

**KINERJA ISOLASI POLIMER *SILICONE RUBBER*
BERBAHAN PENGISI *FLY ASH* BATU BARA DI BAWAH
PENGARUH IKLIM TROPIS**

*Performance Polymers Silicone rubber Insulation Made from
Coal Fly ash Filler Under the Influence of Climate Tropical*

**CHRISTIONO
P2700214046**



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2017

**KINERJA ISOLASI POLIMER *SILICONE RUBBER*
BERBAHAN PENGISI *FLY ASH* BATU BARA DI BAWAH
PENGARUH IKLIM TROPIS**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh:

Christiono

Kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
SEKOLAH PASCA SARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2017**

TESIS**KINERJA ISOLASI POLIMER *SILICONE RUBBER* BERBAHAN
PENGISI *FLY ASH* BATU BARA DI BAWAH PENGARUH IKLIM
TROPIS**

Disusun dan diajukan oleh

CHRISTIONO
Nomor Pokok: P2700214046

telah dipertahankan di depan panitia Ujian Tesis

pada tanggal 16 Februari 2017

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat,
Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT.

Ketua


Yusri Syam Akil, ST., MT., Ph.D.

Sekretaris

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Christiono
No. Pokok : P2700214046
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Februari 2017

Yang menyatakan

Christiono

KATA PENGANTAR



Assalamu' Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan Semesta Alam karena atas limpahan Rahmat, Hidayah dan Ridho-Nyalah semata penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis ini. Shalawat serta salam selalu terlimpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, keluarganya, para sahabatnya dan para pengikutnya karena atas cahaya dan penerangannya sebagai panutan hingga akhir zaman.

Tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat mencapai gelar magister pada Sekolah Pascasarjana Program Studi Teknik Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul **“Kinerja Isolasi Polimer *Silicone rubber* Berbahan Pengisi *Fly ash* Batu Bara Di bawah Pengaruh Iklim Tropis”**.

Tesis ini masih jauh dari sempurna dan masih butuh kerja keras untuk dituntaskan. Sesungguhnya Tesis ini tidak akan tercapai tanpa doa dan restu dari kedua orang tua kami, **Roesdiono S & Rubiaty M**, yang selalu memberi motivasi dan dukungan tanpa henti. Dengan kerendahan hati kami menyadari bahwa penyelesaian Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih dan rasa hormat yang tak hingga kami sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Dwia Aries Tina, MA., selaku rektor Universitas Hasanuddin
2. Prof. Dr. Muhammad Ali, SE.,MS, selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
3. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc., sebagai ketua program studi S2 Teknik Elektro Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
4. Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT. Sebagai ketua komisi penasihat
5. Yusri Syam Akil, ST.,MT., Ph.D. sebagai anggota komisi penasihat

6. Dr. Ikhlas Kitta, ST.,MT atas segala bantuan dan dukungannya
7. Seluruh staf & pengajar pada Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin
8. Pimpinan dan karyawan BMKG wilayah Sulsel dan BMKG stasiun Maritim Paotere yang telah membantu penyediaan data iklim yang digunakan dalam penelitian ini
9. Kepada **BAKRI FOUNDATION** atas segala bantuan dan dukungannya
10. Rekan-rekan Relay 2014 dan mahasiswa S2 Program Studi Teknik Elektro Unhas angkatan 2014
11. Kepada Rizki Pratama Putera, ST.,MT., Akrama Wardhana Suyuti, ST., Syukur, ST, dan Rasman Rauf, ST atas segala bantuan dan dukungannya
12. Kepada keluarga besar laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Teknologi Isolasi, dan Elektronika Divais
13. Dan kepada semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan, semoga bantuan baik yang diberikan mendapat berkat dari tuhan yang maha esa.

Demikian ungkapan terima kasih dan doa kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan tesis ini, dengan harapan dapat berguna bagi semua pihak yang berkepentingan dan jika ada kekurangan, penulis dengan senang hati menerima segala kritikan dan saran guna kesempurnaan hasil penelitian.

Gowa, Februari 2017

Penulis

Christiono

ABSTRAK

CHRISTIONO. *Kinerja Isolasi Polimer Silicon Rubber Berbahan Pengisi Fly Ash Batu Bara di Bawah Pengaruh Iklim Tropis* (dibimbing oleh Salama Manjang dan Yusri Syam Akil).

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh cuaca terhadap perubahan karakteristik mekanik seperti sudut kontak dan karakteristik elektrik seperti arus bocor.

Parameter yang diteliti adalah perubahan sudut kontak dan arus bocor pada rentang waktu tertentu dalam pengaruh iklim tropis selama 45 hari dengan perlakuan tegangan 20 kV pada sampel uji.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan sudut kontak terbesar terjadi pada material *silicon rubber* yang tidak diberi pengisi *fly ash* dengan penurunan sudut kontak terkecil terdapat pada *silicon rubber* dengan kadar *fly ash* sebanyak 30%. Hal serupa terjadi pada pengamatan arus bocor permukaan, yaitu peningkatan arus bocor tertinggi terdapat pada material *silicon rubber* tanpa pengisi dengan peningkatan arus bocor permukaan terendah terdapat pada material *silicon rubber* dengan kadar *fly ash* sebanyak 30%.

Kata kunci: iklim tropis, *fly ash*, silicon rubber, hidrofobik, arus bocor permukaan



2017

ABSTRACT

CHRISTIONO. *The Performance of Polymers Silicon Rubber Isolation Made from Coal Fly Ash under the Influence of Tropical Climate* (supervised by **H. Salama Manjang and Yusri Syam Akil**)

This research aimed to investigate the influence of tropical climate on the changes of mechanic characteristics, such as the contact angle and also the electrical characteristics, such as the leakage currents.

The parameter which would be researched on was the changes of the contact angle changes and the leakage current at any given time under the influence of the tropical climate and the voltage stress during 45 days.

The research results indicated that the greatest decrease of the contact angle occurred in the silicon rubber material which was not filled with fly ash, the smallest decrease of contact angle occurred in the silicon rubber material filled with the fly ash level of 30%. A similar case happened to the surface leakage current, i.e. the highest increase of the leakage current in the silicon rubber material without the filling with the smallest surface leakage current was at the silicon rubber material with the fly ash level of 30%.

Keywords: *tropical climate fly ash, silicon rubber, hydrophobic, surface leakage current*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang Masalah	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	4
I.5 Ruang Lingkup Masalah	4
I.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1 Isolator Polimer <i>Silicone Rubber</i>	7
II.1.1 Karakteristik Listrik Polimer	9
II.1.2 Sifat Dielektrik Isolator Polimer	19
II.1.3 Pemberian <i>Filler</i> pada Isolator Polimer	23
II.2 Fungsi Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) terhadap Material Isolasi	24
II.3 Penelitian Terkait	26
BAB III METODE PENELITIAN	31

III.1 Lokasi Penelitian	31
III.2 Waktu Penelitian	31
III.3 Jenis Penelitian	31
III.4 Alir Penelitian	31
III.4.1 Pembuatan Laboratorium Riset Ruang Terbuka	32
III.4.2 Pembuatan Material Isolator Polimer	36
III.4.3 Pengujian Kinerja Isolator Polimer pada Laboratorium Riset Ruang Terbuka Dalam Terpaan Iklim Tropis	44
III.4.4 Analisa Hasil Pengujian Kinerja Isolator Polimer	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1 Karakteristik Material Isolator Polimer Dalam Pengaruh Iklim Tropis	47
IV.1.1 Parameter Cuaca Iklim Tropis	47
IV.1.2 Karakteristik Hidrofobik Material SRFA	50
IV.1.3 Karakteristik Resistivitas Permukaan Material SRFA	54
IV.1.4 Karakteristik Arus Bocor permukaan di bawah Pengaruh Iklim Tropis	57
IV.1.5 Karakteristik Massa Material	60
IV.2 Analisis Hasil Pengamatan	61
IV.3 Analisis Pengaruh Iklim Tropis	62
IV.3.1 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Sudut Kontak Permukaan Material SRFA 30%	62
IV.3.2 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Resistansi Permukaan Material SRFA 30%	74

IV.3.3 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Arus Bocor Permukaan Material SRFA 30%	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	96
V.1 KESIMPULAN	96
V.2 SARAN	98
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	102

DAFTAR TABEL

Tabel III.1. Persentase berat <i>fly ash</i> terhadap berat <i>silicone rubber</i> beserta kode sampelnya	37
Tabel IV.1 Hasil analisis regresi model <i>summary</i> pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	71
Tabel IV.2 Hasil analisis regresi <i>model anova</i> pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	72
Tabel IV.3 Hasil analisis regresi <i>coeficient</i> pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	73
Tabel IV.4 Hasil statistik regresi model <i>summary</i> pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	83
Tabel IV.5 Hasil statistik regresi model <i>anova</i> pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	84
Tabel IV.6 Hasil statistik regresi <i>coefficient</i> pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	84
Tabel IV.7 Hasil statistik regresi <i>model summary</i> pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	91
Tabel IV.8 Hasil statistik regresi <i>model anova</i> pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	92
Tabel IV.9 Hasil statistik regresi <i>coeficient</i> pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer <i>silicone rubber</i>	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Ikatan berulang dari <i>silicone rubber</i> (polydimethyl siloxane)	8
Gambar II.2 Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik	15
Gambar II.3 Efek bahan pengisi pada difusi MMRR ke lapisan polusi	18
Gambar II.4 Fenomena polarisasi antar muka pada material heterogen	22
Gambar III.1 Bagan alir penelitian	32
Gambar III.2 Single line diagram pengujian	33
Gambar III.3 Desain modul pengujian	33
Gambar III.4 Modul pengujian luar ruangan	36
Gambar III.5 Diagram alir proses pembuatan sampel	36
Gambar III.6 Proses pencampuran material	39
Gambar III.7 Proses penghilangan gelembung udara; (a) pompa vakum, (b) <i>vacuum chamber</i> sederhana, (c) Campuran dalam <i>vacuum chamber</i>	41
Gambar III.8 Cetakan yang digunakan (kiri), material yang dihasilkan setelah proses <i>curing</i> selesai (kanan)	42
Gambar III.9 Proses menghilangkan kadar air pada sampel	43
Gambar III.10 Pengujian material polimer di bawah terpaan iklim tropis	44
Gambar IV.1 Perubahan suhu selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis	48
Gambar IV.2 Perubahan kelembaban selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis	49
Gambar IV.3 Perubahan curah hujan selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis	50
Gambar IV.4 Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik SRFA	52

Gambar IV.5 Karakteristik sifat hidrofobik material <i>silicone rubber</i> SRFA	53
Gambar IV.6 Perubahan nilai resistansi permukaan pada material SRFA selama pengujian	55
Gambar IV.7 Pengaruh penambahan <i>fly ash</i> dalam <i>silicone rubber</i> terhadap resistivitas permukaan material <i>silicone rubber</i> di bawah terpaan iklim tropis	56
Gambar IV.8 Perubahan arus bocor pada material SRFA selama pengujian	58
Gambar IV.9 Besar arus bocor yang terjadi pada masing-masing sampel	59
Gambar IV.10 Perubahan nilai massa pada material SRFA selama pengujian	60
Gambar IV.11 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik sudut kontak permukaan material SRFA 30%	63
Gambar IV.12 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik resistansi permukaan material SRFA 30%	75
Gambar IV.13 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik arus bocor permukaan pada material SRFA 30%	87

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Isolator sebagai salah satu peralatan listrik memegang peranan penting dalam proses penyaluran energi listrik. Isolator pemasangan luar yang populer dikembangkan saat ini adalah isolator berbahan polimer, dikarenakan bahan polimer mempunyai banyak kelebihan dibandingkan bahan porselin dan gelas. Di antaranya adalah mempunyai sifat hidrofobik yang tinggi, mempunyai rapat massa yang lebih rendah, mudah dibuat karena tidak memerlukan suhu yang sangat tinggi dalam proses pembuatannya, dan mempunyai tingkat kerekatan yang tinggi. Salah satu bahan polimer yang populer digunakan saat ini adalah *silicone rubber* di mana bahan tersebut memiliki kemampuan yang baik terhadap tekanan cuaca. Material ini dikenal memiliki sifat hidrofobik (menolak air) yang baik dan tahan terhadap paparan UV yang menjadi kelebihan dibanding material insulasi polimer lainnya (Manjang & Nagao, 2011).

Wilayah Indonesia di mana secara geografis berada pada garis khatulistiwa. Wilayah ini beriklim tropis dengan faktor iklim yang sangat tinggi di mana intensitas penyinaran matahari berdurasi 12 jam, temperatur udara antara 16-35°C, kelembaban nisbi sekitar 100% pada malam hingga pagi hari, dan memiliki curah hujan cukup tinggi antara 40-500 mm. Selain itu, dari publikasi organisasi *greenpeace* menyatakan bahwa Indonesia

merupakan negara yang mengalami polusi tertinggi didunia. Kondisi seperti ini dapat menurunkan kinerja isolator pasang luar.

Mengacu pada penelitian sebelumnya tentang “Pemanfaatan Abu Terbang Batu bara (*fly ash*) Sebagai Bahan Pengisi (*Filler*) Material Insulasi *Silicone rubber*” (Manjang S. dkk, 2014). Dengan pertimbangan dari segi ekonomi, pemanfaatan *fly ash* batu bara sebagai bahan pengisi isolasi polimer *silicone rubber* adalah solusi tepat selain dari pemanfaatan limbah dan mengurangi biaya yang dikarenakan mahalnya harga bahan pengisi isolasi polimer, untuk saat ini harga bahan insulasi di Indonesia harganya masih relatif sangat tinggi dikarenakan teknologi bahan dielektrik yang digunakan masih memanfaatkan bahan pengisi berupa pasir silika dan beberapa jenis bahan pengisi lainnya yang memiliki harga sangat tinggi. Dengan pemanfaatan debu terbang dari hasil pembakaran batu bara ini mampu mengurangi biaya produksi dengan kualitas dielektrik yang sangat baik.

Adapun beberapa parameter penting untuk mengetahui kinerja dari isolator pasang luar, yaitu besar arus bocor yang mengalir pada permukaan dan untuk mengetahui karakteristik serta kemampuan dielektrik isolator polimer *silicone rubber* berbahan pengisi debu terbang batu bara dari terpaan iklim tropis dan polusi.

Berdasarkan Hal ini maka Dianggap perlu dilakukan penelitian terkait **“Kinerja Isolasi Polimer *Silicone rubber* Berbahan Pengisi *Fly ash* Batu Bara Di bawah Pengaruh Iklim Tropis”**

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas didapatkan permasalahan berikut:

1. Bagaimana karakteristik arus bocor permukaan pada isolasi polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara dari berbagai faktor iklim tropis
2. Bagaimana perubahan karakteristik fisik material isolator polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara di bawah pengaruh iklim tropis.
3. Bagaimana korelasi antara perubahan arus bocor dan karakteristik fisik isolasi polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara pada wilayah beriklim tropis.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik arus bocor permukaan pada isolasi polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara dari berbagai faktor iklim tropis.
2. Mengetahui perubahan karakteristik fisik material isolator polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara di bawah pengaruh iklim tropis.

3. Mengetahui korelasi antara perubahan arus bocor dan karakteristik fisik isolasi polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara pada wilayah beriklim tropis.

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Kepada perusahaan fabrikasi kabel di Indonesia untuk menghasilkan bahan insulasi alternatif yang murah, berkualitas dan ramah lingkungan untuk diaplikasikan di wilayah beriklim tropis.
2. Mahasiswa dan peneliti lain, sebagai bahan referensi untuk memperdalam keilmuannya tentang material insulasi polimer *silicone rubber*.

I.5 Ruang Lingkup Masalah

Adapun batasan-batasan penelitian ini adalah :

1. Hanya meneliti mengenai beberapa karakteristik mekanik dan elektrik dari insulasi *silicone rubber* dengan *filler* abu terbang batu bara (hidrofobitas, kekuatan dielektrik, resistivitas volume dan permukaan, permitivitas relatif dan resistansi *tracking*) di bawah terpaan iklim tropis
2. *Silicone rubber* yang diteliti hanya jenis RTV sedangkan *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* dari pembakaran batu bara *subbituminus* dari PLTU.

3. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan asumsi-asumsi dan hipotesis yang digunakan berasal dari penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

I.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

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

Bab II Teori Dasar

Bab ini berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian dan kerangka pemikiran. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian penunjang dan literatur/referensi lain yang terkait dengan karakteristik dari isolator polimer dan pengaruh iklim tropis terhadap perilaku dielektrik isolator polimer. Dari sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui perkembangan penelitian yang relevan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dalam proses penguraian masalah yang diteliti.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini merupakan penjelasan dari proses metode penelitian, penentuan masalah, metode pengumpulan data, metode analisis data, metode pengukuran penelitian, perancangan simulasi, konstruksi sistem dan pengujian.

Bab IV Hasil Dan Pembahasan

Bab ini akan dibahas tentang hasil penelitian dan pembahasan mengenai kinerja isolasi polimer *silicone rubber* berbahan pengisi *fly ash* batu bara di bawah pengaruh iklim tropis.

Bab V Kesimpulan Dan Saran

Bab ini berisi tentang ringkasan hasil penelitian, kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran untuk perbaikan dan penyempurnaan Tesis ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

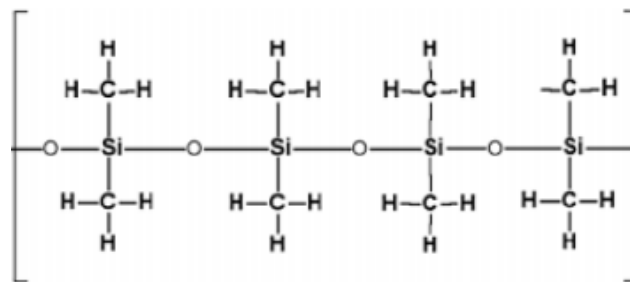
II.1 Isolator Polimer *Silicone Rubber*

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

Silicone rubber memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu ekstrem, mampu beroperasi secara normal dari -100 sampai 300°C (-148 sampai 572°F). Beberapa properti seperti elongasi, perenggangan siklik, kekuatan sobek, set kompresi, kekuatan dielektrik (pada tegangan tinggi), konduktivitas termal, tahan api dan dalam beberapa kasus kekuatan tarik pada suhu ekstrem jauh lebih unggul dibandingkan karet organik secara umum, meskipun beberapa sifat ini masih lebih rendah daripada beberapa bahan khusus. *Silicone rubber* adalah bahan pilihan dalam industri jika menginginkan kekuatan mekanik dan bentuk dasar dalam kondisi suhu

ekstrem. Karet organik memiliki *backbone* karbon yang membuatnya rentan terhadap ozon, UV, panas dan faktor penuaan lain sedangkan *silicone rubber* dapat bertahan dengan baik. Hal ini membuat *silicone rubber* salah satu elastomer pilihan diberbagai lingkungan yang ekstrem.

Silicone rubber atau *polidimethylsiloksan* berbeda dari polimer lainnya di mana struktur dasar mereka terdiri dari unit Si-O-Si tidak seperti banyak polimer lain yang memiliki struktur dasar karbon. Polisiloksan sangat fleksibel karena sudut ikatan yang besar dan memiliki ikatan yang panjang bila dibandingkan dengan yang ditemukan pada polimer yang lebih mendasar seperti *polietilena*. Misalnya, unit *backbone* -C-C- memiliki panjang ikatan dari 1,54 Å dan sudut ikatan dari 112°, sedangkan unit *backbone siloksan* Si-O memiliki panjang ikatan 1.63 Å dan sudut ikatan 130°.



Gambar II.1 Ikatan berulang dari *silicone rubber* (polydimethyl siloxane)

Ikatan dasar dari *siloksan* sangat berbeda dari ikatan *polietilen* dasar, menghasilkan polimer jauh lebih fleksibel. Karena panjang ikatan lebih panjang, mereka dapat bergerak lebih jauh dan dapat mengubah konformasi dengan mudah, sehingga membuat bahan yang lebih fleksibel. Polisiloksan juga cenderung sulit bereaksi secara kimia, karena kekuatan ikatan silikon-

oksigen. Meskipun silikon struktur kimianya mirip dengan karbon, analogi silikon terhadap senyawa karbon umumnya menunjukkan sifat yang berbeda, karena perbedaan dalam struktur elektronik dan elektronegativitas antara dua elemen; ikatan silikon-oksigen dalam polisiloksana secara signifikan lebih stabil daripada ikatan karbon-oksigen dalam polioksimetilen (polimer struktural yang mirip) karena energi ikatan yang lebih tinggi. (Bernstorff *et al*, 2000)

II.1.1 Karakteristik Listrik Polimer

Karakteristik listrik suatu material dapat ditentukan dengan memperhatikan besaran listrik yang patut diketahui seperti:

1. Kekuatan hancur dielektrik/bahan isolasi (kekuatan terhadap medan listrik)

Tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{Vbd}{h} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan;

E = kekuatan hancur dielektrik

Vbd = Tegangan tembus dielektrik

h= ketebalan dielektrik

h= d^n untuk material polimer

d= ketebalan (mm)

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

$n = 0$ untuk tegangan tembus arus searah dan berkisar antara 0,3 sampai dengan 0,5 untuk tegangan bolak-balik

2. Tahanan isolasi

Terdiri dari tahanan jenis dan tahanan volume baik untuk saluran panjang maupun untuk permukaan. Tahanan jenis dan tahanan volume dapat diperoleh melalui persamaan;

$$\rho = (R.A)/h \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\gamma = 1/\rho \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan;

ρ = Tahanan jenis

γ = Tahanan Volume

R = tahanan

A = Luas Permukaan

h = Panjang

sedangkan tahanan jenis ρ_s dan tahanan volume γ_s permukaan dapat dinyatakan dengan persamaan;

$$\rho_s = (R_s. d)/h \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\gamma = 1/\rho_s \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan;

R_s = Tahanan permukaan

d = Jarak permukaan

$h = \text{Panjang}$

3. Sifat Termal

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 maka akan menyebabkan kerusakan (*tracking*) yang berdampak terhadap penurunan resistansi permukaan. Hasil pengujian sifat termal polimer SIR dengan menggunakan termografimetrik 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 komposit dalam upaya meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi kehilangan daya listrik di saluran transmisi dan distribusi. Oleh Gutaman berhasil menguji beberapa isolator berbahan polimer dan gelas atau porselin yang dioperasikan di daerah Ukraina (Rusia) selama dua sampai lima tahun. Di mana hanya isolator polimer SIR yang mempertahankan sifat hidrofobiknya dengan sudut kontak yang tinggi 116°, bahkan terlihat kenaikan sudut kontak setelah dioperasikan selama 5 tahun. Isolator polimer jenis lain seperti ethylene Propylene, polyolephin mengalami penurunan sudut kontak 79° bahkan isolator gelas atau porselin memperlihatkan sudut kontak 0° (basah secara keseluruhan).

Sementara itu hasil penelitian oleh Sherif dan Vlastos yang juga melakukan pengujian beberapa jenis isolator selama 5 tahun yang

dioperasikan pada tegangan 800 kV AC di stasiun pengujian Annaberg (Swedia) di bawah kondisi cuaca yang berbeda-beda dan kondisi lingkungan polusi yang tinggi. Arus bocor (*Leakage Current*) terjadi paling kecil pada isolator polimer SIR. Ini menunjukkan bahwa dengan adanya aktivitas molekul relatif rendah (MMRR) SIR mentransfer hidrofobiknya ke polusi telah menghambat terjadinya lapisan air di permukaan SIR yang berpolusi.

Pemasangan isolator suspense dari polimer jenis EPDM dan SIR serta gelas atau porselin di jaringan transmisi 88 kV di Afrika selama 12 bulan. Arus bocor permukaan terkecil diperlihatkan oleh isolator polimer SIR 5C, gelas 33C terbesar adalah EPDM adalah 85C.

Isolator berbahan SIR sukses diterapkan pada desain saluran transmisi dan distribusi sebagai pemisah antar fasa sehingga desain transmisi semakin kompak dengan biaya yang lebih murah karena isolator polimer sangat ringan. Untuk meningkatkan kapasitas daya transmisi di Jerman, sejak tahun 1995 sebagian saluran transmisi di *Upgrade* ke tegangan yang lebih tinggi dari tegangan 245 kV menjadi 420 kV dengan hanya mengganti isolator konvensional (porselin) dengan komposit dari isolator polimer SIR tanpa mengubah menara transmisi.

Di Australia sejak tahun 2001 mulai mengoperasikan isolator polimer SIR dengan biaya lebih murah 30% dari isolator konvensional porselin (Gubanski, 2007). Demikian pula di Amerika utara kini terus melakukan penggantian post isolator konvensional dengan polimer SIR pada jaringan

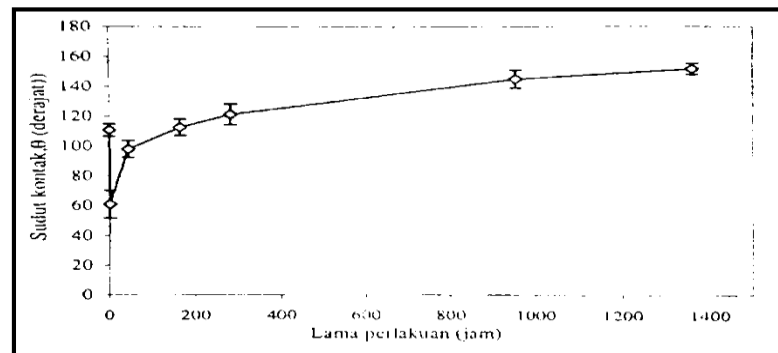
tegangan menengah dengan hanya menggunakan konstruksi tiang (*pole*) yang sederhana tanpa menggunakan *Crossarms*.

Kini material isolator polimer SIR ini mulai pula banyak digunakan sebagai *housing* pada transformator *rus*, *bushing*, *surge arrester* sampai tegangan 500 kv untuk menggantikan material keramik atau gelas yang mudah pecah terutama untuk gardu induk yang berada di daerah yang sering terjadi gempa bumi. Selain itu terbukti mampu pula menurunkan aktivitas *flashover* yang sering menjadi gangguan di daerah yang berpolusi tinggi.

4. 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) hidrofobik (Kim 1992). Adanya gugus-gugus metil yang berotasi bebas dan polarisabilitas ikatan Si-O, rantai siloksan mampu menyejajar *sendiri* (*align itself*) untuk bersekutu menghasilkan sifat hidrofobik pada permukaannya. Selain 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 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 (Manjang S, 1999). Pengujian kekuatan transfer hidrofobik juga dilakukan dengan memberikan polusi buatan dari tepung SiO₂ di atas permukaannya 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. Setelah satu jam, hasil pengukuran sudut kontak menunjukkan nilai 60,5° yang berarti reaksi massa molekul relatif rendah (MMRR) dari polimer SIR mulai berpindah ke lapisan polusi. Setelah 150 jam perlakuan, sudut kontak sudah berada pada nilai 130°. Artinya pemindahan sifat hidrofobik secara sempurna ke lapisan polusi SiO₂ pada ketebalan 0,5 mm mampu dicapai hanya sekitar seminggu. Bahkan setelah perlakuan 1300 jam tampak lapisan polusi hidrofobik dibandingkan SIR yang bersih dengan sudut kontak tetesan air mencapai 152°, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar II.2 berikut:



Gambar II.2 Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik

Sumber : Manjang S dan Nagao M., 2011

Hasil penelitian beberapa peneliti pada berbagai material polimer jenis lain seperti *epoksi*, *EPDM*, *polietilen*, *polipropilen* dan *polivinilklorid* cenderung menghilangkan sifat hidrofobik permukaannya setelah diterpa oleh berbagai faktor iklim terutama radiasi UV dan matahari, kelembaban atau air hujan. Karena itu untuk mengetahui ketahanan sifat hidrofobik *Silicone rubber* terhadap berbagai faktor iklim tersebut, dilakukan pula suatu pengujian dengan menempatkan sampel-sampel dari polimer SIR yang diberi bahan pengisi dengan dosis yang berbeda-beda dekspose di bawah pengaruh iklim tropis alamiah selama 107 minggu. Hasil eksperimen tersebut terlihat bahwa semua jenis sampel menunjukkan sifat hidrofobik yang tinggi $>107^\circ$ (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 (Manjang, 2010).

Bahkan sifat hidrofobik semakin tinggi saat debu polusi lingkungan banyak mengotori permukaan sampel. Endapan polusi semakin lama semakin banyak terakumulasi sehingga permukaan SIR bertambah kasar

menyebabkan nilai sudut kontak lebih tinggi mencapai 145° (HTV1). Perilaku turun naiknya sudut kontak hanya mengikuti penumpukan dan tercucinya polusi oleh hujan di permukaan material. Pola kenaikan dan penurunan nilai sudut kontak tersebut merupakan fenomena transfer dan pemulihan (*recovery*) sifat hidrofobik oleh massa molekul relatif rendah (MMRR) dari dalam ruah (*bulk*) ke permukaan *silicone rubber* dan polusi. Kekasaran permukaan yang semakin bertambah dengan penambahan endapan polusi juga memberi kontribusi dalam peningkatan sudut kontak.

Salah satu peran bahan pengisi yang ditambahkan pada polimer SIR adalah untuk meningkatkan ketahanannya terhadap keretakan dan erosi oleh tekanan lingkungan atmosfer dan pembebanan panas yang tinggi akibat busur pita kering (*dry band arcing*) jika diterapkan sebagai material isolator tegangan tinggi pasangan luar. Hasil pengukuran sudut kontak tetesan air di permukaan material dengan dosis bahan pengisi bervariasi mengalami penuaan (*virgin*) tidak sama, tergantung jumlah dosis bahan pengisi yang diberikan. Material uji kelompok RTV yang berdosis yang lebih tinggi (29,2%) menghasilkan nilai sudut kontak yang lebih tinggi $111 \pm 1,8^\circ$ dibanding yang berdosis lebih rendah (18%) dengan nilai $108 \pm 2^\circ$.

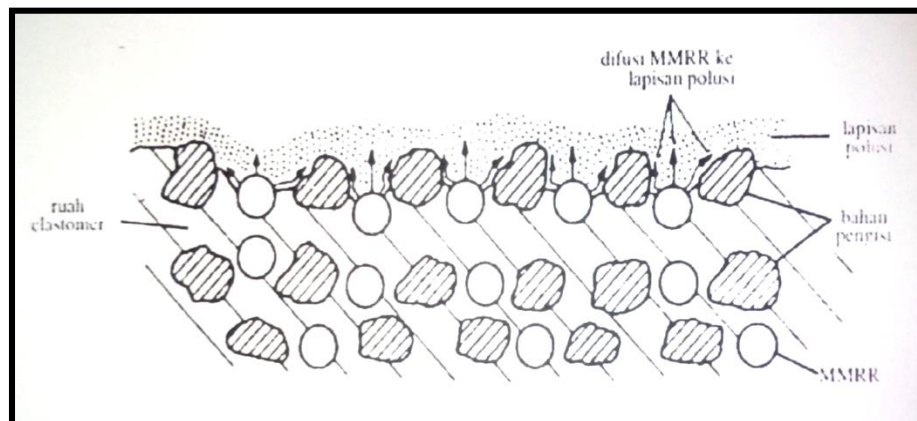
Namun untuk material uji kelompok HTV rujukan (*virgin*) dengan penambahan dosis bahan pengisi yang bervariasi tidak menunjukkan perbedaan nilai sudut kontak yang signifikan. Perbedaan sudut kontak yang terjadi pada material uji sebelum penuaan (*virgin*) disebabkan oleh perbedaan tingkat kekasaran permukaan (Manjang, 2010). Permukaan

RTV yang berbahan pengisi dosis tinggi lebih kasar dari permukaan RTV yang berbahan pengisi dosis rendah sehingga menyebabkan sudut kontak yang lebih tinggi. Sementara pada kelompok HTV (*virgin*) memiliki tingkat kekasaran permukaan yang hampir sama, sehingga menghasilkan nilai sudut kontak yang tidak banyak mengalami perbedaan.

Efek perbedaan dosis bahan pengisi terhadap sifat hidrofobik masing-masing material uji SIR adalah perbedaan kemampuan mentransfer dan pemulihan (*recovery*) sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi setelah mengalami penuaan akibat perubahan musim. Material uji berbahan: tinggi (72%) mempunyai kecenderungan lebih cepat mentransfer hidrofobiknya ke lapisan polusi. Namun musim hujan yang berkepanjangan mengakibatkan kemampuan memulihkan sifat hidrofobiknya mulai menurun dengan penurunan sudut kontak. Sementara material uji kelompok HTV yang berdosis bahan pengisi terendah 48° masih memberikan sudut kontak tertinggi.

Memperbanyak dosis bahan pengisi dapat menghambat laju kehilangan berat. Namun bahan pengisi berdosis tinggi dapat mengurangi kemampuan difusi MMRR ke permukaan. Hal ini ditunjukkan pada material uji berbahan pengisi dosis tinggi (72%) semakin lama penuaan semakin lambat pemulihan sifat hidrofobiknya. Penyebabnya diduga karena kerapatan partikel-partikel bahan pengisi, akibat penuaan akan mengalami pergeseran lebih banyak ke permukaan sebagaimana ditunjukkan dari hasil pengukuran SEM, sehingga menghambat reorientasi rantai dan laju difusi

MMRR ke permukaan dan lapisan polusi, keadaan ini dapat digambarkan seperti pada Gambar II.3.



Gambar II.3 Efek bahan pengisi pada difusi MMRR ke lapisan polusi
Sumber: Manjang S dan Nagao M., 2011

Proses difusi MMRR ke lapisan polusi sangat kecil dipengaruhi oleh radiasi UV. Faktor penyebabnya diperkirakan perbedaan gradien konsentrasi MMRR di dalam ruah (*bulk*) dengan permukaan dan dengan kenaikan temperatur mempercepat reaksi difusi MMRR. Pengaruh temperatur terhadap kecepatan difusi MMRR ke lapisan polusi, bahwa semakin tinggi temperatur semakin cepat transfer sifat hidrofobik dan juga tergantung pula dari ketebalan lapisan polusi. Kenaikan temperatur oleh sinar matahari dan ketebalan lapisan polusi serta level dosis bahan pengisi yang memberikan kontribusi terhadap kecepatan *transfer* dan *recovery* hidrofobik.

Lingkungan yang mengandung kontaminasi kandungan garam juga sering menjadi penyebab melemahnya sifat hidrofobik sehingga

menyebabkan turunnya resistansi permukaan isolator. Pengujian secara intensif telah dilakukan oleh Hackam dengan menguji hubungan sudut kontak dengan resistansi permukaan *silicone 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.

II.1.2 Sifat Dielektrik Isolator Polimer

Sifat dielektrik merupakan suatu keadaan yang menggambarkan sifat kekuatan isolasi sebagai material isolasi kelistrikan. Sifat ini digambarkan oleh permetivitas relative (ϵ_r) dan faktor disipasi ($\tan \delta$). Sifat dielektrik bahan isolasi polimer kebanyakan mengalami penurunan akibat karena 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 berdifusi di antara partikel-partikel bahan pengisi dengan polimer

Sifat dielektrik material polimer tergantung pada susunan atom/molekul dan komponen kimianya. Bilamana suatu material isolasi ingin dikaji biasanya digunakan tegangan tinggi yang kuat, namun tidak mungkin untuk menyimpulkan penyebab peluahan tembus dengan hanya mengetahui tegangan peluahan tembus karena isolasi dalam daerah tembus menjadi rusak. Oleh karena itu parameter ukur yang digunakan untuk mengkaji material isolasi yang tidak merusak adalah permitivitas relatif ϵ_r dan faktor disipasi $\tan \delta$). Permitivitas relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitansi C_x suatu kapasitor pelat sejajar yang mempunyai suatu dielektrik dengan kapasitansi C_0 kapasitor tersebut dalam hampa udara.

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d} \dots\dots\dots (2.7)$$

ϵ_0 adalah suatu konstanta dielektrik dalam hampa udara ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m), A adalah suatu luas dari elektroda dan d adalah jarak kutub antara dua plat.

Suatu bahan diberi medan listrik arus bolak-balik E akan menghasilkan polarisasi bolak-balik searah dengan medan, dan jika frekuensi cukup tinggi, orientasi beberapa dipol yang ditimbulkan tertinggal di belakang medan listrik dengan sudut fasa θ . Fenomena ini merupakan hubungan tegangan-arus untuk bahan dielektrik di antara plat kapasitor yang dapat dijelaskan dengan konsep konstanta dielektrik kompleks atau permitivitas relatif kompleks.

$$\underline{\epsilon_r} = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \dots\dots\dots (2.8)$$

Bagian imajiner ϵ_r'' diasumsikan sebagai vektor resistif yang disebut faktor kerugian dielektrik. Menurut (VDE 0303,1969) bagian nyata permitivitas relatif kompleks ϵ_r' sama dengan permitivitas relatif ϵ_r sebagaimana dijelaskan pada persamaan (2.24). hubungan antara faktor kerugian dielektrik ϵ_r'' dengan permitivitas relatif ϵ_r' dapat pula didefinisikan sebagai faktor disipasi ($\tan \delta$) dalam suatu persamaan.

$$\tan \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r' \dots\dots\dots (2.9)$$

Jika persamaan di atas diterapkan pada sebuah elemen volume dalam bentuk suatu kubus sangat kecil, mak diperoleh persamaan rugi dielektrik spesifik P_{diel} bahan isolasi dalam medan listrik E yang dinyatakan sebagai berikut.

$$P_{\text{diel}} = E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \tan \delta \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan (2.28) menunjukkan bahwa kerugian dielektrik berbanding lurus dengan ϵ_r dan $\tan \delta$. Oleh karena itu semakin kecil ϵ_r dan $\tan \delta$ suatu bahan isolasi semakin baik.

Polarisasi dapat digolongkan dalam beberapa jenis tergantung pada pergeseran satuan Di dalam material isolasi homogen terdapat tiga jenis polarisasi molekuler yaitu polarisasi elektronik, ionik dan orientasi.

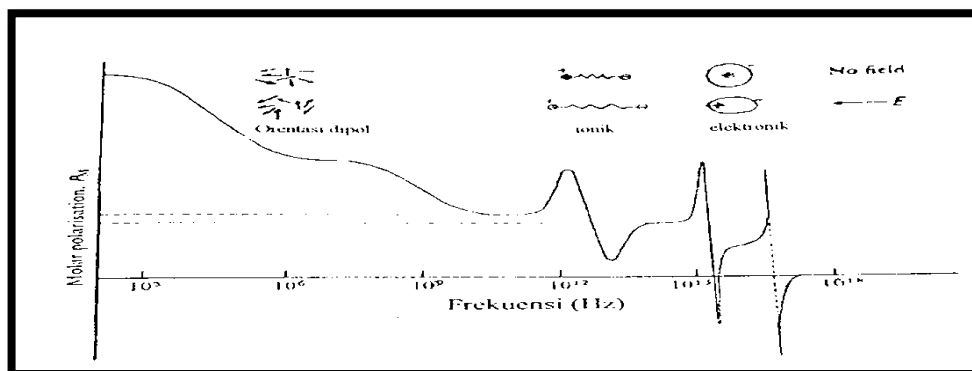
Proses elektronik yaitu hasil dari suatu perpindahan pusat awan muatan negatif terhadap inti positif suatu atom akibat medan listrik. Bila ada medan arus bolak-balik, muatan tersebut akan bergeser bolak-balik

mengikuti frekuensi medan listrik. Polarisasi ini kebanyakan terjadi pada frekuensi tinggi dan akibat frekuensi cahaya ($\approx 10^{16}$ Hz).

Polarisasi ionik terjadi hanya pada material ionik. Suatu medan listrik akan memindahkan kation pada suatu sisi dan anion pada sisi berlawanan dan akan menaikkan jumlah muatan dipol. Karena ion lebih berat dibandingkan dengan elektron, ion tak mungkin berpolarisasi dengan cepat. Polarisasi ion terbatas hingga frekuensi maksimum sebesar $\sim 10^{13}$ Hz.

Polarisasi orientasi terjadi pada material dielektrik yang memiliki momen dipol permanen yang terdapat di dalam struktur kimia material isolasi. Polarisasi ini merupakan penyebab terbesar munculnya rugi-rugi dielektrik pada material isolasi. Pada gambar II.4 Ditunjukkan polarisasi molar terhadap kenaikan frekuensi.

Polarisasi lainnya adalah polarisasi antar muka (*interface polarization*) yang terdapat pada material heterogen. Fenomena polarisasi antar muka ini terutama pada daerah antar partikel bahan pengisi dengan polimer yang disebut internal antarmuka (Kaerner, 1991).



Gambar II.4 Fenomena polarisasi antar muka pada material heterogen
Sumber: Manjang S dan Nagao M., 2011

II.1.3 Pemberian *Filler* pada Isolator Polimer

Secara teknis, penggunaan bahan pengisi untuk meningkatkan sifat mekanis dan secara ekonomis penggunaan bahan pengisi sebagai bahan upaya untuk mereduksi biaya. Bahan pengisi silane (*silicone rubber*) dan pasir silika digunakan untuk memperbaiki karakteristik dari isolator polimer. Dalam hal ini kita menggunakan bahan pengisi debu terbang batu bara (*fly ash*) abu terbang merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan presipitator elektrostatik. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan in organik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatik biasanya berukuran silt (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Senyawa-senyawa penyusun abu terbang sebenarnya sangat ditentukan oleh mineral-mineral pengotor bawaan yang terdapat pada batu bara itu sendiri yang disebut dengan *inherent mineral matter*. Mineral

pengotor yang terdapat dalam batu bara dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

Syngenetic atau disebut dengan *mineral matter*. pada dasarnya mineral-mineral ini terendapkan di tempat tersebut bersamaan dengan saat proses pembentukan paet.

Epigenetica juga disebut dengan *extraneous mineral matter*. pada prinsipnya mineral-mineral pengotor ini terakumulasi pada cekungan setelah proses pembentukan lapisan peat tersebut selesai.

II.2 Fungsi Bahan Pengisi (*Filler*) terhadap Material Isolasi

Material pengisi atau *filler* adalah bahan yang ditambahkan ke bahan polimer sebelum proses vulkanisasi yang bertujuan untuk memperbaiki karakteristik elektrik atau mekanik tertentu atau mengurangi biaya produksi karena bahan pengisi lebih murah dibandingkan bahan polimer itu sendiri. Penambahan bahan pengisi memungkinkan sifat-sifat fisik polimer dapat termodifikasi karena masalah fenomena bidang batas (*interface*) antara bahan pengisi dengan bahan polimer itu sendiri. Adapun fungsi lain dari bahan pengisi adalah sebagai:

- 1) Penguat: contoh bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat: karet dan karbon hitam maupun serat gelas dan berbagai polimer termal.
- 2) Perbaikan dari temperatur deformasi termal, temperatur deformasi termal dapat dinaikkan dengan menggunakan gelas, talk atau mika.

- 3) Pelindung: memperbaiki ketahanan permeabilitas gas, sifat isolasi listrik dan sebagainya.
- 4) Hantaran listrik: hantaran listrik diberikan pada bahan polimer dengan menggunakan bubuk perak, tembaga dan logam lain atau karbon hitam.
- 5) Pelumasan: penambahkan molibden disulfida, grafit dan sebagainya., sifat pelumasan ditingkatkan.
- 6) Absorpsi: lempung mengabsorpsi komponen elektrolitik untuk meningkatkan sifat isolasi listrik.
- 7) Ketahanan cuaca: membuat perisai efektif terhadap cahaya.
- 8) Penyesuaian koefisien pemuaian termal: Polimer termoplastik mempunyai koefisien pemuaian yang lebih tinggi dan dapat dikurangi dengan penambahan zat organik.
- 9) Perbaikan sifat percetakan dan perlekatan: Perlekatan yang lebih baik didapat dengan penambahan bahan anorganik.
- 10) Pembesaran: harga dapat dikurangi dengan menggunakan bahan pengisi yang murah (Surdia, & saito, 2005)

Sifat elastis seperti modulus elastis, kekerasan dan sebagainya, tergantung pada jumlah dan jenis ikatan silang polimer, massa molekul relatif, bentuk, serta perlakuan (*treatment*) yang dialami oleh permukaan polimer. Demikian juga pengaruh panas merupakan suatu fungsi dari stabilitas termal intrinsik polimer, sifat konduktivitas disipasi panas bahan pengisi, dan faktor-faktor lain seperti katalis residu dan kontaminan aktif yang dapat memperbesar efek depolimerisasi termal elastomer silikon.

Penggunaan bahan pengisi yang mencapai 80% adalah perbandingan berat *filler* terhadap berat *silicone rubber*. Oleh karena itu untuk menyelidiki pengaruh perubahan karakteristik terhadap kadar bahan pengisi dalam suatu material, maka variasi kadar bahan pengisi dilakukan pada tiap pembuatan sampel.

Dalam teknik isolasi, bahan pengisi yang umumnya digunakan dari bahan pengisi anorganik. Terdapat dua jenis bahan pengisi anorganik yang banyak dipergunakan pada elastomer silikon yaitu jenis silika (SiO_2) dan ATH ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) atau kombinasi kedua bahan pengisi tersebut.

II.3 Penelitian Terkait

Salah satu bahan polimer yang populer digunakan saat ini adalah *silicone rubber* di mana bahan tersebut memiliki performa yang baik terhadap tekanan cuaca. Material ini dikenal memiliki sifat hidrofobik (menolak air) yang baik dan tahan terhadap paparan UV yang menjadi kelebihan dibanding material insulasi polimer lainnya (Manjang & Nagao, 2011).

Penelitian terkait mengenai *filler* isolator tegangan tinggi telah banyak dilakukan di dalam dan luar negeri. Penelitian pertama yaitu oleh Momen & Farzaneh (2011) yaitu “*Survey of Micro/Nano Filler Use to Improve Silicone rubber for Outdoor Insulation*”. Pada penelitian ini digunakan *micro partikel* sebagai bahan pengisi isolator *Silicone rubber*. Hasilnya adalah dengan menggunakan *micro/nano particle* berupa silika (SiO_2) dan aluminium

tryhydrate ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$) maka kekuatan mekanis dan elektrik dari isolator menjadi meningkat. Ukuran nano/micro partikel juga dapat meningkatkan sifat hidrofobik bahan isolator.

“Studi Kekuatan Dielektrik Pada Bahan Campuran Abu Sekam Padi Dengan Resin Epoksi”. Pada penelitian tersebut digunakan abu sekam padi sebagai *filler* isolator tegangan tinggi berupa resin epoksi. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian tersebut diketahui memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengukur tegangan tembus dari isolator polimer yaitu epoksi dengan *filler* abu sekam padi. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan penambahan *filler* abu sekam padi pada resin epoksi maka tegangan tembus dari material isolator tersebut semakin menurun. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *filler* abu sekam padi tidak cocok diaplikasikan pada resin epoksi. Penggunaan bahan pengisi lain yang lebih baik dianjurkan untuk diteliti lebih lanjut.

Karakteristik Mekanik, Termal Dan Elektrikal dari Isolator EPDM/Silikon Dengan *Filler* Nanokomposit. Dalam penelitian ini sebagai *filler* digunakan OMMT (Organically Modified Monmorillonite Nanoclay) pada bahan EPDM dan *Silicone rubber*. OMMT adalah tanah lempung dengan kandungan alumina silikat terhidrasi. Dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa secara umum peningkatan kekuatan elektris dan mekanis seperti kekuatan dielektrik, kekuatan tarik, elongasi, resistivitas volume dan resistivitas permukaan, mengalami peningkatan pada kadar

OMMT sebanyak 50 % di dalam campuran EPDM dan *silicone rubber*. Sementara itu nilai konstanta dielektrik semakin meningkat dengan bertambahnya kadar OMMT dalam campuran EPDM dan *silicone rubber*.

Penelitian selanjutnya Manjang & Nagao 2011, Tentang karakteristik isolator polimer tegangan tinggi di bawah penuaan tekanan iklim tropis buatan yang di percepat. Di mana isolasi polimer memiliki sifat hidrofobik yang baik dan sifat dielektrik yang sangat baik dalam terpaan simulasi iklim tropis.

Penelitian selanjutnya Manjang S. & Putra R. P. 2014. Tentang pemanfaatan limbah debu terbang hasil pembakaran batu bara PLTU sebagai bahan pengisi isolasi polimer, di mana dari hasil penelitian ini yang memiliki tingkat efisiensi dari komposisi bahan insulasi dengan hasil dari beberapa pengujian dan mendapatkan efisiensi dari komposisi bahan pengisi yang terbaik ialah 20% sampai dengan 40%.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Mustamin (2010), diketahui bahwa performa elektrik yaitu arus bocor dari material polimer meningkat seiring waktu dalam perlakuan iklim yang di percepat. Penelitian yang dilakukan oleh Fernando (2010) diketahui bahwa arus bocor dan hidrofobikstas juga meningkat dengan seiring bertambahnya waktu, dalam penelitian ini diketahui bahwa peningkatan arus bocor dan penurunan hidrofobikstas lebih tinggi terjadi pada perlakuan isolator di bawah tekanan iklim tropis secara langsung dibandingkan dengan peningkatan yang didapatkan dalam pengujian dengan menggunakan kamar kabut garam (*salt fog chamber*).

Penelitian yang dilakukan oleh Farhadinejad (2012) menunjukkan bahwa polusi dan riasi ultra violet meningkatkan arus bocor pada material *silicone rubber*. Sinar UV pada penelitian tersebut menurunkan temperatur dekomposisi menjadi lebih rendah dan mendegradasi permukaan dari material polimer, juga diketahui bahwa sinar UV C mampu mendekomposisi *filler* dan mengurangi rasio Al/Si.

Selain dari faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya seperti, suhu, polusi, dan UV. terdapat faktor lain yang juga dapat mempengaruhi hidrofobikstas dan arus bocor seperti, kelembaban lingkungan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syakur (2012). Diketahui bahwa arus bocor permukaan isolator polimer *silicone rubber* memiliki nilai minimum pada kelembaban 40% dan arus bocor maksimum terjadi pada kelembaban 70%.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Syakur (2015). Menunjukkan bahwa *epoxi resin* yang di isi *silicone rubber* tidak mendapatkan pengaruh yang signifikan setelah terjadinya *tracking* dari hasil tersebut dapat di perkirakan bahwa pengaruh arus bocor terhadap degradasi permukaan material *silicone rubber* tidak signifikan. Meskipun demikian pengaruh faktor lain yang di dapatkan dari pengaruh iklim tropis dikombinasikan dengan arus bocor permukaan kemungkinan akan memberikan hasil yang berbeda terhadap degradasi permukaan material.

Isolator yang bagus tentunya terbuat dari material yang tahan terhadap kondisi lingkungan di mana isolator tersebut di aplikasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor dan hidrofobikitas dari material *silicone rubber* di bawah pengaruh iklim tropis. dari penelitian yang telah di jelaskan sebelumnya diketahui bahwa faktor-faktor seperti suhu, polusi, UV, dan kelembaban yang merupakan komponen dari iklim tropis memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik hidrofobikitas dan arus bocor. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini akan dipantau bagaimana perubahan sifat hidrofobikitas dan arus bocor di bawah pengaruh iklim tropis.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada beberapa lokasi:

1. Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar (Pembuatan sampel pengujian karakteristik elektrik, dan penjemuran sampel)
2. Laboratorium Kimia Fisika Fakultas MIPA Jurusan Kimia Universitas Hasanuddin Makassar (Menghilangkan kadar air komposisi sebelum di uji).

III.2 Waktu Penelitian

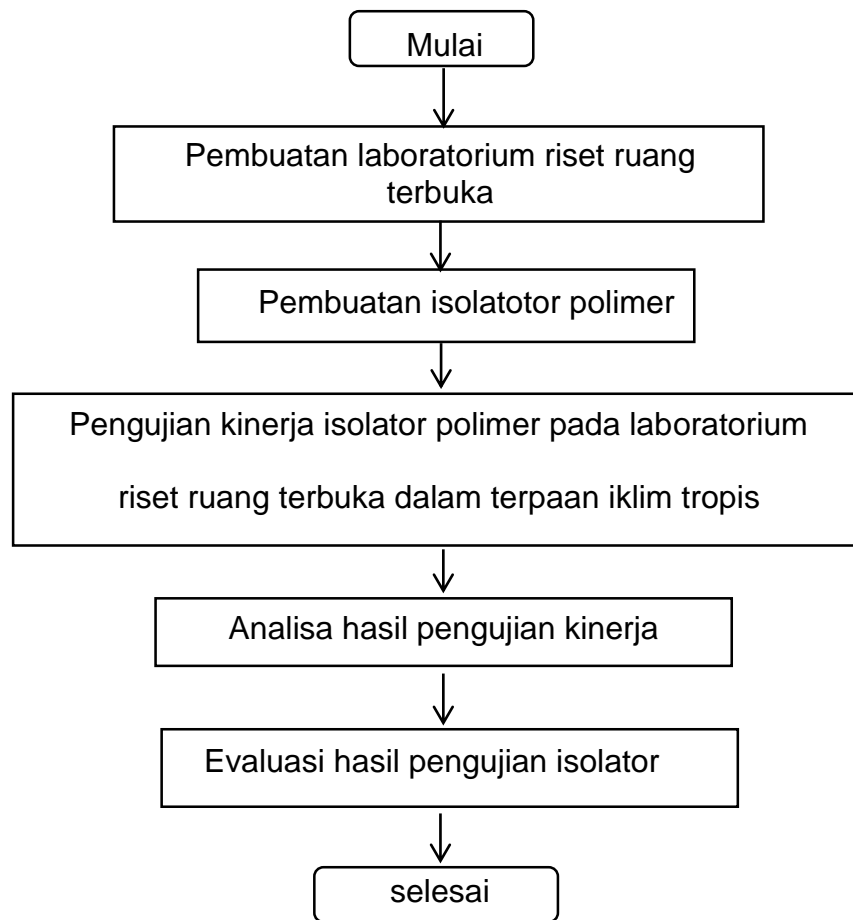
Penelitian ini dilakukan selama 45 hari terhitung mulai pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 24 Juni 2016.

III.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah jenis penelitian secara kuantitatif dengan metodologi deduktif.

III.4 Alir Penelitian

Penelitian ini di lakukan dalam beberapa tahap penelitian yang dapat di gambarkan pada diagram di bawah ini.

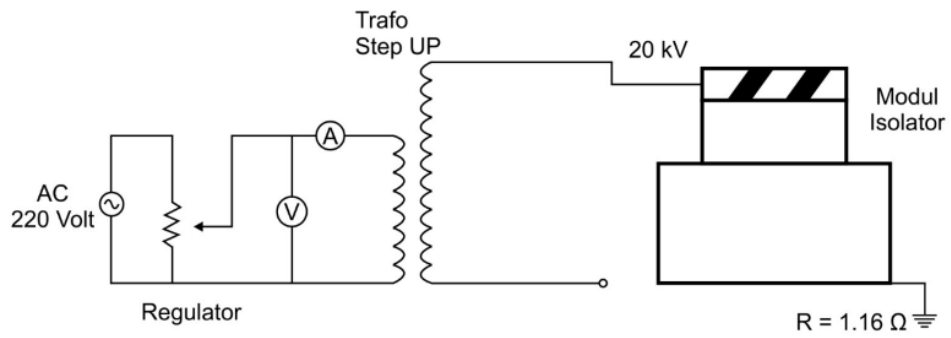


Gambar III.1 Bagan alir penelitian

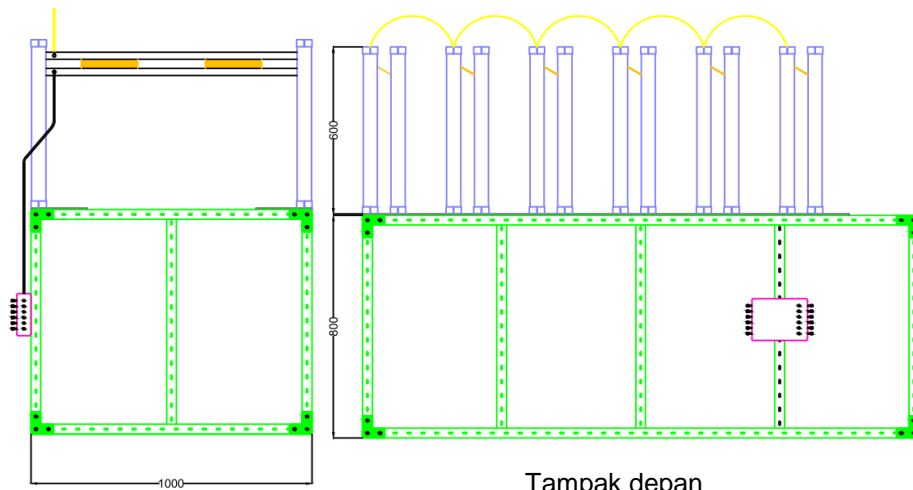
III.4.1 Pembuatan Laboratorium Riset Ruang Terbuka

Pada pembuatan laboratorium diawali dengan perancangan dan gambar modul riset ruang terbuka berupa meja uji material isolator, di mana material isolator akan di tempatkan pada meja uji tersebut, Dan material tersebut akan mendapatkan perlakuan iklim tropis.

Adapun desain modul dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

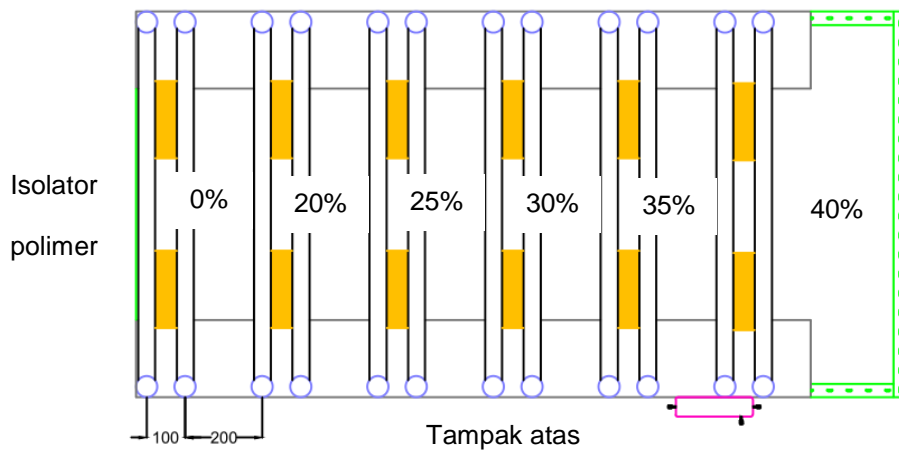


Gambar III.2 Single line diagram pengujian



Tampak samping

Tampak depan



Tampak atas

Gambar III.3 Desain modul pengujian

Alat yang akan digunakan dalam pembuatan modul ini ialah:

1. Plat aluminium dengan lebar 4cm dan panjang 1meter sebanyak 12 batang (penghantar listrik dan penjepit isolator)
2. Kabel NYY 1x35 mm 30 meter
3. Kawat BC 50 mm 60 meter (pentanahan/ pengaman)
4. Trafo tegangan 220/20000 Volt (sumber)
5. Ampere meter (pengukur Arus permukaan)
6. Volt meter (pengukur tegangan tembus)
7. PC komputer (pengolah data)
8. Pengatur tegangan (regulator).

Metode kerja dalam penelitian

1. Pada bahan rangka meja modul dipilih bahan material dari besi siku selain dari harga yang terjangkau, mudah ditemukan, kuat, dan tahan terhadap iklim tropis. di mana pada iklim tropis terdiri atas panas matahari, hujan, angin kencang, dan lain sebagainya yang termasuk gejala alam iklim tropis.
2. Penyangga elektroda dipilih pipa pvc 2" di mana bahan ini selain berfungsi sebagai tiang penyangga elektroda juga berfungsi sebagai isolator.
3. Elektroda dipilih dari bahan aluminium karena bahannya mudah didapatkan, harganya terjangkau dan secara elektrik bahan ini memiliki tingkat resistivitas yang rendah.

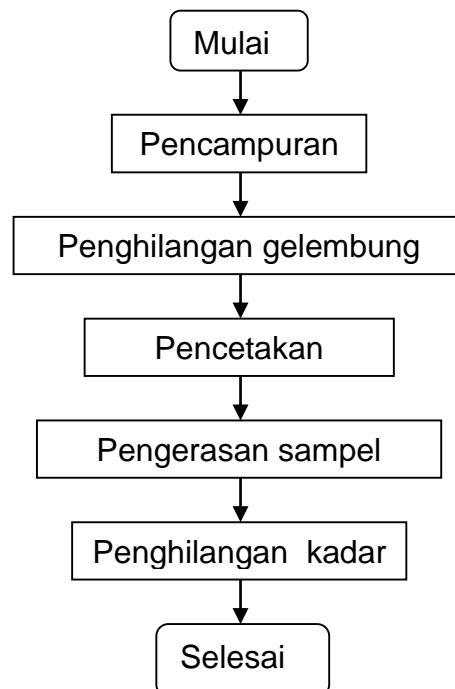
4. Pada penelitian ini trafo yang kami gunakan ialah trafo penaik tegangan dengan tegangan keluaran 20kV tipe trafo ukur dengan merek AEG. Elektroda yang menjepit pada material terdiri atas 2 buah elektroda pada tiap sampel uji, Di mana pada Phasa trafo dihubungkan pada salah satu elektroda dari masing-masing material uji, kemudian elektroda yang lain di hubungkan ke alat ukur dengan proteksi *fuse*. kemudian keluaran alat ukur di hubungkan ke komputer.
5. Untuk Pengaman modul dari gangguan binatang dan lain-lain, kami membuat sangkar besi dengan dihubungkan pada pembumian dengan menggunakan kabel BC 25 mm *full* Cu.
6. Untuk pengaman alat ukur dari gangguan arus lebih yang diakibatkan adanya arus bocor yang melebihi kapasitas dari pembacaan alat ukur digunakan *fuse* .
7. Data iklim tropis diperoleh dari stasiun meteorologi maritim paotere dengan spesifikasi data berupa :
 - a. data curah hujan
 - b. Data kelembaban
 - c. Data suhu



Gambar III.4 Modul pengujian luar ruangan

III.4.2 Pembuatan Material Isolator Polimer

Proses sampling atau pembuatan sampel material yang akan diuji terdiri dari 4 tahap yang dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini :



Gambar III.5 Diagram alir proses pembuatan sampel

1. Pencampuran

Pencampuran material dilakukan pada berbagai komposisi antara *silicone rubber* dan *fly ash*. Hal ini dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk menyelidiki karakteristik elektrik dan mekanik dari berbagai komposisi antara *fly ash* dan *silicone rubber*. Adapun komposisi dari *fly ash* dan *silicone rubber* yang dibuat dapat dilihat pada Tabel III-1.

Tabel III.1. Persentase berat *fly ash* terhadap berat *silicone rubber* beserta kode sampelnya

<i>Persentase Fly ash (%)</i>	Kode Sampel
0	SRFA 0%
20	SRFA 20%
25	SRFA 25%
30	SRFA 30%
35	SRFA 35%
40	SRFA 40%

Sebelum proses pencampuran *silicone rubber* dan *fly ash* dilakukan, terlebih dahulu *fly ash* disaring dengan ayakan atau mesh no. 100. Ayakan ini dipilih sesuai dengan ukuran *fly ash* rata-rata antara 0.5 – 300 μ m. *Fly ash* kemudian disimpan dalam wadah kedap udara untuk mencegah kontaminasi kelembaban yang dapat membuat *fly ash* menggumpal yang dapat menurunkan kualitas *fly ash*.

Pada proses pencampuran material, homogenitas dari tiap pencampuran mungkin saja akan berbeda dikarenakan pengadukan dilakukan dengan cara manual. Kami telah mencoba menggunakan mesin pencampur konvensional namun homogenitas dari campuran kurang baik.

Homogenitas dari campuran yang berada pada tepi wadah pencampur dan dekat pisau pengaduk berbeda sebab kecepatan aliran fluida dalam wadah pengaduk tidak seragam, apalagi jika mencampur material dengan volume yang besar maka homogenitas material yang diperoleh menjadi kurang baik.

Perbedaan homogenitas ini apabila nilainya signifikan maka dikhawatirkan dapat mempengaruhi hasil pengukuran yang akan dilakukan nantinya. Untuk mengatasi hal tersebut, maka cara yang dilakukan adalah dengan mencampur material dalam volume yang kecil sehingga diharapkan material akan homogen dengan baik. Selain itu juga akan dibuat 1-3 material dengan pengadukan terpisah untuk masing-masing komposisi. Sehingga nantinya akan didapatkan beberapa sampel untuk tiap komposisi masing-masing dengan pengadukan terpisah. Pengujian dengan menggunakan banyak sampel akan menghasilkan data dengan validitas yang lebih dapat diterima dibandingkan menggunakan sedikit sampel saja.

Dalam proses pencampuran yang dilakukan, *silicone rubber* yang akan diambil untuk dicampur memiliki volume sekitar 35ml atau 39gr. Sedangkan katalis yang digunakan adalah 2,3% dari massa *silicone rubber*. Adapun kadar *fly ash* yang diberikan adalah bervariasi sesuai komposisi material yang diinginkan dengan berat *fly ash* yang diberikan adalah sesuai dengan persentasinya terhadap berat *silicone rubber*.



Gambar III.6 Proses pencampuran material

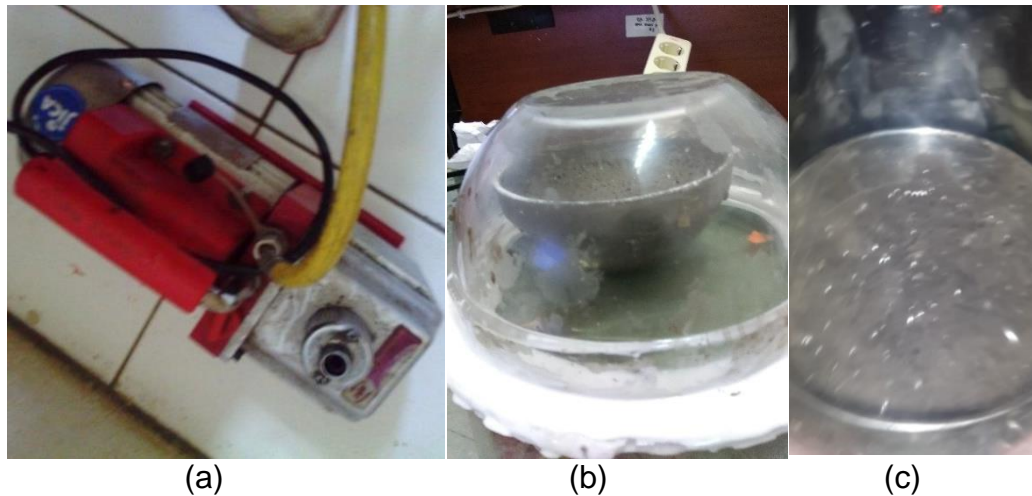
Wadah yang digunakan terbuat dari *stainlesssteel*, pemilihan wadah dengan material tersebut dimaksudkan agar tidak terjadi reaksi kimia yang dikhawatirkan dapat terjadi antara *silicone rubber* atau katalisnya dengan wadah pencampur. Adapun saat pencampuran dilakukan, kondisi suhu dan kelembaban lingkungan tidak diperhatikan karena pencampuran dilakukan di ruangan terbuka sehingga suhu dan kelembaban dapat berubah dengan cepat. Pemilihan ruangan terbuka yaitu pada Lab Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin sebagai tempat mencampur bahan dikarenakan pada saat pencampuran bahan, sebagian kecil *fly ash* dapat terbang ke udara begitu pun gas yang dihasilkan oleh *hardener*-nya yang dikhawatirkan dapat tinggal menetap dalam udara sekitar dan mengganggu pernafasan.

Kelembaban udara sekitar saat pencampuran akan mempengaruhi laju pengerasan material *silicone rubber* namun tidak mempengaruhi

tingkat kekerasan material berdasarkan keterangan produsen produk *silicone rubber* yang digunakan. Oleh karena itu pencampuran di ruangan terbuka tidak memberikan masalah, asalkan udaranya tidak berpolusi tinggi maka kami berpikir tidak masalah melakukannya pada ruangan tersebut demi alasan keamanan dan juga tidak mempengaruhi material yang dihasilkan.

2. Penghilangan Gelembung Udara

Saat pencampuran dilakukan, kemungkinan bercampurnya gelembung udara (*void*) di dalam campuran sangat mungkin terjadi apalagi campuran memiliki viskositas yang tinggi dan diaduk dengan pengadukan manual. Keberadaan *void* di dalam campuran akan membuat kualitas material menjadi buruk, terlebih pada pengujian kekuatan tarik dan kekuatan dielektrik. Oleh karena itu proses penghilangan gelembung udara harus dilakukan. Proses penghilangan gelembung udara ini dilakukan menggunakan *vacuum chamber*. Lama proses vakum berbeda-beda tergantung viskositas campuran di mana viskositas tersebut dipengaruhi oleh komposisi sampel. Sampel dengan viskositas rendah yaitu dengan kadar *fly ash* rendah memiliki proses vakum yang singkat sedangkan untuk sampel dengan viskositas tinggi memerlukan proses vakum yang lebih lama.



Gambar III.7 Proses penghilangan gelembung udara; (a) pompa vakum, (b) *vacuum chamber* sederhana, (c) Campuran dalam *vacuum chamber*

Proses vakum dari campuran berlangsung kurang lebih selama 1 menit, namun lama proses tersebut dapat berubah-ubah, jika campuran telah mengembang hingga volume maksimal kemudian menyusut kembali maka proses vakum telah selesai. Untuk campuran dengan viskositas yang relatif tinggi proses vakum akan lebih lama dibanding dengan campuran dengan viskositas yang rendah yaitu dengan kadar *fly ash* yang rendah.

3. Pencetakan sampel material

Setelah campuran material melalui proses penghilangan gelembung udara, campuran material siap untuk dicetak. Cetakan yang digunakan berbahan kaca dilapisi dengan vinil yang berukuran 12 x 15 cm dengan kedalaman 5 cm. Pelapisan bahan kaca dengan vinil dimaksudkan agar material *silicone rubber* tidak melengket pada cetakan saat mengeras sehingga material dapat dengan mudah dikeluarkan. Material kemudian

dituang ke dalam cetakan yang sama lalu didiamkan agar material yang akan dihasilkan memiliki ketebalan yang sama.

Material kemudian didiamkan dalam ruangan dengan kelembaban yang tinggi yaitu sekitar 80% - 87%, agar proses *curing* berjalan dengan baik. Proses *curing* dari material adalah 24 jam hingga material mengeras. Namun untuk memberikan kekuatan mekanik yang maksimal, sesuai dengan panduan penggunaan *silicone rubber* dari produsen maka material didiamkan selama 3 hari, kemudian material siap di oven.



Gambar III.8 Cetakan yang digunakan (kiri), material yang dihasilkan setelah proses *curing* selesai (kanan)

4. Penghilangan kadar air dalam material

Material yang dihasilkan setelah melalui proses *curing* akan memiliki kadar air atau kelembaban. Kadar air ini diperoleh dari proses *curing* sebagai produk sampingan dari reaksi pengerasan *silicone rubber*. Selain itu kontaminasi kelembaban udara sekitar juga mungkin saja terjadi saat proses pendiaman material dalam waktu 3 hari tersebut. Kadar air atau

kelembaban yang berlebihan dalam material akan mempengaruhi hasil pengujian nantinya. Oleh karena itu penghilangan kadar air dalam material perlu dilakukan.

Material yang telah mengeras kemudian dimasukkan ke dalam oven bersuhu 80°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air atau kelembaban dalam material. Setelah itu material ditempatkan ke dalam plastik kedap udara agar material tidak terkontaminasi kelembaban sebelum pengujian dilakukan.

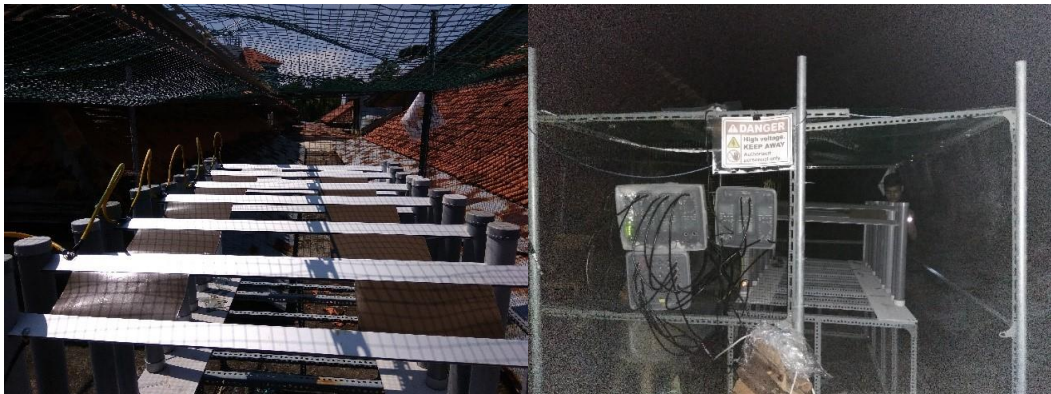


Gambar III.9 Proses menghilangkan kadar air pada sampel

III.4.3 Pengujian Kinerja Isolator Polimer pada Laboratorium Riset Ruang Terbuka Dalam Terpaan Iklim Tropis

Dalam penelitian ini diselidiki pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan isolator dan perubahan karakteristik fisik material isolator, material di apit oleh dua buah elektroda dan diletakkan pada daerah terbuka agar mendapatkan perlakuan iklim tropis secara langsung, sampel yang di uji terdiri atas beberapa komposisi yaitu, 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% masing-masing terdiri atas 3 buah sampel yang identik, di mana parameter pengujian di ukur secara *real time* dalam kurung waktu 1(satu) bulan lamanya.

Hasil pengamatan tersebut akan di analisa kemudian akan diketahui pengaruh perubahan karakteristik isolator terhadap iklim tropis seperti pada gambar Gambar III.10.



Gambar III.10 Pengujian material polimer di bawah terpaan iklim tropis

III.4.4 Analisa Hasil Pengujian Kinerja Isolator Polimer

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dengan menggunakan program komputer *Microsoft Excel* dan kemudian karakteristiknya ditelaah

dan di gabungkan dengan beberapa karakteristik untuk mendapatkan kesinambungan pengaruh iklim tropis terhadap kemampuan material isolator polimer.

A. Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan pada laboratorium teknik tegangan tinggi ruang terbuka, dengan meletakkan sampel isolator yang telah di pilih dan dijepitkan pada batang konduktor dan proses pengujian di mulai dengan mengalirkan aliran listrik pada batang konduktor dengan rating tegangan 20 KV dan dalam terpaan iklim tropis secara langsung sampai batas waktu yang ditentukan.

B. Pengumpulan Data

Adapun data yang di perlukan yaitu:

- a. Data primer
- b. Data sekunder

Data primer yang dimaksudkan dalam penelitian ini ialah data-data hasil pengukuran langsung dari pengujian di lapangan di mana:

1. Data arus permukaan
2. Data tegangan tembus

Data sekunder yang dimaksudkan dalam penelitian ini ialah data-data dari badan pusat metereologi, klimatologi dan geofisika (BMKG) stasiun maritim paotere meliputi:

1. Data curah hujan
2. Data suhu
3. Data kelembaban

C. Analisis Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian dikumpul lalu diolah dengan menggunakan *software* komputer hingga didapatkan hasil berupa grafik yang nantinya akan memperlihatkan kemampuan dielektrik sampel isolator polimer dengan berbahan pengisi debu terbang batu bara.

D. Evaluasi Hasil Pengujian

Dari data yang telah diperoleh baik secara langsung maupun tidak langsung dan diharapkan akan memberikan hasil yang positif dalam penelitian ini sehingga dapat dilakukan penetapan layak tidaknya isolator polimer berbahan pengisi debu terbang batu bara sebagai bahan insulasi yang mampu bertahan dalam terpaan atau tekanan iklim tropis.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

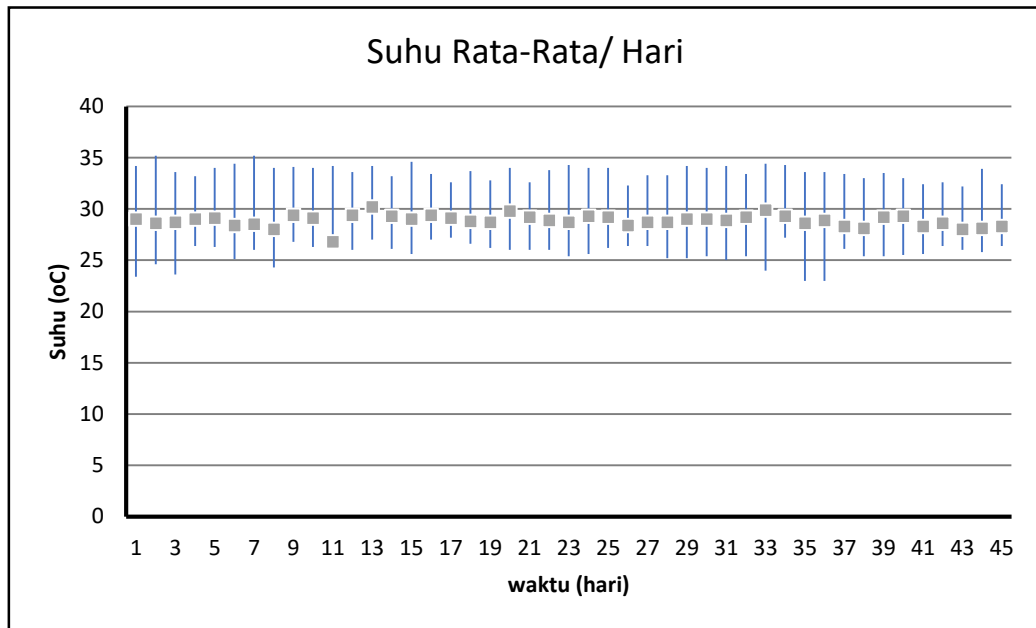
IV.1 Karakteristik Material Isolator Polimer Dalam Pengaruh Iklim Tropis

Dalam penelitian ini, pengambilan data teknis dari sampel yaitu mengenai kinerja elektrik dan mekanis dilakukan secara bersamaan dengan pengambilan data dari stasiun meteorologi. Adapun data cuaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah data cuaca dari stasiun meteorologi maritim paotere. Stasiun meteorologi ini berada cukup dekat dengan lokasi pengambilan data, sehingga data yang diperoleh pada stasiun tersebut dapat dianggap mirip dengan kondisi cuaca pada lokasi pengujian. Adapun parameter cuaca yang diamati adalah sebagai berikut:

IV.1.1 Parameter Cuaca Iklim Tropis

a. Suhu Harian

Suhu harian yang diperoleh dari BMKG stasiun meteorologi maritim paotere pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 24 Juni 2016 lama hari adalah 45 hari dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



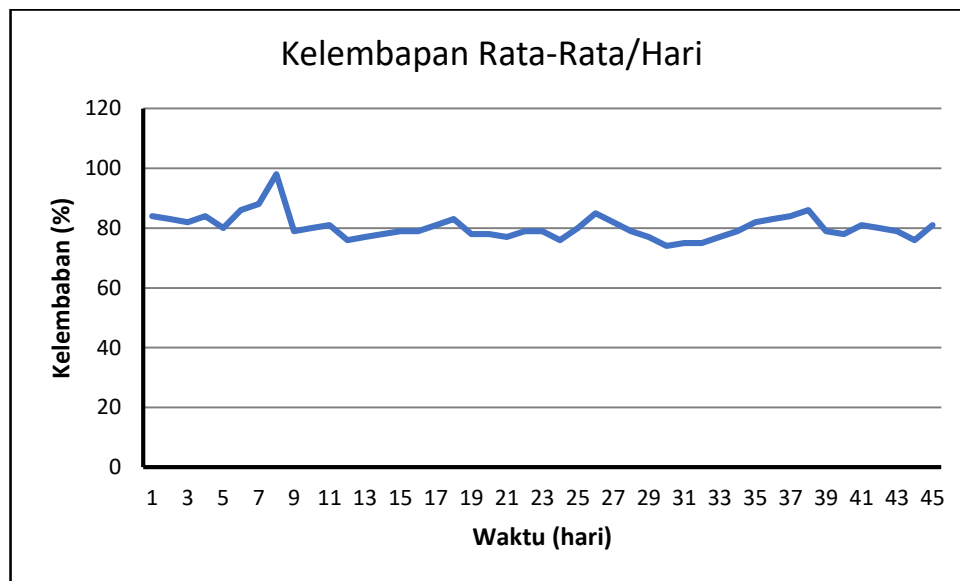
Gambar IV.1 Perubahan suhu selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis

Sumber: data meteorologi BMKG stasiun meteorologi maritim paotere

Berdasarkan Gambar IV.1 dapat dilihat bahwa dalam rentang waktu pengambilan data yaitu sekitar 45 hari dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016, suhu maksimum yang terjadi adalah 35,2 °C dan suhu maksimum adalah 23 °C. Secara umum fluktuasi suhu harian tidak terlalu besar pada lokasi pengambilan data.

b. Kelembaban Rata-rata

Data kelembaban rata-rata diperoleh dari BMKG stasiun meteorologi maritim paotere pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 24 Juni 2016 lama hari adalah 45 hari dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar IV.2 Perubahan kelembaban selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis

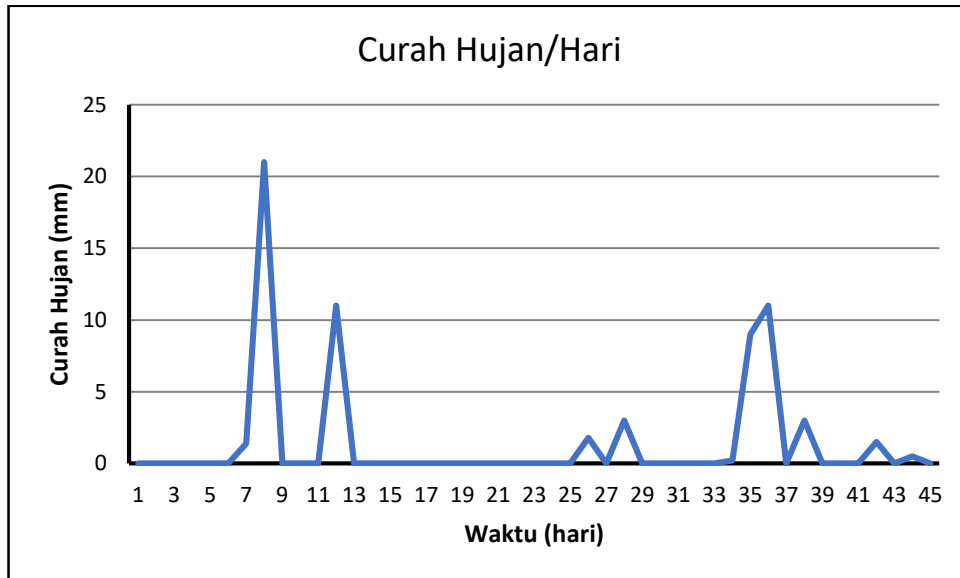
Sumber: data meteorologi BMKG stasiun meteorologi maritim paotere

Berdasarkan Gambar IV.2 dapat dilihat bahwa dalam rentang waktu pengambilan data yaitu sekitar 45 hari dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016, kelembaban rata-rata yang tercatat pada stasiun meteorologi maritim paotere berkisar 80% hingga hampir mencapai angka 100%. Secara umum fluktuasi kelembaban harian tidak terlalu besar pada lokasi pengambilan data, hanya pada saat terjadi hujan maka tingkat kelembaban pun kian meningkat.

c. Curah Hujan

Data curah hujan yang terjadi pada lokasi dapat di tunjukan pada data curah hujan yang terekam oleh BMKG stasiun meteorologi maritim paotere

pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 24 Juni 2016 lama hari adalah 45 hari dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar IV.3 Perubahan curah hujan selama proses pengujian material pada paparan langsung iklim tropis

Sumber: data meteorologi BMKG stasiun meteorologi maritim paotere

Berdasarkan Gambar IV.3 dapat dilihat bahwa dalam rentang waktu pengambilan data yaitu sekitar 45 hari dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016, curah hujan rata-rata yang tercatat pada stasiun meteorologi maritim paotere di mana pada hari ke 8 terjadi peningkatan curah hujan dengan kuat curah mencapai 20 mm.

IV.1.2 Karakteristik Hidrofobik Material SRFA

a. Sifat Hidrofobik

Pengujian sifat hidrofobik dari material dengan melakukan pengukuran sudut kontak terhadap variasi komposisi *fly ash* dan *silicone*

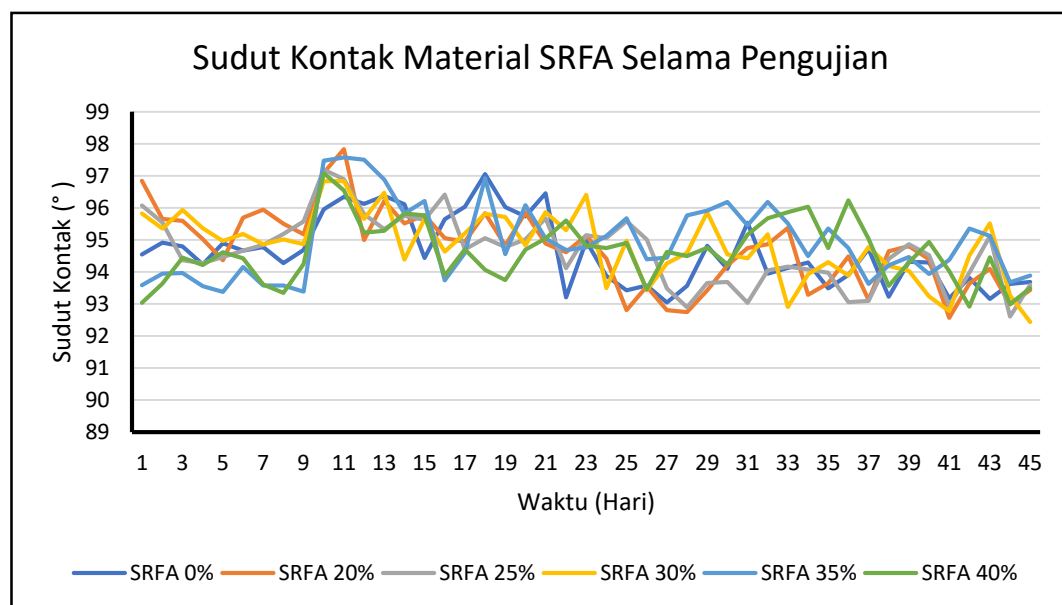
rubber. Pengujian dilakukan sebanyak 6 kali dengan masing-masing mengukur sudut kontak kiri dan kanan. Pengukuran dilakukan dalam ruangan tertutup dengan suhu dan kelembaban relatif konstan yaitu sekitar 26 °C dan 83 %.

Berbagai faktor yang dapat mempengaruhi sudut kontak telah diusahakan untuk dijaga konstan seperti suhu dan kelembaban serta waktu pengambilan gambar. Nilai yang diambil akan memperlihatkan pengaruh luar seperti yang disebutkan di atas, sehingga dapat dengan mudah membandingkannya dengan beberapa sampel *silicone rubber* lain yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian hidrofobik ini sama untuk setiap sampel baik tempat dan waktu pengambilan datanya.

b. Pengukuran Sudut Kontak Hidrofobik

Perilaku sifat hidrofobik permukaan bahan uji *silicone rubber* di bawah terpaan iklim tropis dari waktu ke waktu dikaji dengan menggunakan besaran sudut kontak permukaan bahan terhadap cairan berdasarkan hasil pengamatan langsung melalui pemotretan kamera yang kemudian disimpan pada komputer dan gambar tersebut langsung dianalisis. Sesuai dengan prosedur yang terdapat metodologi percobaan bagian pengukuran sudut kontak, maka diperoleh hasil pengukuran dan perhitungan sudut kontak untuk bahan uji *silicone rubber* dengan persentase *filler fly ash* Batubara sebesar 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%.

Pengujian sifat hidrofobik dari material dengan melakukan pengukuran sudut kontak terhadap material *silicone rubber* 0%, 20%,25%, 30%, 35%, dan 40%, Pengujian dilakukan 1 x 24 jam dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016 selama 45 hari penuh dengan pengambilan data setiap hari pada jam yang sama yaitu pada pukul 16:00 WITA, adapun hasil yang diperoleh dapat dilihat pada gambar.IV.8.

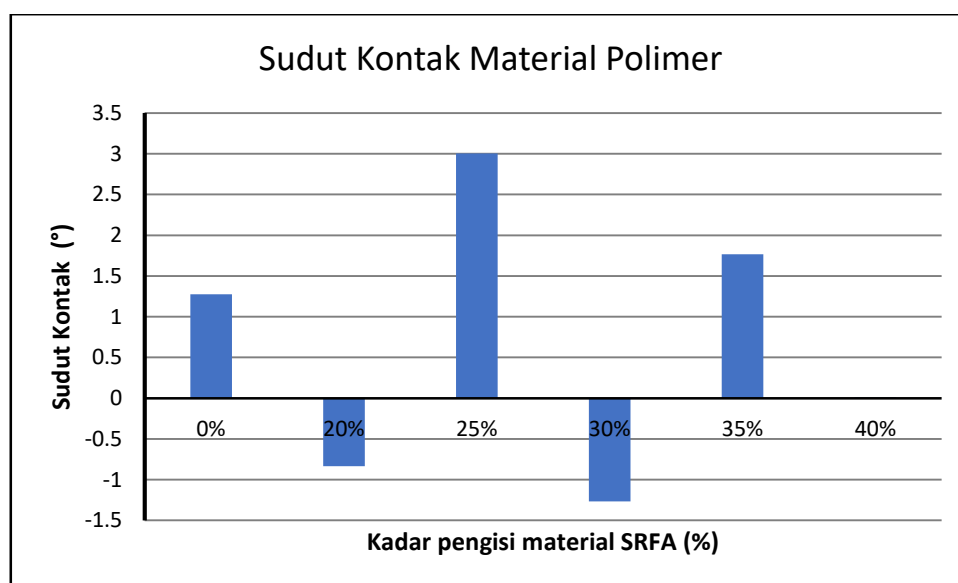


Gambar IV.4 Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik SRFA

Gambar IV.4 menunjukkan kurva pola perubahan Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik permukaan bahan uji SRFA 0% Hari pertama penuaan sampai hari ke-8, nilai sudut kontak SRFA 0% sebesar 94.55° terlihat mengalami penurunan yang nilainya sebesar 94.28° pada hari ke-8 untuk SRFA 0%. Dan mulai hari ke-9 sampai dengan hari ke-11, nilai sudut kontak bahan uji tersebut mengalami peningkatan yaitu sebesar 96.34°

untuk SRFA 0% dan kenaikan maksimum terjadi pada hari ke-18 sebesar 97.05° , dan terjadi fluktuasi hingga hari ke-45 nilai sudut kontak sebesar 93.68° , Sudut kontak pada hari ke-18 sampai hari ke-45 mengalami fluktuasi, Kenaikan sudut kontak mengindikasikan tidak homogenya distribusi endapan partikel polusi pada permukaan bahan uji (Manjang S, 2000). Demikian pula pada penurunan sudut kontak adalah mengindikasikan tidak homogenya partikel polusi yang tercuci oleh hujan.

Dimana dapat dilihat besar perubahan karakteristik masing-masing material pada grafik di bawah ini:



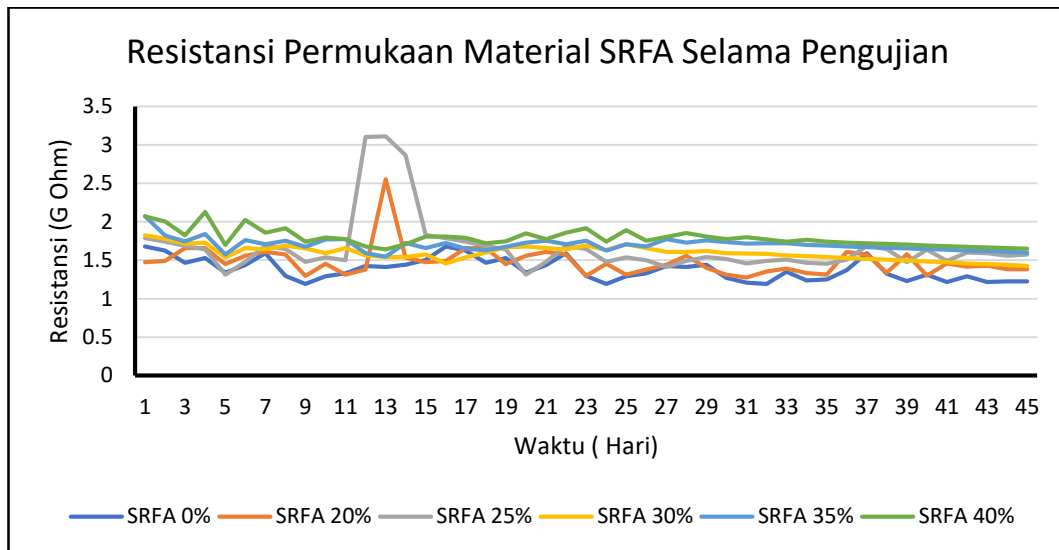
Gambar IV.5 Karakteristik sifat hidrofobik material *silicone rubber* SRFA

Berdasarkan Gambar IV.5 dapat dilihat bahwa, Sifat hidrofobik dari bahan kadar *fly ash* dalam *silicone rubber* 0% yaitu sebesar 92.4° , 20% yaitu 94.33° , 25% yaitu 92.245° , 30% yaitu 94.62° , 35% yaitu 92.755° , dan 40% yaitu 93.44° . setelah dilakukan pengujian selama 45 hari Sudut kontak pada komposisi tersebut mengalami perubahan naik turun di mana seperti

pada gambar IV.8 pada komposisi 0%,25%,35%,dan 40% mengalami kenaikan kualitas sudut kontak di mana komposisi 0% naik 1.26%,komposisi 25% naik 3%,komposisi 35% naik 1.85%, dan komposisi 40% naik 0.1% dibandingkan dengan *silicone rubber* dengan *filler fly ash* 20% dan 30% mengalami penurunan kualitas sudut kontak, komposisi 20% turun 0.8%, dan komposisi 30% turun sebesar 1.3% dari sudut kontak awal. Hal ini dapat diketahui bahwa material dengan kualitas sudut kontak terbaik selama pengujian paparan langsung pada iklim tropis dengan durasi waktu 45 hari yaitu *silicone rubber* dengan *filler fly ash* sebesar 25%, sedangkan material *silicone rubber* dengan *filler fly ash* 30% mengalami penurunan kualitas paling rendah sebesar 1.3%.

IV.1.3 Karakteristik Resistivitas Permukaan Material SRFA

Pengukuran resistansi permukaan dari material *silicone rubber* dengan kadar pengisi 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% telah dilakukan selama 1 x 24 jam dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016 dan hasilnya dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

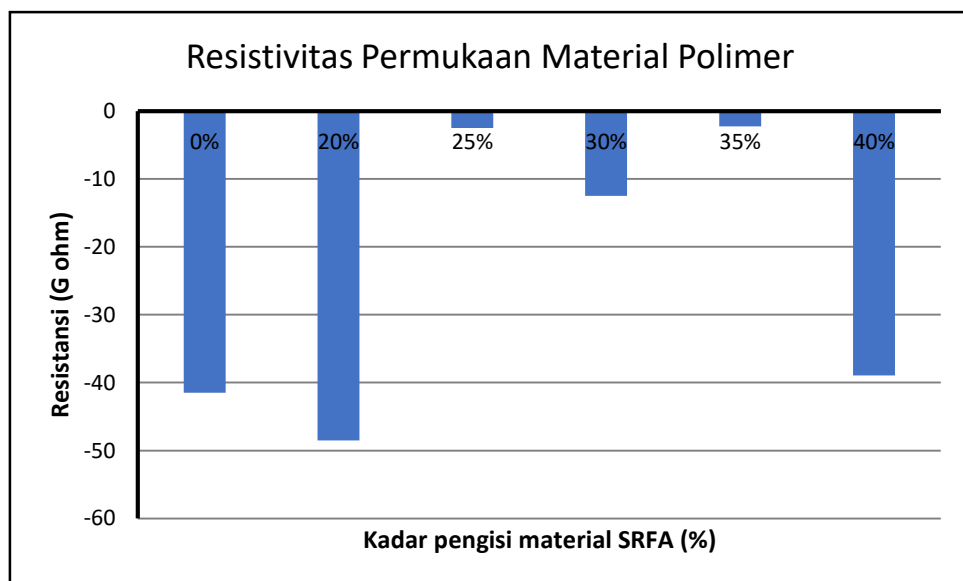


Gambar IV.6 Perubahan nilai resistansi permukaan pada material SRFA selama pengujian

Pada Gambar IV.6 dapat dilihat bahwa secara umum resistivitas permukaan dari material *silicone rubber* tanpa pengisi mengalami penurunan dengan bertambahnya waktu. Terjadi fluktuasi nilai resistivitas permukaan yang dapat disebabkan oleh faktor cuaca. Pada material SRFA 0% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 1.68 G Ohm pada hari ke-1 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.19 G Ohm pada hari ke-32. Pada material SRFA 20% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 2.55 G Ohm pada hari ke-12 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.27 G Ohm pada hari ke-31. Pada material SRFA 25% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 3.11 G Ohm pada hari ke-13 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.31 G Ohm pada hari ke-20. Pada material SRFA 30% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 1.82 G

Ohm pada hari ke-1 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.42 G Ohm pada hari ke-45. Pada material SRFA 35% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 2.07 G Ohm pada hari ke-1 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.54 G Ohm pada hari ke-13. Pada material SRFA 40% nilai maksimum yang didapat dari pengukuran resistivitas adalah 2.13 G Ohm pada hari ke-1 dan nilai minimum yang didapat dari pengukuran resistivitas sebesar 1.64 G Ohm pada hari ke-13.

Pengujian resistivitas permukaan dari material *silicone rubber* dengan *filler fly ash* telah dilakukan selama 1 x 24 jam pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 24 Juni 2016 dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar IV.8:

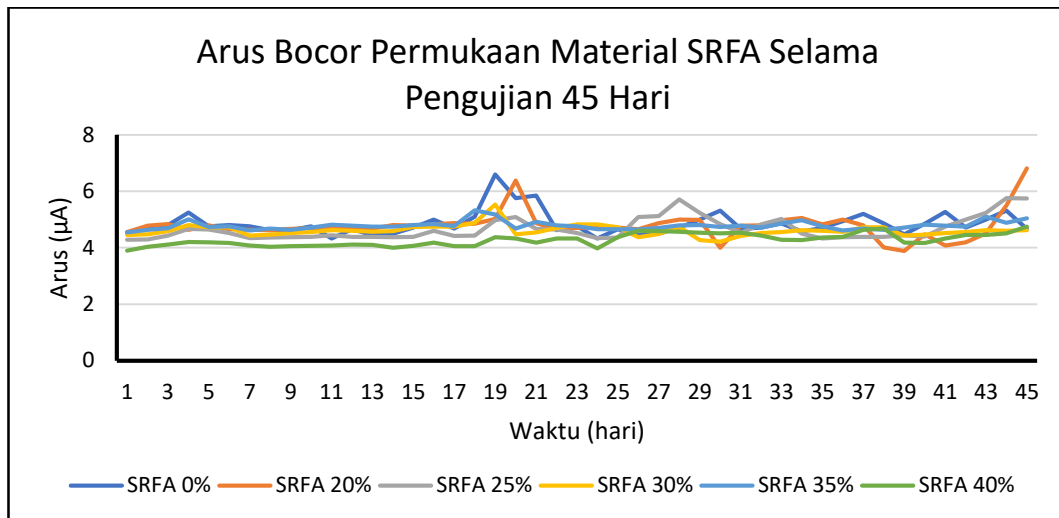


Gambar IV.7 Pengaruh penambahan *fly ash* dalam *silicone rubber* terhadap resistivitas permukaan material *silicone rubber* di bawah terpaan iklim tropis

Pada Gambar IV.7 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar *fly ash* pada *silicone rubber*, resistivitas permukaan dari material *silicone rubber* menjadi meningkat. Tetapi seiring bertambahnya waktu mengakibatkan kualitas resistivitas permukaan menurun hingga kadar *fly ash* 40 % pada *silicone rubber*, di mana penurunan nilai kualitas resistivitas masing-masing sampel berbeda di mana pada sampel 20% mengalami penurunan paling signifikan hingga mencapai angka -48 % dari resistivitas awal. Dan penurunan nilai kualitas resistivitas material yang paling kecil ialah sampel dengan kadar *fly ash* 35% dengan penurunan nilai kualitas 2.2403%.

IV.1.4 Karakteristik Arus Bocor permukaan di bawah Pengaruh Iklim Tropis

Arus bocor yang diamati pada sampel dengan kadar *filler* 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% didapatkan data secara *real time* 24 jam dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016 dapat dilihat pada gambar.IV.8. berikut ini :

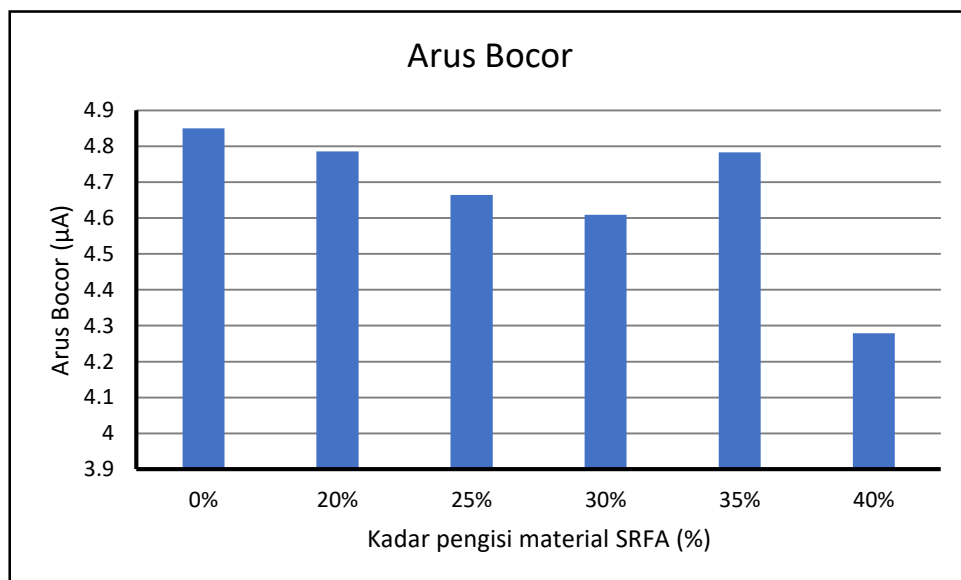


Gambar IV.8 Perubahan arus bocor pada material SRFA selama pengujian

Berdasarkan Gambar IV.8 dapat dilihat bahwa arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 0% adalah sebesar $6.59 \mu\text{A}$ pada hari ke-20 dan arus bocor minimum adalah sebesar $4.32 \mu\text{A}$ pada hari ke-25, arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 20% adalah sebesar $6.81 \mu\text{A}$ pada hari ke-45 dan arus bocor minimum adalah sebesar $3.88 \mu\text{A}$ pada hari ke-41, arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 25% adalah sebesar $5.75 \mu\text{A}$ pada hari ke-44 dan arus bocor minimum adalah sebesar $4.28 \mu\text{A}$ pada hari ke-1, arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 30% adalah sebesar $5.53 \mu\text{A}$ pada hari ke-19 dan arus bocor minimum adalah sebesar $4.21 \mu\text{A}$ pada hari ke-30, arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 35% adalah sebesar $5.33 \mu\text{A}$ pada hari ke-18 dan arus bocor minimum adalah sebesar $4.54 \mu\text{A}$ pada hari ke-1, dan arus bocor maksimum yang terjadi pada material SRFA 40% adalah sebesar $4.75 \mu\text{A}$ pada hari ke-45 dan arus bocor minimum adalah

sebesar $3.88 \mu\text{A}$ pada hari ke-1, Terjadi fluktuasi arus bocor yang dapat disebabkan oleh degradasi material atau pengaruh cuaca. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa tidak adanya peningkatan arus bocor secara konsisten terhadap bertambahnya waktu.

Dari pengamatan yang telah dilakukan selama 45 hari, telah diamati bagaimana rata-rata besar arus bocor yang terjadi pada tiap sampel, adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar IV.9.



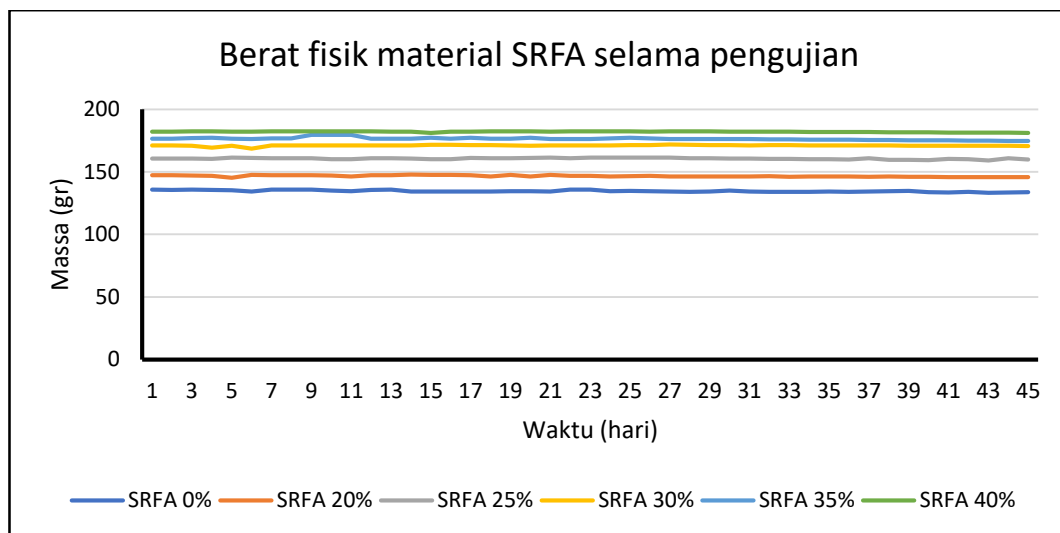
Gambar IV.9 Besar arus bocor yang terjadi pada masing-masing sampel

Dapat dilihat pada Gambar IV.6 arus terbesar terjadi pada sampel 0% dengan besar arus bocor yang mengalir ialah $4.85 \mu\text{A}$ dan sampel dengan arus bocor yang terkecil ialah sampel 40% dengan besar arus bocor $4.28 \mu\text{A}$. diketahui bahwa besar arus bocor dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kelembaban udara, kadar polusi, dan intensitas curah hujan dari pengamatan yang telah dilakukan diketahui bahwa sampel dengan kadar *fly ash* 40% memiliki resistivitas paling tinggi hal ini berkesesuaian dengan

besar arus bocor yang terendah. Adapun faktor lain yang mempengaruhi berupa polusi, kelembaban, dan hujan tidak memberikan efek khusus pada sampel tertentu dikarenakan lokasi pengujian pada satu tempat yang sama.

IV.1.5 Karakteristik Massa Material

Salah satu faktor yang dapat diidentifikasi dari proses perubahan karakteristik fisik suatu material terlihat jelas pada perubahan massa material isolator *silicone rubber*. Pengukuran massa dari material *silicone rubber* dengan kadar pengisi 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% telah dilakukan selama 1 x 24 jam dimana hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 pada tanggal 24 Juni 2016 dan hasilnya dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar IV.10 Perubahan nilai massa pada material SRFA selama pengujian

Pada Gambar IV.10 terlihat jelas fluktuasi perubahan massa dari massa awal selama 45 hari pengukuran dipengaruhi oleh faktor-faktor

antara lain curah hujan yang tinggi, dan kelembaban yang tinggi. Tetapi secara linear terlihat bahwa terjadi penurunan massa material isolator polimer *silicone rubber*, adapun data yang diperoleh, pada material SRFA 0% didapati berat awal 135.73 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 133.85 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 2.59 gram, pada material SRFA 20% didapati berat awal 147.22 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 145.65 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 2.24 gram, pada material SRFA 25% didapati berat awal 160.56 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 159.81 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 1.62 gram, pada material SRFA 30% didapati berat awal 171.09 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 170.67 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 1.25 gram, pada material SRFA 35% didapati berat awal 176.4 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 174.67 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 4.98 gram, pada material SRFA 40% didapati berat awal 182.21 gram dan berat akhir pada hari ke-45 sebesar 181.13 gram, pada material ini mengalami penurunan sebesar 1.34 gram.

IV.2 Analisis Hasil Pengamatan

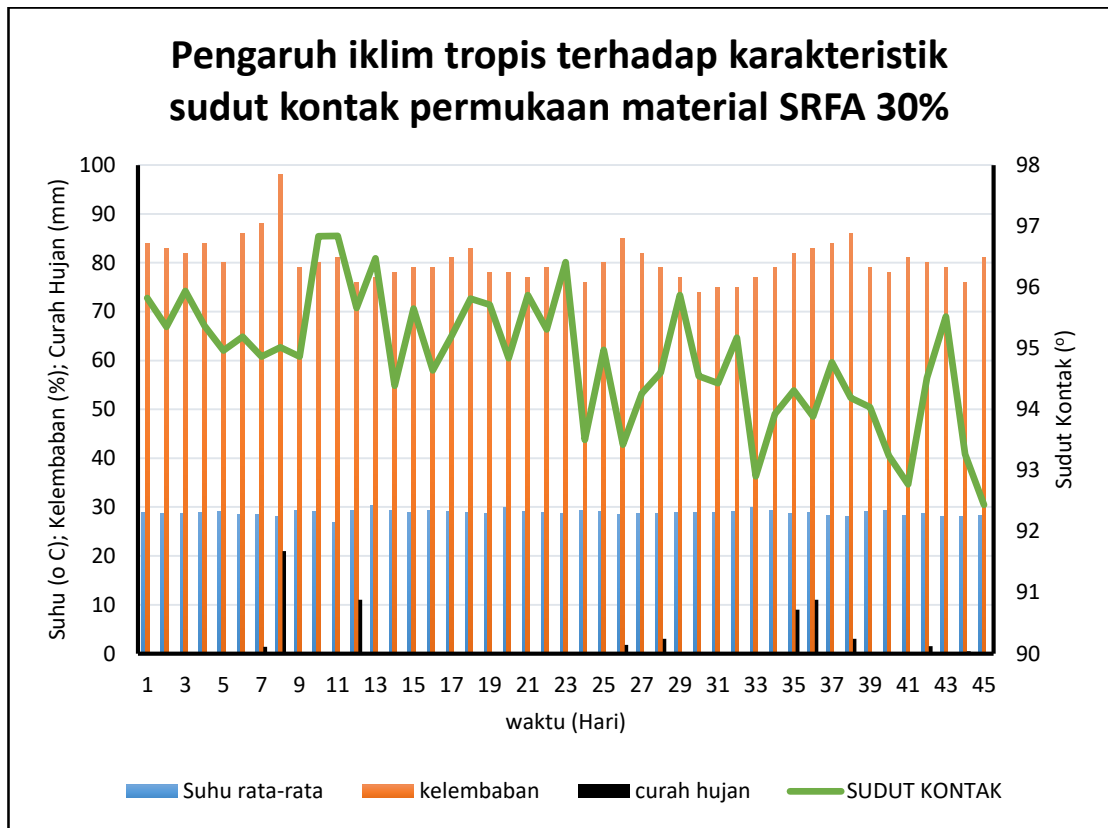
Dari hasil pengukuran didapatkan komposisi sampel material yang terbaik dari beberapa sampel yang telah diuji selama 45 hari yang dimulai pada hari ke-1 pada tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan hari ke-45 tanggal

24 Juni 2016 yakni, sampel SRFA dengan kadar filler fly ash batu bara sebanyak 30%.

IV.3 Analisis Pengaruh Iklim Tropis

IV.3.1 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Sudut Kontak Permukaan Material SRFA 30%

Analisis regresi dilakukan dengan mengambil 3 (tiga) parameter cuaca sebagai input variabel independen dan parameter sudut kontak sebagai input parameter dependen yakni sudut kontak pada material SRFA 30% sebagai material yang dianggap paling efisien dalam penelitian ini, adapun hasil analisis pengaruh Cuaca Iklim tropis terhadap perubahan nilai sudut kontak permukaan material isolasi polimer *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar IV.11:



Gambar IV.11 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik sudut kontak permukaan material SRFA 30%

Gambar IV.11 menunjukkan kurva pola perubahan Pemulihan dan transfer sifat hidrofobik permukaan bahan uji SRFA 30% Hari pertama penebaran sampai hari ke-9, nilai sudut kontak SRFA 30% sebesar 95.83° terlihat mengalami penurunan yang nilainya sebesar 94.86° pada hari ke-9 untuk SRFA 30%. Dan mulai hari ke-9 sampai dengan ke-11, nilai sudut kontak bahan uji tersebut mengalami peningkatan hingga nilai maksimum di hari ke-11 sebesar 96.84° untuk SRFA 30%, Sudut kontak pada hari ke-11 sampai hari ke-45 mengalami fluktuasi hingga pada hari ke-45 nilai sudut kontak sebesar 92.44° , Kenaikan sudut kontak mengindikasikan tidak homogenya distribusi endapan partikel polusi pada permukaan bahan uji

(Manjang S, 2000). Demikian pula pada penurunan sudut kontak adalah mengindikasikan tidak homogenya partikel polusi yang tercuci oleh hujan.

Pola kenaikan dan penurunan nilai sudut kontak yang ditunjukkan dalam Gambar IV.11 merupakan fenomena transfer dan pemulihan sifat hidrofobik oleh massa relatif rendah (MMRR) dari dalam ruah ke permukaan *silicone rubber* dan polusi. Kekasaran permukaan yang semakin bertambah dengan bertambahnya endapan polusi juga memberi kontribusi dalam peningkatan sudut kontak.

Filler yang ditambahkan pada *silicone rubber* adalah untuk meningkatkan ketahanannya terhadap keretakan dan erosi yang diakibatkan oleh tekanan lingkungan atmosfer dan kemungkinan pembebanan panas yang tinggi akibat busur pita kering jika diterapkan sebagai material isolator tegangan tinggi pasangan luar. nilai sudut kontak sebagai fungsi waktu pada bahan uji dengan dosis *filler* sebanyak 30% di bawah terpaan iklim tropis. Dari gambar.IV.11 terlihat bahwa sudut kontak permukaan bahan uji yang belum mengalami penuaan (*virgin*) tidak sama, tergantung jumlah dosis *filler* yang diberikan. Bahan uji SRFA 30% dengan nilai sudut kontak $92,04^\circ$.

Sudut kontak bahan uji dengan ber-*filler* menunjukkan perilaku yang hampir sama terhadap perubahan iklim harian. Efek *filler* terhadap sifat hidrofobik dari masing-masing bahan uji yang diamati adalah perbedaan kemampuan mentransfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi dan

pemulihan sifat hidrofobiknya setelah mengalami penuaan akibat perubahan iklim.

Bahan uji *silicone rubber* dengan pemberian *filler* 30% (SRFA 30%) masih memperlihatkan sifat hidrofobik tetap tinggi selama 45 hari penuaan (sudut kontak $>90^\circ$). Tingginya nilai sudut kontak ini menunjukkan masih rendahnya energi bebas permukaan *silicone rubber* dibanding energi bebas permukaan air. Akibatnya terlihat dari pengamatan secara visual di saat air hujan menyentuh permukaan bahan uji langsung mengerut membentuk butiran, kemudian sebagian langsung jatuh ke bumi dan sisanya berbentuk butiran kecil tertinggal lalu menguap. Dengan demikian tidak terbentuk lapisan air yang kontinu di permukaannya.

Kurva turun naiknya nilai sudut kontak cenderung mengikuti perubahan iklim harian. Sudut kontak pada permukaan yang belum terpolusi (bersih) pada kondisi basah (penelitian perendaman) yang berlangsung lama cenderung menurun lebih rendah dari sudut kontak yang di kondisikan pada iklim tropis alamiah, sebagaimana terjadi pada awal-awal penelitian, namun hanya bersifat temporer karena pada saat kondisi kering kembali pulih (*recovery*). Sedangkan di saat terbentuknya endapan polusi semakin banyak tidak menyebabkan penurunan sudut kontak bahkan mengalami peningkatan, fenomena ini disebut pemindahan (*transfer*) sifat hidrofobik ke lapisan polusi.

Penurunan dan pemulihan (*recovery*) serta perpindahan (*transfer*) sifat hidrofobik ke lapisan polusi disebabkan oleh:

1. Reorientasi senyawa metil dari permukaan ke dalam ruah (*bulk*) dan sebaliknya dari ruah ke permukaan (Kim, 1992)
2. Terlepasnya rantai molekul *silicone rubber* (Kim, 1990)

Reorientasi molekul-molekul pada permukaan akibat interaksi tetesan air dari kelembaban dan hujan yang membuat turunnya sudut kontak dapat dijelaskan dengan model struktur rantai.

Jika konfigurasi struktur rantai menggantung maka reorientasi gugus metil CH_3 dan ikatan siloksan berlawanan arah. Kecenderungan rantai untuk berkompensasi dengan dipole internal berkaitan dengan penambahan energi yang diwujudkan dalam bentuk berbelit (*helical*) dan merupakan suatu konfigurasi molekul yang selalu stabil jika tidak ada gaya aksi eksternal terhadap molekul *silicone rubber*. Ketika gugus metil berorientasi ke permukaan maka permukaan akan berenergi lebih rendah dan bersifat hidrofobik sehingga sudut kontak meningkat.

Permukaan hidrofobik *silicone rubber* cenderung berubah akibat reorientasi molekul-molekul pada permukaan sehingga energi interaksi mutualnya menjadi maksimum. Efek utama molekul air adalah polaritasnya dapat memberikan gaya pendorong energi bebas antarmuka tinggi. Karena kecenderungan gugus CH_3 menolak air, maka reorientasi gugus CH_3 terhadap molekul H_2O akan menyebabkan ketidakseimbangan gaya *inter* dan antar molekul pada bagian permukaan *silicone rubber*.

Akibat reorientasi gugus CH_3 , keseimbangan gaya molekular berubah dan menyebabkan molekul-molekul oksigen cenderung

berorientasi membentuk keseimbangan gaya intramolekular terhadap permukaan di mana senyawa CH_3 terorientasi. Dengan demikian energi permukaan meningkat dan akibatnya sudut kontak menurun lebih kecil dari kondisi sebelum basah.

Ketika kondisi kering (air pada permukaan menguap), gugus metil yang hidrofobik mulai berorientasi ke arah permukaan maka energi permukaan mulai rendah sehingga sudut kontak berangsur-angsur kembali meningkat. Waktu pemulihan hidrofobik relatif cepat sekitar satu jam bila permukaan bersih (Kim, 1990). Namun dengan permukaan yang terpolusi, pemulihan dan transfer hidrofobik berlangsung lama karena lambatnya difusi MMRR dari ruah ke permukaan. Kecepatan difusi MMRR ke lapisan polusi tergantung ketebalan dan jenis polusi serta suhu udara sekitar (Janssen, 1997).

Kenaikan sudut kontak terutama pada suhu tinggi adalah akibat dari tingginya kekasaran permukaan material uji yang ditimbulkan oleh endapan polusi yang makin banyak. Kerja adhesi permukaan material yang bersifat hidrofobik akan menurun jika permukaan semakin kasar sehingga menyebabkan sudut kontak semakin meningkat. Hal ini telah dibuktikan oleh Manjang S. (2000) bahwa material yang hidrofobik ($>90^\circ$) setelah permukaannya dikasari akan menjadi lebih hidrofobik, sebaliknya material yang hidrofilik ($<90^\circ$) menjadi lebih hidrofilik.

Difusi komponen MMRR yang menyebabkan lapisan polusi bersifat hidrofobik diduga telah memperkuat partikel-partikel polusi menempel.

Selain proses difusi secara fisika, kemungkinan juga terjadi reaksi kimia antara polusi dengan MMRR. Endapan polusi dapat mengurangi dampak radiasi dari matahari terhadap permukaan *silicone rubber*. Hasil penelitian Gubanski (1989) telah membuktikan bahwa lapisan polusi di permukaan *silicone rubber* dapat menyerap sekitar 50% radiasi UV matahari pada panjang gelombang antara 200 sampai 350 nm sehingga akan mengurangi efek radiasi UV.

Sifat hidrofobik bahan sangat erat kaitannya dengan kehadiran molekul bobot ringan (*Low Molecular Weight/LMW*) pada permukaan material yang diuji. Semakin banyak kehadiran LMW pada permukaan material maka semakin hidrofobik bahan tersebut. Melemahnya hidrofobitas pada permukaan material berarti jumlah LMW pada permukaannya berkurang. Selain itu, kehadiran LMW yang banyak pada permukaan material memang membuat material menjadi hidrofobik untuk sesaat di mana tidak ada reaksi kimia atau fisik yang menyebabkan LMW menjadi berkurang pada permukaan *silicone rubber*. Namun hidrofobitas yang berkelanjutan membutuhkan regenerasi LMW pada permukaan material yang ditentukan oleh kemampuan dari LMW untuk berdifusi dari dalam material menuju permukaan material.

Peningkatan sudut kontak yang terjadi pada kadar *fly ash* 30%. kemungkinan dapat disebabkan oleh hal berikut : resin *silicone rubber* memiliki jumlah LMW yang relatif banyak sebab resin tersebut belum mengalami proses penyambung silangan (*crosslink*) dan masih memiliki

viskositas yang relatif rendah. Penambahan katalis membuat suatu ikatan sambung silang (*crosslink*) antara monomer-monomernya sehingga resin *silicone rubber* menjadi mengeras dan terbentuk rantai-rantai monomer berat (*High Molecular Weight*). Penambahan *fly ash* pada kadar tertentu dapat memperbesar jarak *interspasial* antara monomer-monomer *silicone rubber* sehingga derajat *crosslink* antar monomer tersebut menjadi berkurang. LMW adalah salah satu jenis monomer dalam *silicone rubber* sehingga pemberian *fly ash* pada kadar tertentu dapat meningkatkan jumlah LMW di dalam material *silicone rubber*.

Pemberian *fly ash* pada kadar tertentu yang relatif lebih banyak, disisi lain dapat membuat difusi LMW ke permukaan menjadi terhambat. Kerapatan *fly ash* membuat LMW sulit berdifusi dari dalam material menuju permukaan material. Akibatnya akan terjadi penurunan sifat hidrofobik dari material.

Selain faktor internal yang disebutkan di atas, sudut kontak material padat dipengaruhi oleh banyak faktor fisik dan kimia yang lain seperti kemurnian cairan yang digunakan, topografi permukaan, homogenitas permukaan, suhu, waktu kesetimbangan, polutan pada permukaan, ukuran tetesan air, dan stabilitas termodinamika pada permukaan benda padat. Beberapa faktor yang disebutkan di atas telah terjaga konstan saat pengukuran dilakukan. Suhu ketika dilakukan dijaga konstan dengan bantuan pendingin udara (AC). Pengukuran juga telah dilakukan dalam ruangan tertutup agar sirkulasi udara, tekanan udara, dan kelembaban

dapat terjaga dengan baik. Kemurnian cairan yang digunakan juga dapat dijaga dengan baik dengan penggunaan *aquades* yaitu air dengan 2 kali proses penyaringan. Waktu pengambilan gambar tetesan air juga tetap sama untuk setiap pengujian pada masing-masing komposisi. Meskipun demikian pastinya terdapat perubahan kecil pada parameter seperti suhu, kelembaban dan tekanan udara yang tidak dapat dideteksi alat ukur. Oleh karena itu data yang didapatkan tidak dapat dikatakan akurat 100%. Namun, jika tujuannya adalah untuk menyelidiki karakteristik perubahan sudut kontak terhadap berbagai komposisi *silicone rubber* dan *fly ash*, data yang diperoleh dapat dijadikan acuan dan validitasnya masih dapat diterima.

Adapun alasan-alasan mengenai penyebab penurunan ataupun peningkatan sudut kontak dari material *silicone rubber* dengan *fly ash* yang telah disebutkan di atas merupakan hipotesis yang berdasar dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Investigasi lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki sifat hidrofobik dari material *silicone rubber filler fly ash*, adapun metode lanjutan yang digunakan untuk melakukan investigasi pengaruh iklim tropis terhadap perubahan nilai sudut kontak dengan menggunakan metode analisis persamaan regresi.

Adapun hasil analisis regresi pengaruh cuaca iklim tropis terhadap perubahan nilai sudut kontak permukaan material isolasi polimer silicone rubber dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 24 dapat dilihat pada Tabel IV.1:

Tabel IV.1 Hasil analisis regresi model *summary* pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.174 ^a	0.030	-0.004	0.899666242925041

Berdasarkan Tabel IV.1 Pengaruh Iklim tropis terhadap perubahan sudut kontak dapat diprediksi dengan melihat nilai *adjusted R square* di mana nilai ini akan menunjukkan besar hubungan pengaruh suhu, kelembaban, dan curah hujan terhadap perubahan sudut kontak, pada nilai *adjusted R square* tertinggi sebesar -0.004 untuk SRFA 30% menunjukkan -0.4 % variabel dependen (sudut kontak), dapat dijelaskan oleh 3 (tiga) variabel independen yaitu: suhu rata-rata, kelembaban, dan curah hujan.

Berdasarkan Tabel.IV.1 memperlihatkan tingkat keakuratan model regresi dapat dilihat pada kolom *Standard error* sebesar 0.900 untuk SRFA 30%. Nilai ini semakin mendekati angka 0 (nol) maka model akan semakin baik.

Dalam mengambil sebuah keputusan dengan menggunakan model *summary* masih belum meyakinkan, maka dapat dilihat pada Tabel IV.2 model anova.

Tabel IV.2 Hasil analisis regresi *model anova* pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	2.171	3	0.724	0.894	.448 ^b
Residual	69.423	86	0.809		
Total	71.594	89			

Berdasarkan Tabel.IV.2 untuk mengambil keputusan digunakan cara dengan melihat nilai sig. F (signifikansi). Pada Tabel.IV.2 nilai sig. F pada material SRFA 30% dengan nilai sig. Sebesar 0.448 lebih besar dari nilai taraf sig. 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel dependen (sudut kontak) tidak di pengaruhi oleh variabel independen (suhu, kelembaban, curah hujan). Hal ini dengan mengikuti taraf sig. 0,05 sebagai nilai cut off dari nilai signifikansi. Artinya jika nilai probabilitas (signifikansi) dibawah 0,05 maka ada salah satu dari variabel independen (suhu, kelembaban, curah hujan) yang berpengaruh terhadap variabel dependen (sudut kontak).

Untuk menyelidiki besar pengaruh tiap perubahan variabel dan arah perubahannya dapat dilihat pada Tabel IV.3 *coeficient*

Tabel IV.3 Hasil analisis regresi *coeficient* pengaruh iklim tropis terhadap sudut kontak permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	81.602	8.913		9.155	0.000
Suhu rata-rata	0.314	0.245	0.217	1.283	0.203
kelembaban	0.052	0.034	0.458	1.537	0.128
curah hujan	-0.025	0.026	-0.244	-0.979	0.330

Berdasarkan Tabel.IV.3 dapat pula diselidiki besar pengaruh tiap variabel dengan cara melihat nilai sig. (signifikansi). Pada Tabel.IV.3 nilai sig. coeficient tertera sebesar 0.203 untuk suhu ,0.128 untuk kelembaban, dan 0.330 untuk curah hujan, pada material SRFA 30%, maka dapat disimpulkan bahwa pada material 30% tidak memiliki pengaruh sama sekali pada variabel dependen (sudut kontak) terhadap perubahan nilai variabel independen (suhu, kelembaban, dan curah hujan).

Berdasarkan Tabel IV.3 dapat pula di selidiki besar pengaruh suhu terhadap perubahan nilai sudut kontak yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi akibat dari perubahan positif ataupun negatif dari nilai suhu sebesar 1 °C, seperti pada Tabel.IV.3, di mana material dengan kadar *fly ash* sebesar 30% mengalami perubahan positif nilai sudut kontak sebesar 0.314^o terhadap tiap perubahan sudut kontak sebesar 1 °C.

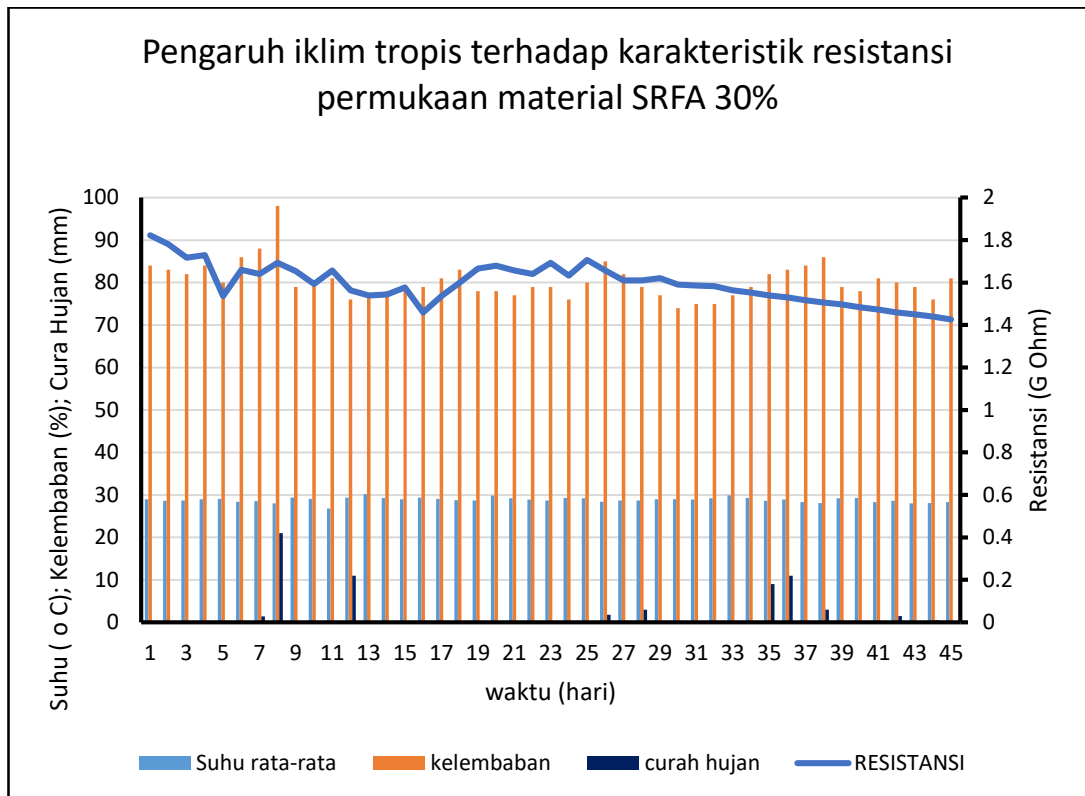
Berdasarkan Tabel IV.3 dapat pula di selidiki besar pengaruh kelembaban terhadap perubahan nilai sudut kontak yang terjadi pada

material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi disebabkan karena perubahan positif ataupun negatif dari nilai kelembaban sebesar 1%, seperti pada Tabel IV.3, di mana material dengan kadar *fly ash* sebesar 30%, dimana 0.052° dengan kadar *fly ash* sebesar 30% tiap perubahan nilai kelembaban sebesar 1%.

Berdasarkan Tabel IV.3, dapat pula di selidiki besar pengaruh curah hujan terhadap perubahan nilai sudut kontak yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi disebabkan karena perubahan positif ataupun negatif dari nilai 1 mm, seperti pada Tabel IV.3, di mana pada material dengan kadar *fly ash* 30% mengalami perubahan negatif dari nilai sudut kontak terhadap perubahan nilai curah hujan tiap 1 mm.

IV.3.2 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Resistansi Permukaan Material SRFA 30%

Analisis regresi dilakukan dengan mengambil 3 (tiga) parameter cuaca sebagai input variabel independen dan parameter resistansi permukaan sebagai input parameter dependen yakni, resistansi permukaan pada material SRFA 30% sebagai material yang dianggap paling efisien dalam penelitian ini, adapun hasil analisis pengaruh Cuaca Iklim tropis terhadap perubahan nilai resistansi permukaan material isolasi polimer *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar IV.12:



Gambar IV.12 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik resistansi permukaan material SRFA 30%

Gambar IV.12 menunjukkan kurva pola perubahan karakteristik nilai resistansi pada bahan uji SRFA 30% Hari pertama penuaan sampai hari ke-5, nilai resistansi SRFA 30% sebesar 1.82 G (ohm) terlihat mengalami penurunan yang nilainya sebesar 1.54 G (ohm) pada hari ke-5 Dan mulai hari ke-5 sampai dengan ke-9, nilai resistansi bahan uji tersebut mengalami peningkatan hingga nilai maksimum di hari ke-9 sebesar 1.69 G (ohm), nilai resistansi pada hari ke-9 sampai hari ke-45 mengalami fluktuasi hingga pada hari ke-45 nilai resistansi permukaan material SRFA 30% sebesar 1.43 G (ohm), Kenaikan nilai resistansi permukaan material mengindikasikan tidak homogennya distribusi endapan partikel polusi pada permukaan bahan uji (Manjang S, 2000). Demikian pula pada penurunan

nilai resistansi permukaan pada material mengindikasikan tidak homogenya partikel polusi yang tercuci oleh hujan.

Pola kenaikan dan penurunan nilai resistansi permukaan yang ditunjukkan dalam Gambar IV.12 merupakan fenomena transfer dan pemulihan sifat resistif oleh massa relatif rendah (MMRR) dari dalam ruah ke permukaan *silicone rubber* dan polusi. Kekasaran permukaan yang semakin bertambah dengan bertambahnya endapan polusi juga memberi kontribusi dalam perubahan nilai resistansi pada material SRFA30%.

Filler yang ditambahkan pada *silicone rubber* adalah untuk meningkatkan ketahanannya terhadap keretakan dan erosi yang diakibatkan oleh tekanan lingkungan atmosfer dan kemungkinan pembebanan panas yang tinggi akibat busur pita kering jika diterapkan sebagai material isolator tegangan tinggi pasangan luar. nilai resistansi permukaan sebagai fungsi waktu pada bahan uji dengan dosis *filler* sebanyak 30% di bawah terpaan iklim tropis. Dari gambar.IV.12 terlihat bahwa nilai resistansi permukaan bahan uji yang belum mengalami penuaan (*virgin*) tidak sama, tergantung jumlah dosis *filler* yang diberikan. Bahan uji SRFA 30% dengan nilai resistansi 1.42 G (ohm).

Nilai resistansi bahan uji dengan ber-*filler* menunjukkan perilaku yang hampir sama terhadap perubahan iklim harian. Efek *filler* terhadap sifat resistifitas dari masing-masing bahan uji yang diamati adalah perbedaan kemampuan dielektrik ke lapisan polusi dan pemulihan sifat resistifitas setelah mengalami penuaan akibat perubahan iklim.

Bahan uji *silicone rubber* dengan pemberian *filler* 30% (SRFA 30%) masih memperlihatkan sifat resistifitas tetap tinggi selama 45 hari penuaan. Tingginya nilai resistansi ini menunjukkan masih rendahnya energi bebas permukaan *silicone rubber* dibanding energi bebas permukaan air. Akibatnya terlihat dari pengamatan secara visual di saat air hujan menyentuh permukaan bahan uji langsung mengerut membentuk butiran, kemudian sebagian langsung jatuh ke bumi dan sisanya berbentuk butiran kecil tertinggal lalu menguap. Dengan demikian tidak terbentuk lapisan air yang kontinu di permukaannya.

Kurva turun naiknya nilai resistansi cenderung mengikuti perubahan iklim harian. Sudut kontak pada permukaan yang belum terpolusi (bersih) pada kondisi basah (penelitian perendaman) yang berlangsung lama cenderung menurun lebih rendah dari sudut kontak yang di kondisikan pada iklim tropis alamiah, sebagaimana terjadi pada awal-awal penelitian, namun hanya bersifat temporer karena pada saat kondisi kering kembali pulih (*recovery*). Sedangkan di saat terbentuknya endapan polusi semakin banyak tidak menyebabkan penurunan sudut kontak bahkan mengalami peningkatan, fenomena ini disebut pemindahan (*transfer*) sifat resistifitas ke lapisan polusi.

Reorientasi molekul-molekul pada permukaan akibat interaksi tetesan air dari kelembaban dan hujan yang membuat turunnya sudut kontak dapat dijelaskan dengan model struktur rantai.

Jika konfigurasi struktur rantai menggelung maka reorientasi gugus metal CH_3 dan ikatan siloksan berlawanan arah. Kecenderungan rantai untuk berkompensasi dengan dipole internal berkaitan dengan penambahan energi yang diwujudkan dalam bentuk berbelit (helical) dan merupakan suatu konfigurasi molekul yang selalu stabil jika tidak ada gaya aksi eksternal terhadap molekul *silicone rubber*. Ketika gugus metal berorientasi ke permukaan maka permukaan akan berenergi lebih rendah dan bersifat dielektrik sehingga nilai resistansi meningkat.

Nilai resistansi pada *silicone rubber* cenderung berubah akibat reorientasi molekul-molekul pada permukaan sehingga energi interaksi mutualnya menjadi maksimum. Efek utama molekul air adalah polaritasnya dapat memberikan gaya pendorong energi bebas antarmuka tinggi. Karena kecenderungan gugus CH_3 menolak air, maka reorientasi gugus CH_3 terhadap molekul H_2O akan menyebabkan ketidakseimbangan gaya *inter* dan antar molekul pada bagian permukaan *silicone rubber*.

Akibat reorientasi gugus CH_3 , keseimbangan gaya molekular berubah dan menyebabkan molekul-molekul oksigen cenderung berorientasi membentuk keseimbangan gaya intramolekular terhadap permukaan di mana senyawa CH_3 terorientasi. Dengan demikian energi permukaan meningkat dan akibatnya nilai resistansi menurun lebih kecil dari kondisi sebelum basah.

Ketika kondisi kering (air pada permukaan menguap), gugus metil yang hidrofobik mulai berorientasi ke arah permukaan maka energi

permukaan mulai rendah sehingga sudut kontak berangsur-angsur kembali meningkat. Namun dengan permukaan yang terpolusi, pemulihan dan transfer resistifitas berlangsung lama karena lambatnya difusi MMRR dari ruah ke permukaan. Kecepatan difusi MMRR ke lapisan polusi tergantung ketebalan dan jenis polusi serta suhu udara sekitar (Janssen, 1997).

Kenaikan nilai resistansi terutama pada suhu tinggi adalah akibat dari tingginya kekasaran permukaan material uji yang ditimbulkan oleh endapan polusi yang makin banyak. Kerja adhesi permukaan material yang bersifat dielektrik akan menurun jika permukaan semakin basah sehingga menyebabkan nilai resistansi semakin menurun.

Difusi komponen MMRR yang menyebabkan lapisan polusi bersifat hidrofobik diduga telah memperkuat partikel-partikel polusi menempel. Selain proses difusi secara fisika, kemungkinan juga terjadi reaksi kimia antara polusi dengan MMRR. Endapan polusi dapat mengurangi dampak radiasi dari matahari terhadap permukaan *silicone rubber*. Hasil penelitian Gubanski (1989) telah membuktikan bahwa lapisan polusi di permukaan *silicone rubber* dapat menyerap sekitar 50% radiasi UV matahari pada panjang gelombang antara 200 sampai 350 nm sehingga akan mengurangi efek radiasi UV.

Peningkatan nilai resistansi yang terjadi pada kadar *fly ash* 30% kemungkinan dapat disebabkan oleh hal berikut : resin *silicone rubber* memiliki jumlah LMW yang relatif banyak sebab resin tersebut belum mengalami proses penyambung silangan (*crosslink*) dan masih memiliki

viskositas yang relatif rendah. Penambahan katalis membuat suatu ikatan sambung silang (*crosslink*) antara monomer-monomernya sehingga resin *silicone rubber* menjadi mengeras dan terbentuk rantai-rantai monomer berat (*High Molecular Weight*). Penambahan *fly ash* pada kadar tertentu dapat memperbesar jarak *interspasial* antara monomer-monomer *silicone rubber* sehingga derajat *crosslink* antar monomer tersebut menjadi berkurang. LMW adalah salah satu jenis monomer dalam *silicone rubber* sehingga pemberian *fly ash* pada kadar tertentu dapat meningkatkan jumlah LMW di dalam material *silicone rubber*.

Pemberian *fly ash* pada kadar tertentu yang relatif lebih banyak, disisi lain dapat membuat difusi LMW ke permukaan menjadi terhambat. Kerapatan *fly ash* membuat LMW sulit berdifusi dari dalam material menuju permukaan material. Akibatnya akan terjadi penurunan sifat hidrofobik dari material.

Pada pengukuran resistivitas permukaan, nilai dari resistivitas permukaan yang diperoleh terdapat beberapa bagian dari nilai resistivitas volume. Berdasarkan sifat alamiah dari arus listrik, arus yang mengalir pada material tidak sepenuhnya mengalir pada permukaan material saat dilakukan pengujian, melainkan sebagian arus juga mengalir di dalam material. Berdasarkan hal tersebut maka akurasi pengujian resistivitas permukaan akan ditentukan oleh ketebalan material juga. Selain itu polutan dan kelembaban pada permukaan dapat mempengaruhi resistivitas permukaan dari material yang diuji. Namun karena saat pengujian dilakukan

permukaan material dibersihkan terlebih dahulu dan juga sirkulasi udara dijaga agar tetap bersih maka akurasi data dapat terjaga dengan baik.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya peningkatan resistivitas dari *silicone rubber* dengan bertambahnya kadar *fly ash* sebagai pengisi pada material tersebut. Pengukuran yang dilakukan adalah menggunakan tegangan impuls DC sekitar 5 kV. Seperti yang pembahasan sebelumnya yaitu pada pengukuran resistivitas volume, mineral-mineral yang banyak mengandung silika dan alumina berperan meningkatkan resistivitas dari material. Jarak antara elektroda positif dan netral pada pengujian menyebabkan kuat listrik yang diterima oleh material secara rata-rata tidak sebesar yang terjadi pada pengukuran resistivitas volume. Kuat medan listrik yang diterima oleh material akan menentukan perilaku mineral semikonduktif yang ada di dalam material. Jika beberapa porsi tertentu dari material mendapatkan medan listrik yang cukup besar yang dapat mengakibatkan perubahan resistivitas dari mineral semikonduktif yang berada di dalam *silicone rubber*. Maka kemungkinan resistansi keseluruhan dari material akan menurun. Namun jika kuat medan yang diterima belum cukup kuat untuk mengubah resistansi partikel semikonduktif di dalam material atau porsi material yang memiliki resistansi yang rendah masih kurang dikarenakan perbedaan kuat medan listrik yang diterima, maka peningkatan resistansi dari material secara keseluruhan akan meningkat karena peran partikel-partikel yang memiliki resistivitas yang tinggi seperti silika dan alumina.

Nilai resistansi dari suatu material akan bergantung pada jenis tegangan/medan yang dikenakan pada material tersebut. Pada material dengan kandungan partikel semikonduktif yang tinggi, resistansi dari material akan berubah tergantung besar dan jenis tegangan/medan yang diberikan. Pada besar tegangan/kuat medan tertentu yang diberikan pada material, nilai resistansi material dapat berubah hal itu tergantung dari lebar celah pita (*band gap*) antara pita valensi dan konduksi dari senyawa-senyawa penyusun material tersebut.

Dalam pengukuran resistivitas yang dilakukan, peristiwa polarisasi juga terjadi pada material. Semakin lama material terpapar medan maka resistivitas dari material terlihat semakin meningkat. Namun untuk keseragaman pengambilan data, maka dalam prosedur pengambilan data resistansi yang diambil adalah nilai resistansi pada saat 3 detik ketika diuji.

Adapun alasan-alasan mengenai penyebab penurunan ataupun peningkatan nilai resistansi dari material *silicone rubber* dengan *fly ash* 30% merupakan hipotesis yang berdasar dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Investigasi lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki sifat dielektrik dari material *silicone rubber filler fly ash*, adapun metode lanjutan yang digunakan untuk melakukan investigasi pengaruh iklim tropis terhadap perubahan nilai resistansi dengan menggunakan metode analisis persamaan regresi.

Adapun hasil analisis regresi pengaruh cuaca iklim tropis terhadap perubahan nilai resistansi permukaan material isolasi polimer silicone

rubber dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 24 dapat dilihat pada Tabel IV.4:

Tabel IV.4 Hasil statistik regresi model *summary* pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Model Summary^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.502 ^a	0.252	0.252	0.072071147085736

Berdasarkan Tabel IV.4 Pengaruh Iklim tropis terhadap Pengaruh perubahan nilai resistansi dapat diprediksi dengan melihat nilai *adjusted R square* di mana nilai ini akan menunjukkan besar hubungan pengaruh perubahan nilai suhu, kelembaban, dan curah hujan terhadap perubahan nilai resistansi, pada nilai *adjusted R square* tertinggi sebesar 0.252 untuk SRFA 30% menunjukkan 25.2% variabel dependen (resistansi permukaan), dapat dijelaskan oleh 3 (tiga) variabel independen yaitu: suhu rata-rata, kelembaban, dan curah hujan.

Berdasarkan Tabel.IV.4 memperlihatkan tingkat keakuratan model regresi dapat dilihat pada kolom *standard error* sebesar 0.123 untuk SRFA 30%. Nilai ini semakin mendekati angka 0 (nol) maka model akan semakin baik.

Dalam mengambil sebuah keputusan dengan menggunakan model *summary* masih belum meyakinkan, maka dapat dilihat pada Tabel IV.5 model anova.

Tabel IV.5 Hasil statistik regresi model *anova* pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	19.163	3	6.388	1229.768	.000b
Residual	56.953	10965	0.005		
Total	76.116	10968			

Berdasarkan Tabel.IV.5 untuk mengambil keputusan dapat digunakan dengan cara melihat nilai sig. F (signifikansi). Pada Tabel.IV.5 nilai sig. tertera sebesar 0,000 maka dapat disimpulkan bahwa variabel arus bocor di pengaruhi oleh variabel iklim tropis. Hal ini dengan mengikuti taraf sig. 0,05 sebagai nilai cut off dari nilai signifikansi. Artinya jika nilai probabilitas (signifikansi) dibawah 0,05 maka minimal ada salah satu variabel independen yang berpengaruh terhadap variabel dependen (resistansi permukaan).

Untuk menyelidiki besar pengaruh tiap perubahan variabel dan arah perubahannya dapat dilihat pada Tabel IV.6 *coeficient*

Tabel IV.6 Hasil statistik regresi *coeficient* pengaruh iklim tropis terhadap resistansi permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	-0.114	0.059		-1.915	0.056
Suhu rata-rata	0.032	0.002	0.225	18.934	0.000
kelembaban	0.010	0.000	0.791	51.441	0.000
curah hujan	-0.003	0.000	-0.247	-20.522	0.000

Berdasarkan Tabel.IV.6 dapat pula diselidiki besar pengaruh tiap variabel dengan melihat nilai sig. (signifikansi). Pada Tabel.IV.6 nilai sig. coefficient tertera sebesar 0.000 untuk suhu, 0.000 untuk kelembaban, dan 0.000 untuk curah hujan, pada material SRFA 30% maka dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai variabel dependen (resistansi permukaan) di pengaruhi oleh variabel independen (suhu, kelembaban, dan curah hujan). Hal ini dapat diketahui dengan mengikuti taraf sig. 0,05 sebagai nilai cut off dari nilai signifikansi. Artinya jika nilai probabilitas (signifikansi) dibawah 0,05 maka minimal ada salah satu atau lebih dari variabel independen (suhu, kelembaban, dan curah hujan) berpengaruh terhadap variabel dependen (resistansi permukaan).

Berdasarkan Tabel IV.6, dapat pula di selidiki besar pengaruh suhu terhadap perubahan nilai resistansi yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi pada perubahan positif ataupun negatif dari nilai suhu sebesar 1 °C, seperti pada Tabel IV.6, di mana kadar *fly ash* 30% mengalami perubahan positif sebesar 0.032 G (ohm) tiap perubahan positif nilai suhu sebesar 1 °C.

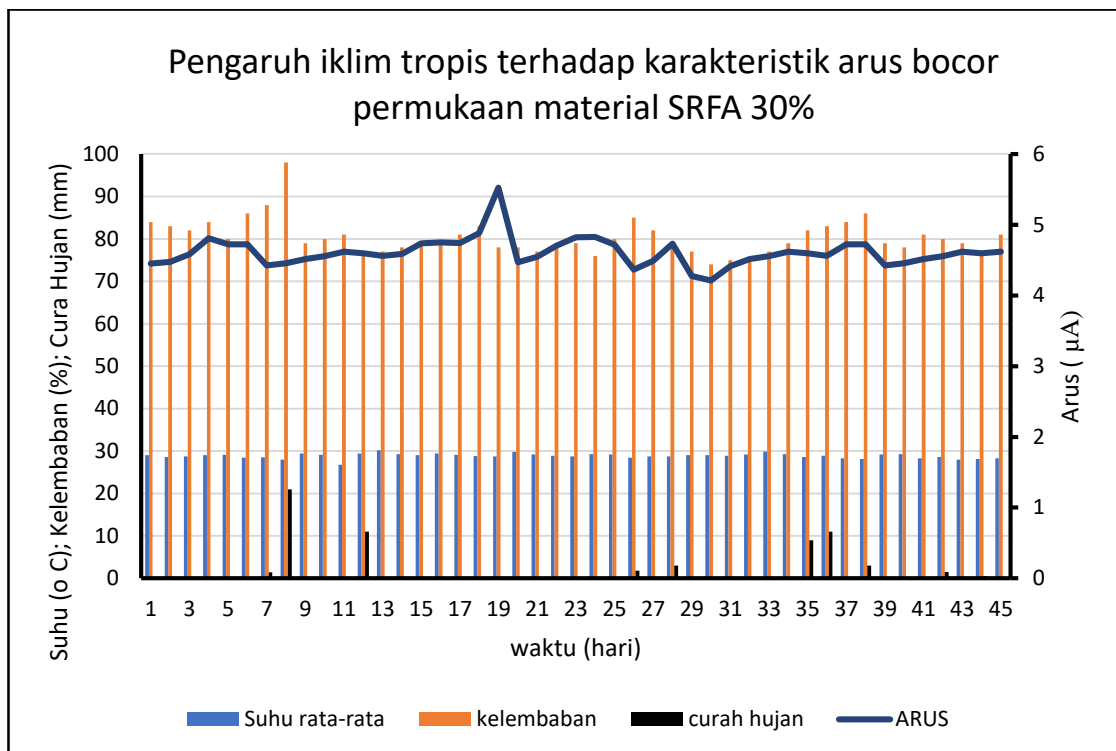
Berdasarkan Tabel IV.6, dapat pula di selidiki besar pengaruh kelembaban terhadap perubahan nilai resistansi yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh pada perubahan positif ataupun negatif dari nilai

kelembaban 1%, seperti pada Tabel.IV.6, di mana perubahan positif terjadi pada material dengan kadar *fly ash* 30% di mana besar perubahannya 0.01 G (ohm) tiap perubahan kelembaban sebesar 1%.

Berdasarkan Tabel IV.6. dapat pula di selidiki besar pengaruh curah hujan terhadap perubahan nilai resistansi yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi pada tiap perubahan nilai curah hujan sebesar 1 mm, seperti pada Tabel IV.6, di mana material dengan kadar *fly ash* sebesar 30% mengalami perubahan negatif sebesar 0.003 G (ohm) dengan pengaruh perubahan curah hujan sebesar 1 mm.

IV.3.3 Analisis Pengaruh Iklim Tropis terhadap Karakteristik Arus Bocor Permukaan Material SRFA 30%

Analisis dilakukan dengan mengambil 3 (tiga) parameter cuaca sebagai input variabel independen dan arus bocor sebagai input parameter dependen yakni arus bocor pada material SRFA 30% sebagai material yang dianggap paling efisien dalam penelitian ini, adapun hasil analisis pengaruh cuaca iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar IV.13:



Gambar IV.13 Pengaruh iklim tropis terhadap karakteristik arus bocor permukaan pada material SRFA 30%

Gambar IV.13 menunjukkan kurva pola perubahan nilai arus bocor permukaan bahan uji SRFA 30% Hari pertama penuaan sampai hari ke-4 seiring kenaikan tingkat kelembaban dan suhu lingkungan, nilai arus bocor SRFA 30% sebesar $4.45 \mu\text{A}$ terlihat mengalami peningkatan yang nilainya sebesar $4.81 \mu\text{A}$ pada hari ke-4. Dan mulai hari ke-4 sampai dengan ke-19, nilai sudut kontak bahan uji tersebut mengalami peningkatan hingga nilai maksimum di hari ke-19 sebesar $5.53 \mu\text{A}$, nilai arus bocor pada hari ke-19 sampai hari ke-45 mengalami fluktuasi hingga pada hari ke-45 nilai arus bocor sebesar $4.62 \mu\text{A}$, Kenaikan arus bocor mengindikasikan tidak homogennya distribusi endapan partikel polusi pada permukaan bahan uji (Manjang S, 2000). Demikian pula pada penurunan arus bocor adalah

mengindikasikan homogenya partikel polusi pada permukaan bahan uji dengan dalam suhu yang relatif tinggi dimana:

a. Pengaruh Suhu Terhadap Arus Bocor Permukaan Material Polimer

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya, Mustamin, & Manjang (2011), hubungan tekanan *thermal* dan arus bocor tidak begitu besar bahkan dalam interval temperatur iklim tropis arus bocor pada isolator polimer tidak begitu signifikan. Secara teori, temperatur memiliki pengaruh yang signifikan pada kuat arus yang mengalir pada suatu material. Temperatur yang tinggi dapat meningkatkan laju gerak bebas elektron dalam material padat, jika temperatur terlalu tinggi maka arus listrik yang terjadi karena pengaruh medan listrik menjadi lebih kecil sebab pengaruh termal membuat arah pergerakan elektron menjadi semakin acak sehingga sulit mengikuti arah medan listrik. Jika temperatur relatif rendah atau tidak berbeda jauh dengan temperatur lingkungan maka jika terjadi arus bocor pada permukaan material seharusnya temperatur lingkungan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan arus bocor permukaan.

b. Pengaruh Kelembapan terhadap Arus Bocor Permukaan Material Polimer

Berbagai penelitian telah dilakukan sebelumnya tentang pengaruh kelembaban lingkungan terhadap arus bocor permukaan dari material polimer beberapa di antaranya yaitu, penelitian yang dilakukan oleh Agung. A, & Syakur. A (2012). Dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa kelembapan berbanding lurus terhadap kenaikan arus bocor pada material

polimer. Kelembaban udara diketahui mengandung uap air sehingga semakin tinggi kelembaban udara sekitar maka akan meningkatkan kelembaban pada permukaan material. Meningkatnya kelembaban pada permukaan material isolasi akan menurunkan resistivitas permukaan material kemudian akan meningkatkan arus bocor permukaan yang terjadi.

c. Pengaruh Curah Hujan terhadap Arus Bocor Permukaan Isolator Polimer

Berdasarkan dari penelitian sebelumnya, Mustamin & Manjang.S. (2011), bahwa nilai arus bocor pada isolator polimer berbanding lurus dengan kenaikan intensitas curah hujan. Dalam penelitian tersebut diketahui bahwa material yang ditempatkan dalam kamar cuaca buatan jika diberi kabut garam sebagai simulasi hujan buatan akan mengakibatkan *flash over* pada permukaan insulator. Hal tersebut sangat mungkin terjadi dikarenakan resistivitas dari kabut garam sangat rendah sehingga arus listrik dapat dengan mudah mengalir pada permukaan isolator.

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya peningkatan arus bocor dari *silicone rubber* dengan berkurangnya kadar *fly ash* sebagai pengisi pada material tersebut. Pengukuran yang dilakukan adalah menggunakan tegangan AC sekitar 20 kV. Seperti yang pembahasan sebelumnya yaitu pada pengukuran arus bocor permukaan, mineral-mineral yang banyak mengandung silika dan alumina berperan menurunkan nilai arus bocor dari material. Jarak antara elektroda positif dan netral pada pengujian menyebabkan kuat listrik yang diterima oleh material secara rata-rata tidak sebesar yang terjadi pada pengukuran arus

bocor permukaan. Kuat medan listrik yang diterima oleh material akan menentukan perilaku mineral semikonduktif yang ada di dalam material. Jika beberapa porsi tertentu dari material mendapatkan medan listrik yang cukup besar yang dapat mengakibatkan perubahan resistivitas dari mineral semikonduktif yang berada di dalam *silicone rubber*. Maka kemungkinan resistansi keseluruhan dari material akan menurun. Namun jika kuat medan yang diterima belum cukup kuat untuk mengubah resistansi partikel semikonduktif di dalam material atau porsi material yang memiliki resistansi yang rendah masih kurang dikarenakan perbedaan kuat medan listrik yang diterima, maka peningkatan resistansi dari material secara keseluruhan akan meningkat karena peran partikel-partikel yang memiliki resistivitas yang tinggi seperti silika dan alumina.

Nilai resistansi dari suatu material akan bergantung pada jenis tegangan/medan yang dikenakan pada material tersebut. Pada material dengan kandungan partikel semikonduktif yang tinggi, resistansi dari material akan berubah tergantung besar dan jenis tegangan atau medan yang diberikan. Pada besar tegangan atau kuat medan tertentu yang diberikan pada material, nilai resistansi material dapat berubah hal itu tergantung dari lebar celah pita (*band gap*) antara pita valensi dan konduksi dari senyawa-senyawa penyusun material tersebut.

Dalam pengukuran arus bocor yang dilakukan, peristiwa polarisasi juga terjadi pada material. Semakin lama material terpapar medan maka resistivitas dari material terlihat semakin meningkat. Namun untuk

keseragaman pengambilan data, maka dalam prosedur pengambilan data arus bocor yang diambil adalah nilai arus bocor real time 24 jam dengan menggunakan multimeter digital yang dilengkapi dengan program penyimpan data bawaan pada pc.

Adapun alasan-alasan mengenai penyebab penurunan ataupun peningkatan nilai arus bocor dari material *silicone rubber* dengan *fly ash* 30% merupakan hipotesis yang berdasar dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Investigasi lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki sifat dielektrik dari material *silicone rubber filler fly ash*, adapun metode lanjutan yang digunakan untuk melakukan investigasi pengaruh iklim tropis terhadap perubahan nilai arus bocor permukaan material dengan menggunakan metode analisis persamaan regresi.

Adapun hasil analisis regresi pengaruh cuaca iklim tropis terhadap perubahan nilai arus bocor permukaan material isolasi polimer *silicone rubber* dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 24 dapat dilihat pada Tabel IV.7

Tabel IV.7 Hasil statistik regresi *model summary* pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Model Summary^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.633 ^a	0.401	0.401	0.013854583388913

Berdasarkan Tabel IV.7 Pengaruh iklim tropis terhadap perubahan arus bocor dapat diprediksi dengan melihat nilai *adjusted R square* di mana

nilai ini akan menunjukkan besar hubungan pengaruh perubahan variabel dependen (arus bocor) terhadap variabel independen (suhu, kelembaban, dan curah hujan), di mana dapat dilihat nilai *adjusted R square* tertinggi sebesar 0.401 untuk SRFA 30% menunjukkan 40.1% variabel dependen (arus bocor), dapat dijelaskan oleh 3 (tiga) variabel independen yaitu: suhu rata-rata, kelembaban, dan curah hujan.

Berdasarkan Tabel.IV.7 memperlihatkan tingkat keakuratan model regresi dapat dilihat pada kolom *standard error* sebesar 0.321 untuk SRFA 30%. Nilai ini semakin mendekati angka 0 (nol) maka model akan semakin baik.

Dalam mengambil sebuah keputusan dengan menggunakan model summary masih belum meyakinkan, maka dapat dilihat pada Tabel IV.8 model anova.

Tabel IV.8 Hasil statistik regresi *model anova* pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	55.485	3	18.495	96353.621	.000 ^b
	Residual	82.848	431615	0.000		
	Total	138.333	431618			

Berdasarkan Tabel IV.8 untuk mengambil keputusan dapat digunakan dengan cara melihat nilai sig. F (signifikansi). Pada Tabel.IV.1 nilai sig. F tertera sebesar 0,000 maka dapat disimpulkan bahwa variabel arus bocor di pengaruhi oleh variabel iklim tropis. Hal ini dengan mengikuti taraf sig.

0,05 sebagai nilai cut off dari nilai signifikansi. Artinya jika nilai probabilitas (signifikansi) dibawah 0,05 maka minimal ada satu variabel independen (suhu, kelembaban, dan curah hujan) yang berpengaruh terhadap variabel dependen (arus bocor).

Untuk menyelidiki besar pengaruh tiap perubahan variabel dan arah perubahannya dapat dilihat pada Tabel IV.9 *coeficient*

Tabel IV.9 Hasil statistik regresi *coeficient* pengaruh iklim tropis terhadap arus bocor permukaan material isolasi polimer *silicone rubber*

Coefficients^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	6.047	0.022		278.986	0.000
Suhu rata-rata	-0.038	0.001	-0.167	-61.625	0.000
kelembaban	-0.004	0.000	-0.320	-57.040	0.000
curah hujan	-0.006	0.000	-0.459	-98.774	0.000

Berdasarkan Tabel IV.9 dapat pula diselidiki besar pengaruh tiap variabel melihat nilai sig. (signifikansi). Pada Tabel IV.9 nilai sig.coeficient tertera sebesar 0.000 untuk suhu ,0.000 untuk kelembaban, dan 0.000 untuk curah hujan, pada material SRFA 30%, maka dapat disimpulkan bahwa variabel arus bocor di pengaruhi oleh variabel iklim tropis. Hal ini dengan mengikuti taraf sig. 0,05 sebagai nilai cut off dari nilai signifikansi. Artinya jika nilai probabilitas (signifikansi) dibawah 0,05 maka seluruh variabel independen berpengaruh terhadap variabel dependen perubahan nilai arus bocor.

Berdasarkan Tabel IV.9 dapat pula di selidiki besar pengaruh suhu terhadap kenaikan arus bocor yang terjadi pada material isolator polimer *silicone rubber*, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi akibat dari perubahan positif ataupun negatif dari nilai suhu sebesar 1 °C, seperti pada Tabel IV.9 di mana material dengan kadar *fly ash* sebesar 30% mengalami penurunan tiap kenaikan suhu sebesar 1 °C, di mana penurunan nilai arus bocor pada material SRFA dengan kadar *fly ash* 30% mengalami penurunan nilai arus bocor sebesar 0.038 μA tiap kenaikan suhu sebesar 1 °C.

Berdasarkan Tabel IV.9 dapat pula di selidiki besar pengaruh kelembaban terhadap kenaikan arus bocor yang terjadi pada material isolator polimer *silicone rubber*, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi pada Perubahan positif ataupun negatif terhadap nilai kelembaban 1%, seperti pada Tabel IV.9, adapun hasil yang diperoleh di mana material dengan kadar *fly ash* 30% mengalami perubahan negatif akibat pengaruh faktor kelembaban terhadap arus bocor. Perubahan arus bocor 0.004 μA pada sampel dengan kadar *fly ash* 30% dari setiap perubahan kelembaban 1%.

Berdasarkan Tabel IV.9 dapat pula di selidiki besar pengaruh curah hujan terhadap perubahan nilai arus bocor yang terjadi pada material isolator, besar pengaruh yang terjadi dapat dilihat pada nilai *coefficients B*. Di mana besar pengaruh yang terjadi pada perubahan nilai curah hujan 1 mm, seperti pada Tabel IV.9, di mana perubahan negatif nilai arus bocor

pada material dengan kadar *fly ash* 30% mengalami perubahan nilai arus bocor sebesar $0.006 \mu\text{A}$ tiap kenaikan curah hujan sebesar 1 mm .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh cuaca terhadap perubahan karakteristik elektrik dan mekanik dari material isolator *silicone rubber filler fly ash* telah diselidiki pada berbagai komposisi *fly ash* dan *silicone rubber*. Dari hasil pengamatan didapatkan bahwa material dengan kadar *fly ash* sebesar 40 % memiliki nilai arus bocor rata-rata terendah yaitu sebesar 4.28 μA . Sedangkan yang paling tinggi ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 0% dengan nilai rata-rata arus bocor sebesar 4.85 μA .
2. Pada pengamatan hidrofobisitas bahan melalui pengukuran sudut kontak permukaan didapatkan bahwa material dengan kadar *fly ash* sebesar 20% memiliki penurunan sudut kontak terkecil dengan sudut kontak akhir sebesar 93.54°. sedangkan material dengan kadar *fly ash* sebesar 30% memiliki sudut kontak terkecil yaitu sebesar 93.42° sudut kontak terbesar ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 25% sedangkan yang paling kecil ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 30%. sehingga dapat disimpulkan bahwa material dengan kadar *fly ash* sebesar 25% memiliki kemampuan hidrofobik terbaik

3. Pada pengamatan resistivitas permukaan bahan didapatkan bahwa material dengan kadar *fly ash* sebesar 35% memiliki penurunan resistivitas permukaan terkecil dengan resistivitas permukaan sebesar 2.240 % dari nilai resistivitas awal material sebesar 1.637 GOhm menurun hingga 1.6 GOhm. sedangkan material dengan kadar *fly ash* sebesar 0% memiliki resistivitas permukaan terkecil yaitu sebesar 1.223 GOhm. resistivitas permukaan terbesar ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 40% sedangkan yang paling kecil ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 0%. sehingga dapat disimpulkan bahwa material dengan kadar *fly ash* sebesar 40% memiliki resistivitas permukaan terbaik
4. Penurunan berat terkecil selama perlakuan cuaca ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 0%. sedangkan penurunan berat terbesar ada pada material dengan kadar *fly ash* sebesar 30%. penurunan berat terjadi karena lepasnya *filler* atau keluarnya *filler* dari material dikarenakan pengaruh cuaca
5. Pada analisa hubungan iklim tropis terhadap perubahan arus bocor, sudut kontak, dan resistansi permukaan dari material polimer *silicone rubber* didapatkan korelasi pengaruh yang bervariasi dan kadar kandungan *fly ash* yang berbeda.
 - a. Di mana dapat dilihat *adjusted R square* sebesar 0.401 untuk SRFA 30% menunjukkan 40.1% variabel dependen (arus bocor).

- b. pada nilai *adjusted R square* sebesar 0.646 untuk SRFA 35% menunjukkan 64.6 % variabel dependen (sudut kontak).
- c. pada nilai *adjusted R square* sebesar 0.761 untuk SRFA 35% menunjukkan 76.1% variabel dependen (resistansi permukaan).
- d. Hasil yang didapatkan di mana pengaruh iklim tropis terhadap material polimer *silicone rubber* baik dari sisi dielektrik maupun pada sisi mekanik memiliki pengaruh yang dapat mengubah nilai dari karakteristik material itu sendiri. Besar pengaruh yang terjadi dari pengamatan peneliti tidak sangat besar terutama pada material yang peneliti anggap kadar *fly ash* yang optimal yakni material dengan kadar *fly ash* 30%. Di mana dari beberapa hasil analisa regresi didapatkan posisi paling dominan dengan pengaruh iklim tropis terendah.
- e. Dari hasil yang telah didapatkan di rekomendasikan bahwa material isolasi polimer *silicone rubber* dengan kadar *fly ash* 30% mampu bertahan di bawah pengaruh iklim tropis.

V.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan data Pengujian, serta hasil analisa yang dilakukan ini masih memiliki banyak sekali kekurangan, untuk itu perlu dilakukan perbaikan untuk percobaan-percobaan sejenis. Beberapa perbaikan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Dalam menunjang proses pengukuran parameter- parameter yang berlaku pada ranah iklim tropis di mana merupakan bagian yang

paling berpengaruh dalam penelitian ini. Di mana data iklim yang diperoleh dari badan pusat meteorologi sangat terbatas sehingga ke depannya perlu adanya peralatan sensor cuaca tersendiri agar data yang didapat lebih akurat.

2. Pengujian untuk penuaan baru terlaksana pada kondisi perendaman dan kondisi iklim tropis alamiah. Masih ada beberapa kondisi yang perlu dilakukan yaitu : kondisi kering, kondisi ultra violet, kondisi berpolutan, dan kondisi lingkungan yang alami yang waktunya panjang. Sehingga disarankan kepada penelitian berikutnya untuk melaksanakan beberapa pengkondisian tersebut.
3. Diharapkan bagi pembaca yang ke depannya ingin melanjutkan penelitian ini agar banyak mengkaji kembali parameter-parameter yang akan dijadikan referensi. Di mana pada material dengan kadar *fly ash* 30% yang penulis rekomendasikan terdapat salah satu parameter iklim tropis yang besar pengaruhnya yakni parameter curah hujan sehingga penulis sarankan agar mengkaji kembali komposisi dari proses pembuatan sampel material isolasi.
4. Penulis berharap adanya koreksi dan masukan dari para pembaca agar penelitian ini bisa lebih sempurna, karena penulis merasa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernstorf, R. Allen, Randall K. Niedermier, and David S. Winkler. "Polymer compounds used in high voltage insulators." *Hubbell power Systems* (2000).
- Farhadinejad. et al. (2012). Effects of UVC radiation on thermal, electrical and morphological behavior of *silicone rubber* insulators." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 19(5): 1740-1749.
- Fernando. M. A. R. M., & Gubanski. S. M. (2010). Ageing of *silicone rubber* insulators in coastal and inland tropical environment. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 17(2): 326-333.
- Gubanski S. M., & Wankowicz J. G. (1989) Distribution of natural pollution surface layers on silicone rubber insulators and their UV absorption. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 24: 4.0018-9367
- Gubanski S. M.(1992) "Properties of Silicone Rubber Housings and Coatings", *IEEE Trans.on EI*, Vol. 27, No. 2, pp. 374-382.
- Janssen, H., Herden, A., & Kärner H C. (1997) The loss and recovery of hydrophobicity on silicone rubber surfaces. 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, Canada.
- Kearner H.C., & Ieda M. (1991). Technical aspect of interfacial phenomenon in solid insulating system. Conference On Properties And Application Of Dielectric Materials, Tokyo:Japan.
- Kim S. H., Cherney E. A. and Hackam R. (1990) "The Loss and Recovery of Hydrophobicity of RTV Silicone Rubber Coatings", *IEEE Trans.on Power Deliv.*, Vol. 5, No. 3, pp. 1491-1499.
- Kim S.H., Cherney E.A., & Hackam R. (1992). Hydrophobics behaviour of insulators coated with RTV silicon rubber, *IEEE Transactions, Electrical Insulation*.
- Kim S.H., Cherney E.A., Hackam R., & Rutherford K.G. (1994). Chemical change at the surface RTV *silicone rubber* coating on insulators during dry-band arcing, *IEEE Trans. Dielectric and Electrical Insulating*, 1(1):106-123.
- Manjang S. (2000). Kajian kinerja elastomer silikon sebagai material isolator tegangan tinggi di daerah tropis (Disertasi). Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Manjang S. dkk. (2015). Pemanfaatan *Fly ash* Sebagai Bahan Pengisi Material Isolasi Polimer *Silicone rubber*. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(17):1819-6608.
- Manjang, Salama, and Masayuki Nagao. "*Characteristics of high voltage polymer insulator under accelerated artificial tropical climate multi stress aging.*" *Electrical Insulating Materials (ISEIM), Proceedings of 2011 International Conference on.* IEEE, 2011.
- Momen, G., and M. Farzaneh. "*Survey of micro/nano filler use to improve silicone rubber for outdoor insulators.*" *Rev. Adv. Mater. Sci* 27.1 (2011): 1-13.

- Mustamin. & Manjang S. (2010). Karakteristik isolator polimer tegangan tinggi di bawah penuaan tekanan iklim tropis buatan yang dipercepat. *Jurnal media elektrik*, Volume 5, Nomor 2, Desember.
- Solymar, Laszlo, Donald Walsh, and Richard RA Syms. *Electrical properties of materials*. Oxford University Press, 2014.
- Syakur A. & Hermawan. (2014). Leakage current characteristics at different shed of epoxy resin insulator under rain contaminants. *Information Technology Computer and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014 1st International Conference on*, pp: 413-418.
- Syakur A. dkk. (2012). Analisa Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Menggunakan Metode Pengukuran Inclined-Plane Tracking. Diakses 16 januari 2017. Available from: http://eprints.undip.ac.id/35611/2/L2F606022_MTA.pdf
- Tata Surdia, shinroku saito . *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan keenam. Pradnya Paramita, 2005
- Wang, M-J., M. D. Morris, and Y. Kutsovsky. "Effect of fumed Silica surface area on silicone rubber reinforcement." *KGK. Kautschuk, Gummi, Kunststoffe*61.3 (2008): 107-117.

LAMPIRAN