

SKRIPSI

**PENGARUH *NANO FILLER SILICA*+ATH TERHADAP
RECOVERY DAN TRANSFER SIFAT HIDROFOBIK KE
LAPISAN POLUSI PERMUKAAN ISOLATOR POLIMER
*SILICONE RUBBER***

Disusun dan diajukan oleh:

ALPRIANTO PAEMBANAN

D041 18 1508



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH *NANO FILLER SILICA*+ATH TERHADAP *RECOVERY* DAN TRANSFER SIFAT HIDROFOBİK KE LAPISAN POLUSI PERMUKAAN ISOLATOR POLİMER *SILICONE* *RUBBER*

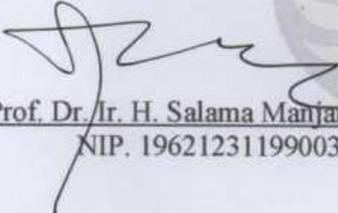
Disusun dan diajukan oleh

ALPRIANTO PAEMBONAN
D041 18 1508

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 25 Januari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,


Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPM
NIP. 19621231199003 1 024

Pembimbing II,


Ir. Tajuddin Warris, M.T.
NIP. 19650424199203 1 003

Ketua Departemen Teknik Elektro


Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., IPM
NIP. 19691026 199412 2 00



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Alprianto Paembonan
NIM : D041 18 1508
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

PENGARUH *NANO FILLER SILICA*+ATH TERHADAP *RECOVERY* DAN
TRANSFER SIFAT HIDROFOBİK KE LAPISAN POLUSI PERMUKAAN
ISOLATOR POLIMER *SILICONE RUBBER*

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 penerbitnya. 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 diklasifikasi 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, 25 Januari 2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Yang Menyatakan

Alprianto Paembonan

ABSTRAK

ALPRIANTO PAEMBONAN. *Pengaruh Nano Filler Silica+ATH Terhadap Recovery dan Transfer Sifat Hidrofobik ke Lapisan Polusi Permukaan Isolator Polimer Silicone Rubber (dibimbing oleh Salama Manjang dan Tajuddin Waris)*

Isolator yang terpolusi atau tercemar adalah salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam kelistrikan. Adanya polusi atau pencemaran pada isolator dapat mengakibatkan isolator menjadi lebih rentan terhadap kebocoran arus listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi, isolator polimer *silicone rubber* sebagai pilihan yang populer dalam aplikasi industri. Bahan *silicone rubber* juga mampu memulihkan (*recovery*) dan transfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi akibatnya lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan sampel dari bahan Isolator Polimer *Silicone Rubber* dengan penambahan *Nano Filler Silica+ATH*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kemampuan *recovery* dan transfer sifat hidrofobik pada lapisan polusi permukaan Isolator Polimer dengan penambahan *Nano Filler Silica+ATH*. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh radiasi UV terhadap Isolator Polimer dengan penambahan *Nano Filler Silica+ATH* tersebut. Adapun pengujian yang akan dilakukan pada penelitian meliputi sudut kontak, permitivitas relatif, tegangan tembus, resistansi volume dan permukaan, *recovery* dan transfer sifat hidrofobik dan radiasi UV. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan hasil yaitu sampel *silicone rubber* yang diberi *filler nano silica+ATH* mampu memulihkan (*recovery*) dan transfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi yang menyebabkan lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik. Kemampuan *recovery* dan transfer sifat hidrofobik ke lapisan polusi juga lumayan baik karena nilai sudut kontak yang didapatkan lebih besar dari 90° yang artinya bersifat hidrofobik. Selain itu, pengaruh radiasi UV terhadap sampel *silicone rubber* yang diberi *filler nano silica+ATH* terkadang mengalami kenaikan dan penurunan pada nilai sudut kontak, permitivitas relatif, resistansi volume dan resistansi permukaan. Selanjutnya, dari segi komposisi *fillernya* yang berarti semakin banyak komposisi *filler* yang digunakan berarti semakin besar nilai sudut kontak yang didapatkan begitu juga dengan permitivitas relatif, resistansi volume dan resistansi permukaannya. Lamanya penyinaran UV akan mempengaruhi besarnya nilai sudut kontak yang didapatkan dan nilai permitivitasnya.

Kata Kunci: Isolator, Isolator Polimer, *Silicone Rubber*, *Silica*, ATH, Hidrofobik



ABSTRACT

ALPRIANTO PAEMBONAN. *The Influence of Nano Filler Silica+ATH on the Recovery and Transfer of Hydrophobic Properties to the Surface Pollution Layer of Silicone Rubber Polymer Isolator (Supervised by Salama Manjang and Tajuddin Waris)*

The pollution or contamination of insulators is a common issue in electrical systems. Pollution or contamination on insulators can make them more susceptible to electrical leakage. With the advancement of technology, silicone rubber polymer insulators have become a popular choice in industrial applications. Silicone rubber material is also capable of recovering and transferring its hydrophobic properties to the pollution layer, making the pollution layer hydrophobic as well. This research aims to understand the process of creating samples from Silicone Rubber Polymer Insulator material with the addition of Nano Filler Silica+ATH. The study is conducted to determine the recovery and transfer capabilities of hydrophobic properties on the surface pollution layer of Polymer Insulator with the addition of Nano Filler Silica+ATH. Additionally, the research investigates the influence of UV radiation on the Polymer Insulator with the addition of Nano Filler Silica+ATH. The tests conducted in the research include contact angle, relative permittivity, breakdown voltage, volume and surface resistivity, hydrophobic property recovery and transfer, and UV radiation. Based on the test results, it is found that silicone rubber samples with nano filler silica+ATH are capable of recovering and transferring their hydrophobic properties to the pollution layer, making the pollution layer hydrophobic. The recovery and transfer capabilities of hydrophobic properties to the pollution layer are quite good, as indicated by the contact angle value exceeding 90° , signifying hydrophobicity. Moreover, the influence of UV radiation on silicone rubber samples with nano filler silica+ATH sometimes shows fluctuations in contact angle, relative permittivity, volume resistivity, and surface resistivity values. Furthermore, the composition of the filler affects these properties, indicating that a higher filler composition results in larger contact angles, as well as higher relative permittivity, volume resistivity, and surface resistivity values. The duration of UV exposure also affects the contact angle and permittivity values.

Keywords: Insulator, Polymer Insulator, Silicone Rubber, Silica, ATH, Hydrophobic



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanya bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah serta kasih setia yang besar, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini berjudul “Pengaruh *Nano Filler Silica+ATH* Terhadap *Recovery* dan Transfer Sifat Hidrofobik ke Lapisan Polusi Permukaan Isolator Polimer *Silicone Rubber*”. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati menerima segala kritik, saran dan masukan yang membangun.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengalami berbagai kesulitan. Namun berkat usaha dan ketekunan yang disertai doa, penulisan ini akhirnya dapat terselesaikan. Dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan, dorongan, semangat serta bimbingan dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Kedua Orang Tua, ibunda tersayang Almh. Alberthin Salebu, S.Pd dan ayahanda tercinta Anton Paembonan yang telah memberikan doa, bantuan, semangat serta dukungan yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPM selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, ilmu, bantuan, saran, ide-ide, motivasi, petunjuk, serta dukungannya dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Dr. Yusran, S.T., M.T. selaku Penguji I dan Bapak Prof. Dr. Ir. Indar C. Gunadin, S.T., M.T., IPM selaku Penguji II yang juga memberi banyak kritikan, masukan dan saran yang membangun dalam penyusunan serta perbaikan dalam skripsi ini.



4. Seluruh dosen dan staf pengajar Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu yang tidak terbatas, bantuan dan kemudahan selama menempuh penulis menempuh proses perkuliahan.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
8. Bapak Ir. Mustamin, M.T. selaku pengarah dan juga memberikan banyak ilmu serta bantuan dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
9. Saudara penulis, Arnoldus Paembonan dan istri serta Alfrensius Paembonan dan istri, yang telah memberikan dukungan dan semangat.
10. Keluarga besar penulis atas doa dan dukungannya.
11. Keluarga di Gowa, selaku Ibu Kos Pondok Surya yang memberikan bantuan selama proses perkuliahan.
12. Keluarga Mahasiswa Katolik Teknik Universitas Hasanuddin atas momen berharganya dan kerjasamanya.
13. Pengurus KMKT-UH Periode 2021/2022 atas momen berharganya dan pembelajarannya selama periode kepengurusan.
14. Teman-Teman Seperjuangan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur terkhusus Asmah, Ainun dan Qoni yang selalu memberi bantuan, dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Tim Polimer T3 terkhusus Adit dan Satria atas kerjasamanya selama mengerjakan penelitian ini.
16. Teman-teman KKN Tematik Gel. 107 UNHAS Wilayah Bulukumba 4 atas perjuangannya dan dan momen kebersamaannya selama pelaksanaan kuliah kerja nyata terkhusus Yuyun, Nispan, Ainun, Exae, Cimoy, Rahim, Ocang.
Teman-teman Kerja Praktek PLTU Barru OMU atas perjuangannya selama pelaksanaan kerja praktek.



18. Sahabat sekaligus Saudara Seperjuangan “CAL18RATOR” atas momen berharga dan perjalanan penuh makna, yang selalu berbagi waktu, kebersamaan, kebahagiaan dan kesedihan selama berproses menjadi mahasiswa, terkhusus Ketua Angkatan Elektro 2018 Andi Achmad Rifai. Maka dari itu kuatkan diri dan janganlah ragu untuk “MERAIH MIMPI” karena tak kan ada yang hentikan langkahmu dan tak kan lama lagi kita kan berpisah raga, semoga jiwa tetap satu.
19. Saudara-saudara seperjuangan TEKNIK Angkatan 2018 atas momen dan kerjasamanya selama berproses menjadi mahasiswa.
20. Kanda EXCITER16, EQUAL17ER, Saudara Seperjuangan CAL18RATOR dan Dinda TR19GER, PROCEZ20R, POLA21ZER serta BUNTER22 atas momen/hiburannya, bantuan dan kerjasamanya selama berproses menjadi mahasiswa.
21. Saudara Bocah Galau (Rahim, Adit, Aso, Sableng, Caesar, Jentel, Alba, Uje, Rull, Iccang, Brian) atas bantuan, momen dan hiburannya.
22. Saudara tongkrongan di Pondok Surya (Aso, Sableng, Alba, Uje, Fai, Fredi, Yakuza, Oljen, Fak, Gun, Ipul, Lian, Richard, Basit, Tublez) atas hiburan, dukungan dan bantuannya.
23. Saudara tongkrongan So’ Balli Fams atas momen berharganya.
24. Sahabat penulis dari SMA (Risno, Ricy, Cua, Gogon, Edri, Ripal, Sagita, Lols) atas dukungan dan hiburannya.
25. Teman turnamen (Risno, Wery, Aldo Kibitsu, Aldo Subur, James)
26. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi bahan referensi yang berguna. Sekali lagi, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Gowa, 25 Januari 2024

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
PERNYATAAN KEASLIAN	II
ABSTRAK	IV
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR.....	VI
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL.....	XV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Isolator	8
2.1.1 Pengertian Umum.....	8
2.1.2 Bahan Dielektrik Isolator.....	10
2.1.2.1 Porselen	10
2.1.2.2 Gelas	11
2.1.2.3 Bahan Komposit	12
2.2 Isolator Polimer	12
2.2.1 Sifat Kimia.....	13
2.2.2 Sifat Fisik.....	14
2.2.3 Sifat Mekanik	15
2.2.4 Sifat Termal	16
2.3 Hidrofobisitas	17
Sudut Kontak Pada Tetesan Air.....	18
Metode Pengujian Sifat Hidrofobik.....	20
Metode Sudut Kontak (<i>The Contact Angle Method</i>).....	20
Metode Tegangan Permukaan (<i>The Surface Tension Method</i>)	21



2.5.3	Metode Penyemprotan (<i>The Spray Method</i>).....	22
2.6	Karet Silikon (<i>Silicone Rubber</i>)	23
2.7	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	27
2.7.1	<i>Silica</i>	27
2.7.2	ATH (<i>Alumina Trihydrate Hydroxide</i>)/Aluminium Hidroksida ..	29
2.8	Polutan Kaolin	31
2.9	Polusi Pada Isolator	32
2.9.1	Polusi dari Laut.....	32
2.9.2	Polusi dari Industri.....	33
2.9.3	Polusi dari Daerah Padang Pasir.....	33
2.9.4	Polusi dari Gunung Berapi	33
2.10	Tegangan Tembus.....	34
2.11	Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		36
3.1	Rancangan Penelitian	36
3.2	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
3.2.1	Waktu Penelitian.....	36
3.2.2	Lokasi Penelitian	36
3.3	Variabel Penelitian	37
3.4	Bahan dan Alat	37
3.4.1	Alat	37
3.4.2	Bahan	40
3.5	Populasi dan Sampel.....	42
3.6	Prosedur Penelitian	43
3.6.1	Studi Literatur.....	43
3.6.2	Persiapan Alat dan Bahan.....	43
3.6.3	Pembuatan Sampel Uji	43
3.6.4	Pengukuran Parameter Awal	44
3.6.5	Pengambilan Data Sudut Kontak.....	44
	Pengujian Data Nilai Permittivitas Relatif	44
	Pengujian Tegangan Tembus.....	45
	Pengujian Resistansi Volume dan Resistansi Permukaan	46



3.6.9	Pengujian <i>Recovery</i> dan Transfer Sifat Hidrofobik.....	46
3.6.10	Pengujian Radiasi UV	46
3.6.11	Pengukuran Parameter Penelitian.....	47
3.6.12	Pengolahan dan Analisis Data Hasil Penelitian.....	47
3.6.13	Penarikan Kesimpulan.....	47
3.7	Teknik Pengumpulan Data	47
3.8	Teknik Analisis.....	48
3.9	Diagram Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Proses Pembuatan Sampel	49
4.2	Kemampuan <i>Recovery</i> dan Transfer Sifat Hidrofobik	52
4.2.1	Nilai Sudut Kontak	52
4.2.1.1	Nilai Sudut Kontak Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang	53
4.3	Pengaruh Radiasi UV terhadap Sampel.....	58
4.3.1	Nilai Sudut Kontak Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV.....	58
4.4	Kekuatan Dielektrik.....	62
4.4.1	Nilai Permittivitas Relatif.....	62
4.4.1.1	Nilai Permittivitas Relatif Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang	63
4.4.1.2	Nilai Permittivitas Relatif Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV.	65
4.4.1.3	Perbandingan Nilai Permittivitas Relatif Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang dan Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV	68
4.4.2	Nilai Tegangan Tembus.....	71
4.4.2.1	Nilai Tegangan Tembus pada Sampel nSiAT Sebelum Perlakuan	71
4.4.2.2	Nilai Tegangan Tembus Sampel nSiAT Setelah Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang	72
	Nilai Tegangan Tembus Sampel nSiAT Setelah Perlakuan Radiasi UV	72



4.4.2.4	Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Sampel nSiAT Sebelum Perlakuan dan Setelah Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang juga Perlakuan Radiasi UV	74
4.5	Nilai Resistansi Volume dan Resistansi Permukaan	76
4.5.1	Nilai Resistansi Volume	76
4.5.1.1	Nilai Resistansi Volume Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang	76
4.5.1.2	Nilai Resistansi Volume Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV..	79
4.5.1.3	Perbandingan Nilai Resistansi Volume Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang dan Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV	82
4.5.2	Nilai Resistansi Permukaan	84
4.5.2.1	Nilai Resistansi Permukaan Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang	84
4.5.2.2	Nilai Resistansi Permukaan Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV	87
4.5.2.3	Perbandingan Nilai Resistansi Permukaan Sampel nSiAT Perlakuan Transfer Hidrofobik pada Suhu Ruang dan Sampel nSiAT Perlakuan Radiasi UV	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	95
DAFTAR PUSTAKA		96
LAMPIRAN.....		100



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Isolator porselen/keramik.....	10
Gambar 2 Isolator gelas	11
Gambar 3 Isolator komposit.....	12
Gambar 4 Isolator polimer	13
Gambar 5 Bentuk dari butiran air pada (A) Permukaan hidrofobik dan (B) Permukaan kurang hidrofobik.....	17
Gambar 6 Pembentukan sudut kontak antara air dan permukaan isolator.....	19
Gambar 7 Perhitungan sudut kontak.....	19
Gambar 8 Karakteristik hidrofobik pada isolator polimer	22
Gambar 9 Struktur kaolin.....	31
Gambar 10 Lokasi Penelitian	36
Gambar 11 Rangkaian pengujian tegangan tembus	45
Gambar 12 Perlakuan transfer hidrofobik ke lapisan polusi dengan sudut kontak nSiAT 20 %	54
Gambar 13 Nilai sudut kontak sampel nSiAT pada suhu ruang	55
Gambar 14 Nilai sudut kontak sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV	59
Gambar 15 Sampel sebelum perlakuan dan sesudah perlakuan radiasi UV	62
Gambar 16 Nilai permitivitas relatif sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang.....	64
Gambar 17 Nilai permitivitas relatif sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi uv	66
Gambar 18 Perbandingan nilai permitivitas relatif sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan	69
Gambar 19 Perbandingan nilai tegangan tembus sebelum perlakuan, setelah perlakuan transfer hidrofobik dan setelah perlakuan radiasi UV.....	75
Gambar 20 Nilai resistansi volume sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang.....	77
Gambar 21 Nilai resistansi volume sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV.....	80



Gambar 22 Perbandingan nilai resistansi volume sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan	83
Gambar 23 Nilai resistansi permukaan sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang.....	85
Gambar 24 Nilai resistansi permukaan sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV.....	88
Gambar 25 Perbandingan nilai resistansi volume sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan	91



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Alat yang digunakan dalam penelitian.....	37
Tabel 2 Bahan yang digunakan dalam Penelitian	40
Tabel 3 Komposisi sampel uji.....	42
Tabel 4 Nilai sudut kontak sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang	53
Tabel 5 Nilai sudut kontak sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV	58
Tabel 6 Nilai permitivitas relatif sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang.....	63
Tabel 7 Nilai permitivitas relatif sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV	65
Tabel 8 Perbandingan Nilai permitivitas relatif sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan	69
Tabel 9 Nilai tegangan tembus pada sampel nSiAT sebelum perlakuan	71
Tabel 10 Nilai tegangan tembus pada sampel nSiAT setelah perlakuan transfer hidrofobik.....	72
Tabel 11 Nilai tegangan tembus pada sampel nSiAT setelah perlakuan radiasi uv	73
Tabel 12 Perbandingan nilai tegangan tembus sampel nSiAT sebelum perlakuan, setelah perlakuan transfer hidrofobik dan setelah perlakuan radiasi UV	74
Tabel 13 Nilai resistansi volume sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan pada suhu ruang.....	77
Tabel 14 Nilai resistansi volume sampel nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan radiasi UV	79
Tabel 15 Perbandingan nilai resistansi volume sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan	82
Tabel 16 Nilai resistansi permukaan sampel nSiAT sebelum dan sesudah 1 pada suhu ruang.....	85
Nilai resistansi permukaan sampel nSiAT sebelum dan sesudah 1 radiasi UV.....	87



Tabel 18 Perbandingan nilai resistansi permukaan sampel transfer hidrofobik dan sampel UV nSiAT sebelum dan sesudah perlakuan 91



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolator adalah komponen yang biasa digunakan dalam suatu sistem tenaga listrik untuk memisahkan konduktor listrik dari bahan atau objek lainnya. Isolator tersebut biasanya digunakan dalam konstruksi saluran transmisi dan distribusi untuk mendukung konduktor listrik dan menjaga jarak isolasi yang diperlukan antara konduktor dan tiang atau struktur penyangga lainnya. Isolator berfungsi mencegah arus listrik mengalir melalui jalur yang tidak diinginkan, sehingga dapat menjaga keamanan dan efisiensi suatu sistem tenaga listrik. Selain fungsi isolasi, isolator juga harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan listrik yang diberikan kepadanya tanpa terjadi kebocoran arus atau *flashover*.

Isolator umumnya terbuat dari bahan non-konduktif seperti porselen, kaca atau polimer. Biasanya dirancang untuk dapat menahan tegangan listrik yang diberikan dalam sistem dan memiliki ketahanan terhadap suhu, kelembaban, polusi dan kondisi lingkungan lainnya. Penggunaan isolator porselen dan kaca sudah tidak menguntungkan lagi karena isolator porselen tersebut cenderung lebih berat, rentan terhadap keretakan dan patah, rentan terhadap erosi dan biaya produksi yang tinggi dibandingkan dengan isolator polimer.

Perkembangan isolator polimer telah menjadi salah satu pilihan yang signifikan dalam industri. Isolator polimer terbuat dari bahan polimer, seperti silikon atau komposit polimer yang dimana memiliki bobot yang ringan, sehingga memudahkan dalam transportasi, instalasi dan pemeliharaan. Selain itu tahan terhadap pecahan, sehingga lebih aman dalam lingkungan yang rentan terhadap guncangan. Selain itu isolator polimer juga memiliki kemampuan isolasi yang baik dan mampu menahan tegangan listrik tanpa terjadi *flashover* atau kebocoran

ator polimer juga tahan terhadap cuaca ekstrem, termasuk kelembaban iku ekstrem dan paparan sinar *ultraviolet* (UV). Hal ini membuatnya tuk digunakan di luar ruangan dalam berbagai kondisi cuaca. Selain itu



ada beberapa perkembangan yang telah terjadi dalam isolator polimer yaitu penggunaan silikon karet dan polimer organik khusus dengan formulasi yang disesuaikan telah meningkatkan kinerja isolator polimer. Perkembangan dalam desain isolator polimer juga memungkinkan pengoptimalan bentuk dan ukuran. Desain yang lebih baik dapat meningkatkan distribusi medan listrik dan meningkatkan daya tahan isolator terhadap tekanan mekanik dan beban listrik. Selain itu, penggunaan *filler* nanopartikel seperti silika, alumina atau bahan pengisi (*filler*) lainnya telah meningkatkan kerja isolator polimer. *Filler* ini dapat meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan terhadap pelacakan dan daya tahan terhadap polusi. Pengembangan isolator polimer dengan lapisan hidrofobik atau anti-polusi juga telah meningkatkan kemampuan isolator untuk menolak polusi, seperti debu, kotoran ataupun partikel-partikel lainnya.

Isolator yang terpolusi atau tercemar adalah salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam kelistrikan. Adanya polusi atau pencemaran pada isolator dapat menyebabkan beberapa masalah seperti pengurangan daya isolasi yang mengakibatkan isolator menjadi lebih rentan terhadap kebocoran arus listrik, bisa juga mengakibatkan hubungan arus pendek atau hubungan tanah yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan atau bahkan kebakaran dan kegagalan isolator. Penting untuk menjaga isolator tetap bersih dan berfungsi dengan baik guna memastikan keandalan sistem listrik dan mencegah kemungkinan kerusakan atau kecelakaan yang disebabkan oleh isolator yang terpolusi.

Seiring dengan perkembangan teknologi, isolator polimer *silicone rubber* sebagai pilihan yang populer dalam aplikasi industri dan utilitas untuk menjaga keamanan dan keandalan sistem tenaga listrik karena memiliki beberapa karakteristik khusus yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam sistem tenaga listrik *silicone rubber* merupakan bahan polimer yang sifat hidrofobiknya tinggi, ringan bobotnya dan pembentukannya mudah. Bahan *silicone rubber* juga mampu memulihkan (*recovery*) dan transfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi

lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik sehingga pada saat hujan atau tidak terbentuk lapisan air, akibatnya konduktivitas permukaan isolator lah dengan demikian bocor sangat kecil. Oleh karena itu, penelitian telah



dilakukan untuk mengembangkan teknik yang dapat meningkatkan kemampuan hidrofobik lapisan polusi tersebut.

Salah satu teknik yang digunakan adalah penggunaan *filler*, seperti *silica* (SiO_2) dan *alumina trihydrate hydroxide* (ATH), dalam matriks polimer *silicone rubber*. *Filler* ditambahkan ke dalam *silicone rubber* untuk memberikan ketahanan terhadap pelacakan dan erosi. Bahan pengisi yang digunakan adalah ATH dan *silica* yang telah banyak digunakan oleh industri. ATH pada dasarnya adalah tahan api, apabila terjadi *flashover* atau terjadi pemanasan di atas permukaannya, bahan ini akan melepaskan air dalam bentuk uap yang berfungsi memadamkan busur api. Selain itu, *silica* juga memiliki ikatan yang sangat baik dengan rangkaian polimer yang memberikan kekuatan mekanik dengan membentuk struktur yang berpori dan mengisi celah-celah antara molekul polimer, sehingga memperbaiki kekuatan mekanik isolator polimer *silicone rubber*. Selain itu penggunaan *nano filler* juga dapat meningkatkan kemampuan isolator polimer *silicone rubber* untuk pulih dari keadaan terpapar polusi. Partikel *nano filler* dapat membantu menghalangi penetrasi zat polutan ke dalam polimer, sehingga mempercepat proses pemulihan sifat hidrofobik setelah pembersihan atau penghilangan polusi.

Di era yang semakin maju saat ini, masyarakat selalu ingin memiliki kemudahan yang instan dalam melakukan aktivitas dengan menggunakan bahan-bahan yang tidak perlu dibersihkan dalam penggunaannya atau dapat dikenal dengan bahan yang mempunyai sifat *self-cleaning*. Seiring dengan perkembangan teknologi, inovasi material multifungsi sudah menjadi kebutuhan bersama. Bahan hidrofobik menjadi salah satu inovasi peneliti untuk mengembangkan bahan multifungsi yang terinspirasi dari fenomena daun teratai, yang dimana tetesan air yang jatuh diatas daun teratai akan membentuk bulatan-bulatan yang dengan mudah bergelinding tanpa membasahi permukaannya, dan fenomena ini dikenal dengan *lotus-effect*. Berbagai metode modifikasi material telah dilakukan, salah satunya adalah teknologi rekayasa pada permukaan aluminium murni menjadi material yang memiliki sifat anti air (hidrofobik).



Hidrofobik berasal dari kata hidro (air) dan fobik (tidak suka) suatu sifat yang tidak mampu menyerap dan menahan air, zat hidrofobik adalah zat yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam minyak. Sedangkan hidrofilik berasal dari kata hidro (air) dan filik (suka) adalah sifat yang dapat menyerap air, zat hidrofilik adalah zat yang dapat larut dalam air. Sifat kelarutan disini dipertimbangkan dalam hal sifat polarnya, yang dimana air adalah senyawa polar sedangkan minyak adalah senyawa non-polar. Jadi ketika suatu zat dicampur dengan zat lain dengan kepolaran yang sama, maka zat tersebut dapat bercampur (larut), ini juga menjelaskan mengapa air dan minyak tidak dapat bercampur karena memiliki sifat yang berbeda (polar dan non-polar).

Untuk mengetahui permukaan hidrofobik dapat diamati melalui permukaan uji yang terbentuk dan sudut kontak air, dengan sudut kontak yang lebih tinggi menunjukkan bahwa permukaan tersebut sulit untuk dibasahi. Ada beberapa sudut kontak yang dapat dijadikan sebagai indikasi bahwa permukaan bersifat hidrofobik, untuk permukaan yang memiliki sudut kontak antara 10° - 90° disebut dengan hidrofilik dan permukaan yang sudut kontaknya $\leq 10^{\circ}$ disebut dengan superhidrofilik. Untuk permukaan yang bersifat hidrofobik memiliki sudut kontak antara 90° - 150° dan permukaan yang memiliki sudut kontak $\geq 150^{\circ}$ disebut dengan superhidrofobik. Kekasaran permukaan juga dapat menyebabkan sudut kontak pada permukaan hidrofobik meningkat sehingga menyebabkan permukaan semakin menolak air, sedangkan pada permukaan hidrofilik, semakin kasar permukaannya, semakin kecil sudut kontakannya dan semakin mudah menyerap air.

Salah satu keunggulan permukaan hidrofobik adalah fungsi *self-cleaning* yang dapat mencegah kontaminasi pada permukaan material. Kotoran atau polutan akan terbawa turun oleh air saat air menggelinding jatuh dari permukaan. Banyak penelitian telah dilakukan untuk memahami fungsi, struktur dan prinsip kerja permukaan hidrofobik yang memiliki fungsi *self-cleaning*. Sifat superhidrofobik merupakan kriteria untuk mendapatkan fungsi *self-cleaning* yang baik. Permukaan yang memiliki sifat anti air dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu

komposisi kimia suatu permukaan dan faktor kekasarannya. Komposisi kimia dari material mempengaruhi sifat hidrofobik karena sifat air yang polar, untuk permukaan hidrofobik harus non-polar. Selain kombinasi komposisi



kimia, interaksi antara air dan permukaan yang menyebabkan reaksi antara keduanya juga dapat mempengaruhi faktor kekasarannya. Dengan adanya prinsip hukum kesetimbangan yaitu, semakin kasar permukaan/semakin sedikit bagian permukaan air yang menyentuh permukaan, maka air semakin setimbang. Kesetimbangan dalam air ini menyebabkan air berbentuk bulatan-bulatan, sehingga permukaan tetap dalam keadaan kering dan tidak basah.

Namun penting untuk dicatat bahwa pengaruh *filler silica*+ATH dapat bervariasi tergantung komposisi dan pengaturan percobaan yang akan digunakan. Dalam penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan karakterisasi dan evaluasi lebih lanjut untuk memahami secara mendalam apa yang menjadi pengaruh dari penggunaan *nano filler silica*+ATH ini terhadap kinerja isolator polimer *silicone rubber*. Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka penulis mengangkat judul penelitian tugas akhir yaitu: “PENGARUH *NANO FILLER SILICA*+ATH TERHADAP *RECOVERY* DAN TRANSFER SIFAT HIDROFOBİK KE POLUSI PERMUKAAN ISOLATOR POLIMER *SILICONE RUBBER*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan sampel dari bahan isolator polimer *silicone rubber* dengan diberikan *nano filler silica*+ATH ?
2. Bagaimana kemampuan *recovery* dan transfer sifat hidrofobik terhadap lapisan polusi permukaan isolator polimer *silicone rubber*?
3. Bagaimana pengaruh radiasi UV terhadap degradasi/penuaan isolator polimer *silicone rubber* dengan campuran *nano filler silica*+ATH ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui proses pembuatan sampel dari bahan isolator polimer *silicone rubber* dengan diberikan *nano filler silica*+ATH .
2. Untuk mengetahui kemampuan *recovery* dan transfer dengan menggunakan campuran *nano filler silica*+ATH terhadap sifat hidrofobik pada lapisan polusi permukaan isolator polimer *silicone rubber*.



3. Untuk mengetahui pengaruh radiasi UV terhadap degradasi/penuaan isolator polimer *silicone rubber* dengan campuran *nano filler silica+ATH*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai kemampuan *recovery* dan transfer yang menggunakan campuran *nano filler silica+ATH* terhadap sifat hidrofobik pada lapisan polusi permukaan isolator polimer *silicone rubber*.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh radiasi UV terhadap degradasi/penuaan isolator polimer *silicone rubber* dengan campuran *nano filler silica+ATH*.
3. Memberikan informasi mengenai permitivitas relatif, resistansi volume dan permukaan serta tegangan tembus sebelum dan sesudah diberi perlakuan *recovery* dan transfer sifat hidrofobik ke lapisan polusi permukaan isolator polimer *silicone rubber* dan perlakuan radiasi UV.
4. Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak PLN sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan isolator.
5. Penelitian ini dapat digunakan sebagai pengembangan dalam penelitian-penelitian berikutnya yang berkaitan.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup yang diberikan 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. Sampel uji yang digunakan adalah isolator polimer *silicone rubber* yang terbuat dari RTV 683 *silicone rubber* dengan campuran *nano filler silica+ATH*.
3. Komposisi campuran *filler* yaitu 5 %, 10 %, 15 % dan 20 %.



er yang digunakan adalah campuran *nano filler silica+ATH*.
 utan yang digunakan adalah kaolin.

6. Pengujian yang akan dilakukan berfokus pada kekuatan *recovery* dan transfer sifat hidrofobik , permitivitas relatif, resistansi volume dan permukaan, tegangan tembus serta pengaruh radiasi UV terhadap sampel tanpa polutan.
7. Penelitian ini tidak membahas tentang reaksi kimia dan struktur kimia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

2.1.1 Pengertian Umum

Suatu sistem tenaga listrik memiliki bagian-bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan. Bagian-bagian yang bertegangan harus dipisahkan dengan bagian-bagian yang tidak bertegangan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada, antara bagian satu dengan bagian yang lainnya. Misalnya pada suatu jaringan transmisi, antara suatu kawat penghantar dengan kawat penghantar lainnya dipisahkan oleh udara. Namun kawat penghantar ini harus digantungkan pada menara atau tiang listrik sehingga diperlukan suatu isolator yang cukup kuat untuk menopang kawat penghantar sekaligus mengisolasi kawat penghantar dengan menara yang terhubung ke tanah agar tidak terjadi aliran listrik hubung singkat ke tanah (Pranoto, 2014).

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

Isolator adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolator valensi elektronnya terikat kuat pada atom-

Bahan ini dipergunakan dalam alat-alat elektronika sebagai isolator, atau bat mengalirnya arus listrik. Isolator berguna juga sebagai isolator, atau bat mengalirnya arus listrik. Isolator berguna juga sebagai penopang atau pemisah antara konduktor tanpa membuat adanya arus mengalir keluar



atau antara konduktor. Istilah ini juga dipergunakan untuk menamai alat yang digunakan untuk menyangga kabel transmisi listrik pada tiang listrik. Beberapa bahan, seperti kaca, kertas, atau teflon merupakan bahan isolator yang sangat bagus. Beberapa bahan sintetis masih “cukup bagus” dipergunakan sebagai bahan isolator kabel, contohnya plastik atau karet. Bahan-bahan ini dipilih sebagai bahan isolator kabel karena lebih mudah dibentuk/diproses sementara masih bisa menyumbat aliran listrik pada voltase menengah, ratusan, mungkin ribuan volt (Dissado, L.A., Fothergill, 1992).

Isolator dapat ditemui pada setiap bagian sistem tenaga listrik. Selain pada transmisi, isolator juga dapat ditemui pada jaringan distribusi hantaran udara, gardu induk dan panel pembagi daya. Pada jaringan distribusi hantaran udara isolator digunakan sebagai penggantung atau penopang konduktor. Pada gardu induk isolator digunakan sebagai pendukung sakelar pemisah, pendukung konduktor penghubung dan penggantung rel dengan kerangka pendukung pemisah (Surdia, 1995).

Pada suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai bagian yang memiliki tegangan dan juga tidak bertegangan. Sehingga bagian yang bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang tidak bertegangan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian dengan yang lainnya. Misalnya pada suatu jaringan transmisi, antara suatu konduktor penghantar dengan konduktor lainnya dipisahkan oleh udara. Namun konduktor ini harus digantungkan pada tower penopang sehingga dibutuhkan suatu isolator yang cukup untuk menopang konduktor ini sekaligus mengisolasi antara konduktor dengan menara yang terhubung ke tanah agar tidak terjadi hubung singkat ke tanah (Simanjuntak, Jerry C. M., 2005).

Isolasi adalah sifat bahan yang berfungsi dapat memisahkan secara elektrik dua atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, tidak terjadi lompatan api atau lewat denyar (*flashover*), ataupun percikan api (*sparkover*). Sedangkan isolator adalah alat yang dipakai



untuk mengisolasi. Kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan disebut dielektrik. Kekuatan dielektrik dari bahan isolasi sangat penting dalam menentukan kualitas isolator yang nantinya akan mendukung keseluruhan

sistem tenaga listrik. Semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi semakin baik dipakai, terutama pada peralatan listrik tegangan tinggi (Nurlailati, 2010).

2.1.2 Bahan Dielektrik Isolator

Karakteristik dari suatu isolator baik mekanis maupun elektriknya dipengaruhi oleh konstruksi dan bahan yang digunakan. Dimana pada suatu isolator bahan yang paling utama adalah bahan dielektriknya. Bahan dielektrik dari suatu isolator harus memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi serta tidak dipengaruhi oleh kondisi udara sekitarnya (Tobing, Bonggas L, 2003).

Ada tiga jenis bahan dielektrik isolator yang paling sering digunakan pada isolator :

2.1.2.1 Porselen

Porselen merupakan bahan dielektrik yang paling sering digunakan pada isolator. Hal ini terjadi karena porselen memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan tidak dipengaruhi oleh perubahan kondisi udara di sekitarnya. Kekuatan mekanik porselen bergantung pada cara pembuatannya. Tobing (2003) menyatakan bahwa, kemampuan mekanis suatu porselen standar dengan diameter 2-3 cm adalah 45.000 kg/cm^2 untuk beban tekan; 700 kg/cm^2 untuk beban tekuk dan 300 kg/cm^2 untuk beban tarik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa porselen adalah bahan yang memiliki kemampuan mekanik yang sangat baik pada beban tekan. Kekuatan mekanik dari porselen akan berkurang jika dilakukan penambahan luas penampang porselen. Berikut ini isolator porselen/keramik dapat dilihat pada Gambar 1 yang ada di bawah ini :



Gambar 1 Isolator porselen/keramik
(Sumber : Tobing, Bonggas L, 2003)



Tobing (2003) menyatakan bahwa, suatu dielektrik porselen dengan tebal 1,5 mm memiliki kekuatan dielektrik sebesar 22-28 kVrms/mm. Jika tebal dielektrik bertambah maka kemampuan dielektrik bahan berkurang. Hal ini terjadi karena medan elektriknya tidak seragam. Bila tebal bertambah dari 10 mm menjadi 30 mm, kekuatan dielektrik berkurang dari 80 kVrms/mm menjadi 55 kVrms/mm kekuatan dielektrik porselen pada tegangan impuls adalah 50-70 % lebih tinggi daripada kekuatan dielektrik pada frekuensi daya (Tobing, Bonggas L, 2003).

2.1.2.2 Gelas

Isolator gelas lebih murah daripada porselen, sedangkan karakteristik mekaniknya tidak jauh berbeda dari isolator porselen. Karakteristik elektrik dan mekanik dari isolator gelas bergantung pada kandungan alkali pada isolator tersebut. Semakin tinggi kandungan alkalinya maka kemampuan dielektrik isolator akan semakin menurun hal ini dikarenakan isolator memiliki konduktivitas lebih tinggi. Waluyo (2010) menyatakan bahwa kekuatan dielektrik gelas alkali tinggi adalah 17,9 kVrms/mm sedangkan kemampuan dielektrik gelas alkali rendah adalah 48 kVrms/mm (Waluyo, 2010).

Jika isolator gelas dipasangkan pada suatu sistem tegangan arus searah. Maka dapat menimbulkan pemuaiian kimiawi gelas sehingga meningkatkan kandungan alkalinya. Dimana hal ini akan menyebabkan penurunan kemampuan isolasi dari gelas. Berdasarkan proses pembuatannya isolator gelas dibagi menjadi 2 yaitu gelas dikuatkan (*annealed glass*) dan gelas yang dikeraskan (*hardened glass*). Isolator gelas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini :



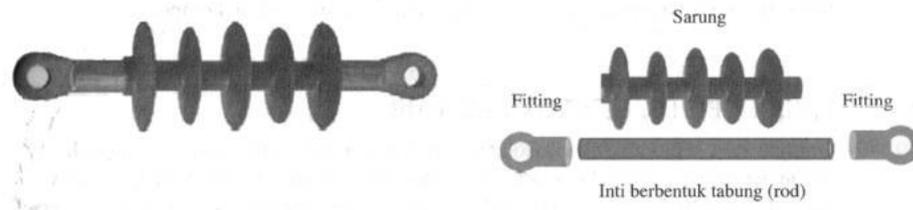
Gambar 2 Isolator gelas
(Sumber : Waluyo, 2010)



2.1.2.3 Bahan Komposit

Isolator komposit adalah isolator yang dikembangkan untuk mengatasi kekurangan-kekurangan dari isolator porselin dan gelas. Bahan komposit tertua yang dikembangkan adalah isolator kertas. Namun, akhir-akhir ini bahan isolator yang paling banyak diminati adalah karet silikon (*silicone rubber*).

Struktur suatu isolator komposit diperlihatkan pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3 Isolator komposit

(Sumber : Waluyo, 2010)

Seperti yang terlihat pada Gambar 3 diatas, isolator komposit memiliki beberapa bagian utama yaitu: inti berbentuk batang (*rod*) yang terbuat dari bahan komposit, *fitting* yang terbuat dari bahan logam dan bahan antar muka (*interface*) (Waluyo, 2010).

2.2 Isolator Polimer

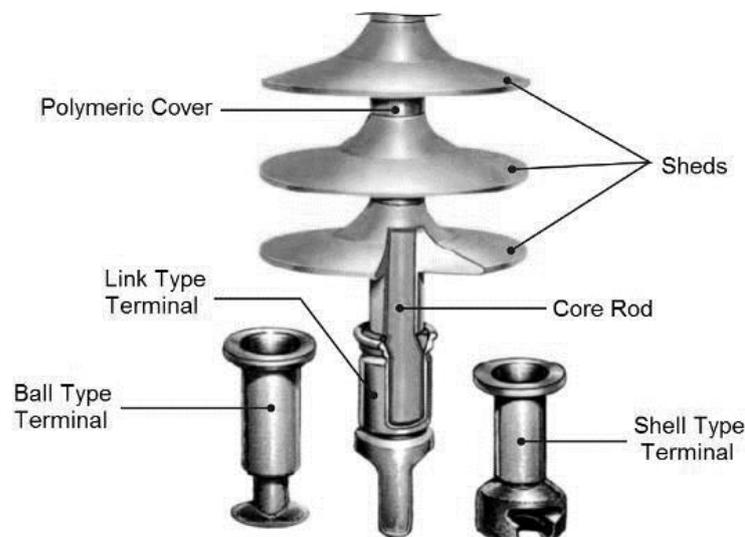
Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator polimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin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

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



Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah :

1. Kekuatan mekanis isolator polimer lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
2. Ketidakcocokan bahan antar muka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
3. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim.
4. Penuaan/degradasi pada permukaan dan stress yang disebabkan oleh korona, radiasi UV atau zat kimia dapat mengakibatkan reaksi kimia pada permukaan isolator polimer. Sehingga dapat mempercepat penuaan yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya. Dapat dilihat pada Gambar 4 bentuk Isolator Polimer.



Gambar 4 Isolator polimer

(Sumber : Lopes & Bezerra, 2015)

Sifat isolator polimer dapat digolongkan berdasarkan sifat kimia, fisik, mekanis dan termal. Berikut ini penggolongan polimer berdasarkan sifatnya:

2.2.1 Sifat Kimia

Gaya tarik menarik yang terjadi antar rantai polimer mempengaruhi sifat dari polimer. Polimer memiliki rantai yang sangat panjang sehingga gaya antar menjadi berlipat ganda dibandingkan tarik menarik antara molekul biasa. Sifat yang berbeda dapat mengakibatkan polimer berikatan ion atau kovalen pada rantai yang sama. Semakin kuat gaya akan berakibat naiknya titik leleh dan tingkat kristalinitas (Admadi H & Arnata, 2015).



Gaya intermolekuler pada polimer dapat dipengaruhi oleh dipol pada unit monomer. Polimer yang mengandung gugus amida atau karbonil dapat membentuk ikatan hidrogen pada rantai yang berdekatan. Atom hidrogen yang bermuatan positif pada gugus N-H akan tertarik kuat pada oksigen yang bermuatan negatif 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 hidrogen pada gugus C-H. Ikatan dipol tidak sekuat pada ikatan hidrogen, jadi titik leleh *polyester* lebih rendah, tetapi mempunyai fleksibilitas yang tinggi (Admadi H & Arnata, 2015).

2.2.2 Sifat Fisik

Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat fisik polimer sebagai berikut :

a. Panjang rata-rata rantai polimer

Kekuatan dan titik leleh naik dengan bertambah panjangnya rantai polimer.

b. Gaya antarmolekul

Jika gaya antarmolekul 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.



2.2.3 Sifat Mekanik

Ada beberapa sifat mekanik suatu polimer yang diketahui antara lain sebagai berikut :

a. Kekuatan (*Strength*)

Ada beberapa macam kekuatan dalam polimer, diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

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

2. Kekuatan Tekanan (*Compressive Strength*)

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

3. Kekuatan Lentur (*Flexural Strength*)

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

4. Kekuatan Impak/Dampak (*Impact Strength*)

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

b. Elongasi

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

Modulus

Modulus diukur dengan menghitung tegangan dibagi elongasi. Satuan modulus sama dengan satuan kekuatan (N/cm^2).

Kekerasan (*Toughness*)



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

2.2.4 Sifat Termal

Sifat khas bahan polimer sangat berubah oleh perubahan suhu. Hal ini disebabkan apabila suhu berubah, pergerakan molekul karena suhu akan mengubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar). Selanjutnya, karena panas oksigen, dan air bersama-sama memancing reaksi kimia pada molekul, terjadilah depolimerisasi, oksidasi, 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 temperature itu naik, cara pengumpulan molekul berubah oleh pergerakan termal dari molekul.

b. Panas jenis

Admadi & Arnata (2015), menyatakan bahwa 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

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



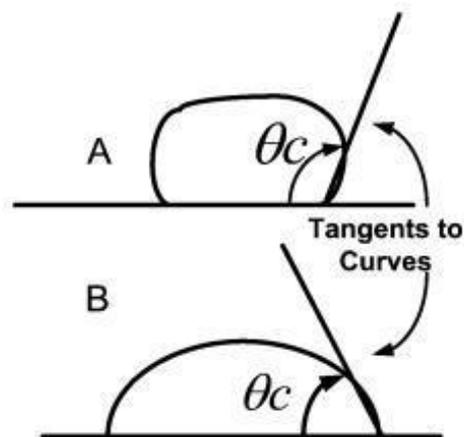
Isolator yang dipasang diluar ruangan rentan terhadap pengaruh radiasi matahari dan erosi sehingga mengakibatkan kerusakan pada isolator tersebut.

Umumnya kerusakan yang terjadi berhubungan dengan penggunaan material yang kurang tepat, teknik produksi, kualitas batang serat fiber yang rendah, serta penyegelan antara batang, kerangka dan ujung logam yang tidak bagus. Sedangkan penyebab kerusakan pada polimer dapat berupa pengapuran, krasing dan penetrasi air. Selain itu, pada umumnya polimer rentan terhadap pengaruh lingkungan dan polusi yang tinggi. Keuntungan dari isolator ini terletak pada massa jenis yang lebih ringan 90% dari isolator keramik, memiliki sifat hidrofobik, sifat termal dan dielektrik yang lebih baik dibanding keramik dan gelas (Admadi H & Arnata, 2015).

2.3 Hidrofobisitas

Hidrofobisitas dari bahan adalah suatu resistansi untuk mengalirkan air pada permukaannya. Suatu bahan disebut memiliki sifat hidrofobik yang tinggi jika air sulit mengalir pada permukaannya, dan disebut kurang hidrofobik jika air mudah mengalir pada permukaan bahan tersebut. Permukaan hidrofobik disebut anti air sedangkan bahan disebut hidrofilik jika air mudah mengalir pada permukaannya.

Hidrofobisitas bahan dapat dijelaskan menggunakan sudut kontak pada permukaan bahan tetesan cairan membuat saat kontak dengan permukaan padat, sudut ini adalah ukuran keterbatasan permukaan. Materi yang mudah basah memungkinkan air menyentuh area permukaan yang besar dan karenanya membuat sudut kontak kurang dari 90° . Bentuk butiran air pada permukaan, dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini :



5 Bentuk dari butiran air pada (A) Permukaan hidrofobik dan (B) Permukaan kurang hidrofobik

(Sumber : Samsurizal, Rizki, P. P., Christiono. 2018).



Sudut kontak dapat memberi informasi tentang *surface* atau permukaan energi, kekasaran permukaan dan heterogenitas permukaan. Sudut kontak juga merupakan ukuran dari kontaminasi permukaan. Hidrofobisitas permukaan bahan insulasi seringkali dievaluasi secara kuantitatif dengan nilai sudut kontak yang terbentuk antara tetesan air dan permukaan bahan, yang tidak lain merupakan representasi langsung dari tegangan *interface molekul* air (Samsurizal, 2018).

2.4 Sudut Kontak Pada Tetesan Air

Sudut kontak (θ) adalah sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air destilasi pada permukaan isolator. Sudut kontak didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk antara dua garis. Garis pertama merupakan batas antara udara dan zat cair yang ditetaskan sedangkan garis kedua merupakan batas antara zat cair dan zat padat yang ditetesi. Ketika cairan ditetaskan di atas padatan pada udara terbuka, maka beberapa saat setelah penetesan maka cairan tersebut akan dalam keadaan setimbang sehingga terbentuk sebuah sudut θ yang disebut sebagai sudut kontak (Yusrizal, 2014).

Hydrophobicity adalah kemampuan sebuah bahan dalam menolak air, bahkan mampu memulihkan (*recovery*) dan memindahkan (*transfer*) sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan tersebut ikut memiliki sifat hidrofobik. Sifat hidrofobik permukaan bahan isolasi dapat dilihat dari besar sudut kontak antara permukaan bahan isolasi yang terkontaminasi bersamaan dengan tetesan air yang mengenai permukaan bahan isolasi tersebut. Pada awal terkontaminasi, sudut kontak bahan isolasi tersebut akan menurun tetapi akan meningkat secara bertahap setelah sifat hidrofobik bahan telah tertransfer ke permukaan (Yusrizal, 2014).

Besar sudut kontak yang terbentuk mempengaruhi besar arus bocor dan medan listrik pada permukaan isolator. Hal ini pun mampu menginisiasi penurunan kekuatan elektris isolator. Besar sudut kontak air pada suatu permukaan dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu :



Super Tidak Basah (Hidrofobik)

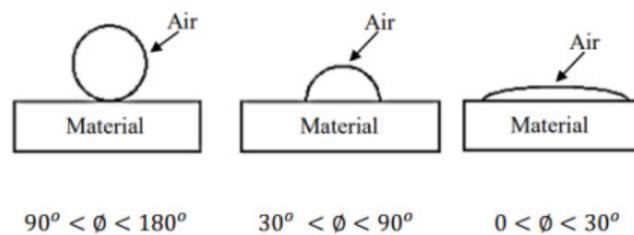
Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah antara 135 derajat dan kurang dari 180 derajat.

2. Basah Sebagian

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

3. Basah Keseluruhan (Hidrofilik)

Sudut kontak yang terbentuk antara butir air dan permukaan isolator adalah 0 derajat hingga kurang dari 30 derajat. Gambar 6 menunjukkan pembentuk sudut kontak antara air dan permukaan pada isolator.

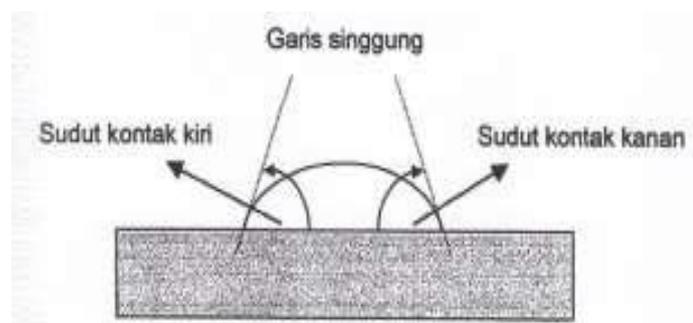


Gambar 6 Pembentukan sudut kontak antara air dan permukaan isolator

(Sumber : Yusrizal, 2014)

Kuantitas ukur pembasahan dari suatu permukaan adalah sudut kontak (θ), yaitu sudut yang terjadi antara permukaan zat dan garis singgung cairan. Sudut kontak memberikan informasi mengenai energi permukaan, kekerasan, dan keheterogenan permukaan. Selain itu sudut kontak juga merupakan ukuran dari suatu permukaan terkontaminasi. Sudut kontak dapat dicari dengan menyemprotkan air ke permukaan bahan isolator dan mengamati kemampuan bahan isolator dalam membentuk tetes air serta bentuk dari tetes air itu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Untuk menentukan sudut kontak, dinyatakan pada Persamaan 1.

$$\text{Sudut Kontak} = \frac{\text{Sudut Kontak kiri} + \text{Sudut Kontak kanan}}{2} \quad (1)$$



Gambar 7 Perhitungan sudut kontak

(Sumber : Heri, J., dkk. 2012)



2.5 Metode Pengujian Sifat Hidrofobik

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

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan sifat permukaan bahan uji, bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Beberapa metode pengukuran hidrofobik telah dikembangkan oleh beberapa peneliti setelah merujuk standar STRI Guide 92/1 dan IEC TS 62073 (2016). Berdasarkan standar internasional IEC TS 62073 (*Guidance on the measurement of hydrophobicity of insulator surfaces*) terdapat tiga metode pengukuran hidrofobik dengan akurasi yang berbeda, tingkat kesederhanaan, ukuran dari pengukuran area permukaan dan penggunaannya. Metodenya adalah sebagai berikut (Irfan, 2020) :

2.5.1 Metode Sudut Kontak (*The Contact Angle Method*)

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

Adapun hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah :

- Spesimen uji harus ditempatkan sedatar mungkin.
- Permukaan yang diukur tidak boleh disentuh saat penetesan, setelahnya lakukan pengukuran sesegera mungkin.



yang digunakan tidak boleh mengandung kotoran, misalnya, tensida, arut, minyak dan lainnya.

- Volume tetesan berkisar $5\mu\text{L}$ - $50\mu\text{L}$, disarankan menggunakan $50\mu\text{L}$.

2.5.2 Metode Tegangan Permukaan (*The Surface Tension Method*)

Penentuan tegangan permukaan permukaan isolator didasarkan pada fenomena tersebut yang turun dari serangkaian campuran cairan organik, dengan tegangan permukaan yang meningkat secara bertahap, memiliki kemampuan berbeda untuk membasahi permukaan isolator. Setiap jejak kotoran permukaan aktif di pereaksi cair atau di permukaan dapat mempengaruhi hasil. Oleh karena itu, penting bahwa permukaan yang akan diuji tidak boleh disentuh atau digosok, bahwa semua peralatan bersih dan itu kemurnian reagen dikendalikan dengan hati-hati (Irfan, 2020).

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

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

Cakupan cairan pecah menjadi tetesan dalam waktu kurang dari 2 detik berlanjut ke tegangan permukaan yang lebih rendah campuran. Untuk setiap aplikasi campuran reagen baru, permukaan yang berdekatan baru harus dipilih untuk menghindari kontaminasi dari reagen yang diterapkan sebelumnya. Jika pengukuran pada area permukaan yang sama diinginkan dan mungkin tanpa gangguan, permukaan mungkin lembut dibersihkan dengan kain kering (tanpa menggunakan deterjen apapun) untuk menghilangkan reagen yang tersisa sebelumnya. Jika pembersihan tidak dilakukan, disarankan untuk dengan yang lebih rendah campuran tegangan permukaan yang lebih meminimalkan hasil yang salah karena kontaminasi dari campuran reagen sebelumnya diterapkan.

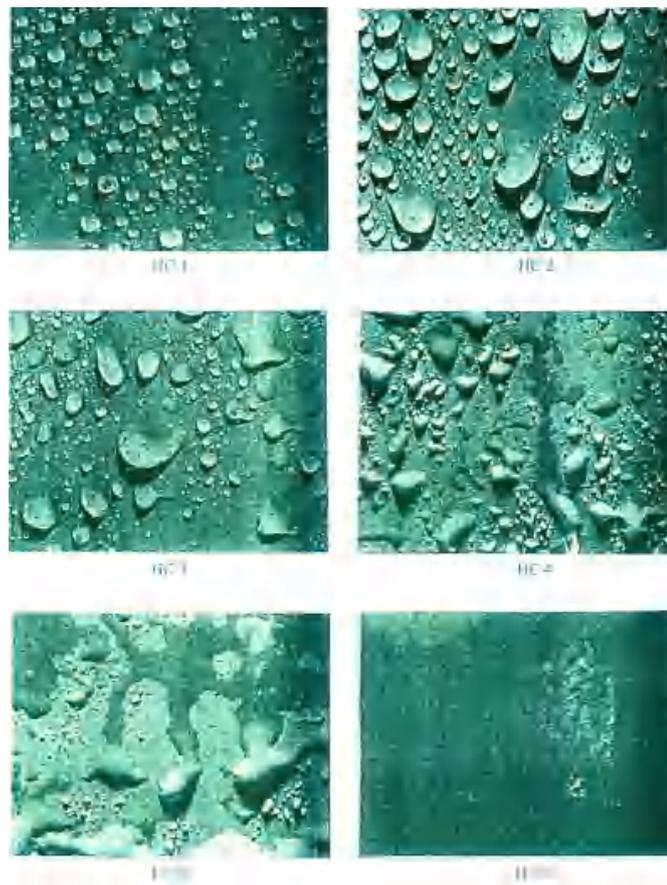


Ketika aplikasi kapas digunakan, aplikator yang bersih dan baru harus digunakan setiap waktu untuk menghindari kontaminasi larutan. Jika kuas lembut dimasukkan ke dalam tutup digunakan, sikat dapat dibersihkan dalam volume kecil reagen sebelum dimasukkan kembali ke dalam botol reagen lagi.

2.5.3 Metode Penyemprotan (*The Spray Method*)

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

Standar *Hydrophobicity Classification* STRI 92/1 dan IEC 62703, dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini :



Gambar 8 Karakteristik hidrofobik pada isolator polimer
(Sumber : Vosloo & Macey, 2002)



rea pengujian sebaiknya sekitar 50 cm² hingga 100 cm². Rasio antara lan lebar area pengujian tidak boleh lebih besar dari 1:3. Jika persyaratan bisa terpenuhi, ini harus dicatat dalam laporan pengukuran. Oleskan

kabut dari jarak 20 cm \pm 10 cm. Permukaan harus terkena kabut untuk jangka waktu 10 detik hingga 20 detik. Biasanya, itu jumlah air yang disemprotkan selama 10 detik hingga 20 detik harus cukup sehingga untuk air menetes dari Gudang. Pengukuran hidrofobik harus dilakukan di dalam 10 detik setelah penyemprotan selesai.

Teknik ini terdiri dari pembasahan permukaan isolator dengan air kemudian mengambil gambar dengan menggunakan kamera. Selanjutnya dibandingkan dengan gambar standar internasional yang telah dikeluarkan oleh STRI Guide 92/1 dan IEC 62073 seperti pada Gambar 8, dimungkinkan untuk mengidentifikasi model hidrofobik pada permukaan.

Klasifikasi ini dibuat dalam enam kelas hidrofobitas (HC 1-6) yang dapat dilihat pada Gambar 8, yang merupakan gambar standar internasional yang telah dikeluarkan oleh STRI Guide 92/1 dan IEC 62073. Untuk HC 1 mengidentifikasikan sifat sepenuhnya hidrofobik dan HC 6 mengidentifikasi sifat sepenuhnya hidrofilik. (Vosloo & Macey, 2002).

2.6 Karet Silikon (*Silicone Rubber*)

Silicone rubber merupakan salah satu bahan polimer yang kemampuan kontaminasinya tinggi dikarenakan sifat hidrofobiknya yang tinggi, ringan bobotnya dan pembentukan mudah. Bahan *silicone rubber* juga mampu memulihkan (*recovery*). Pemindahan transfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi akibatnya lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik sehingga pada saat hujan atau lembab tidak terbentuk lapisan air, akibatnya konduktivitas permukaan isolator tetap rendah dengan demikian arus bocor sangat kecil (Pratiwi, A. I. 2013).

Silicone rubber adalah bahan yang tahan terhadap temperatur tinggi, yang biasanya digunakan untuk isolasi kabel dan bahan isolator tegangan tinggi. *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. Sifat fisik



bahan ini dapat diperbaiki dengan mencampurkan bahan pengisi seperti pasir *silicone rubber* ini dapat aman digunakan pada temperatur -55°C sampai bahan ini memiliki hambatan yang baik terhadap ozon, korona dan air. *rubber* umumnya non-reaktif, stabil dan tahan terhadap lingkungan yang

ekstrim. Bahan ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap alkohol, garam dan minyak (Asy'ari, Hasyim, 2008).

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

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. Dimana tetap stabil pada rentang suhu -75°F sampai 500°F .

2. Peralatan mekanis

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

3. Properti listrik

Silicone rubber memiliki sifat dielektrik yang sangat bagus dibandingkan dengan bahan isolasi lainnya yang dimana tahan di bawah suhu yang ekstrim. *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.

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. Silikon memiliki berat molekul yang tinggi dan memiliki derajat polimerisasi antara 4.000 sampai 10.000. Satu atom silikon diperoleh dengan cara

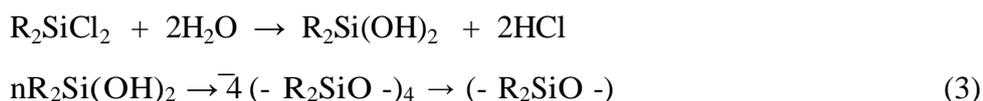


mereduksi SiO_2 dengan karbon melalui peristiwa pemanasan listrik. Reaksi reduksi tersebut dapat dilihat pada Persamaan 2 sebagai berikut:



Persamaan 2 di atas adalah reaksi reduksi yang melibatkan senyawa silikon dioksida (SiO_2) dan karbon (C) untuk menghasilkan silikon (Si) dan monoksida karbon (CO). Silikon dioksida (SiO_2) adalah senyawa yang umum ditemukan dalam bentuk pasir, kaca, kuarsa dan banyak mineral lainnya dan karbon (C) sering digunakan dalam reaksi reduksi untuk menghilangkan oksigen dari senyawa. Proses reaksinya adalah silikon dioksida bereaksi dengan karbon dalam suhu tinggi dengan lingkungan yang kurang oksigen (proses reduksi). Proses ini sering disebut sebagai reduksi silikon. Silikon (Si) adalah produk utama dari reaksi. Silikon adalah unsur kimia yang memiliki berbagai aplikasi dalam industri, termasuk dalam pembuatan semikonduktor, logam paduan dan berbagai peralatan elektronik lainnya. Sedangkan monoksida karbon (CO) adalah produk sampingan reaksi. CO biasanya dianggap sebagai gas berbahaya karena sifat racunnya dan dapat menyebabkan keracunan jika terhirup dalam jumlah yang besar (Sugiarto, 2015).

Sedangkan untuk menggabungkan 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*. Reaksi kimia dari proses pembentukan *silicone rubber* dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut ini:



Persamaan 3 di atas adalah reaksi antara dialkilchlorosilana (R_2SiCl_2) dengan air (H_2O) untuk menghasilkan dialkilhidroksisilana ($\text{R}_2\text{Si}(\text{OH})_2$) dan asam klorida



Selanjutnya, n-molekul dari dialkilhidroksisilana dapat mengalami reaksi silifikasi menjadi unit struktural siloxane $(-\text{R}_2\text{SiO}-)_n$. Proses reaksinya adalah dialkilchlorosilana bereaksi dengan air dalam suhu dan kondisi tertentu untuk menggantikan gugus klorida dengan gugus hidroksil (OH), menghasilkan

dialkilhidroksisilana dan asam klorida. Dialkilhidroksisilana ($R_2Si(OH)_2$) adalah produk antara reaksi, dimana gugus klorida pada dialkilklorosilana digantikan oleh gugus hidroksil dari molekul air. Untuk reaksi kondensasi siloxane yaitu molekul-molekul dialkilhidroksisilana dapat mengalami reaksi kondensasi, dimana gugus hidroksil (-OH-) dari berbagai molekul bergabung untuk membentuk ikatan siloksan ($-R_2Si-O-SiR_2-$) $_n$. Ini menghasilkan polimer yang dikenal sebagai siloxane ($-R_2Si-O-$) $_n$, dimana n mewakili jumlah unit yang terulang. Setiap unit struktural dalam siloxane adalah ($-R_2SiO-$) $_4$, yang mengandung 4 atom oksigen terhubung ke satu atom silikon dan dua gugus alkil (R) terikat pada atom silikon tersebut. Polimer ini memiliki struktur berulang yang membentuk rantai atau jaringan. Proses ini umum dalam kimia silikon dan dapat menghasilkan berbagai bahan yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam industri bahan bangunan, karet silikon dan lain-lain (Yuniarti, Nurhening, dan A. N. Afandi, 2012).

Jika dilihat dari sifatnya, *silicon rubber* mempunyai sifat tolak air (*hydrophobicity*) yang tinggi, bahkan mampu memindahkan sifat hidrofobiknya ke lapisan polutan sehingga polutan ikut bersifat hidrofobik. Dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinyu, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil. Kelebihan lain yang dimiliki oleh karet silikon adalah mempunyai sifat dielektrik yang sangat baik, ringan, tahan gempa, serta mudah dalam penanganan dan pemasangannya.

Karet silikon 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 asam, memiliki tahanan yang baik terhadap ozon, korona dan air.



Room Temperature Vulcanizing (RTV)

Bahan ini dibuat pada suhu $25^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$ dan biasanya digunakan untuk pisi isolator keramik (Yuniarti, Nurhening, dan A. N. Afandi, 2012).

2.7 Bahan Pengisi (*Filler*)

2.7.1 *Silica*

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

Silica biasa 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 *silica* yang lebih besar tergantung dengan keadaan kuarsa dari tempat penambangan. Pasir inilah yang kemudian dikenal dengan pasir silika atau *silica* dengan kadar tertentu. *Silica* 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* dengan *ball mill* untuk menghancurkan ukuran pasir silika yang besar-besar menjadi ukuran yang lebih kecil dan halus, *silica* dengan ukuran yang halus inilah yang biasanya banyak digunakan dalam industri.

Dengan perkembangan teknologi, mulai banyak aplikasi penggunaan *silica* pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan *silica* pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan *nano silica*. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Sebagai salah satu contoh *silica* dengan ukuran mikron banyak diaplikasikan dalam *material building*, yaitu sebagai bahan campuran pada beton. Rongga yang kosong di antara partikel

kan diisi oleh *mikro silica* sehingga berfungsi sebagai bahan penguat (*mechanical property*) dan meningkatkan daya tahan (*durability*). Ukuran yang lebih kecil adalah *nanosilica* 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 *nanosilica* 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 *nano silica* (Heri, J., dkk., 2012).

Silica digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator listrik isolator polimer *silicone rubber* untuk meningkatkan kekuatan termal dan juga kekuatan mekaniknya. Ada beberapa sifat *silica* yang berkontribusi terhadap sifat isolator yang baik adalah sebagai berikut :

1. **Tahan terhadap suhu yang tinggi.** *Silica* memiliki titik leleh yang sangat tinggi, sehingga isolator yang mengandung *silica* dapat bertahan pada suhu tinggi dan tidak mudah rusak.
2. **Kekuatan dan kekerasan.** *Silica* memiliki kekerasan dan kekuatan yang baik, untuk membantu meningkatkan kekuatan dan daya tahan isolator.
3. **Sifat dielektrik.** *Silica* memiliki sifat dielektrik yang baik untuk isolator listrik dan mengurangi kemungkinan terjadinya arus bocor.
4. **Stabilitas kimia.** *Silica* stabil secara kimia dan tidak bereaksi dengan banyak bahan kimia, sehingga isolator yang mengandung *silica* tidak mudah terdegradasi.
5. **Tahan terhadap kelembaban.** Meskipun *silica* memiliki kecenderungan untuk menyerap kelembaban dari lingkungannya, isolator yang mengandung *silica* dapat dirancang sedemikian rupa untuk tahan terhadap kelembaban.
6. **Biodegradasi.** *Silica* tidak dapat terurai secara alami dan tidak berkontribusi pada pencemaran lingkungan.

Namun, terdapat beberapa kekurangan dari yang perlu dipertimbangkan jika menggunakan bahan pengisi *silica* dalam isolator polimer *silicone* itu :



1. **Pengaruh terhadap sifat pemrosesan.** Penggunaan bahan pengisi *silica* dalam isolator polimer *silicone rubber* dapat mempengaruhi sifat pemrosesan material. Bahan pengisi *silica* cenderung memiliki sifat pengentalan, yang dapat mempersulit proses pencampuran dan pembentukan suatu isolator.
2. **Perubahan kekuatan dielektrik.** Penggunaan bahan pengisi *silica* dapat mengurangi kekuatan dielektrik material yang artinya isolator polimer *silicone rubber* yang mengandung silika mungkin memiliki suatu kekuatan dielektrik yang lebih rendah dibandingkan dengan material polimer murni (Nazir, M. T., Phung, B. T., & Hoffman, M., 2016).

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

Aluminium hidroksida adalah suatu senyawa kimia dengan rumus kimia $\text{Al}(\text{OH})_3$, ditemukan di alam sebagai mineral gibbsite (dikenal pula sebagai *hydrargillite*) dan tiga polimorfnya yang langka: bayerit, doyleit, dan nordstrandit. Aluminium hidroksida bersifat amfoterik di alam, yaitu, senyawa ini memiliki sifat asam dan basa. Senyawa terkait yang berhubungan dengan senyawa ini seperti aluminium oksida hidroksida, $\text{AlO}(\text{OH})$, dan aluminium oksida atau alumina (Al_2O_3), yang terakhir juga bersifat amfoterik. Senyawa ini bersama-sama merupakan komponen utama dari bijih bauksit aluminium.

Salah satu kegunaan utama aluminium hidroksida adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan senyawa aluminium lainnya: alumina khusus aluminium, aluminium sulfat, polialuminium klorida, aluminium klorida, zeolit, natrium aluminat, alumina aktif, dan aluminium nitrat. Bentuk aluminium hidroksida yang diendapkan dengan gel baru, yang merupakan dasar penerapan garam aluminium sebagai flokulan dalam pemurnian air. Gel ini mengkristal dengan waktu. Gel aluminium hidroksida dapat mengalami dehidrasi (misal: menggunakan pelarut berair non - air yang mudah larut seperti etanol) untuk membentuk bubuk amonia hidroksida amorf, sudah larut dalam asam. Bubuk aluminium hidroksida yang telah dipanaskan sampai suhu tinggi dalam kondisi yang dikontrol dengan hati-hati sebagai alumina aktif dan digunakan sebagai desikan, sebagai adsorben



dalam pemurnian gas, sebagai pendukung katalis *claus* untuk pemurnian air, dan sebagai penyerap katalis dalam pembuatan polietilen oleh proses *Sclairtech* (Totten and Mackenzie, 2003).

Bahan pengisi ATH sering digunakan dalam isolator polimer *silicone rubber* karena kelebihan dan kekurangan yang dimilikinya. Berikut beberapa kelebihan penggunaan bahan pengisi ATH dalam isolator polimer *silicone rubber* sebagai berikut :

1. **Ketahanan terhadap api.** Apabila terjadi *flashover* atau terjadi pemanasan di atas permukaannya, bahan ini akan melepaskan H₂O atau air dalam bentuk uap yang berfungsi untuk mendinginkan area tersebut dan memadamkan busur api. Ini membantu meningkatkan ketahanan isolator polimer *silicone rubber* terhadap api dan memperlambat penyebaran api.
2. **Ketahanan dielektrik.** Penggunaan bahan pengisi ATH dalam isolator polimer *silicone rubber* dapat meningkatkan ketahanan dielektrik material sehingga dapat menahan tegangan listrik yang tinggi dan mencegah terjadinya arus bocor.
3. **Stabilitas termal.** ATH memiliki sifat tahan panas yang baik, yang membantu meningkatkan termal isolator polimer *silicone rubber*. Isolator dapat digunakan rentang suhu yang lebih luas tanpa mengalami penurunan kinerjanya.

Selain itu, terdapat beberapa kekurangan penggunaan bahan pengisi ATH dalam isolator polimer *silicone rubber* sebagai berikut :

1. **Kekuatan mekanik yang rendah.** Salah satu kekurangan utama penggunaan bahan pengisi ATH adalah adanya pengurangan kekuatan mekanik isolator polimer *silicone rubber*. Partikel-partikel pengisi ini dapat mengurangi kekuatan dan kekakuan material, sehingga membuatnya lebih rentan deformasi dan retak.

Pengaruh terhadap warna dan transparansi. Penggunaan bahan pengisi ATH dapat mempengaruhi warna dan transparansi isolator polimer. ATH biasanya memiliki warna putih atau abu-abu, sehingga



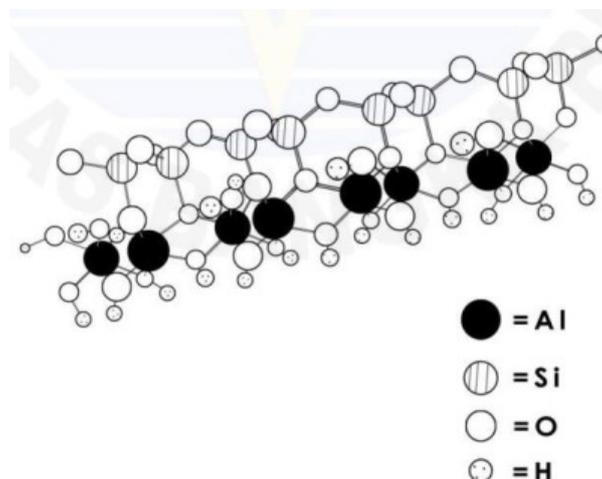
dapat mengurangi kejernihan atau transparansi bahan jika digunakan dalam jumlah yang signifikan. Partikel pengisi ini dapat menghambat transmisi cahaya, sehingga membuat isolator menjadi lebih buram atau berubah warna (Nazir, M. T., Phung, B. T., & Hoffman, M., 2016).

2.8 Polutan Kaolin

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

Kaolin atau *kaolinite* adalah sejenis mineral lempung dengan rumus kimia $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dengan struktur berlapis 1:1, satuan dasarnya adalah Lembaran tetrahedral silika dan lembaran oktahedral alumina (Murray, 2000). Komponen utama hasil analisis kandungan mineral kaolin adalah silikon dioksida (SiO_2) 48,70% dan aluminium oksida (Al_2O_3) 36,73% dan jumlah oksida logam kecil (Alkan dkk., 2005).

Susunan lapisan tetrahedral dan oktahedral pada kaolin dihubungkan oleh atom oksigen pada satu sisi dan hidrogen dari gugus hidroksil pada sisi yang lain, sehingga menghasilkan tumpukan dengan 8 ikatan hidrogen yang kuat, dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini :



Gambar 9 Struktur kaolin

(Sumber : Alkan dkk., 2005)



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

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

2.9 Polusi Pada Isolator

Salah satu komponen utama jaringan transmisi dan distribusi energi listrik adalah isolator. Isolator terpasang pada ruang terbuka banyak mengalami persoalan polusi. Beberapa bulan atau tahun sejak pemasangannya pada ruang terbuka, pada permukaan isolator dapat menempel polutan yang bersifat permanen. Intensitas polutan pada isolator tersebut tergantung kepada tingkat pencemaran udara dan unsur polutan yang terkandung dalam udara yang menerpa isolator.

Pada umumnya, polusi pada isolator menurut sumbernya dapat dibagi dalam empat kategori yaitu:

2.9.1 Polusi dari Laut

Tingkat polusi maksimum dari isolator sangat berhubungan dengan jarak lokasi dari laut. Makin jauh dari laut makin sedikit penumpukan yang terjadi. Polusi ini terbawa ke permukaan isolator oleh angin. Pada kondisi tertentu seperti angin topan atau badai, sering terjadi penumpukan polutan dalam jumlah yang sangat besar pada permukaan isolator. Zat polutan yang berasal dari laut berupa

n konduktif yang bersifat larut yang terdiri dari garam-garam seperti *Chlorida* (NaCl), *Magnesium Chlorida* (MgCl) dan *Natrium Nitrat*



2.9.2 Polusi dari Industri

Komposisi kimia dari polutan jenis ini sangat beragam dan bisa membentuk lapisan yang menempel kuat pada permukaan isolator, seperti jelaga (butiran arang yang halus) dan asap dari cerobong pabrik serta debu dari pabrik semen dan tambang.

2.9.3 Polusi dari Daerah Padang Pasir

Timbunan polutan tak larut (*Non Soluble Deposit Density*, NSDD) pada daerah padang pasir pada umumnya lebih banyak daripada di daerah polusi laut. Pada daerah tertentu seringkali terjadi kombinasi dari keduanya, seperti pada daerah berpasir yang dekat pantai. Garam laut dapat menempel pada permukaan isolator dan terlapisi oleh debu yang terbawa dari padang pasir. Pada daerah tersebut besarnya ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) dan NSDD bisa melebihi $1,0 \text{ mg/cm}^2$.

2.9.4 Polusi dari Gunung Berapi

Polutan yang berasal dari letusan gunung berapi berbentuk debu-debu dari berbagai ukuran dengan senyawa utama *Silica* (SiO_2) dan *Aluminatrihidrat* (Al_2O_3). Nilai NSDD pada daerah ini dapat mencapai $0,8 \text{ mg/cm}^2$ (Mustamin, 2010).

Unsur polutan yang paling berpengaruh terhadap unjuk kerja isolator adalah garam yang terbawa oleh angin laut. Lapisan garam ini bersifat konduktif terutama pada keadaan cuaca lembab, kabut maupun hujan gerimis. Di saat kondisi cuaca demikian, akan mengalir arus bocor dari kawat fasa ke tanah melalui lapisan konduktif yang menempel pada permukaan isolator maupun pada tiang penyangga. Lapisan polutan konduktif tersebut dapat dianggap sebagai tahanan yang menghubungkan kedua jepitan logam isolator. Tahanan lapisan polutan jauh lebih rendah dibanding tahanan dielektrik padat isolator, maka arus bocor akan mengalir melalui lapisan polutan tersebut.

Adanya arus bocor ini akan menimbulkan panas. Panas ini akan gkan lapisan polutan, yaitu diawali pada daerah permukaan isolator at dengan jepitan kawat fasa, yang disebut pita kering, karena di daerah nsentrasi arus lebih tinggi. Pengeringan tersebut menyebabkan



tahanan di lapisan polutan di daerah pita kering semakin besar. Akibatnya beda tegangan pada daerah ini semakin besar dan kuat medan listriknya juga semakin besar. Apabila kuat medan listrik ini melebihi kekuatan dielektrik udara, maka terjadi busur api. Busur api ini menyebabkan lapisan polutan yang kering mengalami hubung singkat, sehingga arus bocornya semakin besar. Arus bocor ini akan memanaskan lapisan polutan yang masih basah, dan proses ini akan berulang sampai terjadi busur api yang menghubungkan kedua jepitan logam, yaitu kawat fasa dan kawat yang dibumikan, maka terjadilah lewat denyar pada isolator (Heri, J., dkk., 2012).

2.10 Tegangan Tembus

Fenomena ini disebabkan karena adanya faktor luar seperti sambaran petir dan terbentuknya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan penurunan tegangan tembusnya. Hal ini diakibatkan kemampuan elektris isolator berkurang. Kegagalan ini mengakibatkan karakteristik isolator tidak dapat kembali pulih seperti semula dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik, sehingga tidak dapat digunakan kembali (Pesa & Murdiya, 2017).

Atom-atom yang Menyusun zat padat terikat kuat satu sama lain. Keistimewaan yang paling mencolok dari kebanyakan zat pada adalah atom-atomnya yang tersusun oleh sebuah derajat tinggi dari urutan pola yang berulang-ulang yang teratur dalam tiga dimensi yang disebut kristalin. Zat pada yang atom-atomnya disusun dalam sebuah model yang tidak beraturan disebut non-kristalin atau tak berbentuk. Oleh karena Sebagian besar dari sistem pengisolasian komersial adalah zat padat, studi kegagalan dielektrik padat menjadi sangat penting pada studi isolasi.

Penerapan medan elektrik yang tinggi pada material dielektrik padat dapat menyebabkan Gerakan pembawa muatan bebas, injeksi muatan dari elektroda-elektroda, penggandaan muatan, formasi ruang muatan dan disipasi energi dalam material. Oleh karena kondisi-kondisi tersebut, yang dapat terjadi secara Tunggal ibinasi, maka akhirnya mengacu pada material mengalami kegagalan yang disebut juga *breakdown*. Apabila terpaan elektrik yang dipikul 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* (Pesa & Murdiya, 2017).

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

2.11 Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi

Arus bocor permukaan bahan isolasi saluran udara pasangan luar tergantung dari kondisi polutan yang menyebabkan kontaminasi permukaan. Polutan dapat berasal dari daerah pinggir laut atau pantai, industri, debu vulkanik, tergantung pada iklim dan kondisi cuaca. Pembasahan lapisan kontaminasi oleh karena kelembaban yang tinggi, butir-butir air, mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan kemudian akan mengalir arus bocor permukaan. Arus bocor ini memberikan informasi tentang kuantitas kontaminasi dari polutan pada permukaan, juga menentukan bagaimana pengaruh kinerja lewat denyarnya. Lewat denyar terjadi karena peluapan pada pita kering melalui permukaan yang basah sebelum tegangan sama dengan nol. Jika arus bocor cukup tinggi terjadi peluapan terus menerus yang akhirnya timbul lompatan api (lewat denyar), (Heri, J., dkk., 2012).

