dalam dua jenis, yaitu :

- a. Kegagalan lewat denyar (*flashover*) yaitu kegagalan yang umumnya dipengaruhi oleh tahanan permukaan dan bentuk dari isolator. Kegagalan ini juga biasanya disebabkan oleh kondisi dari lingkungan. Terjadinya *flashover* pada isolator menyebabkan kerusakan pada permukaan isolator.
- b. Kegagalan tegangan tembus (*breakdown voltage*) biasanya disebabkan oleh faktor luar seperti sambaran petir. Akibat terjadinya tegangan tembus (*breakdown*) karakteristik dielektrik dari isolator tidak dapat pulih seperti semula dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.

Kegagalan kegagalan isolator dapat diilustrasikan lewat Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Kegagalan Isolator

Kegagalan lewat denyar (*flashover*) berawal dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Terbentuknya lapisan konduktif di permukaan isolator diakibatkan oleh adanya polutan yang menempel. Lapisan yang terbentuk di permukaan isolator ini menyebabkan mengalirnya arus bocor. Dengan mengalirnya arus bocor, terjadi pemanasan di lapisan tersebut. Lapisan ini dapat membentuk pita kering (*dry band*) 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 api (*arc*) dan terjadi lewat denyar (*flashover*) yang melalui seluruh permukaan isolator. (Yandri & Nurhatsiyah, 2012)

Tegangan tembus/*breakdown voltage*, 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*". Jika suatu dielektrik mempunyai kekuatan dielektrik, maka terpaan elektrik yang dapat dipikulnya adalah $E_k \leq E_k$.

Mekanisme terjadinya tegangan tembus :

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. Jika terpaan elektrik yang dipikul dielektrik melebihi , maka di dalam dielektrik akan terjadi proses ionisasi berantai yang akhirnya dapat membuat dielektrik mengalami tembus listrik. 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:

1. Terpaan elektrik yang dipikul dielektrik harus lebih besar atau sama dengan E_k yaitu kekuatan dielektriknya,
2. Lama terpaan elektrik berlangsung lebih besar atau sama dengan waktu tunda tembus. Maka tegangan tembus berhubungan dengan medan listrik, semakin besar medan listrik diberikan maka semakin cepat bahan akan tembus listrik (Pesa & Murdiya, 2017).

2.6 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

FTIR merupakan singkatan dari Fourier Transform Infrared. Dimana FTIR ini adalah teknik yang digunakan sebagai sarana identifikasi untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung dalam suatu senyawa dan komposisi dari suatu campuran. Pengukuran pada spektrum inframerah dilakukan pada daerah cahaya inframerah tengah (mid-infrared) yaitu pada panjang gelombang 2.5-50 μm atau bilangan gelombang 4000-200 cm^{-1} . Energi yang dihasilkan oleh radiasi akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi inframerah sangat khas dan spesifik untuk setiap tipe ikatan kimia atau gugus fungsi.

FTIR digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu. Spektroskopi FTIR menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensikan oleh radiasi inframerah agar sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh. Prinsip FTIR adalah serapan dari senyawa dengan tingkat energi vibrasi pada ikatan kovalen akan mengalami perubahan momen dipol di dalam molekul. Atom-atom pada molekul tidak hanya diam melainkan bervibrasi. Ikatan kimia yang menghubungkan dua atom dapat diilustrasikan sebagai bola yang dihubungkan dengan pegas. Radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan kemudian molekul-molekul dapat mengadsorpsi energi. Transisi terjadi diantara tingkat vibrasi awal (ground state) ke tingkat vibrasi tereksitasi (excited state). Absorpsi energi di setiap frekuensi dapat dideteksi

dengan mengakumulasi jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui cuplikan. Saat suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel, maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittansi. Persen transmittansi 100 berarti tidak ada frekuensi IR yang diserap oleh senyawa. Pada kenyataannya, hal ini tidak pernah terjadi. Selalu ada sedikit dari frekuensi ini yang diserap dan memberikan suatu transmittansi sebanyak 95%. Transmittansi 5% berarti bahwa hampir seluruh frekuensi yang dilewatkan diserap oleh senyawa. Serapan yang sangat tinggi akan memberikan informasi penting tentang ikatan dalam senyawa (Pebakirang, 2021)

2.7 Bahan Pengisi (*filler*)

2.7.1 SiO₂ (Silikon Dioksida)

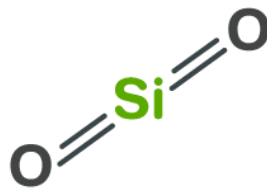
Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO₂) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan feldspar.

Silika biasanya diperoleh melalui proses penambangan yang dimulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Pasir kuarsa tersebut kemudian dilakukan proses pencucian untuk membuang pengotor yang kemudian dipisahkan dan dikeringkan kembali sehingga diperoleh pasir dengan kadar silika yang lebih besar bergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat penambangan. Pasir inilah yang kemudian dikenal dengan pasir silika atau silika dengan kadar tertentu. Silika biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dengan berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan lain-lain. Untuk proses penghalusan atau memperkecil ukuran dari pasir silika umumnya digunakan metode *milling* (penggilingan) dengan *ball mill* untuk menghancurkan ukuran pasir silika yang besar-besar menjadi ukuran yang lebih kecil dan halus,

silika dengan ukuran yang halus inilah yang biasanya banyak digunakan dalam industri.

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 *nano* silika. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. 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 *nano* silika 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*.

Untuk memperoleh ukuran silika sampai pada ukuran *nano*/mikrosilika perlu perlakuan khusus pada prosesnya. Untuk mikrosilika biasanya dapat diperoleh dengan metode *special milling*, yaitu metode *milling* biasa yang sudah dimodifikasi khusus sehingga kemampuan untuk menghancurkannya jauh lebih efektif, dengan metode ini bahkan dimungkinkan juga memperoleh silika sampai pada skala *nano*. Sebagai tambahan adalah bahwa utilisasi kapasitas produksi industri silika lokal belum maksimal, baru 50% dari kapasitas maksimal yang ada. Hal ini disebabkan karena produk silika lokal yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan oleh pasar yaitu silika dengan ukuran sub mikron, sementara hasil produksi silika lokal berukuran $\geq 30 \mu\text{m}$. Dengan cadangan bahan baku silika yang melimpah dan potensi pasar yang masih terbuka lebar maka perlu dicarikan solusi agar sumber daya yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal bagi perkembangan industri (Heri & Syakur, 2012).

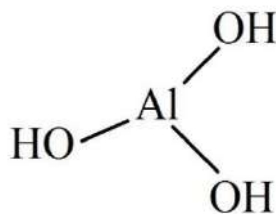


Gambar 6 Struktur kimia SiO₂ (Byjus's, 2024)

2.7.2 ATH (Alumina Trihidrat)

Alumina Trihidrat (ATH) yang juga dikenal sebagai aluminium hidroksida memiliki struktur molekul Al(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 (Hidayat, 2019)

ATH adalah bahan pengisi yang digunakan sebagai penghambat api dan insulator karena keserbagunaannya dan biayanya yang murah. Bahan ini dapat digunakan dalam berbagai macam polimer pada suhu pemrosesan dibawah 220°C karena ketersediaannya dalam berbagai ukuran partikel. Ada banyak keuntungan menggunakan ATH ini seperti bebas halogen, tidak beracun, memiliki tingkat abrasif yang rendah dan inert secara kimiawi. Selain itu, penahan lintasan pada plastik yang terpapar busur listrik, penekanan asap, dan ketahanan asam adalah manfaat tambahan dari ATH. Salah satu kekurangannya adalah ATH mulai terurai secara endotermik pada suhu sekitar 220°C melepaskan hampir 35% dari beratnya sebagai uap air (Atiqah dkk., 2020).



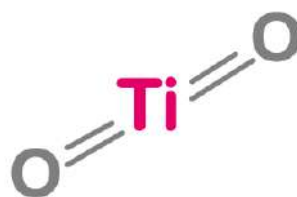
Gambar 7 Struktur kimia ATH (Mosinterchem, 2024)

2.7.3 TiO₂ (Titanium Dioksida)

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material yang paling ekstensif dipelajari di bidang katalis dan lingkungan karena sifatnya yang menarik dalam hal sifat optik dan elektronik, stabilitas kimia yang baik, tidak mahal dan tidak beracun. TiO₂ juga merupakan bahan serbaguna untuk aplikasi dalam berbagai produk, seperti pigmen, lotion tabir surya, elektrokimia elektroda, kapasitor, sel surya, bahkan sebagai zat pewarna makanan dalam pasta gigi.

Secara alami, TiO₂ menunjukkan banyak bentuk kristal. Tiga bentuk kristal paling penting dari TiO₂ adalah anatase, rutil dan brookite. Rutil adalah salah satu fase yang paling stabil dalam bentuk bongkahan dengan indeks bias yang lebih tinggi, gravitasi spesifik yang lebih tinggi, titik lebur yang lebih tinggi, dan stabilitas kimia yang lebih tinggi daripada fase lain. Brookite memiliki warna, kekerasan, dan kepadatan yang sama dengan rutil. Dibandingkan dengan rutil, anatase sangat stabil pada ukuran *nanoskopik* dan titik leleh yang lebih rendah. Sedangkan bentuk anatase memiliki luas permukaan yang tinggi, tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dan ukuran kristalit yang besar. Fase ini sangat diinginkan untuk fotokatalisis dan aplikasi DSSC (Sulastriya Ningsi, 2017).

Serbuk *nano* TiO₂ dengan ukuran partikel dibawah 100 nm, dari Sigma-Aldrich, telah digunakan untuk memodifikasi kinerja listrik lapisan RTV SR dan meningkatkan sifat superhidrofobiknya dengan menambahkan kekasaran skala mikro/*nano*. Produk RTV SR memiliki partikel mikro alumina (ukuran rata-rata ~3µm) sebagai pengisi yang meningkatkan sifat mekaniknya. Namun, konsentrasi partikel alumina tersebut konstan, kontribusinya terhadap sifat sampel yang diuji sama untuk pelapis yang tidak didoping dan yang didoping (dengan serbuk TiO₂) (Arianpour & Farzaneh, 2012).



Gambar 8 Struktur kimia TiO₂ (Byju's, 2024)

2.8 Penelitian yang Relevan

Tabel 1 Penelitian yang relevan

No.	Nama Penulis	Judul	Parameter Ukur	Kesimpulan
1.	(Maguga dkk., 2023)	Pengaruh Difusi Air Terhadap Dielektrik dan Hidrofobik pada Material Elastomer Silikon	- Berat - Sudut kontak - Permittivitas Relatif	- Perbedaan suhu mempengaruhi kecepatan difusi air, <i>filler</i> SiO ₂ memiliki penambahan berat yang relatif lebih lambat dibandingkan sampel dengan <i>filler</i> ATH. Semakin tinggi konsentrasi <i>filler</i> maka semakin tinggi pula penyerapan airnya. - Sudut kontak yang dihasilkan bervariasi, semakin tinggi konsentrasi <i>filler</i> maka semakin tinggi pula nilai sudut kontak yang diperoleh. - Penambahan konsentrasi <i>filler</i> meningkatkan nilai permittivitas material. - Semakin besar penyerapan air maka semakin kecil sudut kontak yang dihasilkan, dan semakin tinggi nilai permittivitas relatifnya.
2.	(Christiono, 2017)	Kinerja Isolasi Polimer <i>Silicone rubber</i> Berbahan Pengisi <i>Fly Ash</i> Batu Bara di Bawah Pengaruh Iklim Tropis	- Sudut Kontak - Resistivitas Permukaan - Arus Bocor Permukaan	- Konsentrasi <i>filler</i> tertinggi menunjukkan arus bocor terendah dan resistivitas permukaan terbaik. - Sampel dengan konsentrasi <i>filler</i> 25% memiliki kemampuan hidrofobik terbaik. - Sampel dengan konsentrasi <i>filler</i> 0% memiliki penurunan berat terkecil, dan penurunan berat terbesar pada konsentrasi 30%.
3.	(Pratiwi & Asri, 2021)	Analisis Tegangan tembus dan Hidrofibisitas Isolator Nano Komposit Resin Epoksi dan SiO ₂	- Sudut Kontak - Tegangan Tembus	- Sudut kontak terbesar terdapat pada sampel SI00 (sampel tanpa <i>filler</i>). - Tegangan tembus sampel semakin menurun dengan penambahan bahan pengisi abu tongkol jagung.

Sambungan Tabel 1

No.	Nama Penulis	Judul	Parameter Ukur	Kesimpulan
4.	(Manjang, Kitta, Muhammadiyah, & Mulya, 2015)	<i>Effect of Water Diffusion on Dielectric Behavior of Polymer Insulators</i>	- Persentase Penyerapan Air - Sudut Kontak -Permitivitas Relatif	- Semakin tinggi konsentrasi <i>filler</i> semakin tinggi penyerapan air pada sampel. - Penambahan <i>filler fly ash</i> mengakibatkan penurunan sudut kontak, namun masih bersifat hidrofobik, dalam waktu tertentu nilai sudut kontak yang diperoleh meningkat akan tetapi tidak melebihi keadaan sebelum perendaman. Hal tersebut disebabkan karena kemampuan <i>recovery</i> sampel. - Proses difusi air dan penambahan konsentrasi <i>filler</i> menyebabkan besarnya nilai permitivitas relatif.
5.	(Manjang et al., 2023)	<i>Stoichiometry composition of nanofiller SiO₂ and ATH to improve properties of silicone elastomer for outdoor high voltage insulators</i>	- Tegangan Tembus AC - <i>Partial Discharge</i> - Sudut Kontak - Penyerapan Air -Permitivitas Relatif	- Penambahan terlalu banyak <i>nano filler</i> dapat meningkatkan pengaruh air yang diserap terhadap sifat dielektrik dan dapat menurunkan sifat hidrofobiknya. - Hasil pengujian elektrik, fisika dan kimia sampel isolator elastomer dengan berbagai dosis <i>nano filler</i> menunjukkan sifat anti air (hidrofobitas) dengan sudut kontak > 90°. - Kombinasi <i>nano filler</i> SiO ₂ + ATH dengan komposisi 10-15% pada karet silikon RTV 683 dapat dipertimbangkan sebagai bahan isolasi tegangan tinggi pada kawasan dengan polusi tinggi, area industri, daerah pantai, dan lingkungan iklim tropis.