

**TESIS**

**MEKANISME FLASHOVER UNTUK MENENTUKAN  
KINERJA ISOLATOR POLIMER YANG TERKONTAMINASI**

*FLASHOVER MECHANISM TO DETERMINE THE  
PERFORMANCE OF CONTAMINATED POLYMER  
INSULATOR*

**AMELYA INDAH PRATIWI**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2013**

**MEKANISME FLASHOVER UNTUK MENENTUKAN  
KINERJA ISOLATOR POLYMER YANG TERKONTAMINASI**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi**

**Teknik Elektro**

**Disusun dan diajukan oleh**

**AMELYA INDAH PRATIWI**

**Kepada**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2013**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Amelya Indah Pratiwi

Nomor Pokok : P2700211027

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya 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.

Makassar, 17 Juli 2013

Yang menyatakan

Amelya Indah pratiwi

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dapat kami susun dengan baik dan tepat pada waktunya.

Ide yang melatar belakangi penelitian ini adalah banyaknya kendala yang terjadi pada isolator pasangan luar terhadap polusi yang dapat menyebabkan terjadinya flashover sehingga isolator mengalami kegagalan kerja atau fungsi isolator. secara luas kejadian ini menyebabkan gangguan system ketenagalistrikan terutama pada daerah-daerah industri yang berpolusi berat dan daerah pinggir laut.

Penelitian ini mengkaji bagaimana kinerja isolator dilihat dari karakteristik tegangan flashovernya baik secara perkiraan analitik maupun pengujian di laboratorium. Dengan adanya kajian analitik diharapkan dapat memudahkan dalam pemilihan isolator yang akan digunakan dan juga meghemat biaya untuk pengujian isolator.

Selama berjalannya penelitian ini, penulis banyak menemukan kendala-kendala yang cukup berpeluang menghambat terhadap pelaksanaan penelitian namun dengan bantuan berbagai pihak maka pada akhirnya tesis ini dapat terselesaikan pada waktunya. Dengan tulus penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Prof.Dr.H.Salama Manjang, MT sebagai ketua komisi penasehat dan Prof.Dr.H.Muh.Tola, M.Eng sebagai anggota Komisi Penasehat atas

bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari awal sampai akhir penelitian dan penyusunan tesis ini.

Ucapan sayang dan terimakasih yang begitu besar juga saya sampaikan kepada kedua orang tua saya (Ahmad Adhi dan Nurmiati) yang merupakan semangat dan inspirasi saya dalam meraih kesuksesan hidup dunia akhirat. Insya Allah saya akan mewujudkan harapan dan keinginan kalian, Aamiin....

Terima kasih pula kepada kakak dan adik ( Eva Ayudia Pratiwi, Aditya Indra Kusuma, Anugrah Adiati Aprilya, Arwinni Febriyanti dan Wahyu Septian Dwi Putra) semoga kalian semua slalu bersemangat dalam meraih kesuksesan hidup dan menjadi manusia yang bisa di andalkan. Aamiin...

Kepada rekan-rekan S2 angkatan 2011 teknik energi, teknik telekomunikasi, dan teknik kontrol, terutama kepada pak Alimuddin, pak yadi, Firman Hamzah, pak nanang dan rekan-rekan lain yang tak sempat tersebut namanya satu persatu. Juga kepada pak Mustamin, Pak Ikhlas. Semoga kebaikan mereka bernilai pahala di sisi Allah SWT.

Terakhir, ucapan terima kasihku kepada my dear 'Ilham Nur' yang juga telah menemaniku dalam suka dan duka selama dua strata ini, semoga tetap setia menemani pada strata selanjutnya sampai maut memisahkan, Aamiin...

Penulis sadar bahwa dalam penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan-kekurangan namun semoga tulisan ini tetap bermanfaat bagi pembacanya sebagai tambahan ilmu pengetahuan dan ide perkembangan penelitian selanjutnya.

Makassar, 17 Juli 2013

Amelya Indah Pratiwi

## ABSTRAK

**AMELYA INDAH PRATIWI.** *Mekanisme Flashover Untuk Menentukan Kinerja Isolator Polymer Yang Terkontaminasi* (dibimbing oleh Salama Manjang dan Muhammad Tola).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa atau kinerja isolator yang akan digunakan. Performa isolator dapat ditinjau dari analisis karakteristik tegangan flashover yang diperoleh secara perkiraan analitik dan dengan pengujian tegangan flashover di laboratorium.

Penelitian ini adalah jenis penelitian kuantitatif dan eksperimental. Tegangan kritis perkiraan analitik merupakan jumlah tegangan dari tiga daerah isolator yakni daerah dekat logam, daerah permukaan isolator sebelah atas, dan daerah permukaan sebelah bawah. Pengujian tegangan flashover dilaksanakan di laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Hasanuddin. Isolator uji terlebih dahulu direndam pada larutan pengotor dan menerapkan tegangan yang terus dinaikkan sampai terjadi flashover.

Hasil perkiraan analitik dan pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa tegangan kritis isolator akan menurun dengan meningkatnya konduktifitas permukaan isolator. Pada isolator resin epoksi yang diberikan polutan garam sebesar 25 gram, diperoleh konduktifitas permukaan isolatornya sebesar  $0,78\mu\text{S}$ , tegangan kritis perkiraan analitik sebesar 43,223 kV sedangkan hasil pengujian laboratorium diperoleh tegangan kritis sebesar 43,223 kV. Pada isolator silicone rubber (SIR) yang diberikan polutan garam 25 gram diperoleh konduktifitas permukaan isolatornya sebesar  $0,44\mu\text{S}$ , tegangan kritis perkiraan analitiknya adalah 40,878 kV sedangkan hasil pengujian laboratorium adalah 45,18 kV.

Kata kunci : Karakteristik tegangan flashover, konduktifitas permukaan, tegangan kritis.

## ABSTRACT

**AMELYA INDAH PRATIWI.** Flashover mechanism to determine the performance of Polymer contaminated Insulator (supervised by Salama Manjang and Muhammad Tola).

The research to aimed to know the performances of an insulator to be used.. The performances of an insulator can be viewed from an analysis of the characteristics of voltage flashover obtained in an estimate analytic and by testing voltage flashover in the laboratory.

This was a kuantitatif and eksperimental research. Analytic estimates of the critical voltage is the amount of voltage from three areas of insulator : the area near the metal insulator, insulator surface area next to the top, and the surface of the ground. Flashover voltage in the laboratory testing done by first soaking the insulation test on the solution of dopants and apply voltage flashover occurs continuously raised up.

Approximate analytical results and testing in the lobaratory showed that the critical voltage insulators will decreases with increasing the conductivity of the surface of insulator. In an insulator resin epoxy mold given pollutants salt 25 grams obtained the surface conductivity is  $0,78\mu\text{S}$ , critical analytical estimation of voltage 43,223 kV whereas the test results obtained critical voltage of 45,18 kV. In an insulator silicone rubber (SIR) mold given pollutants salt 25 grams obtained the surface conductivity is  $0,44\mu\text{S}$ , voltage critical analytical estimation of voltage is 40,878 kV while based on testing laboratory is 45,18 kV.

Keywords : voltage flashover characteristics, surface conductivity, voltage critical.



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isolator	5
1. Pengertian Isolator	5
2. Konstruksi dan Jenis Isolator	5
B. Isolator Polimer	6
C. Isolator Resin Epoksi	8

D. Isolator Silicone Rubber	8
E. Polusi pada isolator polimer	10
F. Polutan larut dan tak larur	11
G. Jenis kegagalan pada isolator	12
H. Mekanisme flashover secara kualitatif	13
1. Mekanisme Flashover	13
2. Mekanisme pembentukan lapisan pengotor	15
3. Proses pembasahan lapisan pengotor	16
4. Pembentukan pita kering (dry band)	17
5. Pelepasan muatan melalui pita kering	18
6. Pemanjangan busur api	19
I. Menentukan Sifat Kerja Isoalator	21
1. Pegertian Sifat Kerja	21
2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Flashover pada Isolator	21
3. Perubahan harga resistivitas permukaan Selama timbulnya busur api	24
J. Karakteristik Tegangan Flashover	24
1. Daerah dekat logam	26
2. Daerah Sisi Bawah	26
3. Bagian Permukaan Ssbelah Atas	27
4. Menentukan Kondisi Kritis	28
K. Roadmap Penelitian	30

L. Kerangka Konseptual	32
------------------------	----

### BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	33
B. Teknik penelitian	33
C. Waktu dan Lokasi Penelitian	36
D. Alat dan Bahan yang Digunakan	37
E. Sampel pengujian	44
F. Rancangan Penelitian	45
G. Parameter yang diukur	48

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Tegangan Flashover Secara Perkiraan Analitik dan Hasil Pengujian Laboratorium pada Isolator Resin Epoksi	50
1. Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik $V_c = V_c(\sigma_{sp})$ pada Isolator Resin Epoksi	50
2. Karakteristik Tegangan Flashover Pada Isolator Polimer Resin Epoksi Yang Terkontaminasi Polutan Garam NaCl	55
3. Perbandingan Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik Dengan Hasil Pengujian Laboratorium Untuk Isolator Resin Epoksi.	58

4. Hasil pengujian isolator Resin Epoksi yang terpolusi garam NaCl dan Kaolin	60
B. Karakteristik Tegangan Flashover Secara Perkiraan Analitik dan Hasil Pengujian Laboratorium pada Isolator Silicone Rubber.	61
1. Hasil Perkiraan Analitik Terhadap Karakteristik Tegangan Flashover Isolator Silicone Rubber $V_c = V_c (\sigma_s)$	61
2. Hasil Pengujian Laboratorium Terhadap Karakteristik Tegangan Flashover Isolator Silicone Rubber (SIR) Yang Terkontaminasi Polutan Garam NaCl.	65
3. Perbandingan Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik Dengan Hasil Pengujian Laboratorium Untuk Isolator Silicone Rubber (SIR)	69
4. Hasil pengujian isolator Silicone Rubber (SIR) yang terpolusi garam NaCl dan Kaolin	71
C. Perbandingan sifat kerja isolator hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian di laboratorium.	72
D. Pengaruh panas terhadap tegangan kritis	75
E. Pengaruh ketidak seragaman pengotoran .	77
F. Pengaruh jari-jari luar maksimum (rm) Terhadap tegangan kritis .	80

G. Pengaruh panjang jarak bocor sisi bawah Dan jarak bobor total terhadap tegangan kritis .	83
H. Pengaruh harga konstanta busur api A dan n Terhadap tegangan kritis flashover	85

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	86
B. Saran	87

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi polutan	23
Tabel 4.1	Data teknis isolator polimer Resin Epoksi	49
Tabel 4.2	Data teknis isolator polimer Silicone Rubber	50
Tabel 4.3	Data Isolator Polimer Resin Epoksi Yang dibutuhkan Untuk Perhitungan	51
Tabel 4.4	Konstanta isolator	52
Tabel 4.5	Hasil Perkiraan Analitik Tegangan Kritis Isolator polimer Resin Epoksi	54
Tabel 4.6	Data pengamatan untuk kontaminasi garam NaCl isolator Resin Epoksi	55
Tabel 4.7	Hasil pengujian tegangan flashover Resin Epoksi	56
Tabel 4.8	Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian untuk isolator resin epoksi	58
Tabel 4.9	Data hasil pengamatan untuk kontaminasi campuran kaolin 10 Gram dan garam (NaCl) pada isolator polimer Resin Epoksi	60
Tabel 4.10	Data Teknis Isolator Silicone Rubber (SIR)	61
Tabel 4.11	Konstanta Isolator	62
Tabel 4.12	Hasil Perkiraan Analitik Tegangan Kritis Isolator Polimer Silicone Rubber (SIR)	64
Tabel 4.13	Data pengamatan untuk kontaminasi garam NaCl Pada isolator SIR	66

Tabel 4.14	Hasil pengujian tegangan kritis untuk Isolator SIR	67
Tabel 4.15	Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian untuk isolator resin epoksi	69
Tabel 4.16	Data hasil pengamatan untuk kontaminasi campuran kaolin 10 Gram dan garam (NaCl) pada isolator SIR	71
Tabel 4.17	Tegangan kritis hasil pengujian untuk Isolator Resin Epoksi dan Silicone Rubber (SIR)	72
Tabel 4.18	Nilai tegangan kritis pada isolator polimer resin epoksi dengan memperhitungkan perubahan panas	75
Tabel 4.19	Nilai tegangan kritis pada isolator polimer silicone rubber dengan memperhitungkan perubahan panas	75
Tabel 4.20	Hasil perhitungan tegangan kritis pada isolator polimer resin epoksi dengan memperhitungkan pengaruh ketidakseragaman pengototoran	78
Tabel 4.21	Tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap jari-jari maksimum terluar ( $r_m$ )	81
Tabel 4.22	Tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap harga konstanta M	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang isolator piring	5
Gambar 2.2 Desain isolator polimer	7
Gambar 2.3 Struktur kimia isolator Resin Epoksi	8
Gambar 2.4 Struktur kimia isolator Silicone Rubber (SIR)	9
Gambar 2.5 Diagram alir mekanisme flashover	20
Gambar 2.6 Model sebuah isolator HUTT	25
Gambar 2.7 Blok diagram kerangka pikir penelitian	32
Gambar 3.1 Chamber atau Lemari uji	37
Gambar 3.2 Multi meter digital	38
Gambar 3.3 PC komputer dan aksesorisnya	38
Gambar 3.4 Panel pembagi tegangan	39
Gambar 3.5 Control desk	40
Gambar 3.6 Transformator tegangan tinggi	40
Gambar 3.7 Termometer dan kelembaman analog	41
Gambar 3.8 Konduktifitas meter	41
Gambar 3.9 Timbangan	42
Gambar 3.10 Ember	42
42	
Gambar 3.11 Konstruksi sampel isolator	43



Gambar 3.12 Bahan pengotoran polutan	44
Gambar 3.13 Gambar sampel isolator uji	45
Gambar 3.14 Diagram alir penelitian	47
Gambar 4.1 Gambar kurva $V_c = V_c(\sigma_s)$ untuk isolator resin epoksi	54
Gambar 4.2 Gambar 4.2 Kurva tegangan flashover hasil pengujian untuk isolator resin epoksi	57
Gambar 4.3 Kurva karakteristik hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian di laboratorium untuk isolator resin epoksi.	59
Gambar 4.4 Kurva Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik pada Isolator SIR	65
Gambar 4.5 Kurva Karakteristik Tegangan Flashover Isolator SIR Hasil Pengujian Di Laboratorium	68
Gambar 4.6 Kurva karakteristik tegangan flashover isolator SIR hasil perkiraan analitik dan pengujian di laboratorium	70
Gambar 4.7 Kurva perbandingan sifat kerja hasil perkiraan analitik dan hasil percobaan	73
Gambar 4.8 Tegangan kritis dengan berbagai macam faktor konduktifitas untuk isolator resin epoksi	76
Gambar 4.9 Tegangan kritis dengan berbagai nilai $\lambda$	79
Gambar 4.10 Tegangan kritis per unit panjang jarak bocor terhadap jari-jari maksimum isolator resin epoksi.	82
Gambar 4.11 kurva tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap M	84

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, sehingga keandalan dalam proses penyaluran energi listrik sangat diharapkan. Hal ini harus didukung dengan peralatan yang memadai sehingga semua sistem dapat bekerja secara optimal. Salah satu peralatan listrik yang memegang peranan dalam proses penyaluran energi listrik adalah isolator. Saat ini isolator yang banyak digunakan adalah isolator keramik dan gelas. Isolator jenis ini mempunyai rapat massa yang tinggi sehingga membebani menara transmisi karena beratnya isolator dan permukaan isolator yang mudah basah sehingga memungkinkan terjadinya arus bocor pada permukaannya. Karena kekurangan jenis isolator tersebut, maka banyak dikembangkan isolator polimer. Hal ini dikarenakan bahan polimer mempunyai sifat hidrofobik (menolak air) yang tinggi, rapat massa yang rendah, mudah dibuat karena tidak memerlukan suhu yang sangat tinggi dalam proses pembuatannya, mempunyai tingkat kerekatan yang tinggi dan lebih murah harganya.

Kegagalan kerja isolator yang digunakan pada saluran udara banyak disebabkan karena peristiwa kontaminasi yang dapat menyebabkan rugi-rugi energi dan degradasi permukaan isolator dan dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya flashover.

Untuk mengatasi kegagalan kerja isolator akibat flashover perlu mengetahui performa atau kinerja isolator yang akan digunakan pada sistem juga tingkat polusi yang akan dilalui oleh saluran transmisi. Performa isolator dapat ditinjau dari analisis terhadap karakteristik tegangan flashover dimana karakteristik tegangan flashover memberi gambaran hubungan antara tegangan flashover isolator sebagai fungsi dari konduktifitas permukaan isolator yang terkontaminasi. Performa atau kinerja isolator dapat diketahui dengan pengujian di laboratorium atau diperoleh melalui analisa matematis dengan berbagai pendekatan dan asumsi.

Dengan keadaan geografis dan iklim di Indonesia maka polutan berupa uap garam akan lebih berpengaruh dibandingkan debu atau asap pabrik. Lapisan polutan ini akan bersifat konduktif pada keadaan cuaca lembab, embun, dan hujan gerimis sehingga arus bocor akan mengalir dari kawat fasa jaringan ke tanah melalui lapisan konduktif yang menempel di permukaan isolator (Bonggas L. Tobing).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti memandang perlunya dilakukan penelitian tentang mekanisme dan kriteria flashover pada isolator polimer baik secara matematis maupun dengan pengujian tegangan flashover di laboratorium. Kedua hasil yang diperoleh akan dibandingkan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan isolator polimer yang akan digunakan pada sistem kelistrikan.

## **B. Rumusan Masalah**

Deskripsi masalah yang akan dikemukakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan performa atau kinerja isolator polimer yang terkontaminasi.
2. Bagaimana mekanisme flashover dan kriteria tegangan flashover isolator polimer yang terkontaminasi.
3. Bagaimana perbandingan kriteria tegangan flashover secara perkiraan analitik dengan hasil pengujian di laboratorium.
4. Bagaimana pengaruh polutan pada permukaan isolator polimer terhadap tegangan flashover pada pengujian di laboratorium.

## **C. Tujuan Penelitian**

Ada beberapa hal yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Menentukan kinerja isolator polimer yang terkontaminasi.
2. Menganalisis mekanisme flashover dan kriteria tegangan flashover isolator polimer yang terkontaminasi.
3. Menentukan besarnya tegangan flashover secara analitik/matematis kemudian membandingkan hasilnya dengan pengujian tegangan flashover di laboratorium.
4. Mengetahui pengaruh polutan garam dan kaolin pada permukaan isolator polimer terhadap tegangan flashover melalui percobaan di Laboratorium.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Dengan mengetahui mekanisme flashover dan kriteria tegangan flashover baik secara analitik maupun uji laboratorium maka kinerja isolator dapat ditentukan sehingga diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan isolator yang akan dipasang pada sistem kelistrikan sesuai keadaan lingkungan dimana isolator polimer dioperasikan.

#### **E. Batasan Masalah**

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Isolator yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah isolator polimer resin epoksi, dan Silicone Insulation Rubber (SIR).
2. Dalam penentuan performa atau kinerja isolator polimer yang terkontaminasi tidak dibahas mengenai proses partikel-partikel pengotoran yang melengket di permukaan isolator dan bagaimana menentukan tingkat pengotoran, hanya digunakan klasifikasi tingkat pengotoran menurut IEC, hal ini disebabkan beraneka ragamnya polusi yang dapat menempel pada permukaan isolator, sehingga menurut standar IEC tingkat pengotoran diekivalensikan dengan konduktivitas permukaan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

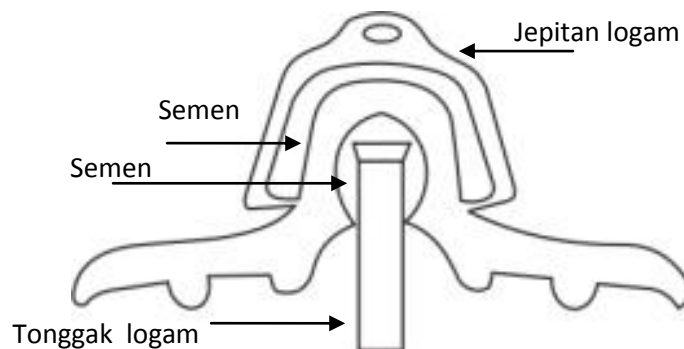
#### A. Isolator

##### I. Pengertian Isolator

Isolator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan atau ground secara elektrik dan mekanik. Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi & Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, isolator berfungsi untuk mengisolir kawat fasa dengan *tower* / ground.

##### II. Kontruksi dan Jenis Isolator

Bagian utama dari isolator terdiri dari bahan dielektrik, jepitan logam dan tonggak logam seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.1 Penampang isolator Piring**

Pada umumnya, bahan dielektrik isolator terbuat dari bahan porselin, gelas, dan kertas namun saat ini telah banyak dikembangkan isolator

dengan bahan polymer. Bahan dielektrik isolator harus memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan tidak dipengaruhi oleh kondisi di sekitarnya karena kekuatan dielektrik dari bahan isolasi sangat penting dalam hal menentukan kualitas isolator yang nantinya akan mendukung keseluruhan sistem tenaga listrik. Semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi semakin bagus kualitasnya.

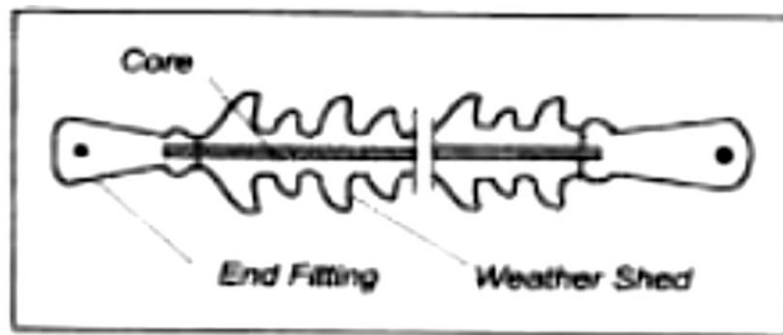
Berdasarkan lokasi pemasangannya, isolator terdiri dari isolator pasangan dalam (*indoor*) dan isolator pasangan luar (*outdoor*). Sedangkan berdasarkan konstruksinya isolator terdiri dari isolator pendukung (*isolator pin, post dan pin-post*) dan isolator gantung (*suspension*) yang terdiri dari isolator piring dan isolator silinder. Pada penelitian ini isolator yang akan diuji ada dua jenis yaitu isolator jenis *suspension* dan isolator jenis *post*. Kedua jenis Isolator ini banyak digunakan untuk jaringan hantaran udara bertegangan menengah dan tegangan tinggi (Bonggas L.Tobing, 2003).

## **B. Isolator Polimer**

Isolasi polimer mempunyai struktur kimia terdiri atas molekul makro rantai panjang dengan ulangan unit monomer yang biasanya diberi nama awalan *poly* pada muka monomer. Ada banyak bahan polimer yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan isolator antara lain yakni : *silicone rubber, ethylene propylene Rubber (EPR), Epoxy*

*Resins* (Ravi S. Gorur, Outdoor Insulation). Pada penelitian ini, isolator polimer yang diuji adalah isolator dengan bahan dasar resin epoksi dan silicone rubber.

Pada gambar 2.2 di bawah ini memperlihatkan komponen dasar isolator polimer yang terdiri dari *core* (inti), *weathersheds* (pembungkus) dan *Fitting* yang terbuat dari logam dan kedua ujungnya dihubungkan dengan *core*. (Ravi S.Gorur , Outdoor Insulation).



**Gambar 2.2 Desain isolator polimer**

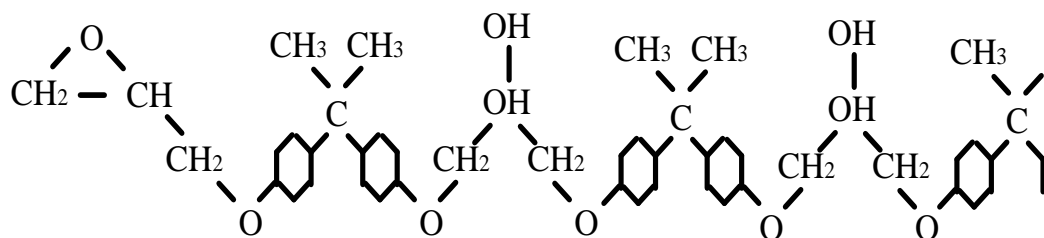
*Fitting* pada sebuah isolator polimer dirancang untuk mampu menahan beban yang berasal dari isolator. Sebuah *fitting* terbuat dari bahan logam tuang atau tempaan antara lain aluminium, tembaga, baja. *Fitting* pada isolator polimer berguna sebagai pemegang dari inti, dimana pada desainnya inti diletakkan pada posisi terjepit di dalam *fitting*. Inti (*core*) pada isolator polimer berguna untuk memperkuat atau menambah kekuatan mekanik dari isolator polimer. Inti (*core*) terbuat dari bahan



*fiberglass*, resin epoksi yang kemudian dibungkus *shed*. (Abdul syukur dan M. Ervan Dwi Setiaji, 2010)

### C. Resin Epoksi (Epoxy Resins)

Epoxy secara luas digunakan untuk pelindung peralatan distribusi seperti *bushing* transformator, *fused cut-out*, isolator, *switch*, dll. Ada dua jenis bahan epoxy yang telah digunakan untuk bagian luar isolator (*housings*) yaitu *bisphenol* dan *cycloaliphatic epoxy*. *Cycloaliphatic epoxy* adalah jenis yang sering dipakai untuk pelindung peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Gambar di bawah menunjukkan ikatan kimia dari bahan epoksi



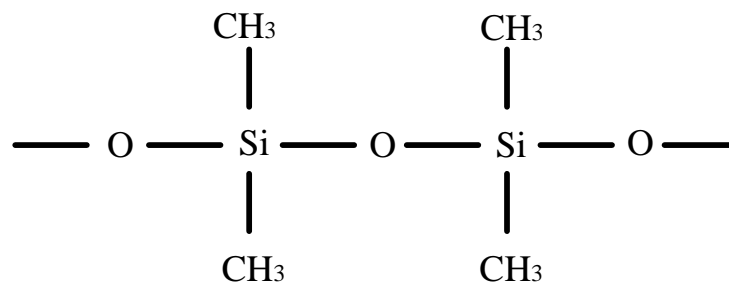
**Gambar 2.3 Struktur kimia dari Resin Epoxy**

### D. Silicone Rubber

Silicone Rubber merupakan salah satu bahan polimer yang kemampuan kontaminasinya tinggi dikarenakan sifat hidrofobiknya yang tinggi, ringan bobotnya dan pembentukannya mudah. Bahan silicone rubber juga mampu memulihkan (*recovery*). Pemindahan transfer sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi akibatnya lapisan polusi ikut bersifat

hidrofobik sehingga pada saat hujan atau lembab tidak terbentuk lapisan air, akibatnya konduktivitas permukaan isolator tetap rendah dengan demikian arus bocor sangat kecil. (Ravi S. Gorur, Outdoor Insulation)

Struktur kimia silicone rubber terdiri dari suatu tulang punggung silicone yang lebih fleksibel dibandingkan polimer lainnya. Di bawah ini memperlihatkan struktur kimia silicone rubber.



**Gambar 2.4 Struktur Kimia Silicone Rubber**

Jarak ikatan Si-O sekitar 1,64<sup>o</sup>A yang lebih panjang dibandingkan jarak ikatan C – C sekitar 1,5<sup>o</sup> A yang banyak ditemukan pada polimer organik. kemudian susunan ikatan Si-O-Si (180<sup>o</sup>-θ) -143<sup>o</sup> lebih terbuka bila dibandingkan tetrahidrat biasa (-110<sup>o</sup>) yang berperan meningkatkan keseimbangan, dengan demikian ikatan membentuk suatu bentuk yang rapat ketika keadaan tergulung acak, dan rantai silicone yang terdapat metil mampu meluruskan sendiri untuk bersekutu menghasilkan hidrofobik pada permukaanya. Namun kekuatan mekanik silicone rubber sangat rendah tanpa ada bahan pengisi karena gaya antar molekulnya rendah.

### **E. Polusi pada Isolator Polimer**

Isolator yang terpasang pada tempat terbuka (*Outdoor Insulator*) lebih banyak mengalami persoalan polusi dibandingkan isolator yang terpasang dalam ruangan (*Indoor Insulator*). Polutan dapat menempel pada permukaan isolator sejak isolator terpasang di ruang terbuka. Polutan yang menempel akan bersifat konduktif pada keadaan cuaca lembab atau basah. Dalam keadaan lembab atau basah, arus bocor dapat mengalir pada permukaan isolator. Jika keadaan seperti ini terus menerus berlangsung maka dapat memicu terjadinya flashover pada seluruh permukaan isolator.

Intensitas polutan pada isolator tergantung pada tingkat pencemaran udara dan unsur poluan yang tergantung dalam udara yang menerpa isolator. Berdasarkan sumbernya, polusi pada isolator dibagi empat kategori, yaitu :

1. Polusi dari laut, contohnya garam-garam seperti Natrium Clorida ( $\text{NaCl}$ ), Magnesium Chlorida ( $\text{MgCl}$ ) dan Natrium Nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ).
2. Polusi dari Industri seperti asap dari cerobong pabrik dan debu dari pabrik semen atau tambang.
3. Polusi dari daerah padang pasir dapat berupa gabungan dari uap garam yang terbawa angin dan debu dari padang pasir.

4. Polusi dari gunung berapi, polutan ini berasal dari letusan gunung berapi yang mengeluarkan berbagai macam partikel-partikel seperti *silica* ( $\text{SiO}_2$ ) dan *aluminatrihidrat* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

#### **F. Polutan Terlarut dan Tak Larut**

Zat polutan yang mempengaruhi ketahanan permukaan suatu isolator dapat dikategorikan menjadi dua komponen yaitu komponen yang bersifat larut dan komponen yang tidak larut. Komponen yang bersifat larut merupakan komponen konduktif yang terdiri dari garam-garam yang dapat terurai menjadi ion-ion dalam suatu larutan, seperti Natrium Chlorida ( $\text{NaCl}$ ), Magnesium Chlorida ( $\text{MgCl}$ ) dan Natrium Nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ). Lapisan garam yang menempel pada permukaan luar isolator akan menyebabkan resistivitas isolator menurun atau konduktivitas isolator naik. Kuantitas garam yang menempel pada permukaan isolator disebut ESDD (Equivalent Salt Deposit Density) yang menyatakan banyaknya deposit polutan larut per luas area ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ).

Komponen tak larut adalah bagian dari zat padat yang tidak dapat menjadi ion-ion dalam larutan, tetapi komponen ini dapat mengurangi ketahanan listrik pada isolator, seperti debu, tanah liat (kaolin), tonoko, dan bentonit. Polutan jenis ini diawali oleh parameter NSDD (Non-Soluble Salt Deposit Density) yang menyatakan banyaknya deposit polutan tak larut per luas area ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ).

### **G. Jenis Kegagalan pada isolator**

Ada dua kejadian yang dapat menyebabkan isolator gagal melaksanakan fungsinya yakni terjadinya tembus listrik pada udara di sekitar permukaan isolator (*Flashover*) dan tembus listrik yang menyebabkan isolator pecah (*break down*). Flashover atau proses pelepasan muatan (*discharge*) yang merayap pada bidang batas tergantung pada tahanan permukaan isolator dan bentuk isolatornya.

Kegagalan isolator dalam bentuk Flashover lebih memegang peranan penting dari pada bentuk kegagalan tembus. Semua isolator dirancang sedemikian hingga tegangan tembusnya jauh lebih tinggi dari tegangan flashovernya. Jadi, kekuatan dielektrik isolator ditentukan oleh tegangan flashovernya. Kekuatan dielektrik dan nilai tegangan yang dapat dipikul isolator tanpa terjadi flashover dapat diperkirakan dari tiga karakteristik dasar isolator yakni tegangan flashover bolak-balik pada keadaan kering, tegangan flashover bolak-balik pada keadaan basah, dan karakteristik tegangan-waktu yang diperoleh dari tegangan surja standar (Bonggas L. Tobing). Pada penelitian ini yang akan dibahas adalah mengenai kegagalan Flashover isolator polimer yang terkontaminasi polutan garam dan kaolin (tanah liat).

## **H. Mekanisme Flashover secara kualitatif**

*Flashover* adalah gangguan eksternal yang terjadi pada permukaan isolator atau proses loncatan api pada permukaan suatu isolator yang disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya suhu, kelembaban, dan lingkungan sekitarnya (debu, asap pabrik dan polutan garam). Tegangan *flashover* adalah nilai atau ukuran tegangan yang dapat ditahan isolator sampai terjadinya lompatan api / *flashover*. (Bahri Syamsul, UGM 2005).

### **I. Mekanisme Flashover**

Isolator yang dipasang diluar ruangan tidak dapat terhindar dari pengotoran karena debu, uap garam, kotoran burung dan partikel lainnya yang menempel pada permukaan isolator selama berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun. Keadaan ini tidak begitu berpengaruh pada performa isolator, tetapi jika permukaan isolator yang terpolusi menjadi basah, misalnya disebabkan oleh embun, kabut, atau hujan gerimis, sehingga kotoran akan bersifat konduktif. Hal ini mengakibatkan turunnya resistifitas dari tahanan permukaan isolator sehingga arus listrik akan mengalir pada permukaan ini dan mempunyai kerapatan arus bocor yang tinggi pada beberapa daerah, biasanya terjadi pada tempat-tempat yang sempit dari isolator.

Daerah-daerah ini akan cepat kering dibandingkan dengan daerah-daerah lain pada permukaan isolator dan kemudian daerah ini akan menaikkan resistansi, dan hal ini menyebabkan disipasi daya di daerah tersebut bertambah besar dan kondisi tak stabil yang secara cepat membentuk daerah “pita kering” mengelilingi isolator.

Terbentuknya daerah kering ini akan menyebabkan gangguan medan listrik disepanjang permukaan yang melebihi kuat medan listrik normal, sehingga terjadi percikan (spark over) hingga menimbulkan pelepasan muatan di daerah tertentu sepanjang permukaan isolator.

kemudian, apakah pelepasan-pelepasan muatan ini terjadi *continues* dan semakin panjang atau tetap dan kemudian padam yang untuk selanjutnya disebut criteria flashover yang akan dibahas pada penelitian ini.

## **II. Mekanisme Pembentukan Lapisan Pengotor**

Sebagian besar zat pengotor, baik yang bersifat konduktif maupun bersifat lembab dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Hal ini berarti bahwa arah angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan pada permukaan isolator. Pada daerah yang mempunyai arah angin relatif tetap, maka tumpukan

zat pengotor biasanya lebih banyak terdapat di daerah permukaan isolator yang bentuknya tidak beraturan.

Pengumpulan partikel-partikel yang dibawa angin sangat dipengaruhi oleh besarnya medan elektrostatik terutama pada bagian-bagian yang mengalami stress tegangan besar, yaitu sekitar pasak gantungan isolator. Medan elektrostatik akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator.

Berdasarkan lama pembentukan lapisan pengotor pada permukaan isolator, proses pengotoran dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu pengotoran cepat (*rapid pollution*) yang terjadi pada keadaan angin kencang seperti topan, badai, hujan batu dsb. Polusi dapat mengumpul pada permukaan isolator dengan cepat dan pengotoran biasa (*ordinary pollution*) yaitu pengotoran yang berlangsung lama.

### ***III. Proses pembasahan Lapisan Pengotor***

#### **a. Kondensasi (Pengembunan)**

Pengembunan terjadi bila temperatur permukaan isolator lebih rendah dari titik air untuk kondisi cuaca tertentu. Pada malam hari dalam keadaan cuaca cerah, permukaan isolator akan kehilangan panas melalui proses radiasi. Jika permukaan



terus turun hingga lebih kecil dari titik pengembunan akan terbentuk titik-titik air (embun) pada permukaan isolator.

b. Tumbukan butiran-butiran air dengan permukaan isolator

Kondisi kabut akan tercapai jika kelembaban udara relatif 100% dan kelebihan kelembaban membentuk butiran-butiran kecil yang membasahi permukaan jika bersentuhan. Butiran-butiran air ini dipengaruhi oleh kekuatan gravitasi yang menyebabkan turun sebagai hujan rintik-rintik. Laju pembasahan tergantung pada kerapatan tetesan, arah dan kecepatan gerak angin.

c. Penyerapan air oleh lapisan pengotor

Pembasahan ini terjadi melalui lapisan pengotor yang bersifat menyerap air dari udara tetapi tidak terjadi reaksi kimia. Butiran-butiran air yang menyentuh permukaan lapisan dengan cepat meluas ke seluruh permukaan isolator lalu diserap.

d. Difusi Kimia

Tekanan uap suatu cairan ditentukan oleh suhunya. Jika ia berada dalam keadaan murni. Sedangkan dalam bentuk larutan, tekanan uapnya ditentukan oleh konsentrasi dan temperaturnya. Air pada permukaan isolator melarutkan zat pengotor pada lapisan sehingga konsentrasi larutan pada

permukaan isolator berbeda dengan konsentrasi larutan pada udara sekitarnya. Perbedaan ini menyebabkan terjadinya proses difusi. Jika konsentrasi larutan pada permukaan isolator lebih tinggi dari konsentrasi larutan udara sekitarnya, maka uap akan tertarik oleh lapisan permukaan isolator. Air yang terserap ini akan membuat larutan menjadi encer sehingga menurunkan perbedaan konsentrasi. Akibatnya laju penyerapan air menurun. Pembasahan oleh difusi kimia ini dapat diabaikan.

#### **IV. *Pembentukan Pita Kering (dry band arcing)***

Dalam prakteknya, studi tentang permukaan pita kering sangat rumit karena dipengaruhi oleh faktor geometri isolator. Ketidak seragaman pengotor, dan keanekaragaman keadaan lingkungan. Persoalan ini dapat dipermudah dengan menggunakan suatu isolator datar yang permukaannya dikotori merata sehingga prinsip pembentukan pita kering dapat diterapkan.

Peristiwa penguapan air merupakan awal dari pembentukan pita kering. Perbedaan temperatur 2-3°C di atas temperatur lingkungan sudah cukup untuk mengawali pembentukan pita kering. Penguapan air akan menurunkan ketebalan lapisan dan menaikkan resistivitas permukaan pengotor.

Pemanasan oleh arus bocor akan menaikkan temperatur lapisan. Nilai temperatur lapisan pengotor telah mengalami flashover hingga tercapai temperatur kritis, maka proses penguapan akan menyebabkan kenaikan resistivitas lapisan pengotor. Jika pemanasan lebih lanjut tidak menyebabkan kenaikan temperatur lagi, berarti telah tercapai keadaan jenuh dari proses pengeringan selesai. Terbentuklah pita kering pada permukaan isolator.

Dari hasil percobaan yang dilakukan Leoberg dan Salthouse, dibuktikan bahwa makin rendah resistivitas suatu permukaan isolator makin kecil pula tegangan yang diperlukan untuk memulai pembentukan pita kering. Karena resistivitas listrik yang rendah merupakan penghantar panas yang baik dan mempercepat kenaikan temperatur dan pembentukan pita kering. Berarti pada tegangan yang tetap, kenaikan konduktivitas permukaan akan mempercepat pembentukan lapisan pengering.

#### ***V. Pelepasan muatan melalui pita kering***

Terbentuknya pita kering akan membuat distribusi tegangan pada permukaan isolator semakin tidak merata. Nilai tahanan pita kering jauh lebih besar dibanding tahanan bagian permukaan isolator lainnya. Jika beberapa pita kering terbentuk, biasanya dalam beberapa detik sebuah pita kering menjadi yang

paling dominan dan menahan hampir seluruh tegangan yang diberikan. Lebar pita kering akan terus berubah sampai stress tegangan yang ditahannya cukup untuk memulai pelepasan muatan melalui pita kering.

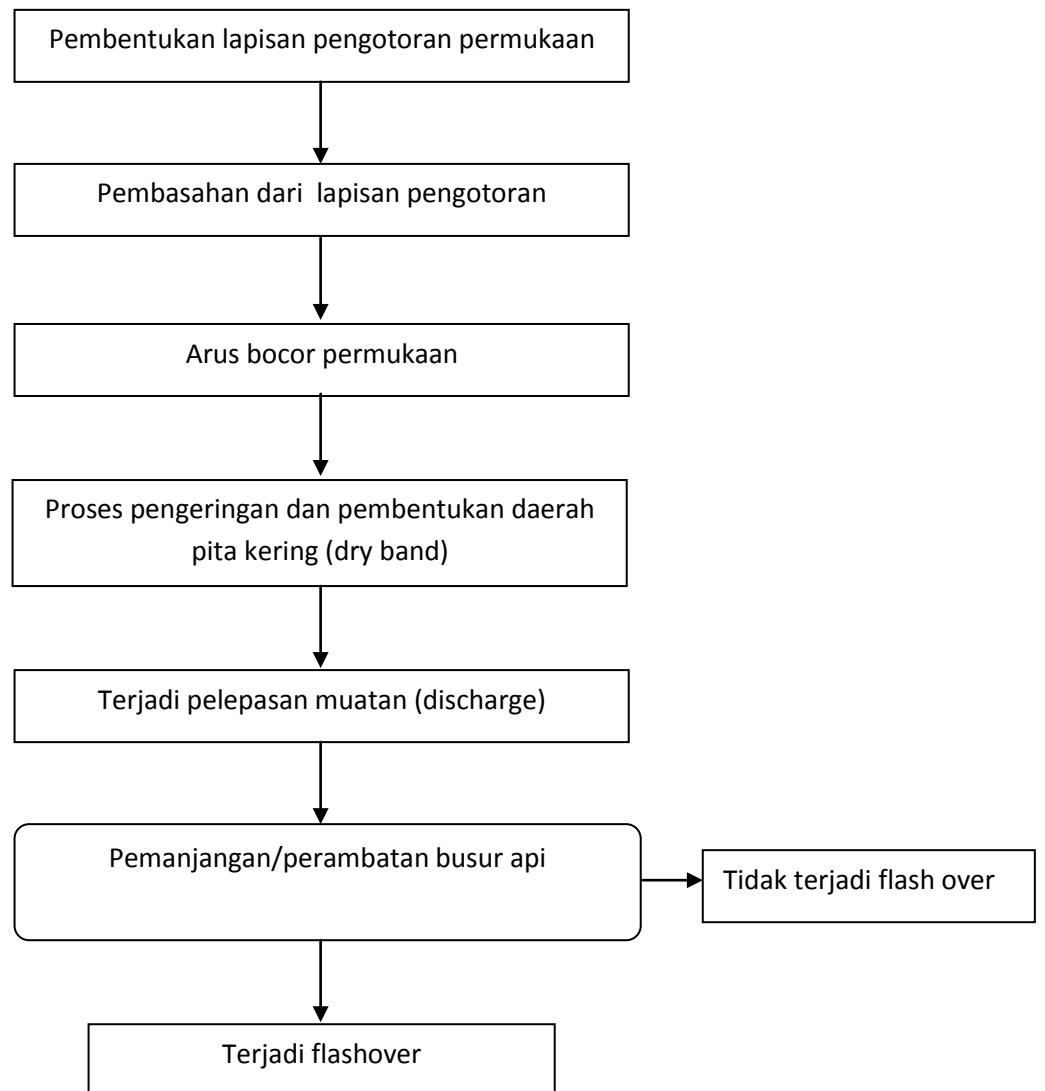
#### **VI. *Pemanjangan busur pelepasan muatan***

Busur pelepasan muatan yang melintasi pita kering dapat memanjang melingkupi seluruh permukaan isolator, sehingga terjadi flashover pada permukaan isolator.

Walkins dan Baghdad mengemukakan suatu teori mekanisme perpanjangan busur pelepasan muatan yang diberi nama Discharge Elongation by ionisasi and Succesive Formation, yaitu perpanjangan busur pelepasan muatan dengan ionisasi dan pembentukan akar secara berturut-berturut. Teori ini menyatakan bahwa pemanjangan busur disebabkan oleh jejak ionisasi baru yang timbul pada ujung busur pelepasan muatan. Ionisasi baru ini akibat pengaruh temperatur dan medan listrik yang timbul pada daerah tersebut sangat tinggi. Arus akan mengalir melalui jejak ionisasi di muka ujung busur. Konduktifitas jejak ionisasi baru akan naik dengan pembesaran arus yang mengalir, sementara konduktifitas jejak-jejak elektrolit tetap. Jadi secara perlahan-lahan arus total akan dialirkan ke jejak ionisasi

baru. Peristiwa ini menghasilkan pemanjangan busur berlangsung secara diskrit.

Untuk lebih jelasnya mengenai mekanisme terjadinya flashover secara kualitatif dapat dilihat pada gambar 2.5 yang menunjukkan diagram aliran dari jalannya flashover.



**Gambar 2.5 Diagram alir Mekanisme flashover.**

## I. Menentukan Sifat Kerja Isolator

### I. Pengertian sifat kerja

Yang dimaksud sifat kerja yaitu merupakan karakteristik dari tegangan kritis ( $V_c$ ) terhadap konduktifitas permukaan ( $\sigma_s$ ) dimana tegangan kritis sebagai ordinat dan konduktifitas permukaan sebagai absis yang selanjutnya disebut karakteristik tegangan Flashover.

Karakteristik ini diperoleh atas dasar kriteria Flashover yang telah diselidiki oleh peneliti sebelumnya (Hampton dan L.L Alston) tetapi pada penelitian ini, bentuk isolator yang digunakan adalah isolator gantung polimer hantaran udara tegangan tinggi. Tidak seperti bentuk silinder yang sederhana seperti pada percobaan sebelumnya.

Untuk itu maka perlu melihat faktor-faktor lain yang mempengaruhi performa isolator karena pengotoran.

### II. Faktor-faktor yang juga mempengaruhi flashover pada isolator

Ada beberapa factor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan karakteristik tegangan flashover karena pengotoran pada isolator, faktor-faktor tersebut diabaikan dalam penelitian sebelumnya antara lain :

## 1. Faktor bentuk

Beraneka ragamnya bentuk isolator menjadikan cukup sulit untuk menentukan harga tahanan permukaan. Jika bentuk-bentuk isolator masih mempunyai sumbu simetris dan mempunyai pengotoran yang seragam harga resistansi diantara dua elektroda masih dapat ditentukan dengan persamaan :

$$R = \rho_s \int_0^L \frac{dl}{2\pi r(l)} \quad \text{ohm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R = harga tahanan yang diukur (  $\Omega$  )

$\rho_s$  = Resistansi permukaan =  $\frac{1}{\sigma_s}$

L = Total jarak rambat isolator

$l$  = jarak dari bagian bocor isolator

$r(l)$  = jari-jari isolator pada jarak  $l$

## 2. Pengaruh polutan

Polutan yang terkandung di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan berangsur-angsur dapat membentuk suatu

lapisan tipis pada permukaan isolator. Unsur polutan yang paling berpengaruh terhadap unjuk kerja isolator adalah garam yang terbawa angin laut.

Klasifikasi polutan pada permukaan isolator ditentukan oleh besarnya ESDD, seperti ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah (Bonggas L. Tobing, 2003)

**Tabel 2.1 Klasifikasi polutan IEC No.815: 1986**

Tingkat Bobot Polutan	JRS (mm/KV)	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )
Ringan	16	0,03 - 0,06
Sedang	20	0,1 - 0,2
Berat	25	0,3 - 0,6
Sangat Berat	> 30	> 0,8

Untuk menentukan tingkat polutan di alam akan digunakan besaran yang menyatakan equivalent dari polutan pada permukaan isolator, yaitu besaran konduktifitas permukaan ( $\sigma$ ) dalam satuan mikro Siemens ( $\mu_s$ ).

Keadaan pengotoran permukaan isolator tidaklah seragam, karena permukaan isolator yang kotor bagian atas lebih mudah



dibersihkan oleh air hujan atau angin sedangkan bagian bawah atau bagian terlindungi kadangkala tidak dicapai secara pembersihan alami.

### 3. Perubahan harga resistifitas permukaan selama timbulnya busur api

Tahanan pengotoran yang dekat (seri) dengan busur api akan mengalami perubahan harga resistifitas yang disebabkan oleh panas yang ditimbulkan oleh pelepasan muatan busur api.

Jika arus bocor telah mengalir pada permukaan maka resistifitas dari kotoran akan berubah dan menjadi lebih panas dari temperatur ruang apalagi untuk daerah yang menempel dengan busur api maka panas yang ditimbulkan akan cepat merubah harga resistifitasnya.

Konduktifitas permukaan akan berubah dengan factor

$$cf = \frac{\sigma_p}{\sigma_d} \dots\dots\dots (2.2)$$

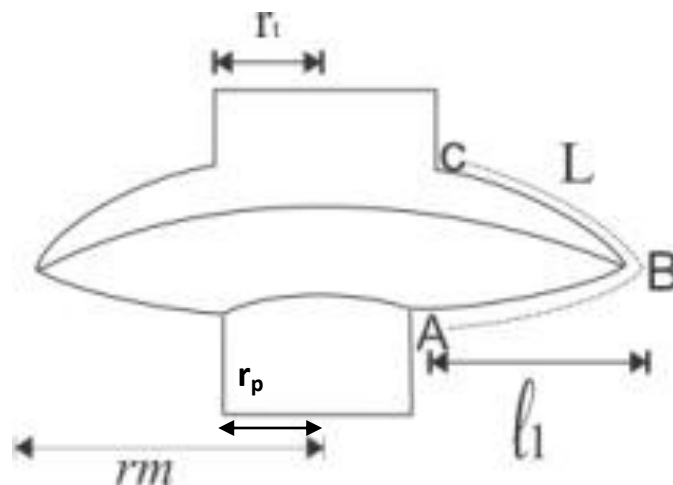
dimana :

$\sigma_p$  = lapisan konduktifitas permukaan dalam keadaan panas ( $\mu_s$ )

$\sigma_d$  = lapisan konduktifitas permukaan dalam keadaan dingin ( $\mu_s$ )

## J. Karakteristik Tegangan Flashover

Karakteristik tegangan flashover memberi gambaran hubungan antara konduktifitas permukaan isolator terhadap besarnya tegangan flashover isolator. Dengan melihat factor-faktor yang mempengaruhi flashover isolator maka untuk mendapatkan karakteristik flashover dari sebuah isolator dapat dibuat sebuah model yang dapat digambarkan pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.6 Model sebuah isolator SUTT**

Dimana :

$R_t$  = jari-jari logam penjepit

$R_p$  = jari-jari logam bawah

$R_m$  = jari-jari maksimum terluar isolator

$l_1 = ML$  = Total bagian bawah dari jarak rambat isolator

$L$  = Total jarak rambat isolator

$M$  = konstanta

Di dalam model ini tegangan total yang dipakai akan dibagi menjadi tiga bagian dengan anggapan bahwa permukaan isolator yang terpolusi berbeda pada tiap bagian daerahnya. Pembagian daerah tersebut adalah daerah dekat logam, daerah permukaan isolator sebelah atas, dan daerah permukaan sebelah bawah. Total ketiga tegangan pada masing-masing bagian adalah tegangan kritisnya. Dengan menghitung tegangan kritis akan diperoleh karakteristik tegangan flashover isolator.

#### I. Daerah dekat logam

Daerah ini adalah daerah dekat logam, karena mempunyai konsentrasi arus yang tinggi maka daerah ini akan terjadi pengeringan yang cepat sehingga membentuk pita kering dan selanjutnya diikuti dengan timbulnya busur api x.

Tegangan didaerah ini akan mencapai  $V_1$  yang diberikan oleh persamaan :

$$V_1 = AX_{\text{arc}}I^n \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$V_1$  = tegangan di daerah dekat logam (Volt)

X = panjang busur api

I = Arus busur api (Amper)

A dan n = konstanta busur api

#### II. Daerah sisi bawah

Daerah ini dimulai dari ujung busur api sampai pinggir permukaan isolator sebelah bawah. Resistansi dari daerah ini diasumsikan besarnya menjadi bertambah dengan konduktifitas faktor (cf), mengingat daerah ini dekat dengan busur api sehingga perubahan temperatur menjadi cukup besar. Daerah ini dimulai dari panjang mula X sampai panjang  $l_1 = ML$ , yaitu daerah bocor yang dilindungi (permukaan isolator sebelah bawah). Jatuh tegangan di daerah ini diberikan oleh persamaan :

$$V_2 = I \cdot cf \cdot \rho_{sp} \int_{l_1}^L \frac{dl}{2\pi r_1} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$V_2$  = tegangan didaerah sisi bawah (Volt)

$r_1$  = jari-jari pada tiap titik permukaan isolator yang dilindungi

$\rho_{sp}$  = tahanan permukaan pada permukaan yang dilindungi ( $\Omega$ )

$dl$  = elemen dari bagian arus bocor

### III. Bagian permukaan sebelah atas

Daerah ini diasumsikan mempunyai resistifitas permukaan tetap, karena di daerah ini tidak timbul busur api. Daerah ini dimulai dari  $l_1 = ML$  sampai L. persamaan tegangan di daerah ini diberikan oleh :

$$V_3 = I \cdot \rho_{st} \int_{l_1}^L \frac{dl}{2\pi r_2} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$V_3$  = tegangan pada bagian permukaan atas isolator

$r_2$  = jari-jari pada tiap titik permukaan sebelah sisi atas

$\rho_{st}$  = resistifitas permukaan di sisi tepi (piring sebelah atas)

#### IV. Menentukan kondisi kritis

Dengan melihat pembagian daerah seperti tersebut di atas maka dari persamaan 2.2, 2.3, dan 2.4 dapat dituliskan manjadi satu persamaan yaitu :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Volt} \quad (2.6)$$

Dengan memasukkan harga konstanta untuk

$$l_1 = ML, \quad r_m = BL, \quad \lambda = \frac{\rho_{st}}{\rho_{sp}}, \quad (2.6a)$$

$$r_1 = r_m \cdot \frac{L}{l_1}, \quad r_2 = r_m - a(L - l_1) \quad (2.6b)$$

kedalam persamaan (2.5), maka persamaan 2.5 menjadi

$$V = AXI^{-n} + DI \quad (2.7)$$

Dimana

$$D = (M \text{ cf} \cdot \frac{\rho_{sp}}{2B}) \cdot \left\{ \ln\left(\frac{ML}{x}\right) + \left(\frac{B}{a M \text{ cf}} \ln\left(\frac{B}{B+a(M-1)}\right)\right) \right\} \dots \quad (2.8)$$

Untuk menentukan kondisi listrik kritis kita akan menggunakan kriteria flashover yaitu dengan mencari harga ekstrim dari persamaan 2.6.

jika  $\frac{dV}{dI} = 0$ , maka diperoleh

$$I_m = \left(\frac{nAx}{D}\right)^{\frac{1}{(n+1)}} \text{ Ampere} \quad (2.9)$$

Dari persamaan 2.8 dan 2.6 maka diperoleh

$$V_m = (1 + n) (A.X)^{\frac{1}{(n+1)}} \left(\frac{D}{n}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \text{ Volt} \quad (2.10)$$

Dari persamaan 2,9,  $V_m$  akan mempunyai harga maksimum jika  $\frac{dV_m}{dx} = 0$  pada  $X = X_c$ , yang diberikan oleh persamaan

$$X_c = \frac{MLF}{e^n} \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

Dimana

$$F = \frac{B^q}{[B+a(M-1)]} \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

$$q = \frac{\lambda B}{a.M.cf} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sehingga dari persamaan 2.9 dan 2.10 akan didapat kondisi listrik kritis yaitu merupakan criteria dari flashover pada pengotoran isolator yang tak seragam, persamaan akan menjadi

$$V_c = ML^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot (n + 1)(AF)^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot \left(\frac{cf}{2nBe}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \times \rho_{sp}^{\frac{n}{(n+1)}} \text{ Volt} \quad (2.14)$$

Untuk melihat bagaimana pengaruhnya besaran-besaran tersebut terhadap tegangan kritis flashover dapat disederhanakan menjadi

$$V_c = ML(n + 1) (AF)^{\frac{1}{(n+1)}} \left(\frac{cf}{2\pi r_m e}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \rho_{sp}^{\frac{n}{(n+1)}} \text{ Volt} \quad (2.15)$$

Dengan didapatnya persamaan 2.15 maka karakteristik flashover dapat ditentukan, demikian pula tegangan kritisnya dapat ditentukan atau diperkirakan.

### K. RoadMap Penelitian

Beberapa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian dalam tesis ini yaitu :

Penelitian mengenai “ Mekanisme Lewat Denyar untuk Menentukan Sifat Kerja Isolator yang terkena pengotoran” oleh Busono (1982) yang membandingkan sifat kerja isolator yang terkena pengotoran secara

matematis dan pengujian pengotoran isolator di laboratorium. Pada penelitian ini isolator yang diujikan di Laboratorium adalah Isolator keramik jenis suspension.

Penelitian mengenai “ Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan dipercepat”. Oleh Mustamin (2010) yang meneliti karakteristik arus bocor permukaan isolator polimer di bawah pengaruh multi tekanan buatan dan membandingkannya dengan arus bocor permukaan isolator ceramic.

Penelitian yang dilakukan oleh Hafizh Rahman (2010) mengenai “ Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) Terhadap Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator Berbahan Resin Epoksi Silane dengan Pengisi Bahan Pasir Silika “. Dalam penelitian ini dilakukan pada 2 isolator yang memiliki sirip yang berbeda, yaitu masing-masing Besar-Kecil-Besar (BKB) dan Besar-Besar-Besar (BBB) dengan lapisan dan tanpa lapisan. Jadi membandingkan tegangan flashover dan arus bocor pada masing-masing jenis sirip dalam keadaan basah dan kering, berlapis dan tidak berlapis dengan tingkat polutan yang berbeda.

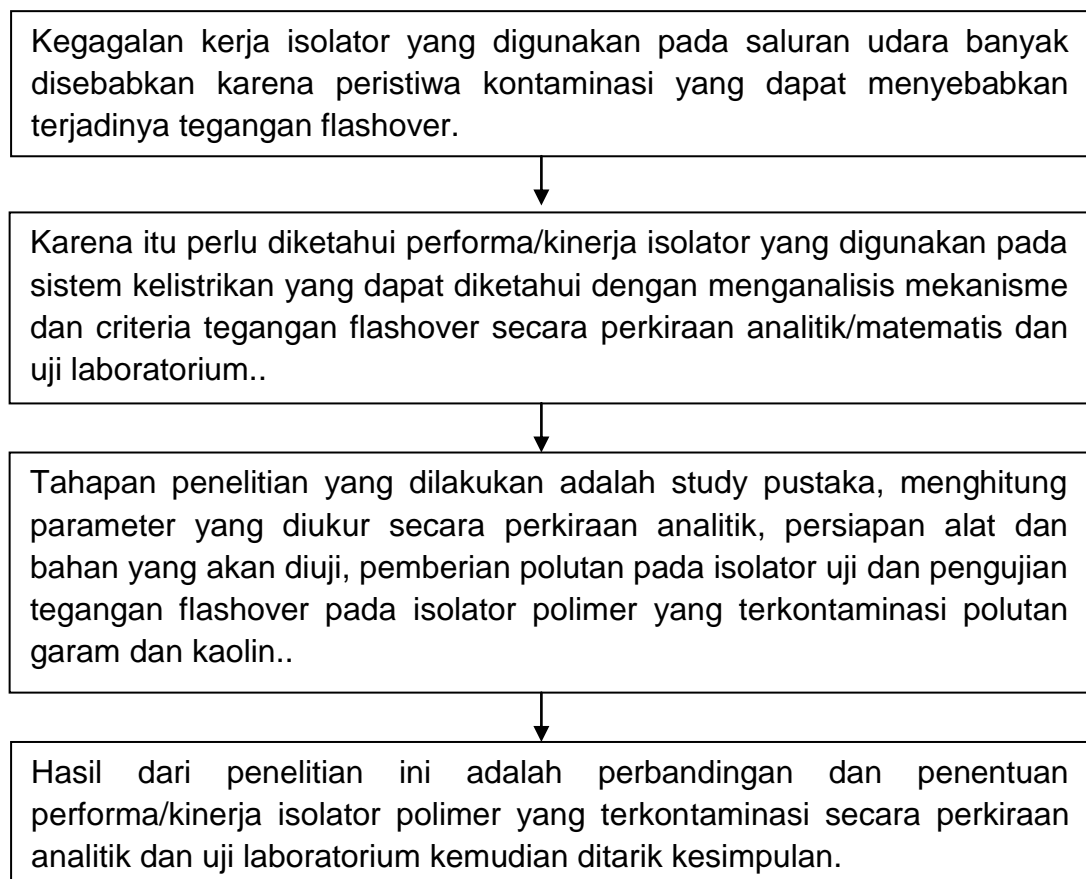
Perbedaan penelitian saya dengan penelitian sebelumnya yakni untuk roadmap yang pertama penelitiannya menggunakan isolator keramik sedangkan yang akan saya uji adalah isolator polimer. Perbedaan roadmap ke-2 dengan penelitian ini yaitu penelitian sebelumnya tidak menganalisis tegangan flashover secara matematis hanya dengan pengujian laboratorium sedangkan penelitian saya menganalisis



karakteristik tegangan flashover isolator polimer dengan matematis dan membuat program MatLab sehingga pengguna dengan mudah mengetahui karakteristik tegangan flashover isolator dengan hanya memasukkan variabel-variabel teknis yang dibutuhkan isolator.

#### L. Kerangka Konseptual

Kerangka pikir penelitian ini ditunjukkan dalam blok diagram pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.7 Blok diagram kerangka pikir penelitian**

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini adalah jenis penelitian kuantitatif dan eksperimental yaitu studi literatur untuk menganalisis mekanisme dan karakteristik flashover secara perkiraan analitik kemudian hasil yang diperoleh akan menjadi acuan dan perbandingan dari pengujian tegangan flashover isolator polimer yang akan dilakukan di laboratorium.

#### **B. Teknik Penelitian**

Teknik penelitian yang digunakan adalah :

##### I. Studi literatur

Studi literatur dilaksanakan pada tahap awal hingga berjalannya penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi terkait penelitian yang dilakukan baik dari buku, jurnal maupun contoh-contoh Tugas Akhir.

##### II. Teknik Perhitungan dan Pengujian

###### 1. Teknik Perhitungan

Perhitungan karakteristik tegangan flashover secara matematik dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.15 dengan memodelkan isolator resin epoksi dan silicone rubber.

Di dalam model ini tegangan total yang dipakai dibagi tiga bagian dengan anggapan bahwa pengotoran permukaan berbeda untuk daerah permukaan yang dekat dengan logam, permukaan sebelah atas dan permukaan sebelah bawah.

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan karakteristik tegangan flashover adalah :

- 1) Total jarak rayap (Creepage distance) =  $L$
- 2) Jarak rayap sebelah bawah (Protect Creepage Distance) =  $l_1$
- 3) Jari-jari piring ( $r_m$ )
- 4) Jari – jari logam pengait ( $r_t$ )

Pengolahan hasil perkiraan analitik dilakukan dengan bantuan program excel dan Matlab. Dengan Matlab kami coba membuat interface dari rumus-rumus yang ada sehingga memudahkan pengguna untuk memperoleh nilai tegangan kritis dengan hanya memasukkan parameter-parameter isolator yang dibutuhkan.

## 2. Teknik Pengujian

Pengujian dilakukan agar diperoleh hasil yang selengkap mungkin memberi gambaran kinerja isolator yang diuji dengan kondisi yang diterapkan di laboratorium.

Tahapan-tahapan pengujian tegangan flashover di laboratorium dapat dirincikan sebagai berikut :

- 1) Pemberian larutan pengotor dengan prosedur sebagai berikut :
  - a. Berat garam ditimbang terlebih dahulu sebesar 25 gram
  - b. Larutkan garam pada air bersih dalam sebuah wadah pencelup isolator.
  - c. Ukur konduktivitas dari larutan pengotor
  - d. Ke dua Isolator uji direndam selama 1 jam pada larutan pengotor.
- 2) Setelah isolator uji direndam kemudian dimasukkan dalam lemari pengujian dan digantung pada masing-masing pengaitnya, menaikkan tegangan 15 kV/Jam sampai terjadi flashover pada isolator.
- 3) Cuci bersih isolator uji kemudian ulangi prosedur 2 dan 3 untuk konsentrasi garam yang berbeda (konsentrasi dinaikkan 25 gram setiap kali percobaan pengotoran).
- 4) Prosedur yang sama untuk pengotoran dengan garam dan kaolin.

### 3. Teknik Perbandingan

Tegangan flashover yang diperoleh secara perkiraan analitik dan uji laboratorium kemudian dibandingkan hasilnya untuk ditarik kesimpulan apakah hasil keduanya sama, hampir sama, atau berbeda jauh.

### 4. Teknik Dokumentasi

Dokumentasi diperlukan agar data-data yang diambil pada saat pengujian dapat diolah.

Nilai jatuh tegangan yang terbaca di alat ukur pada saat pengujian akan terekam secara kontinyu pada program Sanwa di komputer.

## **C. Waktu dan Lokasi Penelitian**

### I. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu penelitian dimulai Maret – Juni 2013 setelah usulan proposal penelitian disetujui dan diseminarkan oleh komisi penasehat dan tim penguji.

### II. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Transmisi dan Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

## D. Alat dan Bahan yang digunakan

I. Alat-alat yang digunakan yaitu :

1. Chamber atau lemari uji



**Gambar 3.1 Gambar chamber atau lemari uji**

2. Multi meter digital (PC Link)

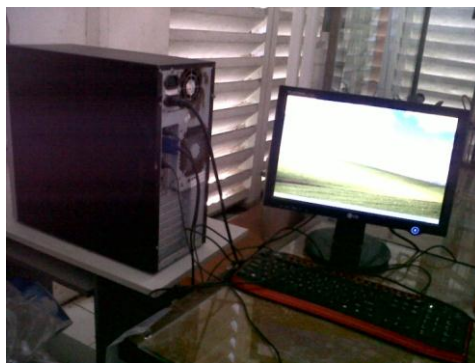
Rangkaian pengukuran arus bocor (leakege current) adalah rangkaian pembagi tegangan. Sehingga yang terbaca pada alat ukur adalah besar jatuh tegangan yang timbul akibat arus bocor yang mengalir pada kabel sinyal yang terhubung langsung dengan sampel isolator dalam chamber. Dan nilai yang terbaca pada alat ukur terekam langsung pada program PC Link pada komputer sesuai interval waktu yang disetting.



**Gambar 3.2 Multi meter digital type PC 510a SANWA**

### 3. PC Computer dan aksesorisnya

Komputer dan aksesorisnya digunakan sebagai media penghubung atau interface antara multimeter dan program pc link yang terinstal dikomputer. Jadi kita bisa memonitoring langsung nilai yang terbaca pada alat ukur sesuai setting yang dilakukan. Data yang ada bisa dibuka di excel.



**Gambar 3.3 PC Komputer dan aksesorisnya**

#### 4. Panel pembagi tegangan

Karena tegangan dari sisi sekunder sangat besar maka terdapat rangkaian pembagi tegangan sehingga dapat dibaca di alat ukur.



**Gambar 3.4 Panel pembagi tegangan**

#### 5. Control desk

Besarnya tegangan primer dan sekunder trafo yang akan diterapkan pada pengujian diatur pada control desk. Proteksi trafo juga terdapat pada control desk sehingga jika terdapat gangguan pada instalasi trafo maka akan trip dengan sendirinya. Pada control desk juga terpasang volt meter dan amper meter untuk pemacaan tegangan trafo dan besarnya arus bocor pada kabel utama.





**Gambar 3.5 Control desk**

## 6. Trafo pengujian



**Gambar 3.6 Transformator tegangan tinggi type Tarco Sweden**

## 7. Termometer dan kelembaban analog

Alat ukur suhu dan kelembapan digantung dalam chamber



**Gambar 3.7 Termometer dan kelembaban analog**

## 8. Konduktifitas meter

Konduktifitas polutan diukur dengan alat ini, dimana skala pembacaanya 2 – 20 mS. Setiap kali akan digunakan maka alat ukur harus dalam keadaan pembacaan 0 dan setelah digunakan konduktornya harus dibersihkan dengan air bersih sehingga pengukurannya presisi.



**Gambar 3.8 Konduktivitas meter**

## 9. Timbangan

Polutan garam dan kaolin ditimbang dengan menggunakan alat timbang dibawah ini.



**Gambar 3.9 Timbangan**

## 10. Ember

Isolator uji dicelupkan pada ember yang berisi larutan polutan . pada penelitian ini digunakan 2 ember untuk merendam isolator resin epoksi dan silicone rubber selama 1 jam.



**Gambar 3.10 Ember untuk merendam isolator**

II. Bahan yang digunakan antara lain :

1. Bahan yang diuji yaitu isolator polimer resin epoksi dan Silicone Rubber (SIR).



**a) Resin Epoksi**



**b) Silicone Rubber**

**Gambar 3.11 Kontruksi sampel isolator uji**

2. Bahan pengotoran (polutan) buatan yaitu garam NaCl dan kaolin



(a) Garam NaCl



(b) Kaolin

**Gambar 3.12 Bahan pengotoran (polutan) buatan**

### **E. Sampel Pengujian**

Sampel yang digunakan pada pengujian terdiri dari 1 unit isolator resin epoksi tujuh sirip yang ukuran setiap shednya sama besar dan 1 unit isolator silicone rubber. 5 shed yang juga mempunyai ukuran yang sama setiap shednya. Ke dua sampel diuji secara bersamaan dengan metode dan perlakuan yang sama.



(a)

(b)

**Gambar 3.13 Isolator polimer (a) resin epoksi dan (b) silicone rubber**

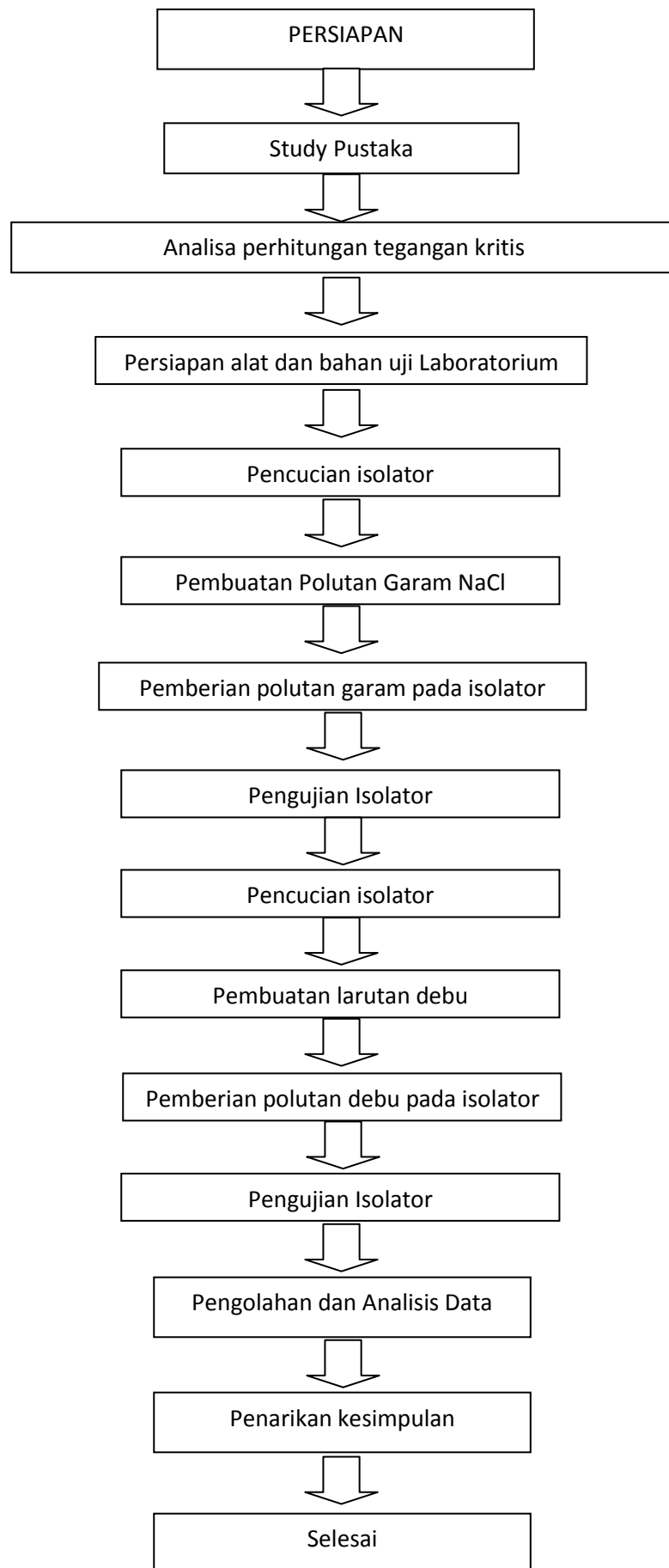
#### **F. Rancangan Penelitian**

Rancangan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu :

1. Pengumpulan referensi yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.
2. Perhitungan tegangan kritis isolator polimer secara analitik
3. Persiapan alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber.
4. Pencucian sampel isolator yang akan diuji dengan air bersih yang kemudian di lap bersih dan didiamkan hingga kering.
5. Pembuatan polutan buatan dengan garam NaCl yang dilarutkan dalam air kemudian diaduk rata. Konduktivitas larutan garam diukur dengan konduktivitas meter.

6. Pemberian polutan garam NaCl dengan cara isolator uji di celupkan dan diamkan selama satu jam pada sebuah wadah plastik transparan.
7. Pemasangan semua peralatan dan komponen yang akan digunakan
8. Pengujian tegangan flashover pada isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terpolusi larutan garam NaCl secara bersamaan.
9. Menaikkan tegangan trafo 15 kV/Jam sampai terjadi flashover pada isolator yang diuji.
10. Mencuci bersih isolator uji dengan air bersih dan mengulangi prosedur 1 sampai 9 dengan konsentrasi garam yang berbeda (25 gram, 50 gram, 75 gram dan 100 gram).
11. Pemberian polutan campuran garam NaCl 25 gram dan kaolin 10 gram yang dilarutkan dalam air.
12. Pengujian .tegangan flashover dengan menerapkan tegangan awal 21 kV yang terus dinaikkan setiap 15 kV/ jam sampai terjadi flashover.
13. Menganalisis data-data yang diperoleh baik secara analitik dan pengujian laboratorium.
14. Penarikan kesimpulan dari hasil yang diperoleh. .

Tahapan diatas digambarkan secara sederhana pada bagan rancangan penelitian di bawah ini :



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian



### G. Parameter yang diukur

1. Tegangan kritis isolator polimer secara matematis

$$V_c = ML(n + 1) (AF)^{\frac{1}{(n+1)}} \left(\frac{cf}{2\pi r_{me}}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \rho_{sp}^{\frac{n}{(n+1)}} \quad (\text{volt})$$

2. Konduktifitas larutan garam dan kaolin.dengan menggunakan konduktometer.
3. Arus bocor isolator sampel

$$I_{\text{bocor}} = \frac{V_{\text{bocor}}}{R_d} \text{ Ampere}$$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan material isolator organik (polimer) yaitu Resin Epoksi dan Silicone Rubber untuk dipergunakan sebagai isolator pada jaringan distribusi tegangan tinggi dan menengah 20 kV. Adapun data teknis kedua isolator tersebut adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.1 Data teknis sampel isolator polimer resin epoksi**

RESIN EPOKSI	
Type	Post
Banyaknya sirip	8 buah
Panjang isolator	21,5 cm
Diameter permukaan isolator paling atas	6,8 cm
Diameter permukaan isolator paling bawah	6,8 cm
Panjang Cup atas	3,5 cm
Panjang Cup bawah	3,5 cm
Jarak antar sirip	1,5 cm
Jarak sambungan antara sirip	0,6 cm
Panjang permukaan sirip bagian atas	1 cm
Panjang permukaan sirip bagian bawah	0,8 cm

Data teknis isolator silicone rubber dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah. Data kedua isolator yang digunakan diperoleh dengan mengukur langsung isolator tersebut.

**Tabel 4.2 Data Teknis Isolator Silicone Rubber (SIR)**

## SILICONE RUBBER

Type	Suspention
Banyaknya sirip	5 buah
Panjang isolator	23 cm
Diameter permukaan isolator paling atas	2,25 cm
Diameter permukaan isolator paling bawah	2 cm
Panjang Cup atas	2 cm
Panjang Cup bawah	2 cm
Jarak antar sirip	4 cm
Jarak sambungan antara sirip	3 cm
Panjang permukaan sirip bagian atas	3,2 cm
Panjang permukaan sirip bagian bawah	3,2 cm

**A. Karakteristik Tegangan Flashover Secara Perkiraan Analitik dan Hasil Pengujian Laboratorium pada Isolator Resin Epoksi.**

- I. Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik  $V_c$   
 $= V_c (\sigma_{sp})$  pada Isolator Resin Epoksi.

Data-data isolator yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan karakteristik tegangan flashover secara perkiraan analitik dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini :

**Tabel 4.3 Data Isolator Polimer Resin Epoksi Yang Dibutuhkan Untuk Perhitungan**

Nama Isolator	$r_m$ (Cm)	$r_t$ (Cm)	$l_1$ (Cm)	L (Cm)
Resin Epoksi	4,1	2,25	24,2	41

Keterangan :

$r_m$  = Jari-jari maksimum terluar isolator (m)

$r_t$  = Jari-jari logam penyangga (m)

$l_1$  = Bagian bawah dari jarak bocor (m)

L = Jarak rambat isolator (m)

Parameter busur api yang digunakan dalam perhitungan diambil dari lampiran 1 yaitu,  $A = 63$  dan  $n = 0,76$  sesuai dengan logam yang digunakan.

Dalam studi ini, diasumsikan pengotoran seragam serta pengaruh perubahan panas dapat diabaikan, sehingga kasus ini menjadi kasus khusus untuk dibandingkan dengan hasil percobaan di Laboratorium, sehingga ditentukan :

$$P_{st} = P_{sp}$$

$$\lambda = 1$$

$$Cf = 1$$

Dari data isolator pada tabel 4.3 diatas dapat ditentukan konstanta isolator seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah.

**Tabel 4. 4 Konstanta Isolator**

Nama Isolator	$M = \frac{l_1}{L}$	$B = \frac{r_m}{L}$	$a = \frac{(r_t - r_m)}{L(1-M)}$
Resin Epoksi	0,590	0,1	- 0,110

Dengan menggunakan rumus yang telah diperoleh pada persamaan 2.15 dengan anggapan pengotoran seragam dan pengaruh perubahan konduktivitas diabaikan, maka dengan menentukan dahulu harga F dan q dari persamaan 2.12 dan 2.13, harga Vc dapat ditentukan.

- Menentukan nilai q dengan menggunakan persamaan 2.12, sehingga diperoleh nilai q sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{\lambda B}{(aM Cf)} \\
 &= \frac{1 \times 0,1}{(-0,110 \times 0,590 \times 1)} \\
 &= -1,5408
 \end{aligned}$$

- Setelah menentukan nilai q maka akan diperoleh nilai F berdasarkan persamaan 2.13.

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{B^q}{(B+a(M-1))^q} \\
 &= \frac{(0,1)^{-1,5408}}{(0,1-0,110(0,590-1))^{-1,5408}} \\
 &= 1,7745
 \end{aligned}$$

- Dengan didaptkannya nilai F dan q maka, besar tegangan kritis adalah :

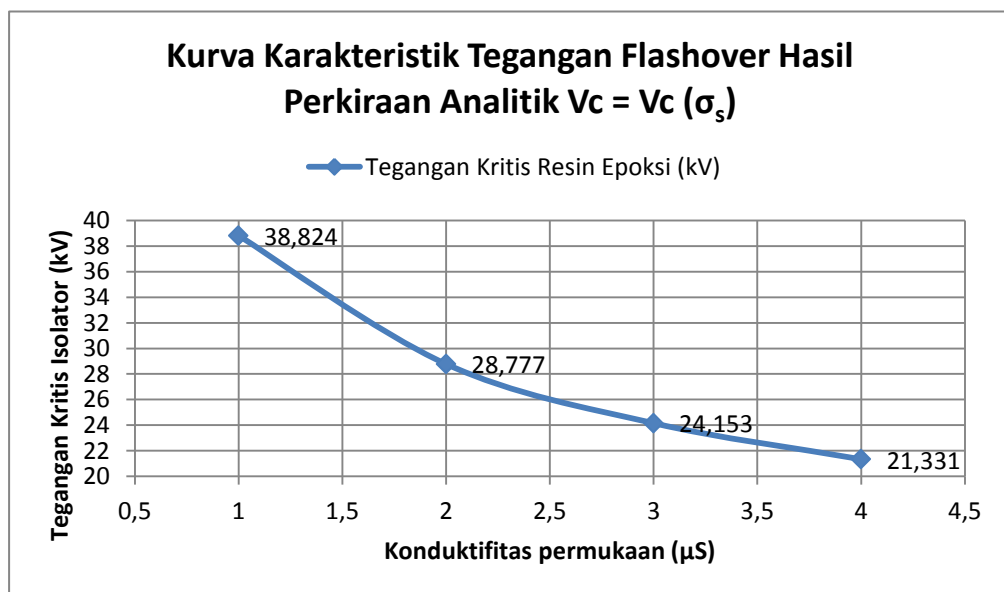
$$\begin{aligned}
 Vc &= ML(n+1)(AF)^{\frac{1}{(n+1)}} \left(\frac{Cf}{2\pi r_m e}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \rho_{sp}^{\frac{n}{(n+1)}} \\
 &= 0,590 \times 41 (0,76 + 1) (63,2 \times 1,7745)^{\frac{1}{0,76+1}} \left(\frac{1}{2\pi \times 4,1 \times 2,718}\right)^{\frac{0,76}{(0,76+1)}} \rho_{sp}^{\frac{0,76}{0,76+1}} \\
 &= 622,019 \times 0,1597 \times \rho_{sp}^{0,432} \\
 &= 99,335 \rho_{sp}^{0,432}
 \end{aligned}$$

Dengan didaptkannya nilai tegangan kritis fungsi konduktifitas permukaan isolator resin epoksi maka untuk selanjutnya hasil dari perhitungan bermacam-macam konduktifitas diperlihatkan pada tabel 4.5 di bawah

**Tabel 4.5 Hasil Perkiraan Analitik Tegangan Kritis Isolator Polimer  
Resin Epoksi**

Konduktifitas Permukaan Isolator $\sigma_{sp}$ ( $\mu S$ )	Tegangan Kritis Resin Epoksi (kV)
1	38,824
2	28,777
3	24,153
4	21,331

Dari hasil perhitungan di atas akan dicoba membuat kurva yang dinamakan kurva perkiraan analitik dari sifat kerja suatu isolator yang mengalami pengotoran atau polusi yakni kurva  $V_c = V_c(\sigma_s)$  yang dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 4.1 Gambar kurva  $V_c = V_c(\sigma_s)$  untuk isolator resin epoksi**

Kurva di atas menunjukkan bahwa semakin besar konduktifitas permukaan isolator akibat pengotoran maka nilai tegangan kritisnya akan semakin menurun.

## II. Karakteristik Tegangan Flashover Pada Isolator Polimer Resin Epoksi Yang Terkontaminasi Polutan Garam NaCl.

Pengujian tegangan flashover yang dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi UNHAS terhadap dua isolator yakni isolator polimer Resin Epoksi dan Silicone Rubber dilakukan dengan menerapkan tegangan 21 kV pada isolator yang telah direndam pada larutan polutan berupa garam NaCl dan kaolin. Tegangan terus menerus dinaikkan secara bertahap sampai terjadi flashover pada permukaan isolator uji.

Data hasil pengujian tegangan flashover isolator resin epoksi ditunjukkan pada tabel 4.6 di bawah.

**Tabel 4.6 Data pengamatan untuk kontaminasi garam NaCl isolator Resin Epoksi**

<b>Berat (gram)</b>	<b>Polutan Garam Konduktifitas larutan garam (mS)</b>	<b>Tegangan (KV)</b>	<b>Arus Bocor (mA)</b>	<b>Tegangan kritis (KV)</b>
25	9,660	21	11,685	45,18
50	13,79	21	28,05	30,12
75	18,60	21	37,87	24,09
100	24,70	21	53,78	21



Pada pengujian tegangan flashover untuk isolator polimer resin epoksi dengan konsentrasi polutan garam yang berbeda-beda seperti terlihat pada tabel 4.6 di atas, diperoleh hasil bahwa dengan bertambahnya konsentrasi atau berat dari polutan garam NaCl maka arus bocor isolator polimer resin epoksi akan semakin meningkat.

Dibawah ini akan diuraikan hasil pengujian tegangan flashover untuk isolator Resin Epoksi

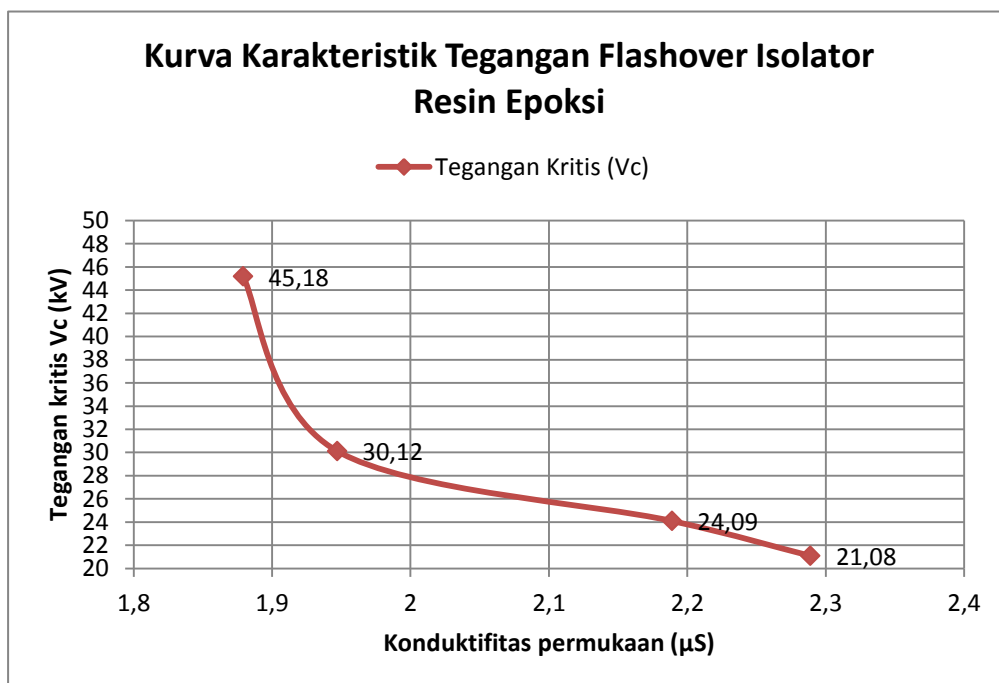
Dari hasil perhitungan untuk faktor bentuk atau profil factor (PF) diperoleh untuk faktor bentuk isolator Resin Epoksi adalah 1,409 maka konduktifitas permukaan isolator Resin Epoksi bisa dihitung dengan persamaan  $G = \sigma_{sp} \cdot \frac{1}{F}$ . Hasilnya diperlihatkan pada tabel 4.7 di bawah.

**Tabel 4.7 Hasil pengujian tegangan flashover Resin Epoksi**

Konduktifitas ( $\sigma_{sp}$ )	Tegangan Kritis (Vc)
0,78	45,18
1,61	30,12
2,54	24,09
3,60	21,08

Pada tabel 4.7 di atas dapat kita lihat bahwa semakin besar konduktifitas permukaan isolator akibat pengotoran maka tegangan kritis isolator akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan konduktifitas berbanding terbalik dengan resistifitas atau tahanan isolator sehingga resistifitas akan semakin kecil dengan pembesaran konduktifitas. Arus bocor akan semakin besar dengan membesarnya jalur konduktif pada permukaan isolator.

Dibawah ini diperlihatkan kurva karakteristik tegangan flashover isolator resin epoksi sebagai fungsi konduktifitas permukaan yang merupakan hasil pengujian yang disajikan pada tabel 4.7 di atas.



**Gambar 4.2 Kurva tegangan flashover hasil pengujian untuk isolator resin epoksi**

### III. Perbandingan Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik Dengan Hasil Pengujian Laboratorium Untuk Isolator Resin Epoksi.

Di bawah ini disajikan tabel perbandingan karakteristik hasil perkiraan analitik dan pengujian laboratorium untuk isolator resin epoksi.

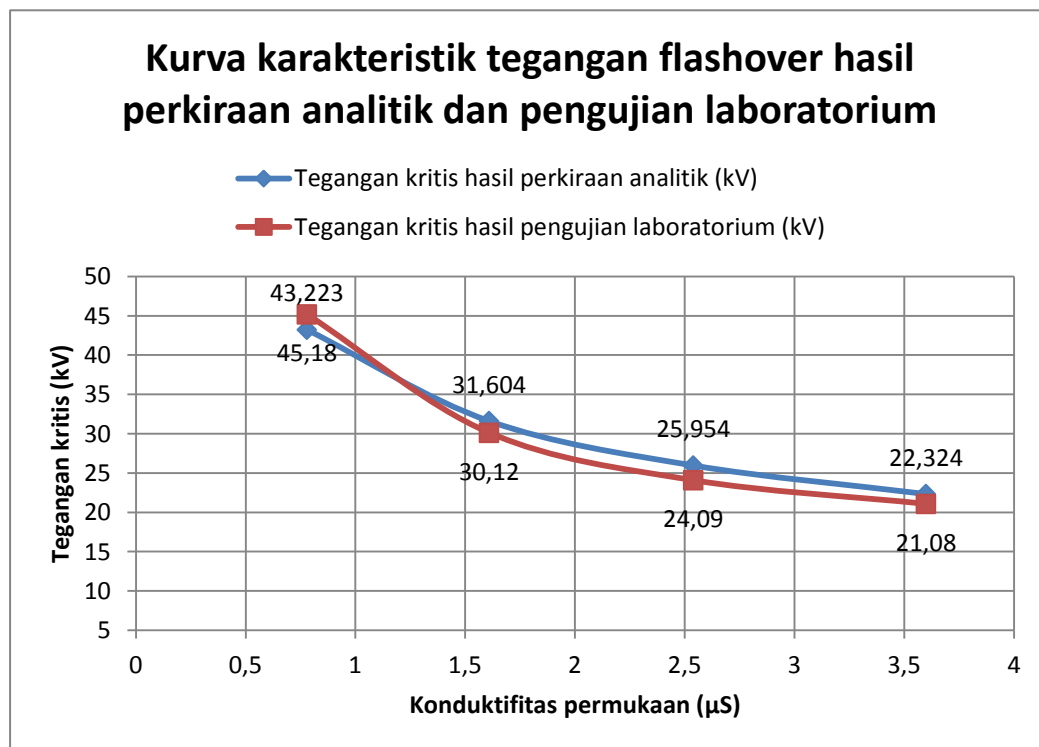
**Tabel 4.8 Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian untuk isolator resin epoksi.**

Karakteristik tegangan flashover perkiraan analitik		Karakteristik tegangan flashover hasil pengujian laboratorium	
Konduktifitas permukaan	Tegangan kritis isolator	Konduktifitas permukaan	Tegangan kritis isolator
$\sigma_s$ ( $\mu\text{S}$ )	(kV)	$\sigma_s$ ( $\mu\text{S}$ )	(kV)
0,78	43,223	0,78	45,18
1,61	31,604	1,61	30,12
2,54	25,954	2,54	24,09
3,60	22,324	3,60	21,08

Pada tabel 4.8 di atas dapat dilihat bahwa tegangan kritis isolator hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian di laboratorium menunjukkan penurunan dengan bertambahnya konduktifitas permukaan isolator.

Perbedaan antara tegangan kritis hasil perkiraan analitik dengan hasil pengujian di laboratorium untuk isolator resin epoksi dikarenakan banyaknya pengaruh yang diabaikan pada perkiraan analitik. Perbedaan dan pengaruhnya terhadap tegangan kritis isolator dibahas pada sub bab C di bawah.

Kurva hasil perbandingan pada tabel 4.8 di atas dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah.



**Gambar 4.3** kurva karakteristik hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian di laboratorium untuk isolator resin epoksi.

Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik maupun hasil pengujian laboratorium menunjukkan hasil yang signifikan,

memperlihatkan bahwa tegangan kritis isolator resin epoksi akan berkurang dengan kenaikan konduktifitas permukaan isolator. Tegangan kritis terendah hasil pengujian sebesar 21,08 kV, polutan NaCl 100 gram, konduktifitas larutan 24,70 mS, konduktifitas permukaan isolator 3,60  $\mu$ S, arus bocor 53,78 mA. Untuk hasil perkiraan analitik dicoba dengan menggunakan persamaan yang telah didapat dan dicoba menggunakan konduktifitas permukaan sesuai konduktifitas permukaan isolator yang di uji, diperoleh tegangan terendah 22,324 kV.

#### IV. Hasil pengujian isolator Resin Epoksi yang terpolusi garam NaCl dan Kaolin.

Hasil percobaan dengan menggunakan polutan garam yang dicampur dengan kaolin pada sebuah wadah berisi air dapat dilihat hasilnya pada tabel 4.9 di bawah.

**Tabel 4.9 Data hasil pengamatan untuk kontaminasi campuran kaolin 10 Gram dan garam (NaCl) pada isolator polimer Resin Epoksi**

Kaolin (Gram)	NaCl (Gram)	Tegangan (KV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan kritis (KV)
10	25	9	33,655	18

Pada pengujian tegangan flashover isolator polimer resin epoksi diterapkan tegangan primer 9kV yang terus dinaikkan sampai timbul flashover pada permukaan isolator. Pada pengujian ini, sangat cepat timbul flashover sehingga tegangan kritisnya hanya 18kV

## **B. Karakteristik Tegangan Flashover Secara Perkiraan Analitik dan Hasil Pengujian Laboratorium pada Isolator Silicone Rubber.**

- I. Hasil Perkiraan Analitik Terhadap Karakteristik Tegangan Flashover Isolator Silicone Rubber  $V_c = V_c(\sigma_s)$ .

Sama halnya dengan prosedur yang dilakukan pada isolator resin epoksi, untuk memperoleh persamaan tegangan kritis 2.15 maka data teknis yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 4.10 di bawah.

**Tabel 4.10 Data Teknis Isolator Silicone Rubber (SIR)**

Nama Isolator	$r_m$ (Cm)	$r_t$ (Cm)	$l_1$ (Cm)	L (Cm)
Silicone Rubber	5,2	2	30	48

Keterangan :

$r_m$  = Jari-jari maksimum terluar isolator (m)

$r_t$  = Jari-jari logam penyangga (m)

$l_1$  = Bagian bawah dari jarak bocor (m)

$L$  = Jarak rambat isolator (m)

Parameter busur api yang digunakan dalam perhitungan diambil dari lampiran 1 yaitu,  $A = 63$  dan  $n = 0,76$  sesuai dengan logam yang digunakan.

Asumsikan pengotoran seragam serta pengaruh perubahan panas dapat diabaikan, sehingga kasus ini menjadi kasus khusus untuk dibandingkan dengan hasil percobaan di Laboratorium, sehingga ditentukan :

$$P_{st} = P_{sp}$$

$$\lambda = 1$$

$$C_f = 1$$

Dari data isolator pada tabel 4.10 diatas dapat ditentukan konstanta isolator

**Tabel 4. 11 Konstanta Isolator**

Nama Isolator	$M = \frac{l_1}{L}$	$B = \frac{r_m}{L}$	$a = \frac{(r_t - r_m)}{L(1-M)}$
Resin Epoksi	0,590	0,1	- 0,110
Silicone Rubber	0,625	0,108	- 0,177

Untuk menentukan Tegangan Kritis isolator polimer Silicone Rubber secara perkiraan analitik juga dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15 dengan tahapan-tahapan yang sama dengan isolator resin epoksi. :

Menentukan nilai konstanta-konstanta isolator yang diperoleh dari persamaan 2.12 untuk memperoleh nilai q

$$\begin{aligned} q &= \frac{\lambda B}{(aMcf)} \\ &= \frac{1 \times 0,108}{(-0,177 \times 0,625 \times 1)} \\ &= -0,976 \end{aligned}$$

Setelah nilai q diperoleh kita tentukan nilai konstanta F sesuai persamaan 2.13, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} F &= \frac{B^q}{(B+a(M-1))^q} \\ &= \frac{(0,108)^{-0,976}}{(0,108-0,177(0,625-1))^{-0,976}} \\ &= 1,596 \end{aligned}$$

Dengan didapatkannya nilai F dan q maka, besar tegangan kritis adalah :



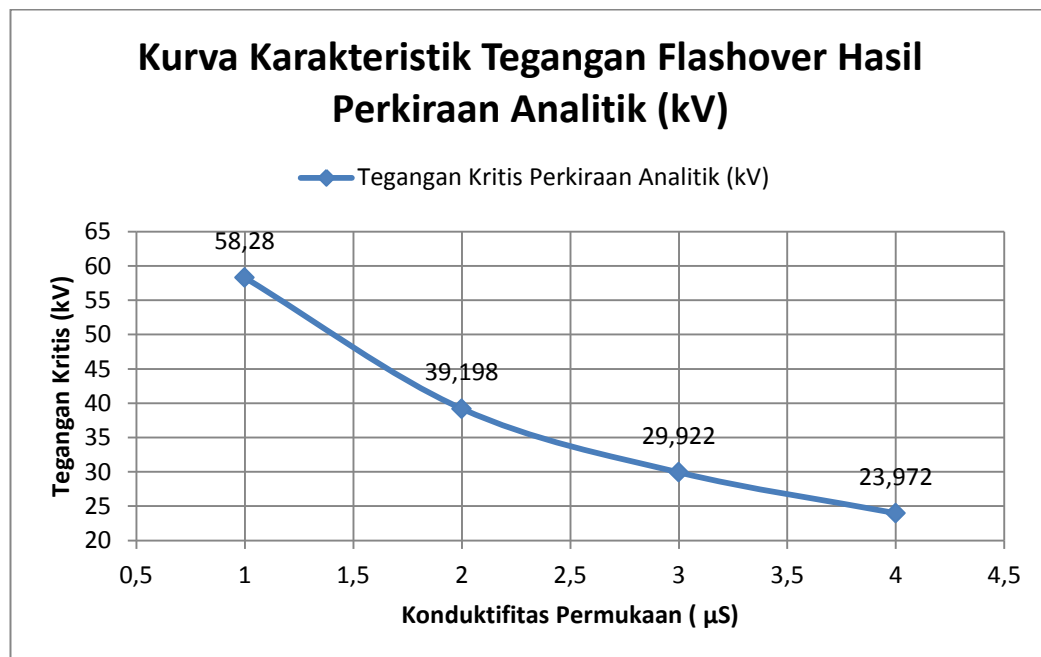
$$\begin{aligned}
V_c &= ML(n+1)(AF)^{\frac{1}{(n+1)}} \left(\frac{Cf}{2\pi r_m e}\right)^{\frac{n}{(n+1)}} \rho_{sp}^{\frac{n}{(n+1)}} \\
&= 0,625 \times 48 (0,76 + 1)(63,2 \times 1,596)^{\frac{1}{0,76+1}} \left(\frac{1}{2\pi \times 5,2 \times 2,718}\right)^{\frac{0,76}{(0,76+1)}} \rho_{sp}^{\frac{0,76}{0,76+1}} \\
&= 726,320 \times 0,144 \times \rho_{sp}^{0,432} \\
&= 104,590 \rho_{sp}^{0,432}
\end{aligned}$$

Dengan didapatkannya nilai tegangan kritis fungsi konduktifitas permukaan isolator silicone rubber, maka untuk selanjutnya hasil dari perhitungan bermacam-macam konduktifitas yang diberikan disajikan pada tabel 4.12 di bawah.

**Tabel 4.12 Hasil Perkiraan Analitik Tegangan Kritis Isolator Polimer Silicone Rubber (SIR)**

Konduktifitas Permukaan Isolator $\sigma_{sp}$ ( $\mu S$ )	Tegangan Kritis Silicone Rubber (kV)
1	40,878
2	30,3
3	25,431
4	22,459

Dari hasil perhitungan di atas akan dicoba membuat kurva sehingga kurva tersebut dinamakan kurva perkiraan analitik dari sifat kerja suatu isolator yang mengalami pengotoran atau polusi, kurva ini merupakan kurva  $V_c = V_c(\sigma_s)$  yang dapat dilihat dibawah ini.



**Gambar 4.4 Kurva Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik pada Isolator SIR.**

Kurva di atas menunjukkan bahwa semakin besar konduktifitas permukaan isolator akibat pengotoran maka nilai tegangan kritisnya akan semakin menurun.

Tegangan kritis terbesar yakni 40,878 kV dengan konduktifitas permukaan 1  $\mu\text{S}$  sedangkan tegangan kritis terkecil yakni 22,459 kV dengan konduktifitas paling besar yakni 4  $\mu\text{S}$ .

II. Hasil Pengujian Laboratorium Terhadap Karakteristik Tegangan Flashover Isolator Silicone Rubber (SIR) Yang Terkontaminasi Polutan Garam NaCl.

Pengujian isolator silicone rubber (SIR) dilakukan secara bersamaan dengan isolator resin epoksi. Dengan konsentrasi polutan garam yang sama besar dan tegangan yang diterapkan juga sama sampai terjadi tegangan kritis pada masing-masing isolator.

Adapun data hasil pengujian isolator silicone rubber dapat dilihat pada tabel 4.13 di bawah

**Tabel 4.13 Data pengamatan untuk kontaminasi garam NaCl pada isolator SIR**

Berat (gram)	Polutan garam		Tegangan (KV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan kritis (KV)
	Konduktifitas permukaan (mS)				
25	9,660		21	3,46	45,18
50	13,79		21	8,58	42,16
75	18,60		21	16,064	36,14
100	24,70		21	26,792	30,12

Pada tabel 4.13 di atas dapat kita lihat tegangan kritis isolator SIR juga semakin menurun saat konsentrasi poluan garam NaCl bertambah dan arus bocor akan semakin meningkat. Tegangan kritis terkecil pada saat isolator direndam pada larutan pengotor dengan konsentrasi garam 100 kV dan berbanding terbalik dengan arus bocor pada permukaan isolator yang nilainya bertambah seiring kenaikan bobot polutan.

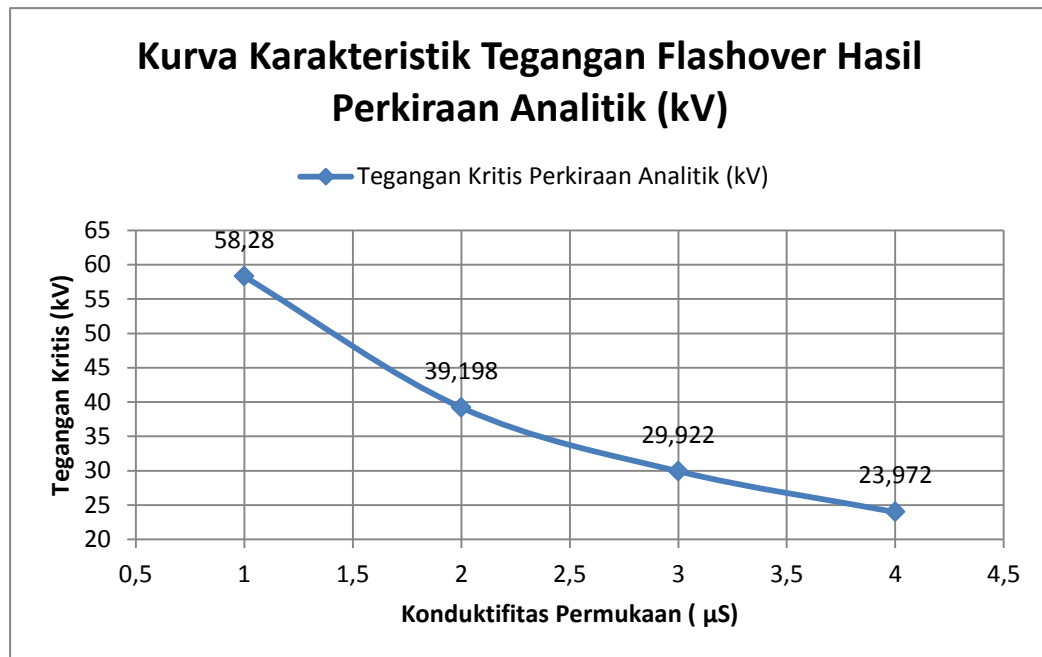
Berdasarkan perhitungan faktor bentuk untuk isolator SIR diperoleh nilai sebesar 2,956 sehingga konduktifitas permukaan isolator SIR dapat ditentukan seperti pada tabel 4.14 di bawah.

**Tabel 4.14 Hasil pengujian tegangan kritis untuk Isolator SIR**

Konduktifitas ( $\sigma_{sp}$ )	Tegangan Kritis (Vc)
0,44	45,18
1,102	42,16
2,059	36,14
3,44	30,12

Pada tabel 4.14 dapat dilihat bahwa tegangan kritis isolator polimer SIR juga mengalami penurunan dan penurunan terbesar juga pada saat konduktifitas permukaan isolator paling besar nilainya yakni 3,44 $\mu$ S, tegangan kritisnya sebesar 30,12 kV. Tegangan kritis terbesar pada isolator SIR yakni pada saat konduktifitas permukaan isolator SIR sebesar 0,44  $\mu$ S, tegangan kritisnya sebesar 45,18 kV.

Pada gambar 4.5 di bawah dapat kita lihat kurva karakteristik tegangan flashover isolator silicone rubber (SIR).



**Gambar 4.5 Kurva Karakteristik Tegangan Flashover Isolator SIR Hasil Pengujian Di Laboratorium.**

Kurva di atas memperlihatkan bahwa dengan terus dinaikannya konsentrasi larutan garam NaCl, isolator yang direndam dalamnya akan terpolusi lebih berat. Garam – garam menempel pada isolator membentuk jalur konduktif yang menyebabkan timbulnya arus bocor. Konduktifitas yang besar akan menurunkan resistansi isolator yang lama kelamaan arus bocor tersebut menyebabkan flashover.

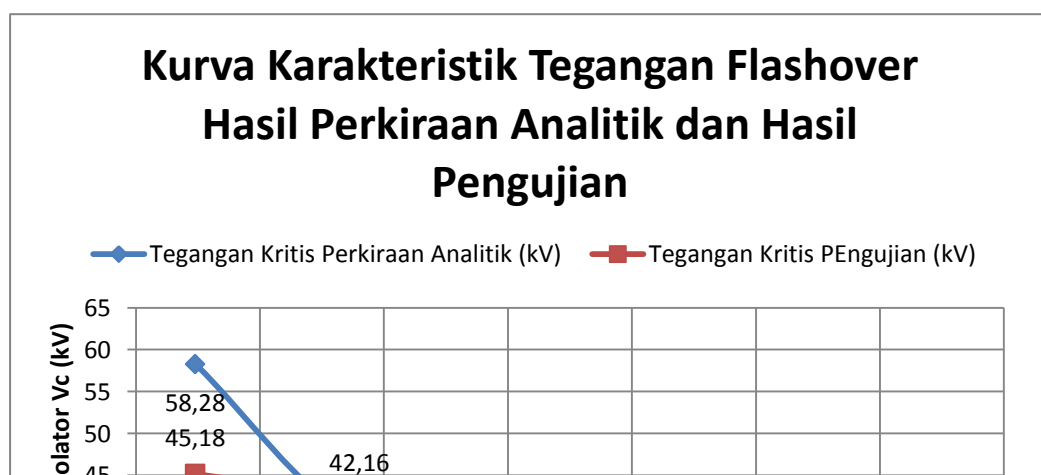
III. Perbandingan Karakteristik Tegangan Flashover Hasil Perkiraan Analitik Dengan Hasil Pengujian Laboratorium Untuk Isolator Silicone Rubber (SIR).

Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik pada isolator silicone rubber dan hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat pada tabel perbandingan 4.15 di bawah.

**Tabel 4.15 Karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian untuk isolator resin epoksi.**

Karakteristik tegangan flashover perkiraan analitik		Karakteristik tegangan flashover hasil pengujian laboratorium	
Konduktifitas permukaan	Tegangan kritis isolator	Konduktifitas permukaan	Tegangan kritis isolator
$\sigma_s$ ( $\mu\text{S}$ )	(kV)	$\sigma_s$ ( $\mu\text{S}$ )	(kV)
0,44	40,878	0,44	45,18
1,102	30,3	1,102	42,16
2,059	25,431	2,059	36,14
3,44	22,459	3,44	30,12

Dari tabel 4.15 di atas dibuat kurva karakteristik tegangan flashover hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian laboratorium yang disajikan pada gambar 4. 6 di bawah.



**Gambar 4.6 Kurva karakteristik tegangan flashover isolator SIR hasil perkiraan analitik dan pengujian di laboratorium.**

Dari gambar 4.6 di atas dapat dilihat bahwa tegangan kritis perkiraan analitik dengan pengujian laboratorium hasilnya tidak begitu signifikan. hal ini disebabkan karena sifat hidrofobik yang tinggi dari isolator SIR yang tidak dapat dijelaskan pada hasil perkiraan analitik.

Struktur kimia silicone rubber yang terdiri dari ikatan tulang punggung silicone yang lebih fleksibel dibandingkan polimer lainnya, kemampuan *recovery*nya sehingga mampu meluruskan diri sendiri saat tergulung acak sehingga sifat hidrofobiknya sangat baik. Bahkan SIR juga kemampuan transfer energi sehingga jalur konduktif ikut bersifat hidrofobik.

#### IV. Hasil pengujian isolator Silicone Rubber (SIR) yang terpolusi garam NaCl dan Kaolin

Pada isolator silicone rubber (SIR) terjadinya flashover juga cepat, bersamaan dengan timbulnya flashover pada Isolator Resin Epoksi seperti terlihat pada tabel 4.16 di bawah.

**Tabel 4.16 Data hasil pengamatan untuk kontaminasi campuran kaolin 10 Gram dan garam (NaCl) pada isolator SIR**

Kaolin (Gram)	NaCl (Gram)	Tegangan (KV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan kritis (KV)
10	25	9	22,432	18

Di bawah ini disajikan hasil perhitungan untuk konduktifitas permukaan isolator Resin Epoksi dan Silicone Rubber (SIR) sebagai fungsi dari besarnya tegangan kritis isolator.

**Tabel 4.17 Tegangan kritis hasil pengujian untuk Isolator Resin Epoksi dan Silicone Rubber (SIR)**

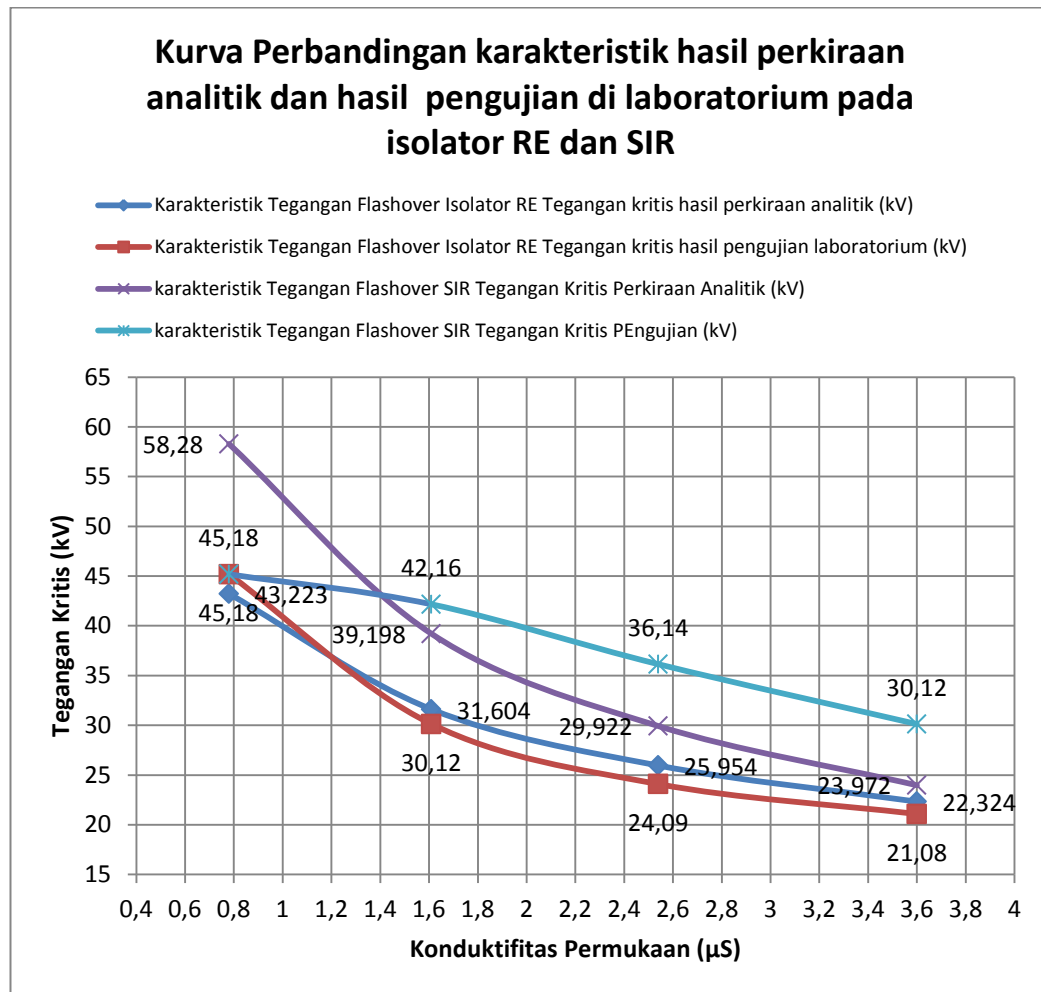
Resin Epoksi		Silicone Rubber (SIR)	
$(\sigma_{sp})$	Vc	$(\sigma_{sp})$	Vc
5,268	18	7,367	18



Pada tabel 4.17 di atas dapat kita lihat, konduktifitas permukaan isolator Resin Epoksi sebesar 5,268 dan SIR sebesar 7,367 dengan tegangan kritis sama besar yakni 18 KV. Sangat rendah bila dibandingkan pengujian dengan menggunakan garam pada konsentrasi terbesarpun.

**C. Perbandingan sifat kerja isolator hasil perkiraan analitik dan hasil pengujian di laboratorium.**

Sifat kerja isolator polimer resin epoksi (RE) dan silicone rubber (SIR) dari perkiraan analitik dan dari hasil percobaan pengotoran buatan di laboratorium akan dibandingkan hasilnya. Hasil kurva sifat kerja kedua isolator tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah.



**Gambar 4.7 Kurva perbandingan sifat kerja hasil perkiraan analitik dan hasil percobaan**

Dapat dilihat pada gambar 4.7 di atas bahwa hasil perkiraan analitik dan percobaan di laboratorium cukup baik, meskipun masih ada penyimpangan-penyimpangan yang mungkin disebabkan karena beberapa asumsi yang digunakan dalam perhitungan analitik maupun percobaan.

- a) Asumsi yang digunakan dalam perhitungan antara lain :
1. Asumsi yang digunakan dalam perhitungan diatas adalah menggunakan harga  $cf = 1$ , yaitu mengabaikan perubahan harga konduktifitas karena panas.
  2. Dalam perhitungan di atas dianggap  $\lambda = 1$ , yaitu pengotoran permukaan isolator sebelah atas sama dengan pengotoran pada permukaan isolator sisi bawah ( $1/1$ ).
  3. Penggunaan konstanta busur api  $A$  dan  $n$  yang mungkin tidak sesuai dengan logam yang digunakan didalam isolator.
- b) Kesalahan yang disebabkan percobaan pengotoran buatan di dalam laboratorium.

Penyimpangan antara hasil perhitungan dengan hasil pengujian dilaboratorium kemungkinan disebabkan oleh :

1. Kesalahan alat
2. Kesalahan pembacaan
3. Pengaruh lingkungan seperti temperatur, tekanan udara dan kelembaban.
4. Perubahan harga konduktifitas dan rata-rata kenaikan tegangan.

#### **D. Pengaruh panas ( $cf$ ) terhadap tegangan kritis**

Disini dicoba untuk melihat bagaimana pengaruh perubahan harga cf terhadap tegangan kritis maka digunakan persamaan 2.12 dan 2.13 untuk berbagai harga cf. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.18 dan 4.19 di bawah.

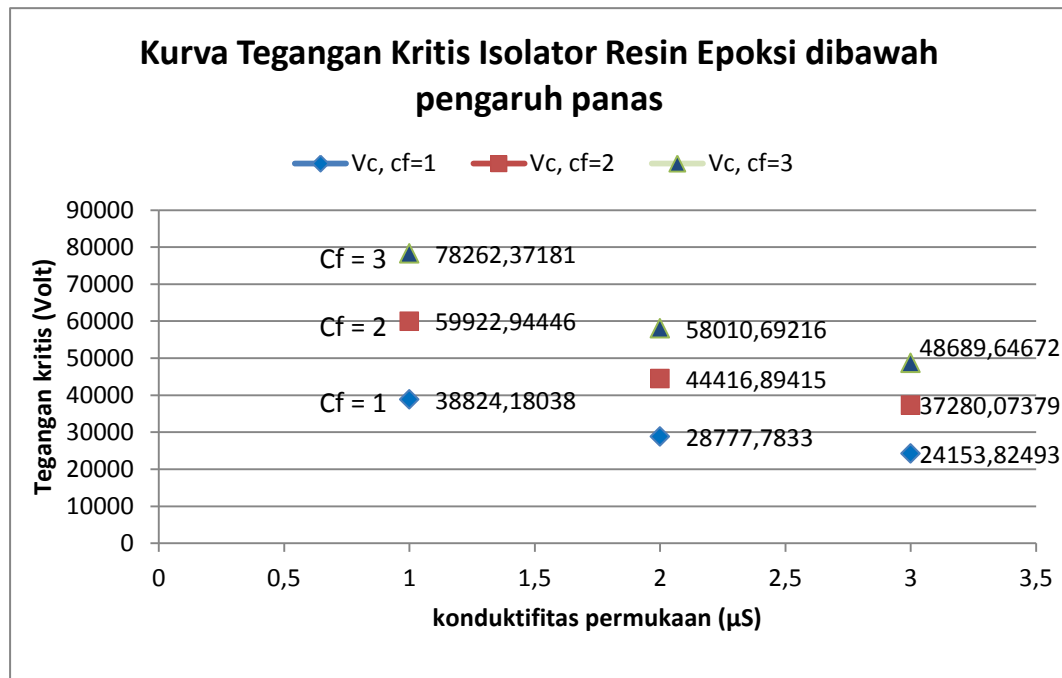
**Tabel 4.18 Nilai tegangan kritis pada isolator polimer resin epoksi dengan memperhitungkan perubahan panas**

Cf	q	F	Vc
1	-1,540	1,7745	$99,335\rho_{sp}^{0,432}$
5	-0,308	1,121	$153,318\rho_{sp}^{0,432}$
10	-0,154	1,059	$200,241\rho_{sp}^{0,432}$

**Tabel 4.19 Nilai tegangan kritis pada isolator polimer silicone rubber dengan memperhitungkan perubahan panas**

cf	q	F	Vc
1	-0,976	1,596	$104,590\rho_{sp}^{0,432}$
5	-0,195	1,098	$169,592\rho_{sp}^{0,432}$
10	-0,097	1,048	$222,768\rho_{sp}^{0,432}$

Dari tabel di atas dibuat kurva  $V_c = V_c(\rho_{sp})$  dengan memperhitungkan pengaruh panas (cf)



**Gambar 4.8 tegangan kritis dengan berbagai macam faktor konduktifitas untuk isolator resin epoksi**

Dari kurva tersebut di atas dapat dilihat bahwa harga cf makin besar maka tegangan kritis  $V_c$  juga makin naik.

Dari hasil ini dapat dilihat bahwa hasil perkiraan analitik yang mengasumsikan harga  $cf = 1$  adalah kurang tepat, sehingga untuk mendapatkan kurva yang tepat sama antara perkiraan analitik dan hasil pengujian dapat dipilih harga  $cf > 1$

### E. Pengaruh ketidak seragaman pengotoran

Jika dianggap pengotoran sebelah sisi bawah berbeda dengan pengotoran sisi atas maka disini  $\lambda \neq 1$

Untuk menghitung rata-rata konduktifitas permukaan, maka diasumsikan R adalah total tahanan dari seluruh isolator , sehingga

$$R = \rho_{sp} \int_0^{ML} \frac{dl}{2\pi r_1} + \rho_{sp} \int_{ML}^L \frac{dl}{2\pi r_2} \quad (4.1)$$

$$= \rho_{rata-rata} \int_0^L \frac{dl}{2\pi r} \quad (4.2)$$

$$\text{Dimana } \rho_{rata-rata} = \frac{\rho_{sp} (f_1 + f_2)}{f} \quad (4.3)$$

Keterangan :

R = Resistifitas permukaan seluruh isolator

$\rho_{sp}$  = resistifitas permukaan sisi bawah

$\rho_{st}$  = resistifitas permukaan sisi atas

$f_1$  = faktor bentuk sisi bawah

$f_2$  = faktor bentuk sisi atas

sehingga konduktifitas permukaan rata-rata :

$$\rho_{rata-rata} = \frac{1}{\sigma_{rata-rata}} = \frac{(f_1 + \lambda f_2)}{f_{sp}} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{rata-rata} = \frac{f \sigma_{sp}}{(f_1 + \lambda f_2)} \quad (4.5)$$

Dibawah ini disajikan hasil perhitungan tegangan kritis dimana harga  $\lambda \neq 1$  dan konduktifitas yang digunakan adalah konduktifitas rata-rata yang didapat dari persamaan 4.5.

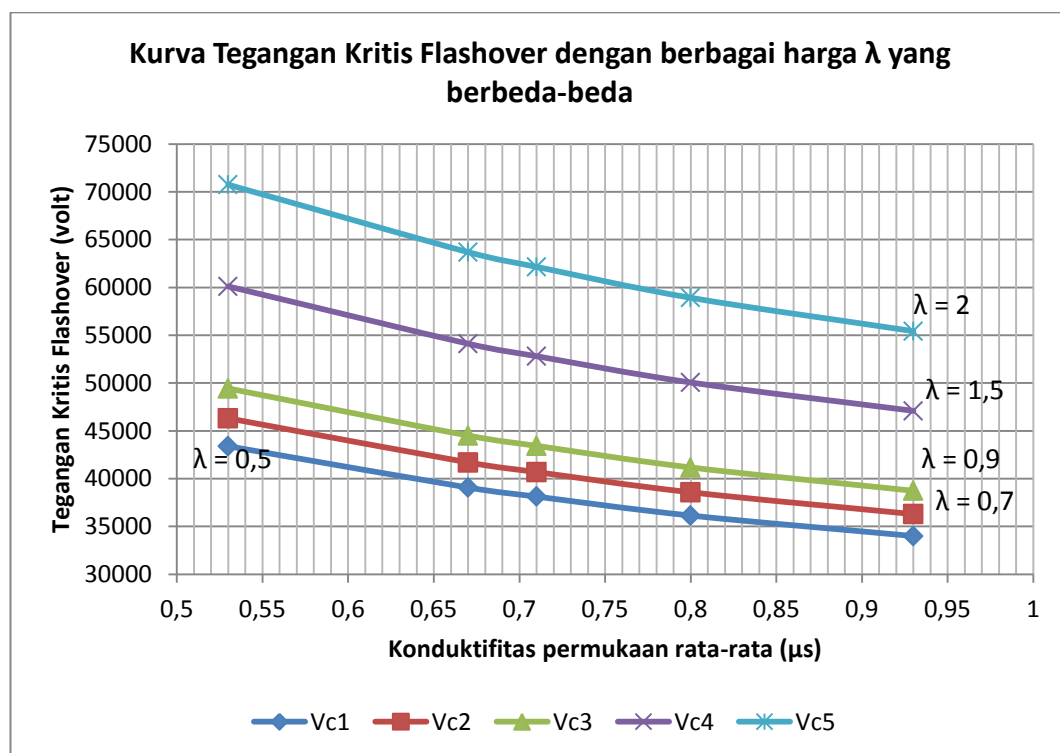
**Tabel 4.20 Hasil perhitungan tegangan kritis pada isolator polimer resin epoksi dengan memperhitungkan pengaruh ketidak seragaman pengototoran**

$\lambda$	q	F	Vc
0,5	-0,770416025	1,332143976	84,401 $(\rho_{rata-raa})^{0,432}$
0,7	-1,078582435	1,494072359	90,085 $(\rho_{rata-raa})^{0,432}$
0,9	-1,386748844	1,675683902	96,153 $(\rho_{rata-raa})^{0,432}$
1,5	-2,311248074	2,364032788	116,918 $(\rho_{rata-raa})^{0,432}$
2	-3,081664099	3,149232037	137,6108 $(\rho_{rata-raa})^{0,432}$

Dari tabel 4.20 di atas dapat dilihat bahwa nilai tegangan kritis semakin bertambah dengan pertambahan nilai  $\lambda$ . Di bawah ini akan diperlihatkan kurva  $V_c = V_c (\rho_{sp})$  dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.15 dimana resistifitas yang

digunakan adalah resistifitas rata-rata yang diperoleh dengan menggunakan rumus 4.5. di atas.

Konduktifitas permukaan yang digunakan sebagai contoh adalah sama dengan satu dengan nilai  $\lambda$  yang berubah-ubah sesuai pada tabel 4.19 di atas.



**Gambar 4.9 Tegangan kritis dengan berbagai nilai  $\lambda$**

Dari kurva tersebut di atas dapat dilihat pengaruh dari perbedaan pengotoran antara sisi bawah dan pengotoran sisi atas, makin besar  $\lambda > 1$  yaitu  $\rho_{sp} > \rho_{st}$  maka tegangan kritis juga akan naik. Demikian pula sebaliknya apabila  $\rho_{sp} < \rho_{st}$  ( $\lambda < 1$ ) maka tegangan kritis juga akan turun



seperti yang terlihat pada gambar 4.5 diatas karena nilai  $\lambda$  yang semakin besar akan memperkecil nilai dari konduktifitas permukaan isolator sebagaimana diketahui bahwa resistifitas berbanding terbalik dengan konduktifitas ( $\rho = \frac{1}{\sigma}$ ). Pengotoran pada isolator karna polutan debu, garam, asap dan lainnya biasanya lebih besar menempel pada area-area tersembunyi dari permukaan isolator yakni di sebelah bawah atau bagian dekat dengan pasak. Hal ini karena area tersebut biasanya tidak terbersihkan secara alami dengan air hujan. Sehingga apabila konduktifitas permukaan sebelah bawah lebih kecil maka kemungkinan untuk terjadinya flashover juga kecil.

#### **F. Pengaruh Jari-Jari Luar Maksimum ( $r_m$ ) Terhadap Tegangan Kritis**

Dengan menganggap semua parameter isolator konstan dari persamaan 2.15, kecuali jari-jari luar  $r_m$  sehingga tegangan kritis hanya fungsi  $r_m$  dan secara matematis dapat dituliskan

$$V_c = K \cdot L \cdot r_m \quad (4.6)$$

Sehingga tegangan kritis per unit panjang bocor dapat dituliskan sebagai

$$\frac{V_c}{L} = K \cdot f(r_m) \quad (4.7)$$

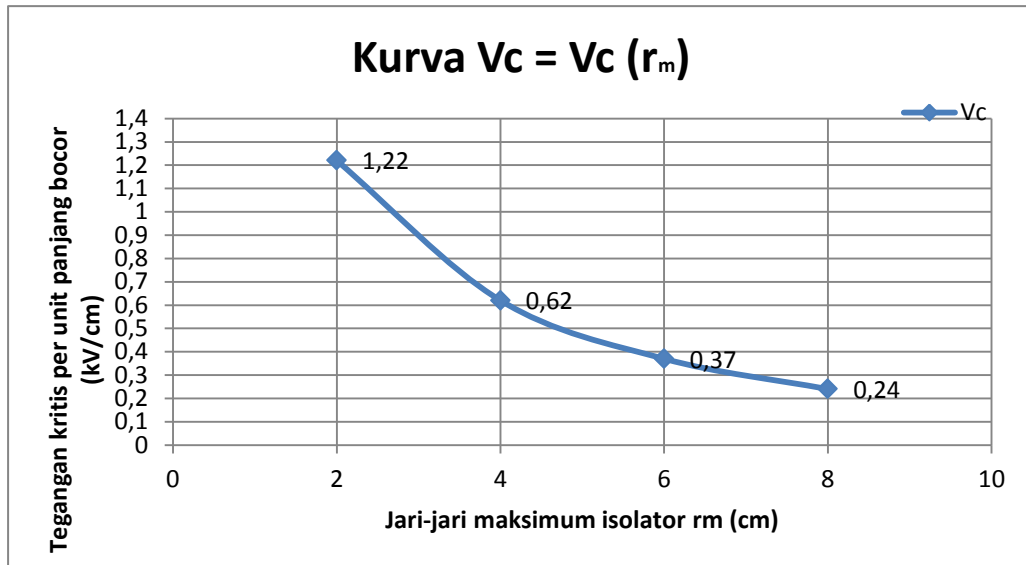
Pada tabel dibawah dapat dilihat hasil perhitungan tegangan kritis untuk isolator Resin Epoksi dengan menggunakan persamaan 4.7 dengan konstanta-konstanta isolator Resin Epoksi sebagai berikut :

$$M = 0,59 ; \quad r_t = 2,25 ; \quad \rho_{sp} = 1 ; \quad C_f = 1 ; \quad \lambda = 1$$

**Tabel 4.21 Tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap jari-jari maksimum terluar ( $r_m$ )**

$r_m$	Vc
2	1,22
4	0,62
6	0,37
8	0,24

Di bawah ini disajikan gambar kurva tegangan kritis fungsi jari-jari maksimum isolator  $V_c = V_c (r_m)$ , dengan Vc adalah tegangan per unit panjang bocor (Total jarak rayap).



**Gambar 4.10** Tegangan kritis per unit panjang jarak bocor terhadap jari-jari maksimum isolator resin epoksi.

Dari kurva diatas dapat dilihat bahwa jika jari-jari maksimum isolator bertambah ( $r_m$ ) makin bertambah maka tegangan per unit panjang akan makin kecil.

Hal ini terkait dengan perbandingan jarak antar sirip ( $s$ ) dengan rentangan sirip ( $r_m$ ). Perbandingan ini menentukan sifat pencucian alami (self cleaning) isolator yang nilainya tidak kurang dari 0,8 dan untuk isolator jenis datar dapat direduksi menjadi 0,65. Inilah sehingga isolator dibuat sedemikian rupa agar arus bocor dapat dicegah agar tidak terjadi flashover.

**G. Pengaruh Panjang Jarak Bocor Sisi Bawah dan Jarak bocor Total Terhadap Tegangan Kritis.**

Tegangan kritis  $V_c$  menjadi linear terhadap jarak bocor total ( $L$ ), jika semua parameter isolator konstan . Pernyataan ini diturunkan dari persamaan 2.15 yang menjadi

$$V_c = k \cdot L \quad (4.8)$$

Dimana  $k$  adalah konstanta isolator

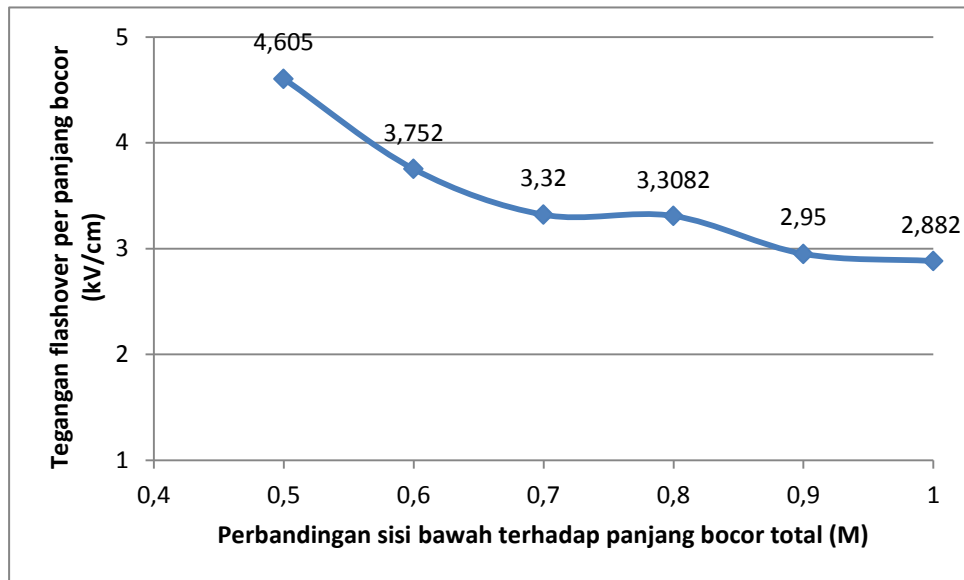
Hal tersebut terjadi jika  $M$  adalah konstan yang berarti perbandingan panjang jarak rayap sisi pasak ( $l_1$ ) terhadap panjang jarak rayap total ( $L$ ) adalah konstan. Tetapi jika perbandingan  $l_1$  dan  $L$  tidak konstan atau harga  $M$  tidak konstan maka harga tegangan kritis per unit panjang bocor akan berubah juga.

Hasil perhitungan tegangan kritis untuk isolator Resin Epoksi disajikan pada tabel 4.22 dimana  $r_m = 4,1 \text{ cm}$  ,  $r_t = 2,25 \text{ cm}$ ,  $\lambda = 1$ ,  $cf = 1$

**Tabel 4.22 Tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap harga konstanta M**

$\frac{V_c}{L} \left( \frac{kV}{cm} \right)$	4,605	3,752	3,32	3,082	2,95	2,882
<b>M</b>	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Kurva hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah



**Gambar 4.11 kurva tegangan kritis per unit panjang bocor terhadap M**

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa jika harga M makin besar maka tegangan kritis per unit panjang bocor akan makin turun.

## **H. Pengaruh Harga Konstanta Busur Api A dan n terhadap Tegangan Kritis Flashover.**

Kebanyakan penelitian teoritik flashover dari isolator yang terkena pengotoran didasarkan pada bentuk tegangan sepanjang busur api yang mempunyai hubungan  $V_b = Axi^{-n}$

Harga A dan n diperoleh dari percobaan pelepasan-pelepasan muatan yang harga-harganya telah disimpulkan pada lampiran konstanta busur api.

Dalam tabel tersebut terlihat bahwa harga A dan n tergantung pada

1. Keadaan lingkungan
2. Konfigurasi elektron
3. Sumber tegangan (AC/DC)
4. Bahan dari elektroda

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait penelitian mengenai mekanisme flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan antara lain yaitu :

1. Dari hasil perkiraan analitik maupun pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa kinerja isolator silicone rubber lebih baik dibandingkan isolator resin epoksi. Hal ini dilihat pada saat kedua isolator uji diberikan konsentrasi polutan yang sama yakni 100 gram, konduktifitas permukaan isolator resin epoksi sebesar 3,60  $\mu\text{S}$  dengan tegangan kritis pengujian sebesar 21,08 kV sedangkan konduktifitas silicone rubber 3,44  $\mu\text{S}$  dengan tegangan kritis pengujian sebesar 30,12 kV.
2. Hasil perkiraan analitik dan pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa tegangan kritis untuk isolator resin epoksi dan SIR akan berkurang dengan kenaikan konduktifitas permukaan isolator. Pada isolator resin epoksi konduktifitas permukaan 0,78  $\mu\text{S}$ ,  $V_c$  analitik = 43,223 kV,  $V_c$  pengujian laboratorium = 45,18 kV.  $\sigma_s$  resin epoksi = 1,61  $\mu\text{S}$ ,  $V_c$  analitik = 31,604 kV,  $V_c$  pengujian = 30,12 kV.  $\sigma_s$  resin epoksi = 2,54  $\mu\text{S}$ ,  $V_c$  analitik = 25,954 kV sedangkan  $V_c$  pengujian

= 24,09 kV.  $\sigma_s$  resin epoksi = 3,60  $\mu$ S,  $V_c$  analitik = 22,324 kV  
 sedangkan  $V_c$  pengujian = 21,08 kV. Pada isolator silicone  
 rubber (SIR),  $\sigma_s$  SIR = 0,44  $\mu$ S,  $V_c$  analitik = 40,878 kV  
 sedangkan  $V_c$  pengujian = 45,18 kV.  $\sigma_s$  silicone rubber  
 (SiR) = 1,102  $\mu$ S,  $V_c$  analitik = 30,3 kV sedangkan  $V_c$  pengujian  
 = 42,16 kV.  $\sigma_s$  silicone rubber (SiR) = 2,059  $\mu$ S,  $V_c$  analitik =  
 25,431 kV sedangkan  $V_c$  pengujian = 36,14 kV.  $\sigma_s$  silicone rubber  
 (SiR) = 3,44  $\mu$ S,  $V_c$  analitik = 22,459 kV sedangkan  $V_c$   
 pengujian = 30,12 kV.

3. Kriteria tegangan flashover hasil perkiraan analitik dengan hasil pengujian di laboratorium menunjukkan hasil yang signifikan. Meskipun ada perbedaan dikarenakan asumsi yang digunakan pada perkiraan analitik dan faktor lingkungan pada saat pengujian.
4. Dengan bertambahnya konsentrasi garam pada larutan pengotor maka konduktifitas larutan juga meningkat, semakin besar konduktifitas larutan maka arus bocor isolator akan naik. Tegangan kritis pada saat isolator diberi pengotoran garam 25 gram dan kaolin 10 gram sangat rendah sebesar 18kV.



## **B. Saran**

- 1 pada penelitian ini hanya digunakan dua buah jenis isolator polimer yang berbeda, diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa menggunakan lebih dari dua jenis isolator polimer untuk dibandingkan sifat kerjanya secara perkiraan analitik.
- 2 Pengujian tegangang flashover dengan pengotoran baiknya dilakukan di ruangan terbuka dengan kondisi real agar diperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi pengotoran di lapangan sehingga perkiraan analitiknya pun dapat dipastikan telah sesuai dengan pengujian langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Tobing, Bonggas L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003
- Gorur, R.S., Cherney,E.A., Burnham, J.T., *Outdoor Insulators*, Ravi S Gorur Inc, Phoenix, Arizona, USA, 1999
- Berahim, Hamzah, 2005, “*Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis*”, Disertasi,Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ervan Dwi Setiaji, Muh, 2010, “*Pengujian Tegangan Flashover Dan Arus Bocor Pada Isolator 20 Kv Berbahan Resin Epoksi Silane Kondisi Basah Dan Kering*”. Skripsi Universitas diponegoro, Semarang.
- Buku Pedoman Pemeliharaan dan Asesmen Kondisi Peralatan Sistem Tenaga, diakses pada tanggal 18 januari 2013.
- Bahri, syamsul, “*Pengukuran sudut kontak terhadap knerja material isolasi berbahan dasar resin epoksi dengan pengisi Alumunium Trihydate (ATH) dan silicone rubber terkontaminasi polutan parangtritis dan industri gresik*”, skripsi UGM, 2005, Yogyakarta
- Mustamin, 2010 “*Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Tercepat*”. Tesis Pasca Sarjana Elektro UNHAS.
- H.M Young, A. Haddad, A.R. Rowlands, R.T Waters, “*Effect of Shape Factors on the Performance of Polluted Polymeric Insulators*”. Cardiff University, Wales, UK. Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, 1999.
- Tobing, Bonggas L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT.Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- J.P Holtzhausen, D.A Swift, “*The Pollution Flashover of AC and DC Energised Cap and Pin Insulators: The Role Of Shortening of The*

- Arc". University of Stellenbosch, South Afrika. Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, 1999.
- D.C Chaurasia, " Scintillation Modelling For Insulator Strings Under Poluluted Conductions". Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, 1999
- Busono,Suryo.(1982)."*Studi Mekanisme Lewat Denyar Untuk Menentukan Sifat Kerja Pada Isolator Yang Terkena Pengotoran*". Skripsi UGM, Yogyakarta.
- Anton.,Tuti Angraini.(2004)."*Karakteristik Permukaan Bahan Isolator Karet Silicone Terhadap Kemampuan Menolak Air* ", Jurnal R & B Volume 4 Nomor 1
- Salama Manjang, Herman, 2007, Kajian Kerja Isolator 20kV di Bawah Intensitas Polusi Tinggi Pada Gardu Distribusi PT. Semen Tonasa, Prosseding,SNTK, Makassar.
- SPLN 10-3B 1993 Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan dengan Pedoman Pemilhan Isolator, Jakarta, Depertemen Pertambangan dan Energi, Perusahaan Umum Listrik Negara.

## Lampiran 1. Pengaruh Perubahan Harga M Terhadap Tegangan Flashover

Dari persamaan 2.15, jika semua harga dibuat konstan kecuali M maka diperoleh :

$$V_c = M \cdot L (0,76 + !) (63)^{\frac{1}{n+1}} (F)^{\frac{1}{n+1}} \left( \frac{cf}{2\pi r_m \cdot e} \right)^{\frac{n}{n+1}} \cdot \rho_{sp}^{\frac{n}{n+1}}$$

Karena F adalah fungsi M, sedang yang lainnya konstan tegangan per unit panjang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_c}{L} &= (1,76)(63)^{0,56} \cdot \left( \frac{1}{2 \times 3,14 \times 4,1 \times 2,718} \right)^{0,43} \cdot M (F)^{0,56} \\ &= 2,882 M (F)^{0,56} \end{aligned}$$

Karena

$$F = \left( \frac{B}{B+a(1-M)} \right)^q$$

Dan

$$q = \frac{\lambda B}{a \cdot M \cdot cf} ; \quad B = \frac{r_m}{L} \quad \text{dan} \quad a = \frac{(r_m - r_t)}{(L - l_1)}$$

persamaan 2.6a dan 2.6b, jika misalkan  $r_2 = r_t$  , maka  $l = L$ , sehingga harga a menjadi :

$$a = \frac{(r_m - r_t)}{L(1-M)}$$

dan

$$q = \frac{r_m/L}{(r_m - r_t) \cdot M \cdot cf / L(1-M)}$$

$$= \frac{r_m(1-M)}{(r_m - r_t) \cdot M \cdot 1}$$

Dari persamaan di atas, maka

$$F = \left( \frac{\frac{r_m}{L}}{\frac{r_m}{L} + \frac{r_m - r_t}{L(1-M)}} \right)^q$$

$$= \left( \frac{r_m r_m}{2 r_m + r_t} \right)^{r_m(1-M) / (r_t - r_m) M}$$

Untuk isolator resin epoksi harga  $r_m = 4,1$  dan  $r_t = 2,25$  sehingga persamaan menjadi

$$F = 0,392^{-2,216(1-M) / M}$$

jadi harga tegangan kritis flashover per unit panjang dapat dituliskan

$$\frac{V_c}{L} = 2,882 \cdot M \cdot (0,392)^{0,56 \times -2,216 (1-M) / M}$$

Dengan memasukkan harga-harga M, maka didapat hasil seperti tabel 4.19.

Lampiran 2 Hasil pengujian karakteristik tegangan flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan garam NaCl dan kaolin.

Tabel 6.1 Hasil pengujian tegangan flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan garam NaCl 25 gram.

No	Konduktifitas Larutan pengotor (mS)	Time (Second)	Sampel isolator Uji		Keterangan
			Jatuh Tegangan Isolator Resin Epoksi (mV)	Jatuh tegangan isolator Silicone Rubber (mV)	
1	9,660	13:06:41	0.000	0.000	Tegangan trafo 35 V
2		13:07:01	0.000	0.000	
3		13:08:01	0.000	0.000	
4		13:09:01	0.000	0.000	
5		13:10:01	0.000	0.000	
6		13:11:01	0.000	0.000	
7		13:12:01	0.000	0.000	
8		13:13:01	0.000	0.000	
9		13:13:31	0.001	0.000	
10		13:14:01	0.001	0.000	
11		13:15:01	0.001	0.000	
12		13:16:01	0.000	0.000	
13		13:17:01	0.000	0.000	
14		13:18:01	0.000	0.000	
15		13:19:01	0.000	0.000	
16		13:20:01	0.000	0.000	
17		13:20:56	0.001	0.000	
18		13:21:06	0.001	0.000	
19		13:21:21	0.001	0.000	
20		13:22:01	0.000	0.000	
21		13:23:01	0.000	0.000	
22		13:24:01	0.000	0.000	
24		13:25:01	0.000	0.000	
25		13:25:56	0.001	0.000	
26		13:26:01	0.000	0.000	
27		13:26:41	0.001	0.000	
28		13:27:01	0.000	0.000	
29		13:27:26	0.001	0.000	
30		13:27:36	0.001	0.000	
31		13:27:46	0.001	0.000	
32		13:27:51	0.001	0.000	
33		13:27:56	0.001	0.000	
34		13:28:01	0.001	0.000	

35		13:29:01	0.001	0.000	
36		13:30:01	0.001	0.000	
37		13:31:01	0.001	0.000	
38		13:32:01	0.001	0.000	
39		13:33:01	0.001	0.000	
40		13:34:01	0.001	0.000	
41		13:35:01	0.001	0.000	
42		13:36:01	0.001	0.000	
43		13:37:01	0.001	0.000	
44		13:38:01	0.001	0.000	
45		13:39:01	0.001	0.000	
46		13:40:01	0.001	0.000	
47		13:41:01	0.001	0.000	
48		13:42:01	0.001	0.000	
49		13:43:01	0.001	0.000	
50		13:44:01	0.001	0.000	
51		13:45:01	0.001	0.000	
52		13:46:01	0.001	0.000	
53		13:47:01	0.001	0.000	
54		13:48:01	0.001	0.000	
55		13:49:01	0.001	0.000	
56		13:50:01	0.001	0.000	
57		13:51:01	0.001	0.000	
58		13:52:01	0.001	0.000	
59		13:53:01	0.001	0.000	
60		13:54:01	0.001	0.000	
61		13:55:01	0.001	0.000	
62		13:56:01	0.001	0.000	
63		13:57:01	0.001	0.000	
64		13:58:01	0.001	0.000	
65		13:59:01	0.001	0.000	
66		14:00:01	0.001	0.000	
67		14:31:48	0.001	0.001	
68		14:32:03	0.001	0.001	
69		14:33:03	0.001	0.001	
70		14:34:03	0.001	0.001	
71		14:35:03	0.001	0.001	
72		14:36:03	0.001	0.001	
73		14:38:48	0.001	0.001	
74		14:39:03	0.001	0.001	
75		14:40:03	0.001	0.001	
76		14:41:03	0.001	0.001	
77		14:42:03	0.001	0.001	
78		14:43:03	0.001	0.001	
79		14:44:03	0.001	0.001	
80		14:45:03	0.001	0.001	

Tegangan  
trafo 50 V

81		14:46:03	0.001	0.001	
82		14:47:03	0.001	0.001	
83		14:48:03	0.001	0.001	
84		14:49:03	0.001	0.001	
85		14:50:03	0.001	0.001	
86		14:51:03	0.001	0.001	
87		14:52:03	0.001	0.001	
88		14:53:03	0.001	0.001	
89		14:54:03	0.001	0.001	
90		14:55:03	0.001	0.001	
91		14:56:03	0.001	0.001	
92		14:57:03	0.001	0.001	
93		14:58:03	0.001	0.001	
94		14:59:03	0.001	0.001	
95		15:00:03	0.001	0.001	
96		15:01:03	0.001	0.001	
97		15:02:03	0.001	0.001	
98		15:03:03	0.001	0.001	
99		15:04:03	0.001	0.001	
100		15:05:03	0.001	0.001	
101		15:06:03	0.001	0.001	
102		15:08:48	0.001	0.001	
103		15:09:03	0.001	0.001	
104		15:10:03	0.001	0.001	
105		15:11:03	0.001	0.001	
106		15:12:03	0.001	0.001	
107		15:13:03	0.001	0.001	
108		15:14:03	0.001	0.001	
109		15:15:03	0.001	0.001	
110		15:16:03	0.001	0.001	
111		15:17:03	0.001	0.001	
112		15:18:03	0.001	0.001	
113		15:19:03	0.001	0.001	
114		15:20:03	0.001	0.001	
115		15:21:03	0.001	0.001	
116		15:22:03	0.001	0.001	
117		15:23:03	0.001	0.001	
118		15:24:03	0.001	0.001	
119		15:25:03	0.001	0.001	
120		15:26:03	0.001	0.001	
121		15:27:03	0.001	0.001	
122		15:28:03	0.001	0.001	
123		15:29:03	0.001	0.001	
124		15:30:03	0.001	0.001	
125		15:45:03	0.305	0.001	Tegangan
126		15:46:03	3.017	0.509	trafo 75 V



127		15:47:03	5.253	0.715	
128		15:48:03	23.370	8.650	

Tabel 6.2 Hasil pengujian tegangan flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan garam NaCl 50 gram.

No	Konduktifitas Larutan Pengotor (mS)	Time (Second)	Sampel Isolator Uji		Keterangan
			Jatuh tegangan isolator Resin Epoksi (mV)	Jatuh tegangan isolator Silicone Rubber (mV)	
1	13,79	17:41:24	0.001	0.000	Tegangan trafo 35 Volt
2		17:42:29	0.001	0.000	
3		17:43:34	0.001	0.000	
4		17:44:39	0.001	0.000	
5		17:45:44	0.001	0.000	
6		17:46:49	0.001	0.000	
7		17:47:54	0.001	0.000	
8		17:48:59	0.001	0.000	
9		17:49:04	0.001	0.000	
10		17:50:09	0.001	0.000	
11		17:51:14	0.001	0.000	
12		17:52:19	0.001	0.000	
13		17:53:24	0.001	0.000	
14		17:54:29	0.001	0.000	
15		17:55:34	0.001	0.000	
16		17:56:39	0.001	0.000	
17		17:57:44	0.001	0.000	
18		17:58:49	0.001	0.000	
19		17:59:54	0.001	0.001	
20		17:00:59	0.001	0.001	
21		17:01:04	0.001	0.001	
22		17:02:09	0.001	0.001	
23		17:03:14	0.001	0.001	
24		17:04:19	0.001	0.001	
25		17:05:24	0.001	0.001	
26		17:06:29	0.001	0.001	
27		17:07:34	0.001	0.001	
28		17:08:39	0.001	0.001	
29		17:09:44	0.001	0.001	
30		17:10:49	0.001	0.001	
31		17:11:54	0.001	0.001	

32	17:12:59	0.001	0.001	
33	17:13:04	0.001	0.001	
34	17:14:09	0.001	0.001	
35	17:15:14	0.001	0.001	
36	17:16:19	0.001	0.001	
37	17:17:24	0.001	0.001	
38	17:18:29	0.001	0.001	
39	17:19:34	0.001	0.001	
40	17:20:39	0.001	0.001	
41	17:21:44	0.001	0.001	
42	17:22:49	0.001	0.001	
43	17:23:54	0.001	0.001	
44	17:24:59	0.001	0.001	
45	17:25:04	0.001	0.001	
46	17:26:09	0.001	0.001	
47	17:27:14	0.001	0.001	
48	17:28:19	0.001	0.001	
49	17:29:24	0.001	0.001	
50	17:30:29	0.001	0.001	
51	17:31:34	0.001	0.001	
52	17:32:39	0.001	0.001	
53	17:33:44	0.001	0.001	
54	17:34:49	0.001	0.001	
55	17:35:54	0.001	0.001	
56	17:36:59	0.002	0.001	
57	17:37:04	0.002	0.001	
58	17:38:09	0.002	0.001	
59	17:39:14	0.002	0.001	
60	17:40:19	0.002	0.001	
61	17:41:24	0.002	0.001	
62	17:50:29	0.025	0.005	Tegangan trafo 50 Volt
63	17:51:34	0.150	0.009	
64	17:52:39	12.334	0.150	
65	17:53:44	48.110	3,00	
66	18:10:01	0.000	0.052	Tegangan trafo 70 Volt
67	18:11:06	0.006	1,274	
68	18:12:11	0.012	3,002	
69	18:13:16	0.150	8,653	

Tabel 6.3 Hasil pengujian tegangan flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan garam NaCl 75 gram.

No	Konduktifitas Larutan Pengotor (mS)	Time (Second)	Sampel Isolator Uji		Keterangan
			Jatuh tegangan isolator Resin Epoksi (mV)	Jatuh tegangan isolator Silicone Rubber (mV)	
1	18,60	9:06:00	0.000	0.000	Tegangan trafo 35 Volt
2		9:07:00	0.001	0.000	
3		9:08:00	0.001	0.000	
4		9:09:00	0.001	0.000	
5		9:10:00	0.001	0.000	
6		9:11:00	0.002	0.030	
7		9:12:00	0.002	0.001	
8		9:13:00	0.002	0.001	
9		9:14:00	0.001	0.001	
10		9:15:00	0.001	0.001	
11		9:16:00	0.002	0.001	
12		9:17:00	0.001	0.001	
13		9:18:00	0.001	0.001	
14		9:19:00	0.001	0.001	
15		9:20:00	0.001	0.001	
16		9:21:00	0.002	0.001	
17		9:22:00	0.001	0.001	
18		9:23:00	0.002	0.001	
19		9:24:00	0.002	0.001	
20		9:25:00	0.002	0.001	
21		9:26:00	0.002	0.001	
22		9:27:00	0.002	0.001	
23		9:28:00	0.002	0.001	
24		9:29:00	0.002	0.001	
25		9:30:00	0.002	0.001	
26		9:31:00	0.002	0.001	
27		9:32:00	0.002	0.001	
28		9:33:00	0.002	0.001	
29		9:34:00	0.002	0.001	
30		9:35:00	0.002	0.001	
31		9:36:00	0.002	0.001	
32		9:37:00	0.002	0.001	
33		9:38:00	0.002	0.001	
34		9:39:00	0.002	0.001	
35		9:40:00	0.002	0.001	

36	9:41:00	0.002	0.001	
37	9:42:00	0.002	0.001	
38	9:43:00	0.002	0.001	
39	9:44:00	0.002	0.001	
40	9:45:00	0.002	0.001	
41	9:46:00	0.002	0.001	
42	9:47:00	0.002	0.001	
43	9:48:00	0.002	0.001	
44	9:49:00	0.002	0.001	
45	9:50:00	0.002	0.001	
46	9:51:00	0.002	0.001	
47	9:52:00	0.002	0.001	
48	9:53:00	0.002	0.001	
49	9:54:00	0.002	0.001	
50	9:55:00	0.002	0.001	
51	9:56:00	0.002	0.001	
52	9:56:05	0.002	0.001	
53	9:57:00	0.002	0.001	
54	9:58:00	0.002	0.001	
55	9:59:00	0.002	0.001	
56	10:00:00	0.002	0.001	
57	10:01:00	0.002	0.001	
58	10:02:00	0.002	0.001	
59	10:03:00	0.002	0.001	
60	10:04:00	0.002	0.001	
61	10:05:00	0.002	0.001	
62	10:06:00	0.002	0.001	
63	10:11:23	3.126	0.525	Tegangan trafo 40 Volt
64	10:12:33	13.104	1.737	
65	10:13:43	75.740	5.230	
66	10:26:11	0.000	9.112	Tegangan trafo 60 Volt
67	10:27:16	0.000	15.101	
68	10:28:21	0.000	41.380	

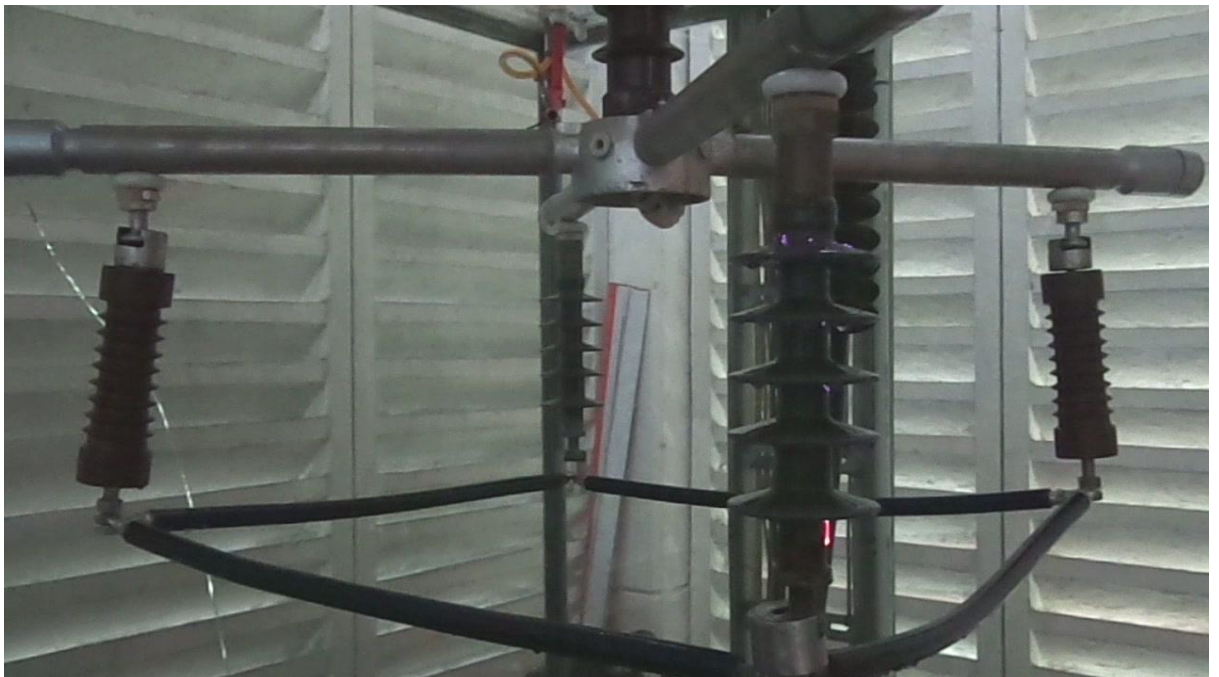
Tabel 6.4 Hasil pengujian tegangan flashover isolator polimer resin epoksi dan silicone rubber yang terkontaminasi polutan garam NaCl 100 gram.

No	Konduktifitas Larutan Pengotor (mS)	Time (Second)	Sampel Isolator Uji		Keterangan
			Jatuh tegangan isolator Resin Epoksi (mV)	Jatuh tegangan isolator Silicone Rubber (mV)	
1	24,70	12:03:20	1.350	0.009	Tegangan trafo 35 Volt
2		12:04:30	2.157	0.012	
3		12:05:40	10.005	0.061	
4		12:06:50	107.561	0.110	
5		12:12:24	0.000	0.315	Tegangan trafo 50 Volt
6		12:13:51	0.000	25.002	
7		12:14:03	0.000	36.148	
8		12:15:17	0.000	49.402	

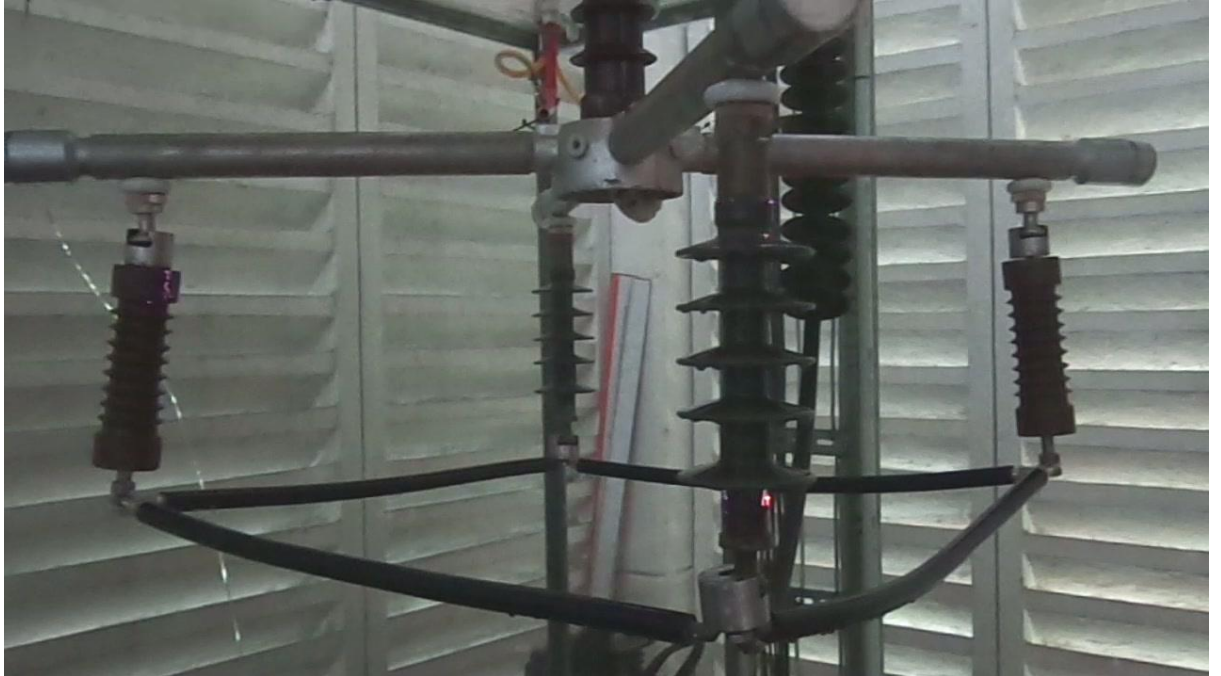
**Lampiran 2 Gambar flashover pada isolator yang di uji**



**Gambar 6.1 flashover pada isolator resin epoksi**



**Gambar 6.2 flashover pada isolator SIR**



**Gambar 6.3 flashover pada isolator resin epoksi dan silicone rubber**



**Gambar 6.4 flashover pada isolator resin epoksi yang terkontaminasi polutan kaolin**



## Lampiran 3 Tampilan Program Matlab Karakteristik Tegangan Flashover Isolator

