

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 λ	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

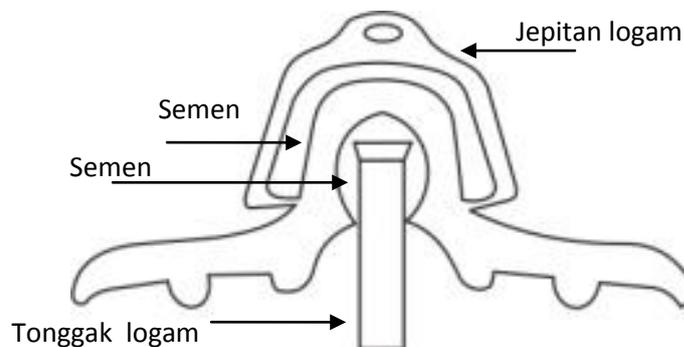
A. Isolator

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.

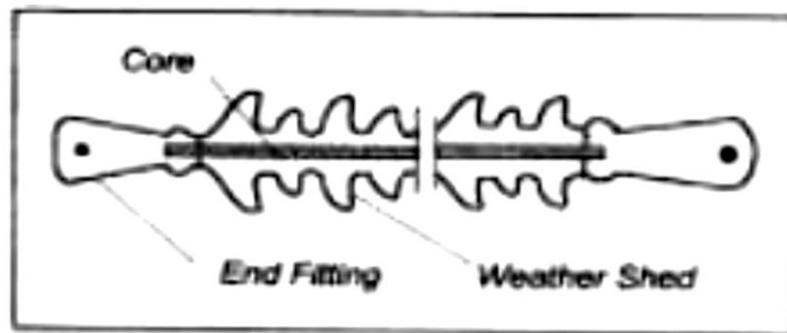
Berdasarkan lokasi pemasangannya, isolator terdiri dari isolator pasangan dalam (*indoor*) dan isolator pasangan luar (*outdoor*). Sedangkan berdasarkan konstruksinya isolator terdiri dari isolator pendukung (*isolator pin, post dan pin-post*) dan isolator gantung (*suspension*) yang terdiri dari isolator 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).



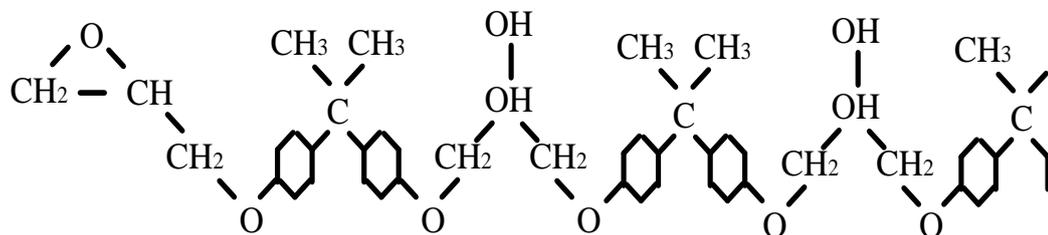
Gambar 2.2 Desain isolator polimer

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



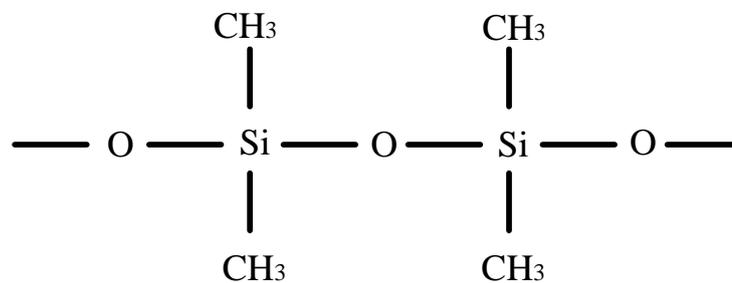
Gambar 2.3 Struktur kimia dari Resin Epoxy

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 $1,64 \text{ \AA}$ yang lebih panjang dibandingkan jarak ikatan C – C sekitar $1,5 \text{ \AA}$ yang banyak ditemukan pada polimer organik. kemudian susunan ikatan Si-O-Si ($180^\circ - \theta$) -143° lebih terbuka bila dibandingkan tetrahidrat biasa (-110°) 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 (NaCl), Magnesium Chlorida (MgCl) dan Natrium Nitrat (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* (SiO_2) dan *aluminatrihidrat* (Al_2O_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 (NaCl), Magnesium Chlorida (MgCl) dan Natrium Nitrat (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 (mg/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 (mg/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.

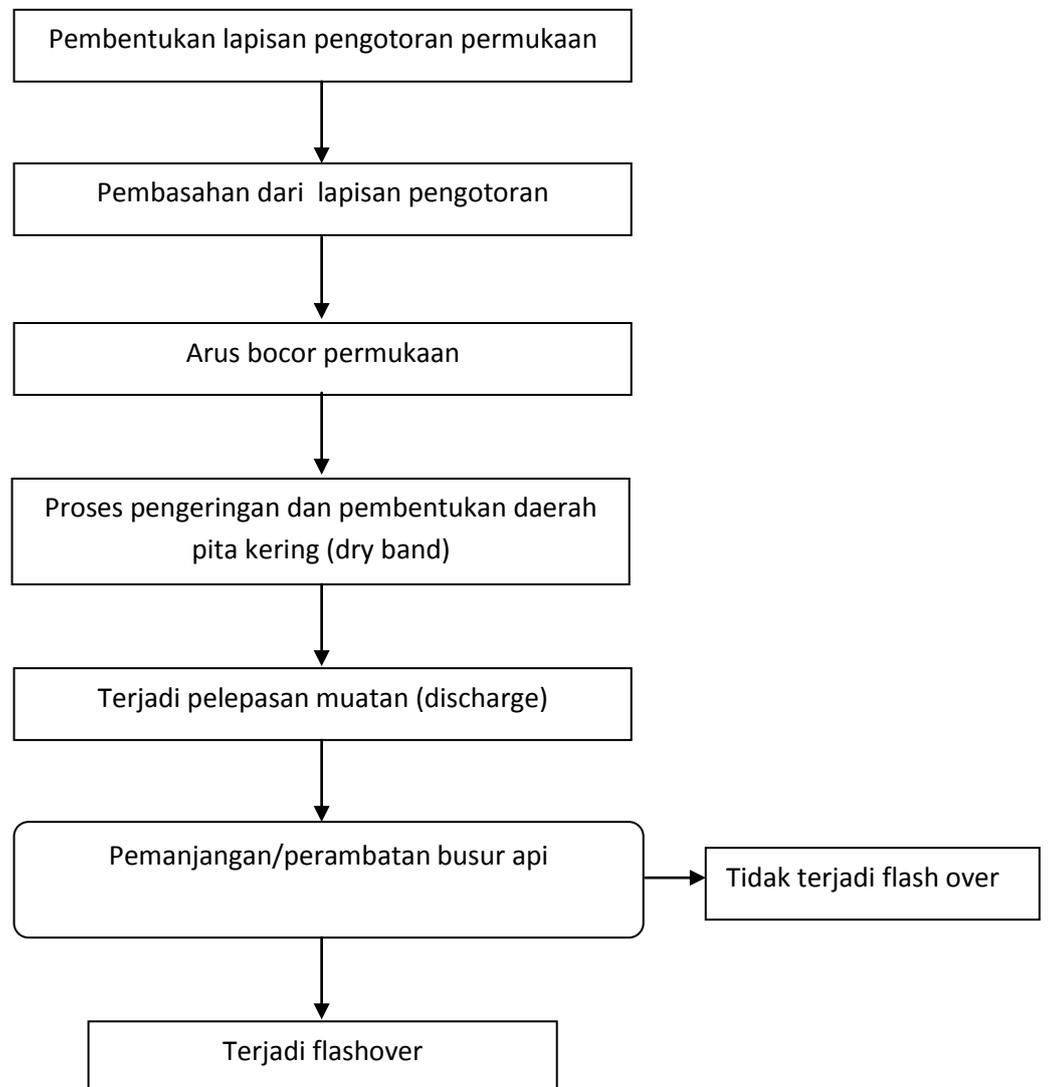
VI. Pemanjangan busur pelepasan muatan

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 (σ_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 (Ω)

ρ_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 ²)
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 (σ) dalam satuan mikro Siemens (μ_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

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

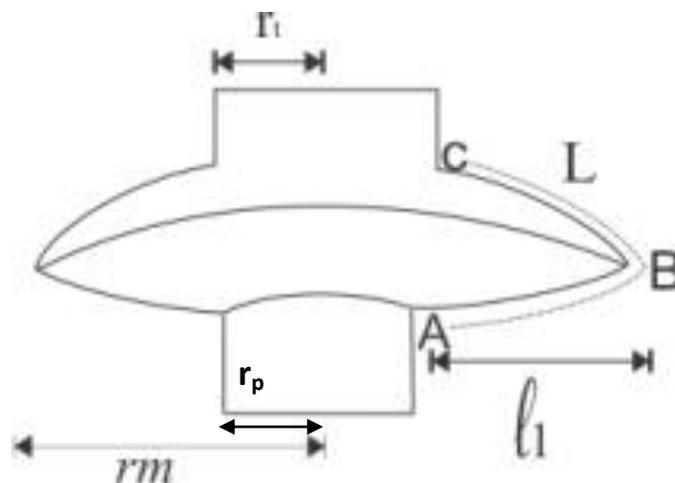
dimana :

σ_p = lapisan konduktifitas permukaan dalam keadaan panas (μ_s)

σ_d = lapisan konduktifitas permukaan dalam keadaan dingin (μ_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

ρ_{sp} = tahanan permukaan pada permukaan yang dilindungi (Ω)

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

ρ_{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.

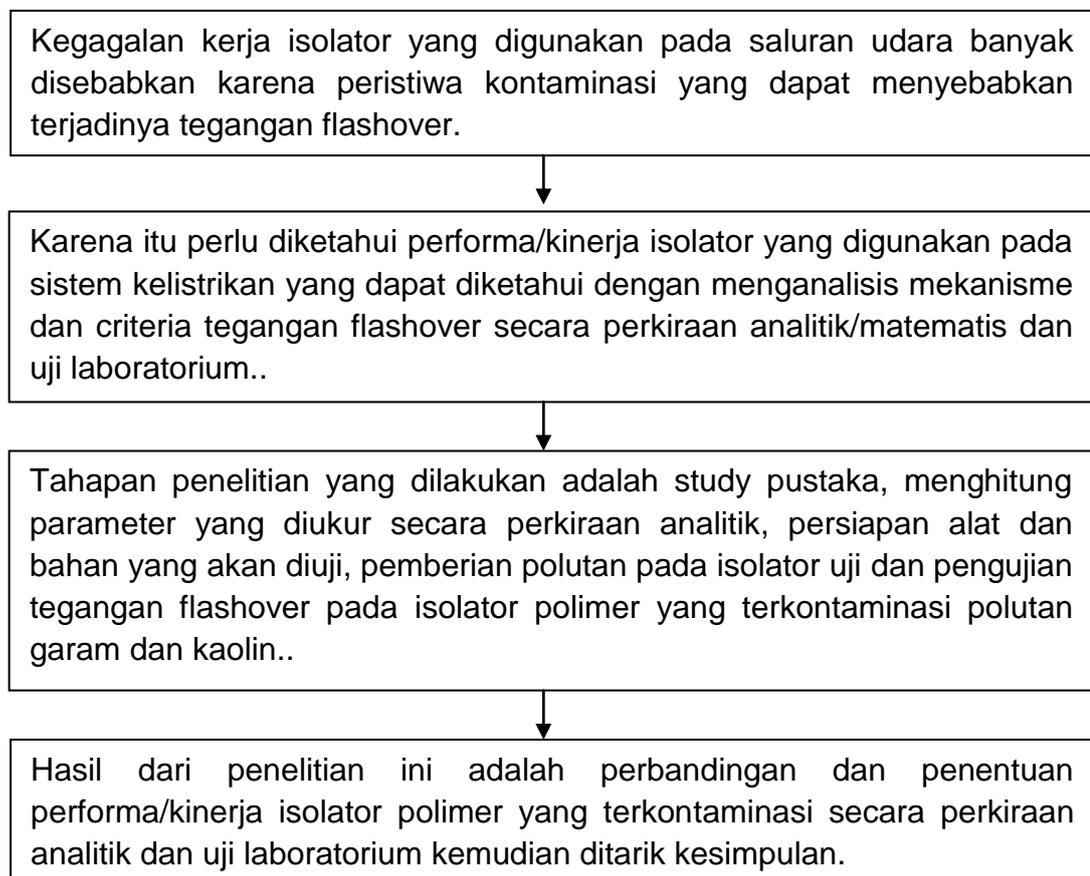
Penelitian yang dilakukan oleh Hafizh Rahman (2010) mengenai “ Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) Terhadap Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator Berbahan Resin Epoksi Silane dengan Pengisi Bahan Pasir Silika “. Dalam penelitian ini dilakukan pada 2 isolator yang memiliki sirip 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