

SKRIPSI

**PENGARUH DIFUSI AIR TERHADAP DIELEKTRIK DAN
HIDROFOBİK PADA MATERIAL ELASTOMER SILIKON**

DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH

SATRIANTO MAGU'GA

D041181316



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH DIFUSI AIR TERHADAP DIELEKTRIK DAN HIDROFOBİK PADA
MATERIAL ELASTOMER SILIKON**

Disusun dan diajukan oleh:

SATRIANTO MAGU'GA

D041 18 1316

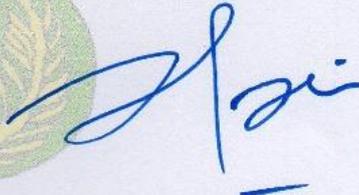
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 3 Mei 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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


Hasniaty, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741205 200012 2 001

Ketua Departemen Teknik Elektro,


Dr. Eng. Ir. Dewrani, M.T.
NIP. 19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Satrianto Magu'ga

NIM : D041181316

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENGARUH DIFUSI AIR TERHADAP DIELEKTRIK DAN HIDROFOBİK PADA MATERIAL ELASTOMER SILIKON

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.

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, 18 Mei 2023

Yang Menyatakan



Satrianto Magu'ga

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Tuhan atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “PENGARUH DIFUSI AIR TERHADAP DIELEKTRIK DAN HIDROFOBIA PADA MATERIAL ELASTOMER SILIKON” dapat terselesaikan. Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka proposal ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ucap syukur kepada Tuhan Yesus yang telah memberikan rahmat-NYA kepada saya sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
2. Orang tua dan saudara yang sangat saya cintai yang telah memberikan doa dan dukungan baik dari segi moril maupun dari segi materi.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T.IP.M. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Hasniaty, ST, MT, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dalam pengerjaan proposal ini.
5. Bapak Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris MT. selaku Dosen Penguji II.
6. Seluruh dosen dan staf pengajar Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama saya menempuh proses perkuliahan.
7. Seluruh staf pegawai Departemen Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memberi kemudahan selama menempuh proses perkuliahan.
8. Bapak Mustamin sebagai pengarah dalam mengerjakan penelitian ini.
9. Semua teman-teman seperjuangan CAL18RATOR yang turut memberi dukungan terhadap penyelesaian proposal ini.
10. Teman yang jauh maupun dekat terima kasih atas dukungannya.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

12. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada proposal ini, oleh karena itu penulis mengharapkan para pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang membangun agar proposal ini menjadi lebih baik.

Gowa, 23 Februari 2023

Satrianto Magu'ga

ABSTRAK

SATRIANTO MAGU'GA, *Pengaruh Difusi Air Terhadap Dielektrik Dan Hidrofobik Pada Material Elastomer Silikon* (Dibimbing oleh Salama Manjang dan Hasniaty)

Sistem penyaluran tenaga listrik memiliki berbagai macam peralatan penunjang salah satunya adalah isolator listrik. Isolator listrik memiliki peranan penting dalam penyaluran tenaga listrik, seperti mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain agar tidak terjadi gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik. Kelebihan yang dimiliki polimer yaitu sifat dielektrik, resistivitas volume, sifat termal, kekuatan mekanik dan ringan. Isolator polimer memiliki sifat menolak air (*hidrophobicity*), bahkan mampu memindahkan dan memulihkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi yang mengakibatkan lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik. Untuk mengetahui pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material elastomer silikon dapat ditentukan dengan persentase penyerapan air yang mempengaruhi sudut kontak dan nilai permitivitas realtif yang didapatkan. Kekuatan dielektrik dan besarnya sudut kontak sangat menentukan kualitas isolator yang akan digunakan dalam sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini dilakukan perendaman sampel elastomer silikon dengan filler SiO_2 dan ATH, yang direndam dengan suhu ruang dan suhu $50\text{ }^\circ\text{C}$ sesuai standar IEC dan juga pengujian data kualitatif. Akibat dari penelitian ini didapatkan bahwa konsentrasi filler yang diberikan sangat mempengaruhi suatu sampel dalam penyerapan air. Adapun semakin besar berat sampel semakin kecil sudut yang didapatkan, akan tetapi sudut kontak yang didapatkan semua tergolong bersifat menolak air (Hidrofobik). Adapun hasil lain yang didapatkan bahwa, semakin besar berat sampel maka semakin tinggi nilai permitivitas relatif yang didapatkan namun dalam keadaan tertentu nilai permitivitas relatifnya semakin kecil.

Kata kunci: Isolator, Elastomer Silikon, SiO_2 , ATH, Sudut Kontak, Permitivitas Relatif

ABSTRACT

SATRIANTO MAGU'GA, *The Influence of Water Diffusion on Dielectric and Hydrophobic Properties of Silicone Elastomer Material* (Supervised by Salama Manjang and Hasniaty)

Electric power distribution systems have various supporting equipment, one of which is an electrical insulator. Electrical insulators play an important role in power transmission, such as isolating a high-voltage conductor from other conductors to prevent disruptions in the power transmission system. Polymers have advantages such as dielectric properties, volume resistivity, thermal properties, mechanical strength, and lightness. Polymer insulators have hydrophobic properties and can even transfer and restore their hydrophobic properties to pollution layers, making the pollution layers also hydrophobic. To determine the influence of water diffusion on dielectric and hydrophobic properties of silicone elastomer material, the percentage of water absorption that affects contact angle and relative permittivity values can be determined. The dielectric strength and contact angle greatly determine the quality of the insulator to be used in the power transmission system. In this study, silicone elastomer samples with SiO₂ and ATH fillers were immersed at room temperature and 50 °C according to IEC standards, and qualitative data testing was also conducted. As a result of this study, it was found that the concentration of fillers greatly affects the sample's water absorption. The larger the sample weight, the smaller the contact angle obtained, but all contact angles obtained are still hydrophobic. Another result obtained is that the larger the sample weight, the higher the relative permittivity value obtained, but in certain conditions, the relative permittivity value becomes smaller.

Keywords: Insulator, Silicone Elastomer, SiO₂, ATH, Contact Angle, Relative Permittivity.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
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.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Isolator.....	5
2.2 Karakteristik Isolator	5
2.3 Isolator Polimer	6
2.3.1 Sifat Hidrofobik	7
2.3.2 Sifat Dielektrik.....	9
2.3.3 Sifat Termal	11
2.4 Silicon Rubber.....	13
2.5 Difusi Air.....	15
2.5.1 Proses Difusi	15
2.5.2 Teori Difusi pada Bahan Polimer.....	16
2.6 Sudut Kontak.....	18
2.7 Pengaruh Filler Terhadap Serapan Air dan Dielektrik Isolator Polimer	20
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Jenis, Tempat, dan Waktu Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan	25

3.3	Komposisi Bahan Uji	29
3.4	Parameter Observasi.....	29
3.5	Prosedur Penelitian.....	30
3.6	Diagram Alur Pelaksanaan	33
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1	Data Sebaran Berat Harian	34
4.1.1	Nilai Berat Harian Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-Si	35
4.1.2	Nilai Berat Harian Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-AT	44
4.2	Nilai Sudut Kontak.....	54
4.2.1	Nilai Sudut Kontak Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-Si	54
4.2.2	Nilai Sudut Kontak Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-AT	61
4.3	Nilai Permittivitas Relatif / Konstanta Dielektrik	67
4.3.1	Nilai Permittivitas Relatif Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-Si	67
4.3.2	Nilai Permittivitas Relatif Sebelum dan Sesudah Terdifusi pada Sampel ES-AT	73
4.4	Perbandingan Sampel ES-Si Dengan Sampel ES-AT.....	79
4.4.1	Perbandingan Berat, Sudut Kontak, dan Permittivitas Relatif.....	79
4.4.3	Perbandingan Suhu Ruang dengan 50 ⁰ C untuk Setiap Parameter ..	80
BAB V	KESIMPULAN.....	84
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran	85
Daftar Pustaka	86
LAMPIRAN	88

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.....	25
Tabel 2. Sampel uji	29
Tabel 3. Nilai berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu ruang.....	35
Tabel 4. Nilai persentase berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu ruang.....	37
Tabel 5. Nilai berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu 50 °C.....	39
Tabel 6. Nilai persentase berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu 50 °C.....	41
Tabel 7. Nilai berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu ruang	44
Tabel 8. Nilai persentase berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu ruang	46
Tabel 9. Nilai berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu 50 °C	49
Tabel 10. Nilai persentase berat harian sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu 50 °C	51
Tabel 11. Nilai sudut kontak sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu ruang	54
Tabel 12. Nilai sudut kontak sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada suhu 50 °C	57
Tabel 13. Nilai sudut kontak sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu ruang	61
Tabel 14. Nilai sudut kontak sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu 50 °C	64
Tabel 15. Nilai permitivitas relatif sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada Suhu ruang.....	67
Tabel 16. Nilai permitivitas relatif sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-Si pada Suhu 50 °C.....	70
Tabel 17. Nilai permitivitas relatif sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu ruang.....	73
Tabel 18. Nilai permitivitas relatif sebelum dan sesudah terdifusi sampel ES-AT pada suhu 50 °C.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Isolator polimer	6
Gambar 2. Gugus metil silicon rubber	13
Gambar 3. Pembentukan sudut kontak antara butir air dan permukaan isolator ..	19
Gambar 4. (a) Sudut kontak dinamis, (b) Sudut kontak statis	19
Gambar 5. Flowchart alur penelitian.....	33
Gambar 6. Nilai berat harian sampel ES-Si pada suhu ruang.....	36
Gambar 7. Persentase berat harian sampel ES-Si pada suhu ruang.....	38
Gambar 8. Nilai berat harian sampel ES-Si pada suhu 50 °C.....	41
Gambar 9. Persentase berat harian sampel ES-Si pada suhu 50 °C.....	43
Gambar 10. Nilai berat harian sampel ES-AT pada suhu ruang.....	46
Gambar 11. Persentase berat harian sampel ES-AT pada suhu ruang.....	48
Gambar 12. Berat harian sampel ES-AT pada suhu 50 °C	51
Gambar 13. Persentase berat harian sampel ES-AT pada suhu 50 °C	53
Gambar 14. Nilai sudut kontak sampel ES-Si pada suhu ruang	56
Gambar 15. Nilai sudut kontak sampel ES-Si pada suhu 50 °C	59
Gambar 16. Nilai sudut kontak sampel ES-AT pada suhu ruang	62
Gambar 17. Nilai sudut kontak sampel ES-AT pada suhu 50 °C	65
Gambar 18. Nilai permitivitas relatif sampel ES-Si pada suhu ruang	69
Gambar 19. Nilai permitivitas relatif sampel ES-Si pada suhu 50 °C	72
Gambar 20. Nilai permitivitas relatif sampel ES-AT pada suhu ruang	75
Gambar 21. Nilai permitivitas relatif sampel ES-AT pada suhu 50 °C	78

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/singkatan	Arti dan Keterangan
SiO ₂	Silika
ATH	Alumina trihydrate
RTV	Room temperature vulcanizing
HTV	High temperature vulcanizing
CH ₃	Gugus metil hidrokarbon
MMRR	Massa molekul relatif rendah
ϵ_r	Permitivitas relatif
$\tan\delta$	Faktor disipasi
ϵ_0	Permitivitas ruang hampa
d	Ketebalan
A	Luas permukaan
C	Kapasitansi
D _x	Difusivitas
W	Berat
W _d	Berat mula-mula
Θ	Sudut

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel pengambilan data sampel uji ES-Si suhu ruang	88
Lampiran 2. Tabel pengambilan data sampel uji ES-Si suhu 50 °C	88
Lampiran 3. Tabel pengambilan data sampel uji ES-AT suhu ruang	89
Lampiran 4. Tabel pengambilan data sampel uji ES-AT suhu 50 °C	89

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem penyaluran tenaga listrik memiliki berbagai macam peralatan penunjang salah satunya adalah isolator listrik. Isolator listrik memiliki peranan penting dalam penyaluran tenaga listrik, seperti mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain agar tidak terjadi gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik. Di mana hal ini dapat meminimalisir bahaya bagi masyarakat yang berada di bawah sistem tersebut.

Pada saat ini tegangan transmisi yang diterapkan di Indonesia adalah 20 kV untuk tegangan distribusi, 70 kV dan 150 kV untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), dan 500 kV untuk Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET). Daerah Indonesia beriklim tropis dengan penyinaran matahari 12 jam, temperatur udara antara 16-35 °C, curah hujan yang tinggi antara 400-500 mm.

Adapun yang masih sering digunakan pada masa kini adalah isolator porselen dan gelas. Di mana memiliki kekurangan, seperti mudah basah, tidak tahan terhadap benturan, bahannya yang berat, mudah berpolusi, dan sangat mahal. Ada studi mengatakan bahwa pada umumnya kegagalan isolator terjadi karena dua aspek yaitu, aspek permukaan yang mengakibatkan munculnya arus bocor permukaan dan aspek ruah dengan menurunnya sifat dielektrik yang mengakibatkan mudahnya isolator pecah yang dikarenakan sambaran petir atau *switching*. Aspek ruah isolator berbahan keramik dan gelas stabil terhadap penuaan, tetapi permukaannya mudah dibasahi oleh kabut, embun atau hujan karena memiliki energi permukaan yang tinggi.

Adapun salah satu jenis isolator, yaitu isolator polimer atau isolator komposit. Isolator polimer adalah salah satu jenis isolator yang termasuk ringan dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir ini material polimer telah muncul secara bertahap dan sedang dikembangkan sebagai alternatif pengganti material keramik dan gelas. Kelebihan yang dimiliki polimer yaitu sifat dielektrik, resistivitas volume, sifat termal, kekuatan mekanik dan ringan. Isolator

polimer memiliki sifat menolak air (*hydrophobicity*), bahkan mampu memindahkan dan memulihkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi yang mengakibatkan lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik.

Walaupun banyak keunggulan yang dimiliki oleh isolator polimer akan tetapi material polimer tersebut rentan terhadap iklim, polusi, dan terpaan medan listrik yang tinggi, sehingga dapat mengakibatkan degradasi dan selanjutnya mengakibatkan penuaan (*aging*). Pengaruh curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan erosi permukaan isolator polimer. Perbedaan tekanan parsial antara bahan dan atmosfer memungkinkan penetrasi kelembaban ke dalam polimer. Banyaknya air yang diserap dan kecepatan proses difusi tergantung berbagai faktor di dalam bahan itu sendiri, kelembaban udara luar dan temperatur sekitar. Fenomena ini menurut beberapa peneliti disebut efek polarisasi antarmuka makroskopis (*macroscopic interface*) yang akan memperburuk sifat dielektrik dan listrik isolator. Adapun dalam penelitian Muhammad Tariq Nazir dkk (2018), di mana melakukan penambahan partikel mikro atau Nano silika (SiO_2) ke Silikon *Rubber* dapat meningkatkan ketahanan pelapukan ultraviolet secara signifikan dengan membangun lapisan pelindung ultraviolet yang efektif. Selain itu, penelitian juga dilakukan oleh Christiono dkk (2018). yang meneliti studi sifat transfer hidrofobik dari bahan Isolator polimer *silicone rubber* akibat pengaruh cuaca di daerah tropis perkotaan. Di mana berdasarkan hasil pengamatan didapatkan rata-rata sudut kontak bahan tidak menggunakan filler *fly ash* lebih tinggi dibandingkan bahan dengan filler dikarenakan absorpsi air oleh filler *fly ash* yang lebih tinggi sehingga mengurangi nilai sudut kontak permukaan atau menurunkan sifat hidrofobik dari bahan tersebut. Adapun penelitian dari Manjang dkk (2015), yang meneliti tentang pengaruh difusi air terhadap perilaku dielektrik isolator polimer. Di mana penelitian ini dilakukan dengan membuat sampel uji dari RTV 683 dicampur dengan bahan pengisi *fly ash* Batubara berdasarkan konsentrasi yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini yang dijadikan tujuan penelitian adalah untuk mengetahui tetapan dielektrik, dan sudut kontak bahan isolator. Adapun hasil yang didapatkan dalam penelitian tersebut adalah pengaruh difusi air akan memperburuk keadaan isolator yang ditunjukkan dengan naik turunnya nilai sudut kontak dan naiknya nilai permitivitas relatif sampel uji.

Sampai saat ini, penelitian tentang pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material Elastomer Silikon masih sangat jarang. Sehingga penelitian kali ini akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material elastomer silikon yang diisi dengan Nano SiO₂ (Silika) dan Nano ATH (*Alumina trihydrate*). Dalam penelitian ini, Elastomer Silikon akan dicampurkan dengan filler Nano SiO₂ dan Nano ATH dengan berbagai variasi komposisi untuk membuat sampel uji yang kemudian nantinya akan diberikan perlakuan. Perlakuan tersebut dengan cara merendam sampel dalam gelas yang berisikan air murni (aquades) dan diletakkan dalam akuarium berisikan air biasa yang suhunya diatur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dihadapi sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik pada material elastomer silikon ?
2. Bagaimana pengaruh difusi air terhadap sifat hidrofobik pada material elastomer silikon ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik pada material elastomer silikon.
2. Untuk mengetahui pengaruh difusi air terhadap sifat hidrofobik pada material elastomer silikon.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan dicapai adalah :

1. Dapat mengetahui pengaruh difusi air terhadap sifat dielektrik pada material elastomer silikon.

2. Dapat mengetahui pengaruh difusi air terhadap sifat hidrofobik pada material elastomer silikon.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini membahas tentang pengaruh difusi air terhadap dielektrik dan hidrofobik pada material elastomer silikon.
2. Penelitian menggunakan elastomer silikon yang terbuat dari RTV 683 dengan filler Nano SiO₂ dan Nano ATH.
3. Penelitian ini hanya mencari besar sudut kontak, permitivitas relatif, dan beratnya pada saat dikenai perlakuan (perlakuan difusi air).
4. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator adalah suatu peralatan yang terdiri dari bahan dielektrik yang berfungsi untuk mengisolasi suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain yang memiliki beda potensial atau konduktor bertegangan dengan kawat penyangga yang ditanahkan agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) dan loncatan bunga api (*flashover*) yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem yang dapat mengurangi keandalan sistem serta dapat membahayakan manusia.

Fungsi utama dari isolator itu sendiri adalah sebagai penghalang untuk menghindari hubungan arus pendek, sengatan listrik, dan bahaya kebakaran yang disebabkan oleh hubung singkat.

2.2 Karakteristik Isolator

Adapun karakteristik isolator dapat dilihat dari sifat elektrik dan sifat mekanisnya. Karakteristik elektrik dari isolator yang dimaksud adalah kemampuan menahan loncatan bunga api dan arus bocor. Untuk isolator yang terpasang pada jaringan udara sangat mudah dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan udara sekitar. Di mana hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan dari isolator tersebut, yaitu kemampuan isolator menahan tegangan. Kondisi basah dan dalam kondisi kering juga mempengaruhi kinerja dari isolator. Dalam hal ini tegangan *flashover* kondisi basah lebih kecil dibandingkan saat kondisi kering. Berbeda dengan *leakage current*, di mana terbesar pada saat kondisi basah dan terkecil pada saat kondisi kering.

Sementara karakteristik mekanis dari isolator ditandai dengan kekuatan mekanisnya, yaitu beban mekanis terendah yang mengakibatkan isolator tersebut rusak. Kekuatan mekanis ini ditentukan dengan membebani isolator dengan beban yang bertambah secara bertahap hingga isolator terlihat rusak. Kekuatan mekanis suatu isolator dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu kekuatan mekanis tarik, kekuatan mekanis tekan, dan mekanis tekuk.

2.3 Isolator Polimer

Isolator polimer atau biasa disebut dengan isolator komposit. Adalah bahan isolasi yang ringan dan kekuatan mekanik yang dimiliki tinggi. Isolator polimer memiliki kemampuan *hidrofobik* dan anti-cuaca.

Adapun susunan dasar isolator polimer seperti pada Gambar 1 terdiri dari inti (*core*) dan pembungkus (*shed*) yang kedua ujungnya dihubungkan dengan *fitting* yang terbuat dari logam. *Fitting* pada sebuah isolator polimer dirancang untuk mampu menahan beban yang berasal dari isolator. Ini juga berfungsi sebagai pemegang dari inti. *Core* pada isolator polimer berguna untuk mampu memperkuat atau menambah kekuatan mekanik dari isolator polimer. *Core* terbuat dari bahan *fiberglass*, resin epoksi yang kemudian dibungkus *shed*.



Gambar 1. Isolator polimer

Karakteristik isolator polimer sangat ditentukan oleh sifat-sifat yang melekat pada bahan isolator polimer. Salah satu sifat yang terpenting yang dimiliki isolator polimer adalah kemampuannya menolak serangan air (*Water repellent*), karena komposisi struktur kimianya lebih banyak didominasi oleh gugus metil hidrokarbon (CH_3) yang hidrofobik. Penelitian tentang perilaku sifat hidrofobik permukaan telah berhasil dilakukan dengan teknik pengukuran sudut kontak tetesan air. Material uji polimer SIR dibuat dengan metode vulkanisasi temperatur ruang (RTV) dan metode vulkanisasi temperatur tinggi (HTV) dengan campuran komposisi bahan pengisi (*filler*) yang bervariasi (Salama, 1999). Hasil penelitian beberapa peneliti pada berbagai material polimer jenis lain seperti epoksi, EPDM, *polietilen*, *polipropilen* dan *polyvinyl chloride* cenderung menghilang sifat hidrofobik permukaannya setelah diterpa oleh berbagai faktor iklim terutama radiasi uv dari matahari, kelembaban atau air hujan. Oleh sebab itu untuk

mengetahui ketahanan sifat hidrofobik *silicon rubber* terhadap berbagai faktor iklim tersebut, dilakukan pula sesuatu pengujian dengan menempatkan sampel-sampel dari polimer SIR yang diberi bahan pengisi dengan dosis yang berbeda-beda diekspos di bawah pengaruh iklim tropis alamiah selama 107 minggu. Hasil eksperimen tersebut terlihat bahwa semua jenis sampel masih menunjukkan sifat hidrofobik yang tinggi $>10^7$ (sudut kontak masih lebih besar dari sudut kontak di saat masih baru). Ini menunjukkan pengaruh terpaan iklim tropis tidaklah menyebabkan kehilangan sifat hidrofobik material polimer SIR (Salama, 2010). Munculnya bahan polimer dalam teknologi isolasi tegangan tinggi telah menggantikan bahan isolasi tradisional konvensional terbuat dari kaca dan keramik. Konvensional ini semakin tidak menguntungkan penggunaannya karena kepadatan massa keramik yang tinggi dan rapuh, sehingga kerugian semakin besar yang menyebabkan tingginya biaya konstruksi dan pemeliharaan pada jaringan tenaga listrik (Anggraini, 2010).

Karakteristik isolator polimer sangat ditentukan oleh sifat-sifat yang melekat pada bahan isolator polimer yang merupakan daya dukung terhadap kinerja isolator polimer SIR. Beberapa sifat-sifat isolator yang sangat penting diketahui dalam aplikasi teknik tegangan tinggi, yaitu:

2.3.1 Sifat Hidrofobik

Salah satu sifat yang terpenting yang dimiliki polimer SIR adalah kemampuannya menolak serangan air (*Water repellent*), karena komposisi struktur kimianya lebih banyak didominasi oleh gugus metil hidrokarbon (CH_3) yang hidrofobik. Adanya gugus-gugus metil yang berotasi bebas dan polarisabilitas ikatan Si-O, rantai siloksan mampu mensejajar sendiri itu polimer SIR mampu membuat lapisan polusi yang menutupi permukaannya ikut bersifat menolak air. Perpindahan sifat hidrofobik disebabkan oleh proses difusi massa molekul relatif rendah (*Low molecular weight*) disingkat MMRR dari ruah (*bulk*) ke lapisan polusi. Akibat perpindahan MMRR tersebut, lapisan polusi ikut menjadi menolak air dan oleh karenanya tidak akan terbentuk lapisan air di permukaannya.

Penelitian perilaku sifat hidrofobik permukaan telah berhasil dilakukan dengan teknik pengukuran sudut kontak tetesan air. Material uji polimer SIR dibuat dengan metode vulkanisasi temperatur ruang (RTV) dan metode vulkanisasi temperatur tinggi (HTV) dengan campuran komposisi bahan pengisi (filler) yang bervariasi (Salama, 1998). Pengujian kekuatan transfer hidrofobik juga dilakukan dengan memberikan polusi buatan dari tepung SiO₂ di atas permukaannya yang setebal 0,5 mm.

Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa saat diberikan polusi pada permukaan polimer SIR, hidrofobiknya menurun tajam kemudian secara berangsur-angsur mulai terjadi pemulihan. Hasil penelitian dapat dilihat bahwa yang ditambahkan dengan SiO₂ memiliki sudut kontak yang lebih bagus dibandingkan dengan yang tidak diberikan SiO₂.

Hasil penelitian beberapa peneliti pada berbagai bahan polimer lain seperti epoksi, EPDM, polietilen, polipropilen dan polivinil klorida kehilangan sifat permukaan hidrofobiknya ketika terpapar berbagai faktor iklim, terutama radiasi UV dari matahari, kelembaban atau hujan. Oleh karena itu, untuk mengetahui ketahanan sifat hidrofobik silika terhadap faktor iklim yang berbeda, juga dilakukan pengujian dimana sampel polimer SIR yang diisi dengan dosis filler berbeda dipaparkan pada iklim tropis alami selama 107 minggu. Adapun hasil percobaan menunjukkan bahwa semua sampel masih memiliki sifat hidrofobik yang tinggi yaitu $> 107^\circ$ (sudut kontak masih lebih besar dari sudut kontak saat baru). Ini menunjukkan pengaruh terpaan iklim tropis tidaklah menyebabkan kehilangan sifat hidrofobik material polimer SIR (Salama, 2010).

Faktanya, hidrofobik bahkan lebih tinggi ketika debu dari pencemaran lingkungan sangat mencemari permukaan sampel. Semakin banyak polusi yang terakumulasi, maka permukaan SIR menjadi semakin kasar, dengan nilai sudut kontak yang semakin meningkat. Perilaku tinggi rendahnya sudut kontak hanya mengikuti akumulasi dan pencucian polusi yang disebabkan oleh hujan di permukaan material. Pola naik turunnya nilai sudut kontak merupakan fenomena dimana sifat hidrofobik dipindahkan dan dikembalikan (restore) dari bulk ke permukaan silikon dan pengotor dengan berat molekul relatif kecil (MMRR).

Peningkatan kekasaran permukaan dengan peningkatan endapan kotoran juga meningkatkan sudut kontak. Salah satu fungsi bahan pengisi yang ditambahkan pada polimer SIR adalah untuk meningkatkan ketahanannya terhadap retak dan erosi dari tekanan atmosfer dan beban panas yang tinggi bila digunakan sebagai isolator eksternal tegangan tinggi. Perbedaan sudut kontak (*virgin*) yang terjadi pada bahan uji sebelum penuaan disebabkan perbedaan kekasaran permukaan (Salama, 2010).

Lingkungan yang mengandung kontaminasi garam-garaman juga sering menjadi penyebab melemahnya sifat hidrofobik sehingga menyebabkan turunnya resistansi permukaan isolator. Pengujian secara intensif telah dilakukan oleh Hackam dengan menguji hubungan perubahan sudut kontak dengan resistansi permukaan *silicon rubber* di dalam lemari kabut-garam (*salt-fog*) selama 4 siklus yang berbeda-beda. Hasil penelitiannya menunjukkan penurunan sudut kontak material isolasi polimer SIR ternyata hanya bersifat temporer (sementara). Ketika perlakuan kabut bergaram dihentikan dan dibiarkan di udara, sudut kontak berangsur-angsur mulai mengalami kenaikan seperti semula dan juga diikuti kenaikan resistansi permukaan ke keadaan semula. Fenomena ini disebut proses pemulihan (*recovery*) hidrofobik polimer SIR.

2.3.2 Sifat Dielektrik

Sifat dielektrik merupakan suatu keadaan yang menggambarkan sifat kekuatan isolasi sebagai material isolasi kelistrikan. Sifat ini digambarkan oleh permitivitas relatif (ϵ_r) dan faktor disipasi ($\tan\delta$). Sifat dielektrik bahan polimer kebanyakan mengalami penurunan akibat penuaan terutama karena difusi molekul-molekul air dari kelembaban atau hujan ke dalam bahan polimer. Polimer SIR dengan struktur kimia yang dimiliki sebagian besar terdiri dari gugus metil yang hidrofobik sehingga material ini tidak banyak menyerap air. Namun dengan adanya bahan pengisi yang dikandung memberi peluang molekul air terdifusi di antara partikel-partikel bahan pengisi dengan polimer. Tingkat absorpsi air dan kaitannya dengan perubahan sifat dielektrik dilakukan pengujian penuaan buatan yang dipercepat di dalam suatu lemari pengujian yang dapat dikondisikan dengan kondisi alamiah dengan kelembaban 70-95%, suhu 50-70°C, UV 400 mm dan medan

listriknnya 2,5 kV/cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa polimer SIR kurang menyerap air. Absorpsi air juga tergantung dari level dosis bahan pengisi, semakin tinggi dosis bahan pengisi makin kuat menyerap air. Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) dan faktor disipasi ($\tan\delta$) cenderung mengikuti pola kurva absorpsi air. Ini membuktikan efek dari air yang diabsorpsi pada sifat dielektrik dengan dosis bahan pengisi yang tinggi meningkatkan nilai konstanta dielektrik ϵ_r dan faktor disipasi ($\tan\delta$). Hal ini akibat dari polarisasi interfacial di dalam material isolasi.

Karakteristik elektrik dari isolator adalah kemampuannya dalam menahan *flashover* dan arus bocor. Isolator yang terpasang pada jaringan udara terutama pada pasangan luar sangat rentan dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan udara sekitar. Perubahan-perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari isolator, yaitu kemampuannya dalam menahan tegangan tembus yang akan mencoba merusaknya. Apabila di permukaan isolator ini terbentuk lapisan polutan maka akan mengurangi kekuatan dari isolator ini baik itu dalam kemampuannya menahan tegangan tembus ataupun arus bocor. Misalnya saja dalam kondisi kering tentu nilai resistivitasnya semakin meningkat berbeda pada saat isolator tersebut berada pada kondisi basah. Tegangan lewat denyar bolak-balik digunakan untuk memperkirakan kekuatan dielektrik isolator jika memikul tegangan lebih internal. Karakteristik tegangan dalam fungsi waktu digunakan untuk memperkirakan kekuatan dielektrik isolator jika memikul tegangan lebih Surja 40 akibat sambaran petir. Tegangan denyar bolak-balik kering adalah karakteristik utama dari isolator yang dipasang pada ruangan tertutup. Tegangan lewat denyar bolak-balik basah merupakan karakteristik yang penting ketika penempatannya berada di ruangan terbuka. Tegangan denyar bolak-balik suatu isolator merupakan gambaran kekuatan dielektrik isolator tersebut dalam kondisi basah akibat air hujan ataupun embun. Sifat air dalam membasahi permukaan isolator dicirikan ke dalam tiga hal yaitu intensitas, arah dan konduktivitas air yang membasahi isolator. Dalam standar yang dikeluarkan IEC No. 60-1, ciri-ciri air membasahi isolator adalah:

1. Intensitas penyinaran 3 mm³/menit
2. Resistivitas air 104 Ω /cm
3. Arah penyiraman air membentuk sudut 450 dengan sumbu tegak isolator.

Tegangan lewat denyar bolak-balik basah suatu isolator juga bergantung pada kondisi udara sekitar (Tobing, Bonggas L., 2012).

Dielektrik ini memiliki nilai permitivitas atau konstanta dielektrik. permitivitas merepresentasikan rapatnya fluks elektrostatik saat sebuah benda dilewati arus listrik. Konstanta dielektrik untuk ruang hampa atau vakum adalah $\epsilon_0 \approx 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$. Permitivitas relatif adalah nilai yang menunjukkan besarnya kemampuan isolator melewatkan medan listrik saat diberikan nilai beda potensial pada kedua sisi permukaan isolator yang tengah diuji. Kemampuan ini tentu sangat penting dimiliki oleh isolator, semakin rendah nilai permitivitasnya maka semakin kecil medan listrik yang dapat dilewatkan, sehingga persamaannya dapat dilihat seperti ini Persamaan (1).

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \quad (1)$$

Hal ini berkaitan pula dengan nilai kapasitansi yang dimiliki bahan dielektrik itu yang diperoleh dari Persamaan (2) berikut :

$$C_0 = \epsilon_0 / d \quad (2)$$

Selanjutnya Persamaan (2) disubstitusi ke dalam Persamaan (3) sehingga menjadi:

$$C_0 = (\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A) / d \quad (3)$$

$$\epsilon_r = (C \cdot d) / (\epsilon_0 \cdot A) \quad (4)$$

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

2.3.3 Sifat Termal

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan suhu. Hal ini disebabkan apabila suhu berubah, pergerakan molekul karena suhu akan mengubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Selanjutnya, karena panas

oksigen, dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul, terjadilah dipolimerisasi, oksidasi, hidrolisis, dan seterusnya pada suhu tinggi. Sifat termal polimer adalah :

a. Koefisien Pemuaian Termal

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

b. Panas Jenis

Panas jenis bahan polimer kira-kira 0,25 - 0,55 cal/g/°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

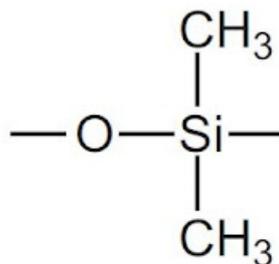
Titik tahan panas Kalau temperatur bahan polimer naik, maka pergerakan molekul menjadi aktif ke titik transisi. Hal ini dapat menyebabkan modulasi elastik dan kekerasannya rendah. Sedangkan tegangan patahnya lebih kecil dan perpanjangannya lebih besar.

Kekuatan termal suatu material isolator mutlak dimiliki. Kejadian tegangan lewat denyar (*flashover*) melalui permukaan dapat menimbulkan panas yang tinggi di bagian permukaan. Jika hal ini terjadi berulang-ulang akan menyebabkan kerusakan (*tracking*) yang berdampak terhadap penurunan resistansi permukaan. Hasil pengujian sifat termal Polimer SIR dengan menggunakan termogravimetri dapat memberikan kestabilan termal sampai mencapai suhu 260°C. Bahkan polimer SIR kelompok RTV masih stabil sampai 300°C. Beberapa tahun terakhir ini di beberapa negara sudah memulai mengoperasikan isolator polimer komposit dalam

upaya meningkatkan keandalan dan mengurangi kehilangan daya listrik di saluran transmisi dan distribusi.

2.4 Silicon Rubber

Silicone rubber adalah elastomer yang terdiri dari silikon. Silikon polimer itu sendiri mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen. *Silicone rubber* sering mengandung dua bagian polimer, yang mungkin berisi filler untuk meningkatkan sifat atau mengurangi biaya dan biasanya *Silicone rubber* banyak digunakan di bidang industri. *Silicone rubber* pada umumnya non-reaktif, stabil, dan tahan terhadap lingkungan yang ekstrem dari suhu $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, dengan mempertahankan sifat manfaatnya. Karena sifat –sifat dan kemudahan manufaktur dan pembentukannya, *Silicone rubber* dapat ditemukan dalam berbagai macam produk termasuk isolator tegangan tinggi. Adapun seperti pada Gambar 2 yang merupakan gugus methyl dari silicone rubber, yang terdiri atas atom karbon dan atom silikon.



Gambar 2. Gugus metil silicon rubber

Adapun sifat-sifat dari *Silicone rubber* adalah sebagai berikut :

1. Ketahanan suhu

Hal ini ditandai dengan *silicone rubber* yang tahan terhadap suhu yang lebih luas dibandingkan dengan elastomer lainnya. Di mana tetap stabil pada rentang suhu -75°F sampai 500°F .

2. Peralatan mekanis

Silicon rubber memiliki sobekan dan tensil yang kekuatannya tinggi, elongasi yang baik, dan fleksibilitas yang besar.

3. Properti listrik

Silicon rubber memiliki sifat dielektrik yang sangat bagus dibandingkan dengan bahan isolasi lainnya yang di mana tahan di bawah suhu yang ekstrem. *Silicone rubber* tidak konduktif.

4. Tahan bahan kimia dan minyak

Silicone rubber memiliki sifat yang tahan akan bahan kimia dan minyak yang di mana kebanyakan jenis karet terkontaminasi bahan kimia dan minyak.

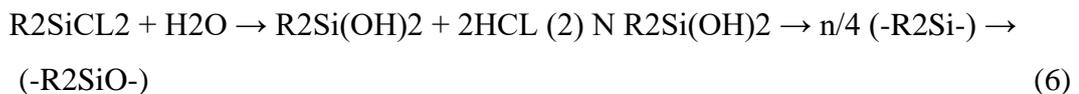
5. Tahan penuaan

Kandungan karbon yang terdapat pada silikon membuatnya lebih tahan dan peka terhadap panas, ozon, hingga suasana ekstrim lainnya.

Silane yang disebut juga *Silicone rubber* adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi yang digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolasi tegangan tinggi. *Silicone rubber* merupakan polymeric synthetic yang relatif baru penggunaannya sebagai bahan isolasi dalam bidang teknik listrik dibanding dengan polimer lainnya seperti resin epoksi atau *polyethylene*. Karet silikon ($[\text{CH}_3]_2\text{SiO}$)_n, tersusun atas monomer-monomer *cyclic siloxane* yang membentuk *polydimethylsiloxane* (PDMS). Karet silikon memiliki derajat polimerisasi (n) yang dimulai dari 4.000 sampai 10.000 dan memiliki berat molekul yang tinggi. Untuk mendapatkan suatu atom silikon dapat dilakukan dengan menggunakan karbon pada suatu pemanasan listrik. Reaksinya dapat ditunjukkan di bawah ini:



Penggabungan elemen silikon dengan grup *methyl*, CH₃ dilakukan dengan pereaksi *methyl chloride*, CH₃CL, sehingga diperoleh *trimethylchlorosilane*, CH₃SiCL₂. Selanjutnya dari proses penguraian diperoleh *dimethyldichlorosilane*, CH₂SiCL₂ atau *methyl chlorosilane*. Untuk mendapatkan hasil maksimum dapat diperoleh dengan mengendalikan *dimethyldichlorosilane*. Silane selanjutnya dihidrolisis untuk mendapatkan silanol, yang merupakan unsur dasar penyusun karet silikon melalui *polycondensation* dari *silanols*. Reaksi kimianya sebagai berikut :



Setelah melalui reaksi polimerisasi, diperoleh karet silikon yang memiliki derajat polimerisasi yang sangat tinggi berkisar antara 300.000 sampai 1.000.000 dengan berat molekul yang sangat tinggi.

Material polimer *Silicone rubber* adalah bahan dielektrik yang sering digunakan beberapa tahun terakhir. Jika dilihat dari sifatnya, *Silicone rubber* mempunyai sifat tolak air (*hydrophobicity*) yang tinggi, bahkan mampu memindahkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan ikut bersifat hidrofobik. Dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang 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. *Silicone rubber* merupakan bahan isolasi yang tahan terhadap suhu tinggi. Secara garis besar karet silikon dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. High Temperature Vulcanizing (HTV)

Bahan ini dapat digunakan pada suhu $55^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$, 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 $25^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ dan biasanya digunakan untuk melapisi isolator keramik.

2.5 Difusi Air

Difusi merupakan suatu penyebaran molekul suatu zat ke segala arah dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang rendah hingga mencapai suatu konsentrasi yang sama. Difusi disebabkan oleh adanya energi kinetis dari molekul, sumber energi utama pergerakan molekul terdapat di daerah yang banyak molekulnya (Konsentrasi pekat). Arah pergerakan difusi ke tempat yang kekurangan molekul (konsentrasi rendah).

2.5.1 Proses Difusi

Proses difusi dapat terjadi di zat padat, zat cair, atau zat gas. Dalam hal ini, prosesnya tidak memerlukan energi karena itulah proses difusi disebut juga sebagai sistem transpor pasif. Proses difusi adalah kondisi di mana terjadinya pergerakan

partikel zat dengan gerakan acak yang berdifusi dari bagian berkonsentrasi tinggi menuju ke bagian yang lebih rendah melalui membran sel. Sebuah partikel dapat melewati membran tersebut jika ukuran partikel sangat kecil dan dapat larut dalam air maupun lemak.

Proses difusi merupakan proses *transport* pasif, di dalam proses difusi partikel zat akan bergerak dari daerah berkonsentrasi tinggi menuju daerah dengan konsentrasi yang lebih rendah, sehingga akan menghasilkan konsentrasi yang sama di dalam zat tersebut. Proses difusi terjadi akibat adanya pergerakan suatu partikel zat dari daerah yang berkonsentrasi lebih tinggi menuju daerah yang berkonsentrasi lebih rendah melewati suatu membran sel. Syarat agar partikel dapat melalui membran ketika berdifusi adalah ukuran partikel tersebut sangat kecil dan partikel tersebut dapat larut di dalam air dan di dalam lemak.

2.5.2 Teori Difusi pada Bahan Polimer

Kasus pembatas klasik difusi dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum kedua Fick dengan koefisien difusi konstan atau difusivitas, D sedemikian rupa sehingga

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \nabla^2 c \quad (7)$$

Di mana c adalah konsentrasi air dan t adalah waktu. Untuk difusi satu dimensi melalui plat ketebalan tak terbatas L , persamaan ini direduksi menjadi

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (8)$$

Di mana D_x adalah difusivitas melalui ketebalan material. Difusi uap air ke dalam polimer kaca umumnya mengikuti hukum ini ketika pengangkutan uap air sepenuhnya dikendalikan oleh difusi, yaitu ketika mekanisme difusi yang terkait dengan degradasi, relaksasi molekuler, atau pengawetan yang tidak memadai atau tidak aktif. Selanjutnya, D_x sering menunjukkan ketergantungan pada suhu yang mengikuti hubungan Arrhenius yaitu

$$D_x = D_0 \exp\left(\frac{-A_0}{RT}\right) \quad (9)$$

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

Untuk sebagian besar aplikasi praktis, perubahan persentase kadar air, M dapat diukur secara gravimetri, yaitu sebagai perubahan berat atau massa spesimen polimer seperti pada

$$M = \frac{w-w_d}{w_d} 100\% \quad (10)$$

Di mana w adalah berat atau massa bahan setiap saat, t dan w_d adalah berat atau massa bahan kering. Berat total atau massa uap air dalam spesimen setiap saat diberikan oleh

$$w-w_d = \frac{1}{L} \int_0^L c dx \quad (11)$$

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:

$$D_x = \left(\frac{\pi}{16} \right) \left(\frac{F}{M_{sat}} \right) \quad (12)$$

Di mana M_{sat} adalah keseimbangan tingkat kejenuhan kelembaban untuk lingkungan tertentu. Plot seperti itu harus linier hingga $M \leq 0,6 M_{sat}$ dengan deviasi kurang dari 2% untuk difusi Fickian yang sebenarnya.

Meskipun difusivitas tidak secara umum tergantung pada konsentrasi kelembaban permukaan, lingkungan pembulatan dan tingkat saturasi kelembaban sering diamati tergantung pada kelembaban relatif sesuai dengan hubungan.

$$M_{sat} = \alpha (RH)^b \quad (13)$$

Di mana a dan b adalah parameter konstan, dan RH adalah persentase kelembaban relatif. M_{sat} telah diamati tergantung independen suhu untuk sistem polimer yang berbeda. Pengamatan yang tampaknya kontras ini telah dijelaskan melalui argumen termodinamika. Untuk air dalam epoksi, panas larutan, $D H_s$, adalah negatif. Faktor ini secara termodinamika ditentang oleh panas penguapan air, $D H_v$. Jika $D H_s \leq 2 D H_v$ maka M_{sat} bukan merupakan fungsi suhu, dan untuk Sebagian sistem, kesetaraan ini tidak berlaku.

2.6 Sudut Kontak

Sudut kontak (θ) adalah sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air destilasi pada permukaan isolator. Sifat *hydrophobic* pada suatu permukaan isolator mempengaruhi besar sudut kontak air pada permukaan isolator. Sifat hidrofobik berguna agar permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, sehingga nilai arus bocor yang mengalir relatif lebih kecil. Besar sudut kontak yang terbentuk mempengaruhi besar arus bocor dan medan listrik pada permukaan isolator. Hal ini pun mampu menginisiasi penurunan kekuatan elektrik isolator. Besarnya sudut kontak akan mempengaruhi karakteristik isolator, di mana bisa 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) (Nurhening Yuniarti, 2007). Sifat hidrofobik berguna untuk isolasi pasangan luar karena dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinu pada permukaan isolator, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil.

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

1. Hampir Tidak Basah (hidrofobik) Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah lebih dari 90 derajat dan kurang dari 180 derajat.
2. Basah Sebagian Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 30 derajat hingga 90 derajat.
3. Basah Keseluruhan (hidrofilik) Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 0 derajat hingga kurang dari 30 derajat.

terlebih dahulu pada komputer kemudian diukur sudut yang terbentuk. Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan metode ini Adalah :

1. Spesimen uji harus ditempatkan sedatar mungkin
2. Permukaan yang diukur tidak boleh disentuh saat penetesan, setelahnya dilakukan pengukuran sesegera mungkin
3. Air yang digunakan tidak boleh mengandung kotoran, misalnya tensida, pelarut, minyak dan lainnya.
4. Volume tetesan berkisar 5 uL-50 uL, disarankan menggunakan 50 uL.

2.7 Pengaruh Filler Terhadap Serapan Air dan Dielektrik Isolator Polimer

Isolator dari polimer silicon SIR adalah salah satu material polimer yang dikembangkan oleh beberapa riset untuk isolasi *outdoor (housing)* pada isolator campuran (*composite*) dan terminal kabel. Material isolator polimer *Silicon rubber* populer dibandingkan dengan keramik/porselen dan tipe polimer yang lain dengan pengukuran naik (*up*) terhadap penangkis air (*water-repellent*) sifat menolak air (*hydrofobicity*) yang tinggi, dapat menemukan kembali dan memindahkan sifat menolak air (*transfer hydrofobicity*) untuk lapisan polusi dan sifat dielektrik yang unggul (ϵ_r dan $\tan \delta$ adalah kecil).

Pada pembangunan (*erection*) biasanya isolator ada didalam rangkaian linear (*outdoor*) udara yang bertegangan tinggi, karena itu, pengaruh resapan air dari kelembaban yang tinggi atau hujan pada material isolator polimer akan dapat mempengaruhi kekuatan dielektrik yang ditandai dengan penambahan dari faktor rugi-rugi *tangen* ($\tan \delta$) dan *permittivity relative* (ϵ_r).

Daya rentang isolasi polimer silikon tanpa filler adalah rendah sebab kekuatan antara kekuatan molekul adalah rendah. Untuk menambah daya rentang dan menambah kekerasan (*hardness*) dapat digunakan filler *Silica* (SiO_2). Filler lain seperti *alumina trihydrate ATH* ($\text{Al}(\text{OH})_3$) yang ditambahkan pada isolasi polimer silicon akan memberikan daya tahan (*endurance*) untuk erosi dan *tracking* (Gorur, 1991).

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Meyer, L. H., Walt Duley, dan S. Jayaram. (2017) dengan judul *Thermal Characteristics of Silicone rubber Filled with ATH and Silica under Laser Heating*. Dalam penelitian ini mengeksplorasi perilaku temperatur dari karet silikon yang diisi pada konsentrasi yang berbeda dengan *alumina trihidrat* (ATH) dan *silika*. Tiga partikel ukuran, 1.5 μm , 5 μm and 10 μm , dicampurkan dan dijadikan sampel. Laser dekat-inframerah digunakan untuk memanaskan sampel. Konsentrasi pengisi memainkan sebuah peran utama pada peningkatan konduktivitas termal saat dibandingkan dengan ukuran partikel. Meski demikian, konduktivitas termal lebih baik dapat dibedakan pada ATH dengan ukuran 1,5 μm atau silika, pada semua konsentrasi.

2.7.1 SiO₂

SiO₂ adalah rumus kimia yang mewakili senyawa silikon dioksida, yang juga dikenal sebagai silika. Silika adalah mineral yang melimpah dan esensial di kerak bumi dan dapat ditemukan dalam berbagai bentuk seperti kuarsa, pasir, dan kaca. Silika memiliki berbagai aplikasi, termasuk dalam produksi keramik, elektronik, dan material konstruksi. Silika juga sering digunakan sebagai desikan, karena memiliki kemampuan yang kuat untuk menyerap kelembaban dari lingkungannya. Silika umumnya dianggap tidak beracun, tetapi paparan yang berkepanjangan terhadap partikel halus debu silika kristal dapat menyebabkan kerusakan paru-paru dan masalah kesehatan lainnya.

SiO₂ (silikon dioksida atau silika) terdiri dari unsur silikon (Si) dan oksigen (O). Secara kimia, silika terdiri dari satu atom silikon dan dua atom oksigen, dan memiliki rumus kimia SiO₂. Unsur silikon (Si) adalah logam semikonduktor yang terletak di periode ketiga dan grup 14 dalam tabel periodik. Unsur oksigen (O) adalah non-logam yang terletak di periode kedua dan grup 16 dalam tabel periodik. SiO₂ adalah senyawa kovalen polar dan membentuk ikatan silikon-oksida (Si-O). Dalam bentuk kristal kuarsa (silika kristalin), atom silikon dan oksigen membentuk jaringan kristal tiga dimensi yang kaku dan berulang, dengan tiap atom silikon terikat dengan empat atom oksigen, dan setiap atom oksigen terikat dengan dua atom silikon.

Silika (SiO_2) digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator listrik yang digabungkan dengan silikon rubber untuk meningkatkan ketahanan isolator terhadap panas dan kelembaban. Beberapa sifat SiO_2 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 SiO_2 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 SiO_2 tidak mudah terdegradasi.
5. Tahan terhadap kelembaban: Meskipun SiO_2 memiliki kecenderungan untuk menyerap kelembaban dari lingkungannya, isolator yang mengandung SiO_2 dapat dirancang sedemikian rupa untuk tahan terhadap kelembaban.
6. Biodegradasi: Silika tidak dapat terurai secara alami dan tidak berkontribusi pada pencemaran lingkungan.

Namun, terdapat beberapa kekurangan dari penggunaan SiO_2 sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator listrik, seperti sifat higroskopisnya yang dapat mempengaruhi kinerja isolator dalam lingkungan yang lembab dan ketahanan terhadap asam kuat yang terbatas.

Silika (SiO_2) memiliki sifat higroskopis, yang berarti ia dapat menyerap atau menarik air dari udara sekitarnya. Ada beberapa alasan mengapa SiO_2 menyerap kelembaban, yaitu:

1. Kekuatan ikatan hidrogen: Air adalah molekul polar dan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan atom oksigen SiO_2 . Ikatan hidrogen ini dapat menarik molekul air dan menahan mereka di permukaan SiO_2 .
2. Luas permukaan: Silika memiliki luas permukaan yang besar karena memiliki struktur pori-pori atau porositas. Permukaan yang luas ini memungkinkan silika untuk menangkap banyak molekul air dari udara.
3. Ketersediaan muatan listrik: Silika dapat membentuk muatan permukaan ketika terkena kelembaban. Muatan permukaan ini dapat menarik molekul air dan membuatnya menempel pada permukaan silika.

2.7.2 ATH

Aluminium trihidrat ($\text{Al}(\text{OH})_3$) adalah senyawa kimia yang terdiri dari atom aluminium, oksigen, dan hidrogen. Senyawa ini dikenal sebagai bahan pengisi non-toxic dalam berbagai aplikasi industri, seperti sebagai bahan pengisi atau bahan aditif dalam produksi plastik, kertas, karet, cat, bahan bangunan, dan lain sebagainya. Aluminium trihidrat juga digunakan sebagai agen retardasi api karena dapat memancarkan air ketika terkena suhu tinggi, sehingga dapat memadamkan api dan melambatkan laju pembakaran material. Selain itu, aluminium trihidrat juga digunakan sebagai bahan pengisi dalam produksi keramik dan sebagai bahan kimia dalam proses produksi alumina.

Kelebihan dari penggunaan aluminium trihidrat (ATH) sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator silikon rubber adalah:

1. Kekuatan dielektrik yang baik: ATH memiliki kemampuan untuk meningkatkan kekuatan dielektrik isolator silikon rubber, sehingga dapat menahan tegangan listrik yang tinggi dan mencegah terjadinya arus bocor.
2. Sifat non-toxic dan tidak berbahaya: ATH merupakan bahan pengisi non-toxic yang aman digunakan dalam pembuatan isolator silikon rubber dan tidak memiliki efek berbahaya bagi kesehatan manusia.

3. Resistensi terhadap api: ATH memiliki kemampuan untuk memancarkan air ketika terkena suhu tinggi, sehingga dapat memadamkan api dan melambatkan laju pembakaran material.
4. Biaya produksi yang relatif rendah: Biaya produksi ATH relatif murah dibandingkan dengan bahan pengisi lainnya seperti silika.

Namun, ada beberapa kekurangan dalam penggunaan ATH sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator silikon rubber, antara lain:

1. Kekuatan mekanik yang rendah: Penggunaan ATH sebagai bahan pengisi dapat mengurangi kekuatan mekanik isolator silikon rubber, sehingga dapat mempengaruhi kinerja isolator.
2. Pengaruh terhadap sifat termal isolator: ATH memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga penggunaannya sebagai bahan pengisi dapat mempengaruhi sifat termal isolator dan dapat menyebabkan isolator menjadi mudah rusak pada suhu yang tinggi.
3. Pembentukan gelembung pada produk akhir: Penggunaan ATH sebagai bahan pengisi dapat mempengaruhi proses vulkanisasi isolator silikon rubber dan dapat menyebabkan terbentuknya gelembung pada produk akhir.
4. Pengaruh terhadap sifat kimia isolator: Penggunaan ATH sebagai bahan pengisi dapat mempengaruhi sifat kimia isolator silikon rubber dan dapat menyebabkan isolator menjadi lebih mudah terdegradasi oleh bahan kimia tertentu.