

**SKRIPSI**

**DESAIN BENTUK LUAR ISOLATOR POLIMER UNTUK  
MENENTUKAN DISTRIBUSI TEGANGAN YANG OPTIMAL  
DENGAN ANALISIS MATLAB**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**GUSTI PUTRA PERDANA  
D041181032**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**SKRIPSI**

**DESAIN BENTUK LUAR ISOLATOR POLIMER UNTUK  
MENENTUKAN DISTRIBUSI TEGANGAN YANG OPTIMAL  
DENGAN ANALISIS MATLAB**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**GUSTI PUTRA PERDANA  
D041181032**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**DESAIN BENTUK LUAR ISOLATOR POLIMER UNTUK MENENTUKAN  
DISTRIBUSI TEGANGAN YANG OPTIMAL DENGAN ANALISIS MATLAB**

Disusun dan diajukan oleh:

**GUSTI PUTRA PERDANA**


**D041 18 1032**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 15 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

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

  
Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.  
NIP. 19760914 200801 1 006

Ketua Departemen Teknik Elektro,  
  
Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.  
NIP. 19691026 199412 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Gusti Putra Perdana

NIM : D041181032

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**DESAIN BENTUK LUAR ISOLATOR POLIMER UNTUK MENENTUKAN  
DISTRIBUSI TEGANGAN YANG OPTIMAL DENGAN ANALISIS MATLAB**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 6 Marct 2023

Yang Menyatakan



Gusti Putra Perdana

## ABSTRAK

### **Gusti Putra Perdana, Desain Bentuk Luar Isolator Polimer Untuk Menentukan Distribusi Tegangan Yang Optimal Dengan Analisis Matlab (dibimbing oleh Salama Manjang, dan Ikhlas Kitta)**

Salah satu peralatan yang mempunyai peranan penting pada sistem saluran tenaga listrik adalah isolator. Isolator berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Saat ini isolator yang banyak dikembangkan adalah 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. Kondisi iklim, polusi, dan terpaan medan listrik menyebabkan terjadinya degradasi dan selanjutnya akan mengakibatkan penuaan pada isolator. Ketika terjadi proses penuaan sifat kedap air akan berkurang sehingga terbentuk lapisan polusi pada permukaan isolator. Lapisan polusi mengakibatkan permukaan isolator bersifat konduktif. Sifat konduktif tersebut menginisiasi munculnya pita kering (dry-band) pada permukaan isolator. Adanya pita kering tersebut mengakibatkan arus bocor mampu melewati permukaan isolator sehingga muncul fenomena yang disebut busur api pita kering (dry-band arcing). Fenomena tersebut mengakibatkan umur penggunaan isolator semakin rendah. Bentuk luar dari isolator polimer ini berpengaruh akan keandalan isolator tersebut untuk menahan arus bocor ataupun tegangan tembus sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menemukan bentuk luar isolator polimer yang efisien atau optimal digunakan pada saat musim hujan atau musim kemarau. Lalu untuk metode yang digunakan yaitu menggunakan persamaan diferensial parsial pada aplikasi matlab. Hasil dari penelitian ini di analisis menggunakan aplikasi Matlab yang dimana didapatkan bahwa dari ketiga desain isolator yang dibuat, desain pertamalah yang optimal dalam menahan arus maupun tegangan dengan lebih baik dimana kemampuannya dalam menahan arus dan tegangan adalah 63.705% dan 69,275% dimana desain umum sebagai titik acuan.

**Kata Kunci :** Isolator, hidrofobik, polimer, Matlab, Keandalan Isolator, Arus Bocor, Tegangan Tembus, Desain Isolator, Kondisi Iklim, Polusi, Pita Kering, Medan Listrik, Diferensial Parsial

## ABSTRACT

### **Gusti Putra Perdana, Outer Shape Design Of Polymer Insulators To Determine Optimal Stress Distribution With Matlab Analysis (supervised by Salama Manjang, and Ikhlas Kitta)**

One of the equipment that has an important role in the power line system is the insulator. The insulator serves to isolate the stressed part from the non-voltage part. Currently, the most widely developed insulators are polymer insulators. This is because polymer materials have high hydrophobic (water repellent) properties, low mass density, are easy to manufacture because they do not require very high temperatures in the manufacturing process, have a high level of adhesion and are cheaper in price. Climatic conditions, pollution, and exposure to electric fields cause degradation and will subsequently result in aging of the insulator. When the aging process occurs, the waterproof properties will decrease so that a pollutant layer forms on the surface of the insulator. The pollutant layer causes the surface of the insulator to be conductive. This conductive property initiates the appearance of dry bands on the surface of the insulator. The existence of the dry band causes the leakage current to pass through the surface of the insulator so that a phenomenon called dry-band arcing appears. This phenomenon causes the life of the insulator to decrease. The outer shape of this polymer insulator affects the reliability of the insulator to withstand leakage currents or breakdown voltage so that this study aims to find the outer shape of a polymer insulator that is efficient or optimal for use during the rainy season or dry season. Then for the method used, namely using partial differential equations in the Matlab application. The results of this study were analyzed using the Matlab application which found that of the three insulator designs made, the first design is optimal in holding current and voltage better where its ability to withstand current and voltage is 63.705% and 69.275% where the general design is the point reference

**Keywords :** Insulator, hydrophobic, polymer, Matlab, Insulator Reliability, Leakage Current, Breakdown Voltage, Insulator Design, Climate Conditions, Pollution, Dry Band, Electric Field, Partial Differential

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “DESAIN BENTUK LUAR ISOLATOR POLIMER UNTUK MENENTUKAN DISTRIBUSI TEGANGAN YANG OPTIMAL DENGAN ANALISIS MATLAB” dapat terselesaikan. Penyelesaian skripsi ini merupakan salah satu upaya penulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

- 1) Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
- 2) Bapak Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Yusri Syam Akil, ST.,MT.,Ph.D selaku Dosen Penguji II.
- 3) Seluruh dosen dan staf pegawai Departemen Teknik Elektro yang telah banyak membantu dan memberi kemudahan selama menempuh proses perkuliahan.
- 4) Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- 5) Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku dekan Fakultas Teknik dan Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
- 6) Kedua orang tua yang sangat saya cintai yang telah memberikan doa dan dukungan baik dari segi moril dan materi.
- 7) Semua teman-teman seperjuangan CAL18RATOR. Kuatkan diri kalian dan jangan pernah ragu.
- 8) Kepada teman-teman Lab Riset Grup Infrastruktur Ketenagalistrikan dan T3 yang selalu menemani di lab saat proses penyusunan tugas akhir ini.

9) Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu demi satu yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak dapat menjadi masukan untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan hasil pemikiran penulis. Sehingga dapat mendatangkan manfaat bagi penulis maupun pembacanya.

Gowa, 20 Februari 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Isolasi .....	4
2.2 Bahan Isolasi .....	4
2.3 Isolator .....	7
2.4 Karakteristik Isolator .....	8
2.5 Jenis pada Jaringan (Isolator).....	9
2.6 Isolator Terpolusi.....	14
2.7 Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat .....	17
2.8 Gejala Medan Tinggi .....	20
2.9 Partial discharge .....	22
2.10 Bahan Penyusun Isolator .....	34
2.10.1 Isolator Porselin .....	34
2.10.2 Isolator Gelas/Kaca .....	35
2.10.3 Isolator Polimer.....	35
2.11 Pemodelan Program Matlab .....	37
2.12 Proses Terjadinya Arus Bocor.....	40
2.13 Penelitian Terkait Yang Terdahulu.....	42

BAB III METODE PENELITIAN.....	47
3.1 Jenis, Tempat dan Waktu Penelitian.....	47
3.2 Alat dan Bahan .....	47
3.3 Parameter Observasi.....	47
3.4 Prosedur Penelitian.....	48
3.5 Variabel Sebab, Antara dan Akibat.....	49
3.6 Rancangan Modifikasi Bentuk Isolator 20 KV Dan 70 KV.....	49
3.7 Diagram Alur Pelaksanaan .....	50
BAB IV HASIL PENELITIAN .....	51
4.1 Menu Draw.....	51
4.2 Menu Boundary.....	52
4.3 Menu PDE .....	54
4.4 Menu Mesh.....	56
4.5 Menu Solve.....	58
4.6 Menu Plot .....	58
4.7 Desain Isolator Umumnya.....	59
4.7.1 Penyebaran tegangan pada permukaan dan sisi dalam.....	61
4.8 Desain Isolator Pertama.....	63
4.8.1 Penyebaran tegangan pada permukaan dan sisi dalam.....	65
4.9 Desain Isolator Kedua .....	68
4.9.1 Penyebaran tegangan pada permukaan dan sisi dalam.....	70
4.10 Desain Isolator Ketiga.....	72
4.10.1 Penyebaran tegangan pada permukaan dan sisi dalam.....	74
4.11 Arus Bocor Setiap Titik Untuk Ketiga Model.....	76
4.11.1 Arus Bocor Untuk Model Umum.....	77
4.11.2 Arus Bocor Untuk Model Pertama.....	78
4.11.3 Arus Bocor Untuk Model Kedua .....	79
4.11.4 Arus Bocor Untuk Model Ketiga .....	81
BAB V PENUTUP.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	85

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	61
Tabel 2 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	62
Tabel 3 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	66
Tabel 4 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	67
Tabel 5 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	70
Tabel 6 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	71
Tabel 7 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	74
Tabel 8 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	76
Tabel 9 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Luar Model Umum.....	77
Tabel 10 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Umum.....	77
Tabel 11 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Luar Model Pertama.....	78
Tabel 12 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Pertama.....	79
Tabel 13 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Luar Model Kedua .....	79
Tabel 14 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Kedua .....	80
Tabel 15 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Luar Model Ketiga .....	81
Tabel 16 Nilai Arus Bocor pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Ketiga.....	81

Tabel 17 Perbandingan desain isolator yang dibuat dengan desain isolator pada umumnya.....	82
--	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Isolator Piring Jenia Ball and Socket.....	10
Gambar 2 Isolator Piring Tipe Clevis.....	10
Gambar 3 Jenis Isolator Piring Berdasarkan Bentuknya.....	10
Gambar 4 Isolator Pasak.....	12
Gambar 5 Multicone Insulator.....	12
Gambar 6 Isolator Batang Panjang.....	13
Gambar 7 Isolator Post Pin.....	14
Gambar 8 Perpanjangan Sirip yang Terpasang pada Isolator Porselin.....	16
Gambar 9 Jarak Rambat Ls pada Isolator Piring.....	17
Gambar 10 Grafik Kegagalan Pada Bahan Isolasi Padat.....	18
Gambar 11 Kegagalan Thermal.....	19
Gambar 12 Internal Partial Discharge.....	26
Gambar 13 Partial Discharge permukaan.....	27
Gambar 14 Corona.....	29
Gambar 15 Electrical Treeing.....	30
Gambar 16 Isolator Polimer (a), Isolator Kaca (b), Isolator Keramik (c).....	36
Gambar 17 Command Tombol”Enter”.....	38
Gambar 18 Command Tanda Koma.....	38
Gambar 19 Command Koreksi Automatis.....	39
Gambar 20 Command Memanggil Kode Sebelumnya.....	39
Gambar 21 Command Memanggil Kode yang Panjang.....	40
Gambar 22 Rangkaian Ekuivalen Arus Bocor pada Isolator.....	41
Gambar 23 model CSG insulator gantung.....	43

Gambar 24 bentuk batas insulator gantung.....	44
Gambar 25 Mesh segitiga pada insulator gantung.....	45
Gambar 26 simulasi distribusi tegangan pada permukaan insulator gantung dengan tegangan terpaan 70 KV.....	45
Gambar 27 (a) Desain Pertama, (b) Desain Kedua, (c) Desain Ketiga.....	49
Gambar 28 Diagram Alur Penelitian.....	50
Gambar 29 Model CSG Insulator.....	52
Gambar 30 Bentuk Batas Insulator.....	53
Gambar 31 Kotak Dialog Boundary Conditions.....	53
Gambar 32 PDE Mode.....	54
Gambar 33 Kotak Dialog PDE Specification.....	55
Gambar 34 Kotak Dialog Mesh Parameter.....	56
Gambar 35 Mesh Segetiga Pada Insulator.....	57
Gambar 36 Triangle Quality.....	57
Gambar 37 Kotak Dialog Solve Parameters.....	58
Gambar 38 Kotak Dialog Plot Selection.....	59
Gambar 39 Desain Isolator Pada Umumnya.....	59
Gambar 40 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 KV.....	60
Gambar 41 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 70 KV.....	60
Gambar 42 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	61
Gambar 43 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	62

Gambar 44 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	62
Gambar 45 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Umum dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	63
Gambar 46 Desain Isolator Pertama .....	63
Gambar 47 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 KV .....	64
Gambar 48 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 70 KV .....	64
Gambar 49 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	65
Gambar 50 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	66
Gambar 51 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV.....	66
Gambar 52 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Pertama dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	67
Gambar 53 Desain Isolator Kedua .....	68
Gambar 54 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 KV .....	68
Gambar 55 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 70 KV .....	69
Gambar 56 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	70
Gambar 57 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	71



Gambar 58 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	71
Gambar 59 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Kedua dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	72
Gambar 60 Desain Isolator Ketiga.....	72
Gambar 61 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 KV .....	73
Gambar 62 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 70 KV .....	73
Gambar 63 Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	74
Gambar 64 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Permukaan (sisi luar) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	75
Gambar 65 Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	75
Gambar 66 Grafik Simulasi Distribusi Tegangan pada Volume (sisi dalam) Insulator Ketiga dengan Tegangan Terpaan 20 & 70 KV .....	76
Gambar 67 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Luar Model Pada Umumnya .....	77
Gambar 68 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Pada Umumnya .....	78
Gambar 69 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Luar Model Pertama .....	78
Gambar 70 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Dalam Model Pertama .....	79
Gambar 71 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Luar Model Kedua .....	80

Gambar 72 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Dalam Model	Kedua
.....	80
Gambar 73 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Luar Model	Ketiga
.....	81
Gambar 74 Grafik Nilai Arus Bocor Pada Setiap Titik Sisi Dalam Model	Ketiga
.....	82

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1. Latar Belakang**

Salah satu peralatan yang mempunyai peranan penting pada sistem saluran tenaga listrik adalah isolator. Isolator berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Saat ini isolator yang banyak dikembangkan adalah 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.

Pemilihan isolator polimer pasangan luar (Outdoor Insulation) harus mempertimbangkan jarak rambat minimum berdasarkan International Standard IEC 815, tegangan system, dan tingkat polusi pada daerah dimana isolator akan dipasang. Faktor bentuk isolator juga mempengaruhi kemampuan isolator terhadap arus bocor maupun peristiwa flashover. Performa isolator dapat ditinjau dari analisis terhadap karakteristik tegangan flashover dimana karakteristik tegangan flashover memberi gambaran hubungan antara tegangan kritis flashover isolator sebagai fungsi dari konduktifitas permukaan isolator yang terkontaminasi. Performa atau kinerja isolator dapat diketahui dengan pengesanan di laboratorium atau diperoleh melalui analisa matematis dengan berbagai pendekatan dan asumsi.

Kondisi iklim, polusi, dan terpaan medan listrik menyebabkan terjadinya degradasi dan selanjutnya akan mengakibatkan penuaan pada isolator. Ketika terjadi proses penuaan sifat kedap air akan berkurang sehingga terbentuk lapisan polusi pada permukaan isolator. Lapisan polusi mengakibatkan permukaan isolator bersifat konduktif. Sifat konduktif tersebut menginisiasi munculnya pita kering (dry-band) pada permukaan isolator. Adanya pita kering tersebut mengakibatkan arus bocor mampu melewati permukaan isolator sehingga muncul fenomena yang disebut busur api pita kering (dry-band arcing). Fenomena tersebut mengakibatkan umur penggunaan isolator semakin rendah.

Untuk itu penulis melakukan analisis mengenai pengaruh bentuk isolator polimer resin epoksi terhadap karakteristik tegangan flashover dengan pendekatan matematis menggunakan program matlab dan pengujian flashover di laboratorium. Kedua hasil yang diperoleh akan dibandingkan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan isolator polimer yang akan digunakan pada system kelistrikan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal
2. Bagaimana cara menganalisis bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal

3. Bagaimana cara menggunakan aplikasi Matlab untuk menganalisis bentuk optimal dari isolator polimer

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu:

1. Untuk mendesain bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal
2. Untuk mengetahui bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal
3. Untuk mengetahui cara menggunakan aplikasi Matlab untuk menganalisis bentuk optimal dari isolator polimer

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Dapat mengetahui bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal
2. Dapat mengetahui cara menganalisis bentuk luar isolator polimer untuk menentukan distribusi tegangan yang optimal
3. Dapat mengetahui cara menggunakan aplikasi Matlab untuk menganalisis bentuk optimal dari isolator polimer

### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini membahas tentang desain isolator yang optimal pada saat terkena air hujan dan polusi
2. Penelitian dilakukan menggunakan aplikasi Matlab
3. Tempat dilakukan penelitian ini adalah di laboratorium Teknik tegangan tinggi

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Isolasi**

Isolasi adalah suatu bahan yang tidak dapat menghantar aliran listrik, bersifat memisahkan/menyekat bagian yang bertegangan satu dengan bagian bertegangan lainnya agar tidak terjadi kebocoran pada suatu peralatan tegangan tinggi. Fungsi lainnya, isolasi sebagai pelindung dengan tujuan melindungi bagian yang bertegangan agar manusia yang berada disekitar peralatan atau penghantar tidak tersengat listrik. Penggunaan bahan/materal isolasi pada tegangan tinggi terbagi atas tiga bahan utama yaitu isolasi cair, isolasi gas/udara dan isolasi padat. (Swuarno, 2006)

#### **2.2 Bahan Isolasi**

Padat Isolasi padat secara umum mempunyai sifat dielektrik yang baik, mempunyai kemampuan mekanik dan dapat menjadi protektor terhadap lingkungan.

Beberapa keuntungan dari isolasi padat diantaranya bersifat self supporting (tidak perlu pendukung) dan tidak perlu wadah. Isolasi padat juga memiliki kelemahan yaitu sifat recovery isolasinya rendah sehingga sekali mengalami tembus maka sudah tidak dapat lagi digunakan dan fungsi sebagai pendingin kurang baik. Adapun bahan-bahan isolasi padat bersumber dari alam melalui tumbuh-tumbuhan dan pertambangan. (Swuarno, 2006)

##### **1) Isolasi Kertas dan Press Boards**

Kertas dan papan (board) terbuat dari bahan baku selulosa yang berasal dari berbagai bahan seperti kayu, kapas, papyurs, serat alam (yute,rami) dan bambu. Kertas untuk dielektrik biasanya diproses dari pulp kayu kraft yang berasal dari konifer, kayu lunak atau pinus. Selulosa mempunyai rumus kimia ( $C_6H_{10}O_5$ ) yang merupakan polimer dengan berat molekul tinggi

yang terdiri dari kristalin yang bergabung dengan bagian amorphous. Secara umum selulosa mempunyai ikatan linier. Namun tidak jarang dilakukan cross linking ringan. Perbedaan antara kertas dan paper board kurang jelas namun biasanya dilihat dari ketebalannya. Kertas biasanya untuk ketebalan kurang dari 0,8 mm sedangkan paper board untuk ketebalan yang lebih dari itu. Pada proses pembentukan awal maka kandungan air dapat mencapai 98% namun proses selanjutnya, kertas dikeringkan dan kandungan kelembaban didalamnya turun hingga sekitar 5%. Kertas mempunyai sifat higroskopik (mudah menyerap air). Oleh karena itu dalam pemakaiannya dikeringkan dahulu kemudian diimpregnasi dengan minyak mineral, minyak sintetik atau minyak sayur (vegetable oil). Konstanta dielektrik kertas sangat tergantung dari minyak impregnasi dan selulosa bahan kertasnya.

## 2) Karet

Karet organik berasal dari getah karet. Dengan pemrosesan tertentu maka dapat diperoleh isolasi karet organik dengan bentuk yang diinginkan. Karet mempunyai sifat elastis dan temperatur operasi relatif rendah. Pada suhu tinggi karet akan lembek dan bahkan meleleh.

## 3) Kayu

Kayu sudah sangat lemah digunakan sebagai isolasi. Menara kayu banyak dipergunakan hingga tegangan menengah. Kelemahan kayu sebagai isolasi adalah tingkat penyerapan terhadap air yang sangat mempengaruhi sifat kayu. Pada saat ini kayu masih digunakan untuk isolasi terutama di daerah-daerah terpencil.

## 4) Gelas

Berbeda dengan keramik yang merupakan kristalin maka gelas adalah amorphous cair dengan viskositas tinggi dan dicampur dengan oksida logam seperti kalsium atau timbal. Gelas didinginkan ke fase padat tanpa mengalami kristalisasi. Gelas merupakan material inorganik thermoplastic.

Pada temperatur dibawah transisi gelas bersifat keras dan pada temperatur diatas transisi gelas menyerupai plastik dan melembek. Gelas untuk aplikasi sebagai isolasi secara umum adalah dari jenis silikat.

#### 5) Keramik (Porselen)

Keramik termasuk bahan isolasi/dielektrik yang secara luas telah dipergunakan sejak lama baik untuk isolasi maupun pada jaringan transmisi dan distribusi. Keramik terbuat dari aluminium silikat hidrat dengan rumus kimia  $Al_2O_3SiO_2 \cdot xH_2O$ . Secara umum keramik mempunyai susunan kristal dengan pengikat amorphous yang terbentuk selama proses terutama pada saat pembakaran (firing). Rasio antara kristalin dan amorphous menentukan kualitas keramik.

Formasi kristal ditentukan oleh profil temperatur dan waktu pembakaran disamping oleh bahan baku yang dipergunakan. Keramik dibagi kedalam dua kelompok dari harga konstanta dielektrik. Keramik dengan konstanta dielektrik rendah (lebih kecil dari dua belas) banyak dipergunakan untuk isolator sedangkan keramik dengan konstanta dielektrik tinggi dipergunakan untuk kapasitor dan sensor/transduser.

#### 6) Mika

Istilah mika berasal dari bahasa latin Micare yang artinya bersinar. Mika ditemukan di India sejak tahun 2000 sebelum masehi. Mika digunakan sejak awal listrik diperkenalkan. Mika adalah senyawa kompleks silikat. Untuk keperluan sebagai isolasi memiliki dua jenis yaitu mika moscovite dan mika phlogopite.

Isolasi mika digunakan dalam bentuk pelat atau papan yang bervariasi. Pengaplikasian untuk isolasi banyak ditemukan pada kapasitor, jendela microwave spacer pada tabung hampa, partisi pada kubikel dan sebagainya. Isolasi ini juga dibuat secara sintetik dengan sifat yang bahkan lebih baik. Temperatur operasinya bisa mencapai 900°C.



## 7) Polimer

Polimer merupakan zat yang terdiri dari rangkaian panjang molekul kecil (monomer) yang berantai yang membentuk molekul besar (makromolekul). Dalam kehidupan sehari-hari, polimer kita kenal sebagai plastik. Polimer mengandung makromolekul-makromolekul yang panjang dengan monomer-monomer yang berulang. Polimer biasanya dinamakan dengan menempatkan pol- di depan nama monomer yang diambil. Sebagai contoh, monomer etilen merupakan monomer yang berulang dalam polietilen.

Unit molekul yang berbeda diambil diambil sampai ke ujung rantai (contohnya,  $\text{CH}_2$  pada polihyethylene). Bagaimana karena  $n$  (tingkat polimerisasi) sangat besar dalam kasus ini (biasanya dalam interval  $10^3 - 10^5$ ), akhir dari satu unit tidak berpengaruh pada karakteristik fisik polimer.

## 2.3 Isolator

Isolator adalah peralatan yang terdiri dari bahan dielektrik yang berguna untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan konduktor lain yang memiliki beda potensial atau konduktor bertegangan dengan kawat penyangga yang diketanahkan agar tidak terjadi kebocoran arus (leakage current) dan loncatan bunga api (flash over) yang mengakibatkan terjadinya gangguan pada sistem yang dapat mengurangi keandalan sistem serta dapat membahayakan manusia. Adapun fungsi utama isolator selain yang disebutkan diatas adalah sebagai berikut:

1. Sebagai penyekat/ pengisolir antara kawat penghantar dengan bagian yang diketanahkan dan antar kawat penghantar.
2. Sebagai pemikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat kawat penghantar dan/ atau gaya tarik yang disebabkan oleh kawat penghantar.
3. Sebagai pembatas agar jarak antar kawat penghantar tetap.

Kemampuan isolator dapat ditinjau dari kekuatan bahan dielektrik yang digunakan. Isolator dapat dikatakan baik apabila kekuatan bahan dielektriknya mampu menahan beban potensial listrik, beban mekanis, serta medan listrik yang mengenainya tanpa menjadikan isolator tersebut cacat atau rusak. Namun, kemampuan dielektrik isolator dapat berkurang akibat pengaruh kondisi lingkungan disekitar isolator. Kondisi yang dimaksudkan adalah perubahan suhu secara ekstrim, kontaminasi garam pada permukaan, dan kondisi fisik isolator tersebut. (Gorur dkk, 1999)

## **2.4 Karakteristik Isolator**

Karakteristik isolator secara umum dapat ditinjau dari dua segi yaitu, segi elektris dan segi mekanis. (Ramiro H, 2016)

1. Pada segi elektris isolator berfungsi untuk mengisolir konduktor bertegangan dan kerangka penyangga yang dikebumikan agar tidak muncul arus listrik yang melewati rangka penyangga. Namun ada dua hal yang dapat menyebabkan sistem isolasi tersebut gagal melaksanakan fungsinya tersebut. Kegagalan elektris pada isolator dipengaruhi oleh kelembaban dan polusi udara. Polusi udara tersebut mengakibatkan munculnya lapisan kontaminan. pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan permukaan isolator menjadi lebih konduktif, sehingga arus dapat melewati permukaan isolator. Fenomena timbulnya arus pada permukaan tersebut menginisiasi munculnya kegagalan. Ada dua macam kegagalan pada sistem isolasi yaitu fenomena tegangan lewat denyar (flash over) dan tegangan tembus listrik (breakdown) pada isolator yang menyebabkan isolator pecah. Fenomena flashover mengakibatkan isolator tidak mampu kembali ke posisi semula, sehingga sebagian isolator mengalami kerusakan mekanis. Pada peristiwa tersebut munculnya busur api mengakibatkan pemansan pada permukaan isolator dan menimbulkan hubung singkat.

2. Karakteristik mekanis isolator adalah kemampuan sebuah isolator dalam menahan beban mekanis terendah yang dapat mengakibatkan isolator tersebut cacat atau rusak. Kekuatan tersebut dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu kuat mekanis tarik, kuat mekanis tekan, dan kuat mekanis tekuk. Kuat mekanis tersebut didapatkan dari kemampuan isolator dalam menahan beban dari kawat penghantar

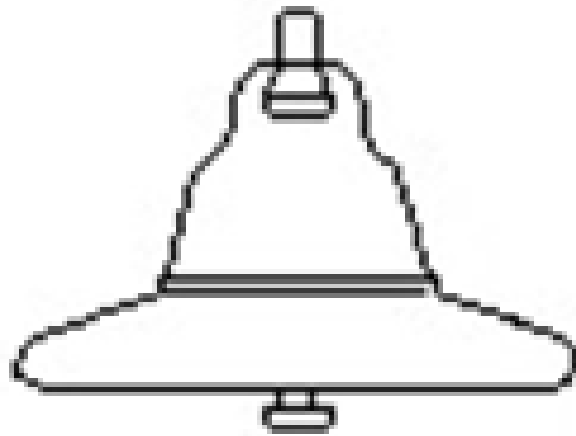
## **2.5 Jenis Isolasi Pada Jaringan (Isolator)**

Untuk penggunaan isolator pada sistem distribusi maupun transmisi memiliki tipe dan sifat elektrik tergantung dari komposisi, ketebalan, kondisi permukaan dan temperatur. Adapun isolator yang digunakan terbagi atas beberapa jenis. (Mika dkk, 2019)

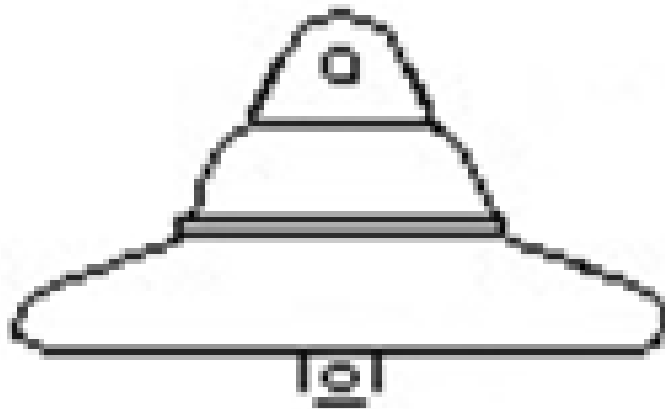
- **Isolator Piring**

Isolator piring cap-and-pin telah diterapkan secara universal mendukung mekanik dan isolasi elektrik pada saluran udara. Pada saluran tegangan tinggi, jenis isolator ini banyak digunakan karena isolator ini dapat dihubungkan secara seri dengan menggunakan sambungan logam, membentuk suatu rentangan dengan isolator bawah pemegang konduktor sebuah isolator piring bagian bawahnya berlekuk untuk memperbesar jarak rayap. Pada bagian atas disemenkan sebuah tutup (cap) yang terbuat dari besi dan digalvanisasi serta bagian bawahnya disemenkan sebuah pasak yang digalvanisasi (pin).

Keuntungannya adalah tiap isolator dirancang untuk tegangan yang tidak terlalu tinggi. Sehingga dengan menghubungkan seri isolator didapat kekuatan elektrik yang dibutuhkan atau paralel untuk kekuatan mekanis yang diinginkan. Rentanan bersifat lentur. Jika salah satu rusak maka proses penggantian mudah.

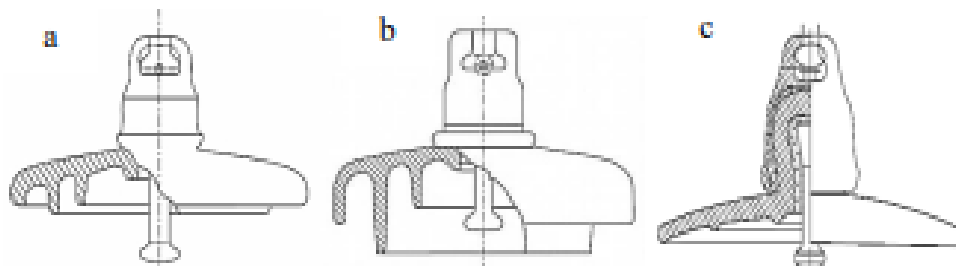


Gambar 1 Isolator Piring Jenia Ball and Socket (Mika dkk, 2019)



Gambar 2 Isolator Piring Tipe Clevis (Mika dkk, 2019)

Dilihat dari bentuknya, isolator piring dibagi menjadi 3 jenis seperti ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Jenis Isolator Piring Berdasarkan Bentuknya: (Mika dkk, 2019)

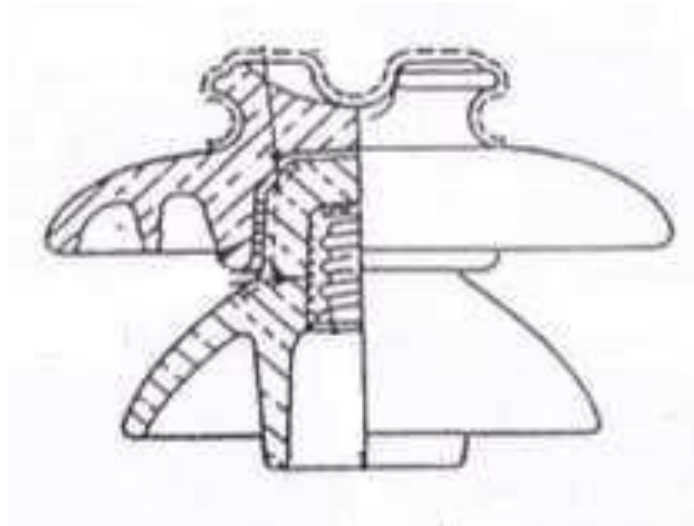
- a) Isolator Piring Standar
- b) Isolator Piring Anti-fog
- c) Isolator Piring Aerodinamis

- Isolator piring dengan desain standar : Isolator ini digunakan pada daerah dengan bobot polusi rendah seperti di daerah yang kerapatan penduduknya dan tidak ada industri.
- Isolator piring dengan desain anti-fog : Isolator ini dirancang memiliki lekukan yang lebih dalam untuk memperpanjang jarak rambat arus, digunakan pada daerah dengan bobot polusi tinggi seperti di daerah industri berat.
- Isolator piring dengan desain aerodinamis : Isolator ini dirancang memiliki permukaan yang licin sehingga polusi lebih sulit menempel pada permukaannya. Isolator ini biasa digunakan pada daerah gurun.

Untuk jaringan hantaran udara bertegangan menengah dan tinggi, beberapa isolator piring disambung satu dengan yang lainnya sehingga berbentuk rentengan. Kemudian rentengan ini digantungkan pada lengan menara transmisi. Dilihat dari bentuk sambungannya, isolator piring dibagi dua, yaitu isolator dengan kopling bola-sendir dan isolator dengan kopling clevis-tongue

- Isolator pasak (Pin type Insulator)

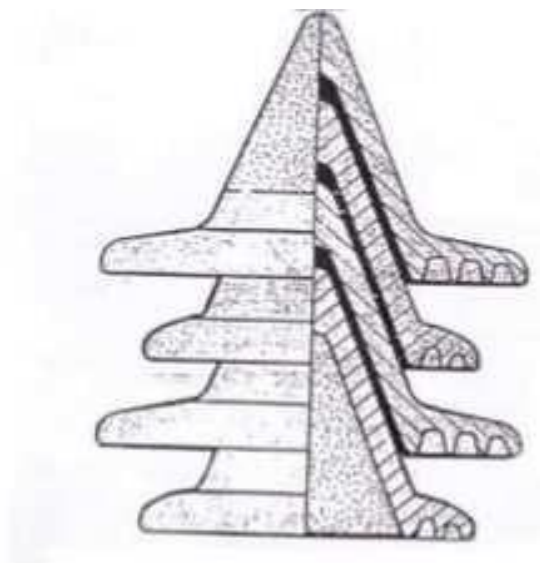
Untuk isolator yang lebih tinggi lapisan konduktif ditujukan oleh lapisan Q pada bagian puncak. Lapisan ini dibuat dengan menambah oksida besi pada campuran lapisan dan diaplikasikan pada konduktor.



Gambar 4 Isolator Pasak (Mika dkk, 2019)

- Multicone insulator

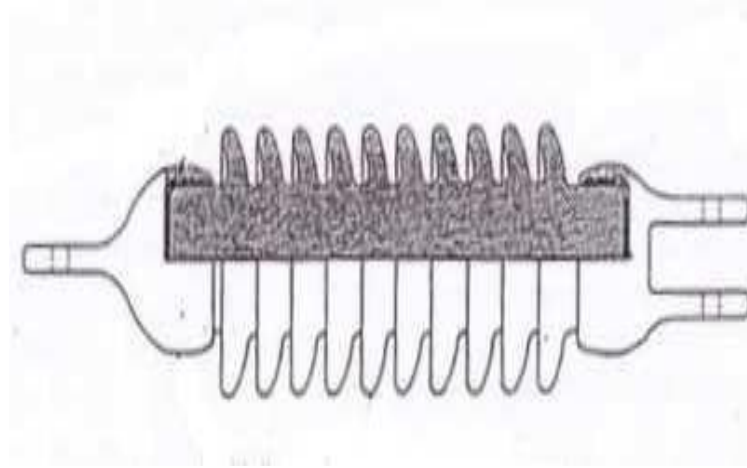
Isolator ini dibuat dengan maksud alternatif dari cap- and-pin isolator (isolator piring) untuk aplikasi peralatan dan gardu. Desain laminasinya menyediakan penyangga yang tinggi, banyak pembatas dielektrik konsentrik sehingga isolator ini flashover sebelum *puncture*



Gambar 5 *Multicone Insulator* (Mika dkk, 2019)

- Isolator batang panjang (long rod insulator)

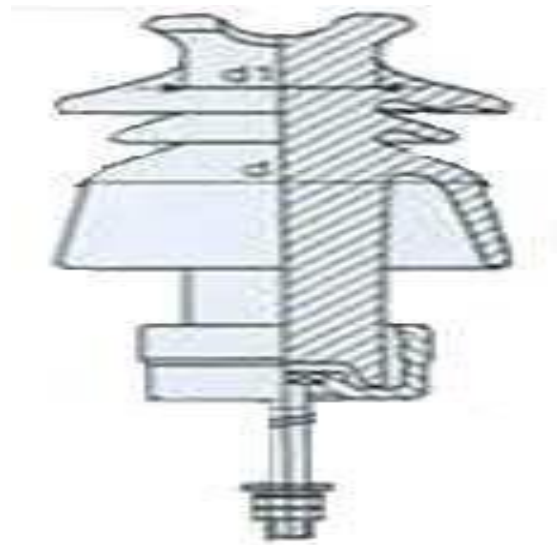
Pemakaian isolator jenis ini menghemat penggunaan logam. Karena bentuknya yang sederhana pemeliharaan mudah. Sayangnya kemungkinan kerusakan adalah akibat dari busur atau adanya pukulan mekanis.



Gambar 6 Isolator Batang Panjang (Mika dkk, 2019)

- Isolator pos pin (post pin insulator)

Isolator pospin digunakan pada daerah yang membutuhkan kehandalan tinggi. Kelebihan isolator jenis ini adalah Bebas dari cacat, karena semen dan tangkai besi dipasang pada sisi luar porselin sehingga tidak menyebabkan pemuaiian, bebas dari kerusakan lewat denyar, kuat medan listrik pada isolator seragam, mempunyai sifat anti kontaminasi yang baik karena 50% jarak rayap terlindungi, bentuk propil yang baik karena mampu meneteskan kontaminan dari tubuhnya dan jarak celah udara antara bagian sirip permukaan isolator besar, tahan terhadap busur api.



Gambar 7 Isolator *Post Pin* (Mika dkk, 2019)

## 2.6 Isolator Terpolusi

Isolator baik yang terpasang di ruang terbuka maupun tertutup, akan dilapisi oleh polutan yang terkandung di udara. Polutan ini dapat mempengaruhi konduktivitas permukaan dari isolator tersebut sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Beberapa jenis polutan yang sangat berpengaruh terhadap tahanan permukaan isolator adalah (Tarigan,2018) :

- Garam ini dapat berasal dari udara yang berhembus dari laut dan yang berasal dari zat kimia di jalanan yang menguap.
- Limbah pabrik dalam bentuk gas seperti karbon dioksida, klorin dan sulfur oksida dari pabrik kimia dan sebagainya.
- Kotoran burung.
- Pasir di daerah gurun.

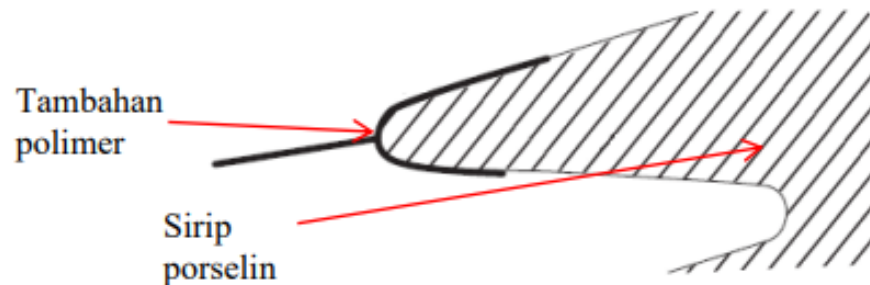
Kondisi cuaca akan mempengaruhi polusi pada permukaan isolator ini. Angin dapat membawa garam dan pasir sampai ke permukaan isolator. Hujan deras dapat membersihkan polutan terutama di bagian atas permukaan isolator sedangkan gerimis, kelembaban yang tinggi, dan kabut akan membuat lapisan polutan menjadi basah.



Untuk mengurangi polusi pada permukaan isolator, dilakukan beberapa usaha sebagai berikut:

- Pencucian Isolator pada saluran maupun pada gardu induk dapat dicuci dalam keadaan tidak bertegangan maupun saat bertegangan. Pencucian dapat dilakukan secara otomatis dan manual seperti dengan menggunakan helikopter. Untuk pencucian dalam keadaan bertegangan, ada 2 syarat yang harus diperhatikan yaitu:
  - Air yang digunakan adalah air murni tanpa mineral dan memiliki tahanan jenis lebih besar dari 50.000  $\Omega$  cm.
  - Urutan pencucian harus dimulai dari bawah ke atas untuk mencegah terkumpulnya polutan.
- Pelapisan (greasing/coating) Salah satu metode untuk mencegah kegagalan isolasi pada isolator adalah dengan melapisi permukaan isolator dengan lapisan minyak. Keuntungan dari metode ini adalah mendapatkan sifat hidrofobik, yaitu sifat bahan yang membuat permukaannya tetap kering karena air sulit untuk menempel pada permukaannya. Bahan yang bersifat hidrofobik yaitu minyak dan lilin. Keuntungan lainnya dari metode ini adalah terperangkapnya atau terikatnya polutan oleh minyak dan mencegah polutan ini basah akibat embun. Minyak yang digunakan terbuat dari silikon atau hidrokarbon. Kekurangan metode ini adalah harus mengganti minyak yang telah lama digunakan, biasanya dilakukan setiap tahun.
- Perpanjangan sirip (extender shed) Sirip isolator diperpanjang dengan bahan polimer seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8. Perpanjangan sirip ini dipasangkan pada sirip isolator dengan menggunakan perekat dan tidak boleh ada celah udara di antara sirip porselin dengan sirip tambahan karena akan menyebabkan peluahan sebagian pada celah udara ini yang akan merusak polimer dan isolator. Selain memperpanjang jarak rambat, perpanjangan sirip ini

memudahkan air yang membawa polutan akibat hujan atau embun untuk mengalir dari permukaan isolator.



Gambar 8 Perpanjangan Sirip yang Terpasang pada Isolator Porselin(Tarigan,2018)

Isolator piring memiliki parameter sebagai berikut:

- Kekuatan Mekanik.
- Jarak Rambat Spesifik atau Gradien Permukaan.
- Jarak Rambat.

➤ Kekuatan Mekanik

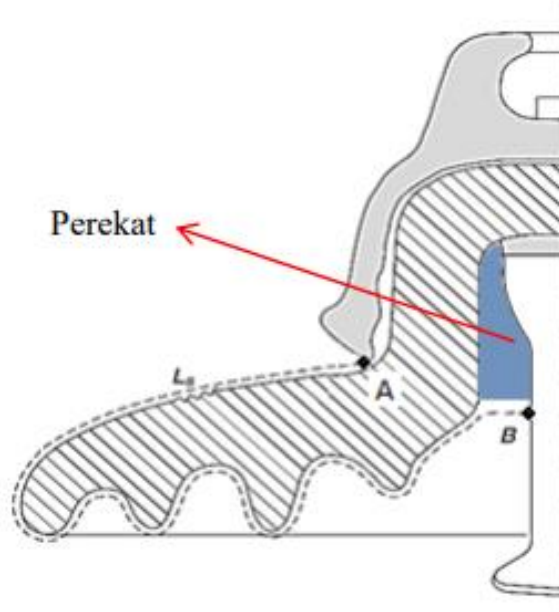
Isolator piring digantungkan pada lengan menara transmisi ataupun pada tiang distribusi. Oleh karena itu isolator piring menerima gaya tarik yang diakibatkan oleh berat konduktor. Isolator piring harus mampu menahan gaya tarik tersebut. Kemampuan menahan gaya tarik suatu isolator disebut kekuatan mekanik. Kekuatan mekanik dari isolator piring dirancang mulai dari 70kN sampai lebih dari 500kN.

➤ Jarak Rambat Spesifik atau Gradien Permukaan

Jarak rambat spesifik adalah pedoman untuk menentukan jarak rambat isolator yang akan digunakan tergantung dari tingkat bobot polusi daerah di mana isolator akan dipasang. Jarak rambat spesifik merupakan perbandingan dari jarak rambat dalam satuan mm dengan tegangan line to line sistem dalam satuan KV.

➤ Jarak Rambut

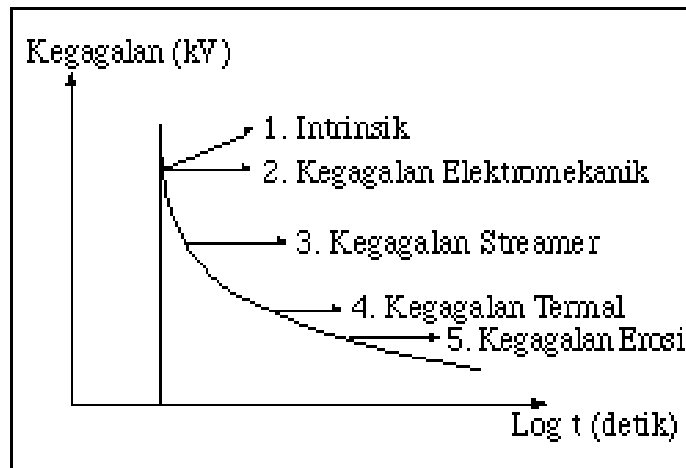
Jarak rambut adalah jarak terpendek antara konduktor pada kap dan pin melalui permukaan isolator. Pada Gambar 2.6 terlihat bahwa jarak rambut  $L_s$  merupakan panjang dari titik A ke titik B. Jarak rambut pada isolator piring berkisaran antara 295 sampai 600 mm. Jarak rambut isolator yang akan digunakan tergantung pada jarak rambut spesifik dan tegangan nominal sistem di mana isolator akan dipasang.



Gambar 9 Jarak Rambut  $L_s$  pada Isolator Piring (Tarigan,2018)

## 2.7 Mekanisme Kegagalan Isolasi Padat

Mekanisme kegagalan bahan isolasi padat terdiri dari beberapa jenis sesuai fungsi waktu penerapan tegangannya. (Mika dkk, 2019)



Gambar 10 Grafik Kegagalan Pada Bahan Isolasi Padat (Mika dkk, 2019)

- *Kegagalan Intrinsic*

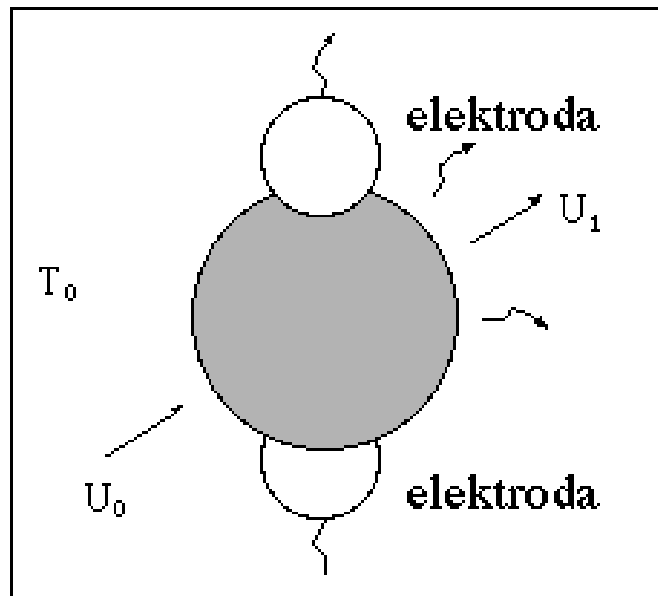
Kegagalan *intrinsic* adalah kegagalan yang disebabkan oleh jenis dan suhu bahan dengan menghilangkan pengaruh luar seperti tekanan, bahan elektroda, ketidak murnian, kantong-kantong udara. Kegagalan ini terjadi jika tegangan yang dikenakan pada bahan dinaikkan sehingga tegangan listriknya mencapai nilai tertentu pada waktu  $10^{-8}$  detik.

- *Kegagalan Elektromekanik*

Kegagalan elektromekanik adalah kegagalan yang disebabkan oleh adanya perbedaan polaritas antara elektroda yang menjepit material isolasi padat sehingga timbul tekanan listrik pada bahan tersebut. Tekanan listrik yang terjadi menimbulkan tekanan mekanik yang menyebabkan tarikmenarik antara kedua elektroda tersebut.

- *Kegagalan Thermal*

Kegagalan *thermal* adalah kegagalan yang terjadi jika kecepatan pembangkitan disuatu titik dalam bahan melebihi laju kecepatan pembuangan panas keluar. Akibatnya terjadi keadaan tidak stabil sehingga pada suatu saat bahan mengalami kegagalan



Gambar 11 Kegagalan *Thermal* (Mika dkk, 2019)

- Kegagalan Streamer

Kegagalan streamer adalah kegagalan yang terjadi sesudah suatu banjir (avalanche). Sebuah elektron yang memasuki band conduction di katoda akan bergerak menuju anoda dibawah pengaruh medan memperoleh energi antarabenturan dan kehilangan energi pada waktu membentur. Jika lintasan bebas cukup panjang maka tambahan energi yang diperoleh pengionisasi kisi (lattice). Akibatnya dihasilkan tambahan elektron pada saat benturan. Jika suatu tegangan  $V$  dikenakan terhadap elektroda bola, maka pada media yang berdekatan (gas/udara) timbul tegangan. Karena gas mempunyai permittivitas lebih rendah dari zat padat sehingga gas akan mengalami tekanan listrik yang besar.

Akibatnya gas tersebut sudah mengalami kegagalan sementara zat padat belum mencapai kekuatannya. Karena kegagalan tersebut maka akan jatuh sebuah muatan pada permukaan zat padat sehingga medan yang tadinya seragam akan terganggu. Bentuk muatan pada ujung pelepasan ini dalam keadaan tertentu dapat menimbulkan medan lokal yang cukup tinggi sekitar 10 MV/cm. Karena medan ini melebihi kekuatan intrinsik maka akan terjadi kegagalan pada isolasi padat. Proses kegagalan terjadi sedikit demi sedikit yang dapat menyebabkan

kegagalan total.

- **Kegagalan Partial Discharge**

Kegagalan partial discharge/erosi adalah kegagalan yang disebabkan zat isolasi padat tidak sempurna, karena adanya lubang atau rongga dalam bahan isolasi tersebut. Rongga (void) akan terisi oleh gas atau cairan yang kekuatan gayanya lebih kecil dari kekuatan zat padat.

## **2.8 Gejala Medan Tinggi**

Lingkup studi tegangan tinggi sangat luas, antara lain meliputi fenomena tegangan tinggi, seperti perhitungan medan elektrik, gejala tembus listrik dielektrik, metode pembangkitan dan pengukuran tegangan tinggi, teknik isolasi, system isolasi, trafo pembangkit, jaringan SUTET, prosedur pengujian dll, (Agitsinyo , 2018)

### **1. IONISASI DAN MEKANISME KEGAGALAN**

- **Proses Dasar Ionisasi**

Udara ideal adalah gas yang hanya terdiri dari molekul-molekul netral, sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Tetapi dalam kenyataannya, udara yang sesungguhnya tidak hanya terdiri dari molekul-molekul netral saja tetapi adasebagian kecil dari padanya berupa ion-ion dan electron-elektron bebas, yg akan mengakibatkan udara dan gas mengalirkan arus walaupun terbatas. Kegagalan listrik yg terjadi di udara atau gas pertama-tama tergantung dari jumlah electron bebas yg ada di udara atau gas tersebut . Konsentrasi electron bebas ini dalam keadaan normal sangat kecil dan ditentukan oleh pengaruh radioaktif dari luar. Pengaruh ini dapat berupa radiasi ultra violet dari sinar matahari, radiasi radioaktif dari bumi , radiasi sinar kosmis dari angkasa luar dan sebagainya, yang kesemuanya dapat menyebabkan udara terionisasi. Jika diantara elektroda (gambar 2.9 diterapkan suatu tegangan  $V$ , maka akan timbul suatu medan listrik  $E$  yg

mempunyai besar dan arah tertentu. Di dalam medan listrik, elektron-elektron bebas akan mendapat energi yang cukup kuat, sehingga dapat merangsang timbulnya proses ionisasi.

- ***IONISASI DAN PROSES KEGAGALAN DI UDARA/GAS***

Udara dan gas termasuk bahan isolasi yang banyak digunakan untuk mengisolasi peralatan listrik tegangan tinggi. Isolasi berfungsi memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang berdekatan, sehingga antara penghantar-penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik (flashover) atau percikan (sparkover). Bahan isolasi akan mengalami pelepasan muatan yang merupakan bentuk kegagalan listrik apabila tegangan yang diterapkan melampaui kekuatan isolasinya. Kegagalan yang terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem terganggu.

Udara merupakan bahan isolasi yang banyak digunakan pada peralatan tegangan tinggi misalnya pada arrester sela batang yang terpasang di saluran transmisi, selain itu udara juga digunakan sebagai media peredam busur api pada pemutus. Sementara bahan isolasi cair banyak digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada trafo karena memiliki kekuatan isolasi lebih tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus yang terjadi pada media isolasi udara dan minyak cenderung meningkat seiring penambahan jarak sela.

Selain itu juga dilakukan pengujian pada minyak bekas dan minyak baru. Hasil pengujian menunjukkan tegangan tembus pada minyak baru lebih tinggi daripada minyak bekas dan tegangan tembus isolasi udara lebih kecil daripada tegangan tembus minyak. Untuk tegangan yang semakin tinggi diperlukan bahan isolasi yang mempunyai kekuatan isolasi yang lebih tinggi. Apabila tegangan yang diterapkan mencapai ketinggian tertentu, maka bahan isolasi tersebut akan mengalami pelepasan

muatan (lucutan, discharge), yang merupakan suatu bentuk kegagalan listrik. Kegagalan ini menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus dalam bahan isolasi. Dalam proses pelepasan listrik ada beberapa mekanisme pembangkitan atau kehilangan ion, baik dalam bentuk tunggal, maupun dalam bentuk kombinasi. Proses dasar pelepasan gas meliputi antara lain :

- a. Pembangkitan ion dengan cara benturan, (collision) Elektron, fotoionisasi, ionisasi oleh benturan ion-positif, ionisasi termal, pelepasan (detachment) electron kumulatif, dan efek  $\gamma$  sekunder
- b. Kehilangan ion dengan cara penggabungan (attachement) electron, rekombinasi dan difusi.

## 2.9 Partial discharge

IEC Standard, IEC 60270 menyatakan partial discharge adalah “ a localised electric discharge that only partially bridges the insulation between conductors and which may or may not occur adjacent to a conductor”. Partial discharge merupakan pelepasan listrik secara lokal yang menghubungkan secara parsial atau sebagian dari isolasi diantara konduktor dan yang terjadi baik dipermukaan maupun didalam.

Partial discharge merupakan peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik (spark) yang terjadi pada suatu bagian isolasi baik pada rongga dalam atau pada permukaan bahan isolasi tersebut sebagai akibat adanya beda potensial yang sangat tinggi dalam isolasi tersebut.

Partial discharge juga dapat didefinisikan sebagai akibat dari konsentrasi electrical stress pada suatu lokasi didalam atau pada permukaan isolasi. Secara umum discharge terlihat sebagai pulsa atau signal dengan durasi jauh lebih kecil dari  $1\mu\text{s}$ . Energi yang dibebaskan oleh partial discharge akan menyebabkan penurunan kualitas (degradasi) dari bahan isolasi.



Hal ini dapat berakibat terbentuknya lintasan (track) menyerupai pohon yang dapat di sepanjang permukaan atau bahkan menembus bahan isolasi tersebut. Lintasan yang terbentuk ini dapat berubah fungsi menjadi bahan konduksi karena adanya karbon dari hasil degradasi kualitas isolasi. Jika partial discharge ini terjadi secara terus menerus, maka tekanan listrik akan selalu terkonsentrasi pada ujung rambatan pohon sehingga panjang rambatannya akan semakin memanjang.

Partial discharge terjadi pada bahan isolasi yang waktu pemakaiannya sudah lama, isolasi yang cacat atau kualitas yang buruk dari isolasi dan kegagalan isolasi ini akan terus merambat dan berkembang hingga isolasi tidak mampu lagi menahan tegangan listrik sehingga berakibat terjadinya flashover dan kegagalan isolasi total.

Ketika partial discharge terjadi, akan menghasilkan beberapa gejala timbulnya energi yang dilepaskan, beberapa bentuk dari energi tersebut antara lain :

- Elektromagnet : radio, cahaya dan panas
- Akustik : audio dan ultrasonik
- Gas : ozon dan oksida nitrat

Fenomena Partial discharge apabila terjadi secara terus menerus maka akan menimbulkan panas berlebih pada daerah tertentu yang nantinya akan merusak bahan isolasi dan mengarah kepada terjadinya kegagalan sistem. Sebelum semua hal ini terjadi maka sangat penting dilakukan pendeteksian dan pengidentifikasian awal untuk mencari penyebab terjadinya peluahan elektrik yang dapat menurunkan kualitas bahan dielektrik dari suatu sistem yang menggunakannya.

Penyebab terjadinya Partial discharge tersebut dapat kita lakukan dengan melakukan pengujian dan pengukuran pada isolasi dengan memakai alat pendeteksi terjadinya peluahan sebagian tersebut. Pengujian dan pengukuran PD

berkaitan dengan nilai kualitas dan kuantitas. Nilai kualitas bisa kita dapatkan dari karakteristik saat melakukan pengujian pada bahan tertentu. Sedangkan nilai kuantitas merupakan nilai nominal PD yang mempunyai dimensi piko Coloumb (pC). Kedua nilai ini harus memenuhi standar pada pengujian, sehingga kualitas peralatan tersebut baru bisa dilakukan penilaian.

Pengukuran partial discharge pada peralatan tegangan tinggi merupakan hal yang penting karena dari pengukuran akan didapatkan data yang dapat menginterpretasikan dan menentukan reability (kehandalan) suatu peralatan yang disebabkan oleh ageing (penuaan) dan resiko kegagalan yang selanjutnya dapat dianalisa. Partial discharge dapat dijadikan indikator awal terjadinya kegagalan isolasi. Cacat ini kemudian terus berkembang sehingga dapat mengakibatkan kegagalan isolasi secara keseluruhan. Semakin tinggi tegangan yang diterapkan akan semakin tinggi pula resiko kegagalan yang akan didapat. Fenomena partial discharge hanya terjadi pada tegangan bolak-balik (alternating current) dengan tegangan diatas 2000 V atau lebih. (L.Tobing, 2012).

### **2.9.1 Parameter Kuantitas Partial Discharge**

Kuantitas dari partial discharge menunjukkan seberapa besar kegagalan tersebut terjadi. Ada beberapa parameter kuantitas partial discharge yang dapat dilihat dari sebuah pendeteksian (Sitorus, 2009) :

- A. Magnitude partial discharge, dengan satuan milivolt (mV) atau picocoulumb (pC) yaitu ukuran atau volume kegagalan. Berdasarkan magnitude partial discharge, ada beberapa bentuk kegagalan yang dapat terjadi, yaitu :
- a) 10 – 50 pC belum terjadi kegagalan isolasi,
  - b) <300 – 500 pC awal terjadinya penurunan kualitas isolasi
  - c) 1000 – 3000 pC perkembangan kegagalan, pada isolasi kertas sudah terjadi kegagalan sempurna
  - d) d. 10.000 – 100.000 pC terjadinya kerusakan tahanan isolasi minyak.

- B. Pulse count, dengan satuan pulse per second (pps) menunjukkan jumlah atau pertumbuhan kegagalan
- C. Intensitas atau daya partial discharge, dengan satuan miliwatt (mW) yaitu sejumlah daya merusak yang dihasilkan oleh kegiatan partial discharge
- D. Partial discharge signature, yaitu menunjukkan fasa dan tipe dari kegagalan.

### 2.9.2 Jenis-jenis Partial Discharge

Berdasarkan perbedaan tempat terjadinya *partial discharge*, *partial discharge* terbagimenjadi 4 jenis antara lain (Sitorus, 2009):

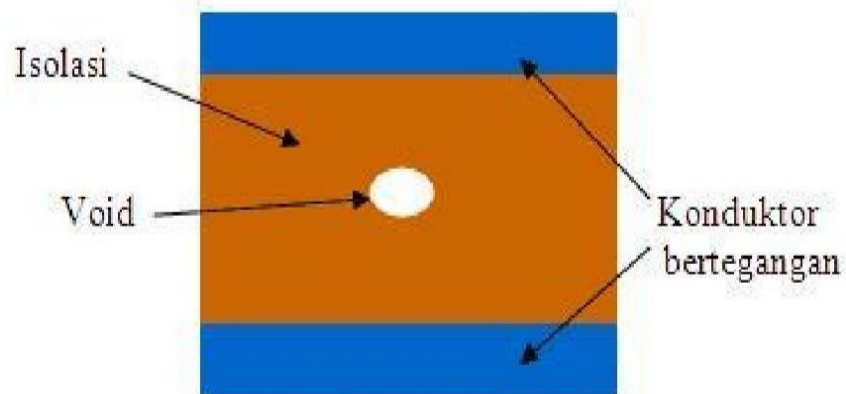
- *Internal Partial Discharge*
- *Surface Partial Discharge*
- *Corona*
- *Electrical treeing*

#### • Pelepasan Muatan Sebagian Internal

*Internal discharge* terjadi pada *void* (rongga) atau permukaan konduktor yang runcing di dalam volume material isolasi padat atau cair. Pada sistem kelistrikan, bahan isolasi menjadi pemisah antara konduktor dan ground. Bahan isolasi padat mempunyai permitivitas relatif sekitar 3, sedangkan udara atau gas biasanya dianggap 1. Dengan demikian bila di dalam isolasi padat terdapat *void* yang berisi gas, maka pada saat beroperasi, gas menahan tekanan medan listrik yang lebih besar dibanding isolasi padat seperti yang gambar 2.10.

Padahal kekuatan isolasi gas jauh lebih kecil dari isolasi padat. Dengan demikian, pada saat isolasi padat masih menahan kuat medan listrik jauh di bawah ambang kekuatannya, gas yang beradadi dalam *void* mungkin sudah tidak mampu lagi menahan kuat medan listrik yang dialaminya. Akibatnya gas sudah mengalami breakdown, sementara isolasi padat masih dalam

kondisi sehat. Kejadian ini disebut dengan partial discharge yang lokasi dan mekanisme terjadinya akibat adanya *internal discharge*.



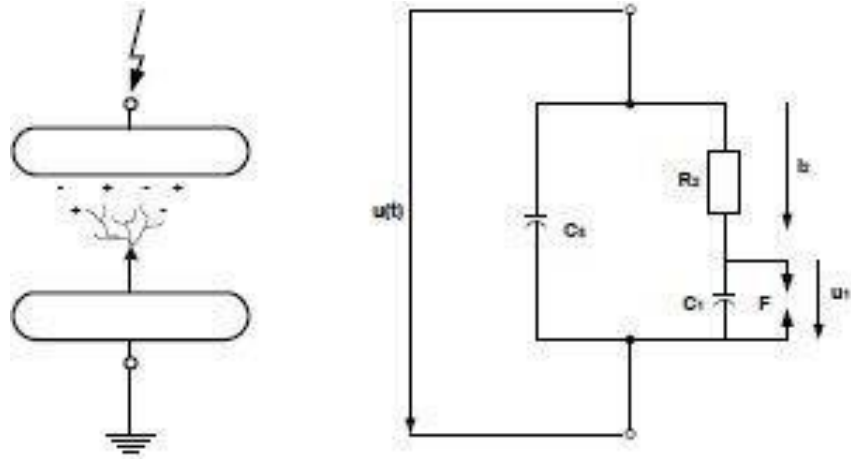
Gambar 12 *Internal Partial Discharge* (Sitorus, 2009)

Bila di dalam kabel atau peralatan berisolasi polimer padat terdapat tonjolan atau permukaan konduktor yang runcing menyerupai ujung jarum pada *interface* antara lapisan isolasi polimer dan konduktor maka tekanan medan listrik terpusat pada ujung jarum tersebut sehingga bagian isolasi yang berada pada ujung jarum mengalami tekanan medan listrik yang lebih tinggi yang dapat mengakibatkan terjadinya peristiwa *partial discharge*.

Titik ujung lancip yang asli biasanya sangat kecil untuk dapat diidentifikasi dan terbentuk dari ketidakraturan yang normal dari batas setiap material. Pada medan listrik beberapa ratus KV/mm, elektron yang terinjeksi tidak dapat menghilangkan energi kinetik yang diperoleh dari medan listrik dalam interaksi elastis dengan molekul polimer dan lalu meningkatkan energi elektron hingga elektron tersebut mencapai energi beberapa eV yang cukup tinggi untuk interaksi tak elastis yang memicu eksitasi molekul, membangkitkan pasangan elektron/*hole* atau bahkan gangguan pada ikatan molekul polimer

- **Pelepasan Muatan Sebagian Permukaan**

*Surface discharge* atau pelepasan muatan permukaan adalah pelepasan muatan dari konduktor ke media gas atau cair dan terjadi pada permukaan material isolasi padat yang tidak tertutupi oleh konduktor.



Gambar 13 *Partial Discharge* permukaan (Sitorus, 2009)

Bila pada suatu sistem peralatan berisolasi padat terjadi peristiwa pelepasan muatan permukaan ini, maka arus akan mengalir pada permukaan isolasi. Besar arus permukaan ini ditentukan oleh tahanan permukaan sistem isolasi. Arus ini sering juga disebut arus bocor atau arus yang menyelusuri permukaan isolasi. Arus bocor menimbulkan panas yang mengakibatkan terjadinya penguraian bahan kimia yang membentuk permukaan isolasi. Efek nyata dari penguraian ini adalah timbulnya jejak arus atau saluran aliran arus pada permukaan isolasi sehingga menyebabkan kenaikan tegangan pada daerah sekitarnya yang selanjutnya akan menimbulkan tekanan dielektrik yang berlebihan pada sistem isolasi. Proses ini berjalan terus-menerus sehingga akhirnya terjadi suatu kegagalan. Gejala ini dinamakan gejala *tracking*.

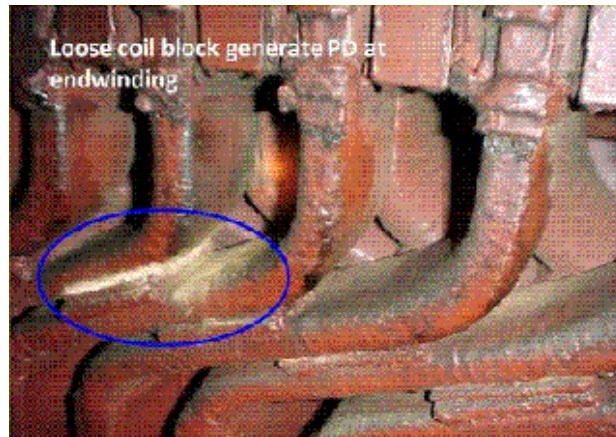
- **Corona**

Korona atau *corona discharge* adalah peristiwa terjadinya suatu pelepasan muatan yang bermula pada permukaan dari suatu kawat bila nilai medan listrik pada permukaan kawat itu melampaui nilai tertentu. Korona disifatkan sebagai terjadinya pelepasan muatan yang bermula dari suatu kawat atau konduktor bila nilai medan listrik pada permukaan kawattersebut melampaui nilai tertentu. Pelepasan muatan ini pada umumnya terjadi pada gas atau udara.

Pelepasan muatan ini terjadi karena adanya ionisasi dalam udara yaitu lepasnya elektron dari molekul udara akibat radiasi ultraviolet, radiasi radioaktif, radiasi sinar kosmis dan sebagainya. Oleh karena lepasnya elektron, maka apabila di sekitarnya terdapat medan listrik maka elektron–elektron bebas ini mengalami gaya yang mempercepat gerakannya sehingga terjadi benturan dengan molekul lain. Akibatnya timbul ion-ion dan elektron- elektron baru.

Proses ini berjalan terus-menerus dan jumlah elektron bebas semakin banyak. Korona ditandai dengan adanya serbuk-serbuk pada isolator serta bau ozon.

Korona sering terjadi pada kawat transmisi tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi terutama pada bagian yang kasar, runcing atau kotor. Korona mengeluarkan cahaya berwarna ungu muda, suara mendesis dan menimbulkan panas.



Gambar 14 *Corona* (Sitorus, 2009)

- **Gejala Treeing**

Jika di dalam dielektrik padat atau cairan dari suatu sistem isolasi terdapat rongga maka kuat medan dalam rongga akan lebih besar daripada suatu medium disekelilingnya. Jika tegangan dalam rongga melampaui tegangan nyala maka akan terjadi tembus parsial. Terutama pada tegangan bolak-balik dengan amplitudo yang mencukupi maka terjadi discharge yang berbentuk pulsa di dalam rongga. Dielektrik disekelilingnya dapat memburuk dalam jangka panjang akibat *partial discharge* ini, atau bahkan dengan kondisi tertentu dapat rusak oleh tembus sempurna akibat mekanisme erosi.

Jika electrical Treeing menjembatani isolasi maka kegagalan isolasi terjadi, peristiwa sebelum terjadi kegagalan isolasi dapat dideteksi dengan pengamatan dan pengukuran pulsa *partial discharge* yang mengiringi peristiwa *electrical treeing*.



Gambar 15 *Electrical Treeing* (Sitorus, 2009)

### 2.9.3 Mekanisme Partial Discharge menurut Townsend

Discharge diawali dengan adanya elektron awal pada katoda, yang diperkuat oleh energi kinetik dari medan listrik merambat menuju anoda. Jika energi yang dimiliki cukup tinggi, elektron tersebut menumbuk atom lain sehingga terlepas elektron atom tersebut. Elektron kedua ini mengalami mekanisme yang sama dengan elektron sebelumnya dan berulang-berulang sehingga akan terjadi banjir elektron. Jika aliran elektron sudah mampu menjembatani katoda dan anoda, maka terjadilah *partial discharge*. (Afdal, 2020)

### 2.9.4 Metode Pengukuran Partial Discharge

Adanya *partial discharge* di dalam bahan isolasi dapat ditentukan oleh banyak metode seperti. (Afdal, 2020) :

1. *Dissolved Gas Analysis (DGA)*
2. *Ultrasonic*
3. Deteksi Emisi Akustik
4. Deteksi Kamera *Infrared*

Metode-metode ini digunakan sebagai pendeteksian terjadinya



*partial discharge* berdasarkan akibat yang ditimbulkan oleh *partial discharge* itu sendiri seperti gelombang elektromagnet, gelombang akustik, pemanasan lokal dan reaksi kimia.

#### a. Dissolved Gas Analysis

Analisis gas terlarut atau *Dissolved Gas Analysis* adalah analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator, dengan cara mengekstrak gas-gas tersebut dari suatu sampel minyak yang diambil dari transformator. Gas yang diekstrak lalu dipisahkan menurut individual gasnya dan dihitung jumlahnya dalam satuan ppm (*part per million*). Dari hasil uji DGA ini dapat diketahui secara dini, mengenai kegagalan pada transformator yang mungkin timbul.

Ada beberapa standar uji DGA yang telah ditetapkan oleh IEEE antara lain adalah Duval's Triangle, Total Dissolved Combustible Gases (TDCG), Key Gas, Roger's Ratio,

##### 1. *Total Dissolved Combustible Gases* (TDCG)

Metode TDCG merupakan metode awal untuk mengetahui sejauh mana tingkat konsentrasi dari masing – masing fault gas antara lain CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Metode ini sering digunakan untuk memprediksi kondisi operasi pada transformator.

##### 2. Key Gas Method

Metode Key Gases digunakan untuk memprediksi kondisi suatu isolasi dengan membandingkan komposisi *combustible gas* dan konsentrasi gas yang tinggi sebagai *key gas*. Setelah penentuan key gas akan dapat ditemukan diagnosis yang tepat untuk indikasi gas tersebut seperti terjadinya *arcing* atau *overheating* pada minyak. Key gases didefinisikan oleh IEEE standar C57-104.2008 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan

jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan yang terbentuk pada berbagai temperatur.

### 3. Roger's Ratio Method

Metode roger's ratio merupakan salah satu cara untuk menganalisis gas terurai dari suatu minyak transformator. Metode ini membandingkan nilai-nilai satu gas dengan gas yang lain. Gas-gas yang digunakan dalam analisis menggunakan roger's ratio adalah  $C_2H_2/C_2H_4$  yang disebut R2 ,  $CH_4/H_2$  yang disebut R1 dan  $C_2H_4/C_2H_6$  yang disebut R5. Kemudian ratio tersebut dimasukkan ke dalam tabel standar.

### 4. Duval Triangle

Metode segitiga duval diciptakan oleh Michael duval pada 1974. Kondisi khusus yang diperhatikan adalah konsentrasi metana ( $CH_4$ ), etilen ( $C_2H_4$ ) dan asetilen ( $C_2H_2$ ). Konsentrasi

total ketiga gas ini adalah 100%, namun perubahan komposisi dari ketiga jenis gas ini menunjukkan kondisi fenomena kegagalan yang mungkin terjadi pada unit yang diujikan.

#### **b. Ultrasonic**

Seluruh pengoperasian peralatan tenaga menghasilkan range suara yang luas. Komponen ultrasonik frekuensi tinggi dari suara yang dihasilkan tersebut pada dasarnya merupakan gelombang yang sangat pendek dan memiliki frekuensi tinggi dan gelombang seperti ini cenderung terarah. Oleh karena itu, gelombang ini mudah untuk dipisahkan dari *noise-noise* lain dan dapat untuk dideteksi lokasi sumber gelombang tersebut.

Ketika terjadi perubahan pada peralatan listrik dan mekanik, gelombang ultrasonik alami yang timbul dijadikan sebagai potensi peringatan sebelum terjadi kegagalan. Gelombang ultrasonik ini kemudian dapat diolah menghasilkan dua informasi berupa informasi kualitatif dan kuantitatif. Informasi kualitatif

menghasilkan informasi berupa suara ultrasonik yang dapat didengar oleh kita melalui headphone. Sedangkan, informasi kuantitatif menghasilkan informasi berupa ukuran yang dapat dibaca. Informasi-informasi ini terdapat pada penerjemah ultrasonik yang didalamnya terjadi proses elektronik yang disebut “*heterodyning*”. Didalam proses ini terjadi pengkonversian gelombang ultrasonik kedalam gelombang suara yang dapat didengar oleh manusia.

#### **c. Deteksi Emisi Akustik**

Emisi akustik mengacu pada pembangkitan gelombang elastik transien pada pelepasan energi yang sangat cepat dari sumber lokal dalam suatu material. Sumber emisi ini terkait dengan gerakan dislokasi atas deformasi dan inisiasi dan perluasan *cracking* dalam struktur dalam tekanan listrik yang tinggi.

*Partial discharge* dapat membangkitkan pulsa-pulsa yang mengakibatkan timbulnya gelombang akustik akibat tekanan mekanik yang sering disebut sebagai emisi akustik yang dipancarkan keseluruh bagian bushing. Gelombang akustik ini dapat dapat menembus isolasi minyak dalam bushing dan dapat dideteksi pada dinding bushing. Dengan pengukuran waktu relatif yang dibutuhkan gelombang akustik terhadap sensor emisi akustik yang diletakkan pada dinding bushing, lokasi terjadinya *partial discharge* dapat ditentukan. Dengan alasan ini, deteksi dengan memanfaatkan emisi akustik dapat memberikan solusi real time berupa pendeteksian ada atau tidaknya *partial discharge* serta penentuan lokasi *terjadinya partial discharge*.

#### **d. Deteksi Kamera Inframerah**

Teknologi kamera *infrared* merupakan salah satu peralatan teknologi yang dapat digunakan untuk kegiatan preventif pemeliharaan dan memungkinkan pengukuran temperatur dari

jarak tertentu tanpa menyentuh objek yang diukur secara scanning serta mendeteksi perubahan temperatur hingga  $0,1^{\circ}\text{C}$ , sehingga mampu mengkondisikan bahan isolasi yang mengalami perubahan. Teknologi ini bekerja dengan cara mengukur pancaran panas suatu bahan.

Semua benda yang memiliki suhu diatas nol absolute ( $0^{\circ}\text{K}$  atau  $-273^{\circ}\text{C}$ ) memancarkan sinar radiasi dalam rentang panjang gelombang sinar infra merah, sehingga metode *infrared thermography* dengan kemampuan deteksi perubahan temperatur hingga  $0,1^{\circ}\text{C}$  akan lebih efisien dan efektif dalam mendeteksi dan melokalisasi daerah anomali dengan cara melihat langsung peta temperatur yang diperoleh. Hal-hal yang perlu untuk diperhatikan dalam melaksanakan pengukuran dengan metoda *infrared thermography* antara lain obyek permukaan sebagai target, media transmisi antara obyek target dengan instrumen dan lain sebagainya.

*Partial discharge* yang merupakan suatu bentuk kegagalan listrik yang menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus bocor dalam bahan isolasi tersebut tentunya menimbulkan panas yang berlebih. Panas ini tentunya dapat ditangkap oleh kamera infrared dan dapat dilakukan tindakan pencegahan sebelum kegagalan total pada isolasi terjadi.

## **2.10 Bahan Penyusun Isolator**

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kemampuan elektrik dan mekanis isolator tersebut. Secara umum bahan penyusun yang sering digunakan adalah porselin, gelas, dan polimer. Gambar 2.14 merupakan contoh isolator berdasarkan jenis bahan yang digunakan. (Tobing. 2012)

### **2.10.1 Isolator porselin**

Porselin adalah bahan yang terdiri dari bahan campuran tanah porselin, kwarts, dan veld spat, yang pada bagian permukaanya

dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Isolator jenis ini memiliki kekuatan dielektrik yang sangat tinggi serta memiliki kekuatann mekanis yang sangat besar. Kekuatan dielektris pada bahan ini lebih stabil karena adanya ikatan ionic yang kuat antar atom sehingga tidak mudah rusak oleh pengaruh lingkungan. Bahan ini pun cenderung tahan lama. Namun, disisi lain isolator porselin mudah mengalami aktivitas treeing karena adanya void sehingga arus melewati celah tersebut. Isolator porselin pun lebih mudah terkontaminasi karena sifat hidrofobik yang rendah, sehingga kontaminan mudah menempel pada permukaan isolator ini.

#### 2.10.2 Isolator Gelas

Isolator gelas banyak digunakan pada jaringan distribusi sekunder. Isolator gelas mudah mengembun, sehingga kontaminan mudah melekat pada permukaan isolator ini. Hal ini mengakibatkan mudah terjadinya breakdown dan arus bocor semakin besar pada isolator ini. Isolator jenis ini pun rentan terhadap perubahan temperature, semakin besar perubahan suhu yang dialami isolator gelas maka kemungkinan keretakan pada permukaan isolator akan semakin besar. Keunggulan isolator bahan ini adalah kuat dielektriknya tinggi, kuat tekannya lebih besar dibandingkan porselin, serta kerusakan pada permukaan isolator gelas mudah dideteksi.

#### 2.10.3 Isolator Polimer

Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator pilimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer

memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas.

Kelebihan isolator polimer antara lain:

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

Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah:

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



(a)



(b)



(c)

Gambar 16 Isolator Polimer (a), Isolator Kaca (b), Isolator Keramik (c). ( Tobing. 2012)

## 2.11 Pemodelan Program Matlab

MATLAB merupakan pemrograman berkinerja tinggi untuk komputasi teknis yang dapat digunakan untuk mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman seperti notasi matematika rumit. Nama MATLAB sendiri merupakan singkatan dari Matrix Laboratory. MATLAB juga dikenal sebagai salah satu sistem interaktif yang elemen data dasarnya adalah array dan tidak memerlukan dimensi. Pengguna dapat memecahkan beberapa persoalan komputasi teknis seperti formulasi matriks, vektor, dan menulis program dengan bahasa seperti C atau Fortran (Caesarendra & Ariyanto, 2011)

Secara umum, MATLAB dapat disebut sebagai platform pemrograman yang dirancang khusus untuk para insinyur dan ilmuwan untuk menganalisis dan merancang sistem atau produk tertentu. Inti dari MATLAB adalah bahasa pemrogramannya yang berbasis matriks dan memungkinkan pengguna untuk menggunakan ekspresi matematika komputasi alami dan rumit. MATLAB umum dikenal beberapa kegunaan seperti:

- Matematika dan komputasi
- Pengembangan algoritma
- Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototipe
- Analisis, eksplorasi, dan visualisasi data
- Grafik ilmiah dan rekayasa
- Pengembangan aplikasi seperti membuat grafis user interface

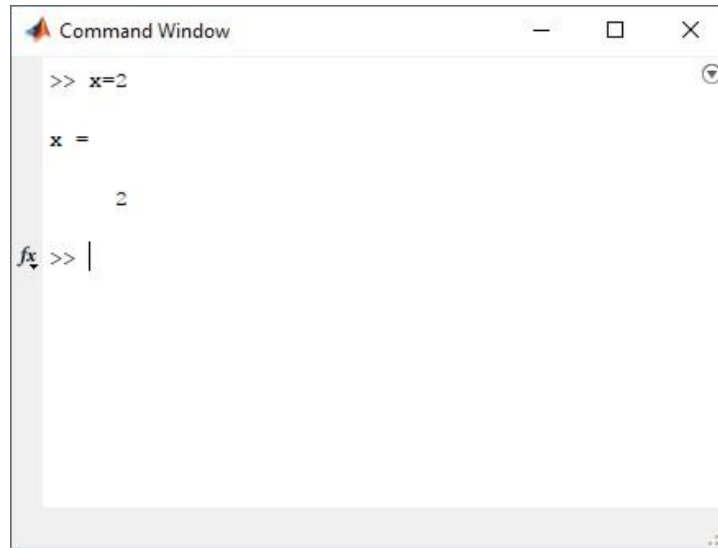
Berikut langkah-langkah dasar yang perlu diketahui saat menggunakan program dengan MATLAB. (Caesarendra & Ariyanto, 2011)

### 1. Penunjuk Command Prompt ">>"

Untuk menulis kode MATLAB dimulai dengan klik pada penunjuk command prompt ">>".

## 2. Tombol "Enter"

Setelah selesai menulis kode tekan "Enter" untuk menjalankan kode (run).




```
Command Window
>> x=2
x =
    2
fx >> |
```

Gambar 17 Command Tombol "Enter" (Caesarendra & Ariyanto, 2011)

## 3. Tanda Koma

Beberapa kode perintah dapat ditulis dalam satu baris kode dan dipisahkan dengan tanda koma ( , ).



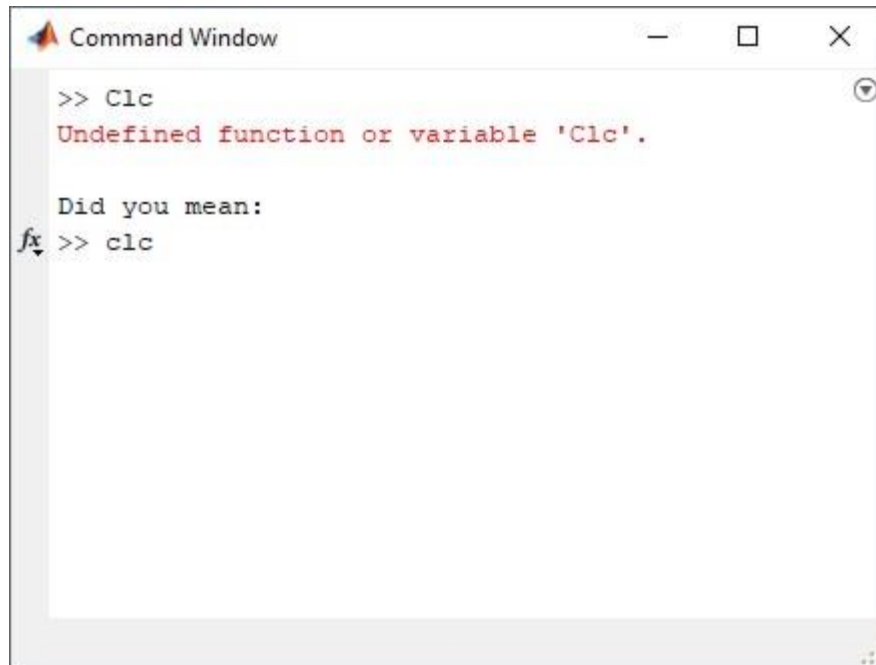
```
Command Window
>> x=2, y=3
x =
    2
y =
    3
fx >>
```

Gambar 18 Command Tanda Koma (Caesarendra & Ariyanto, 2011)



#### 4. Koreksi Otomatis

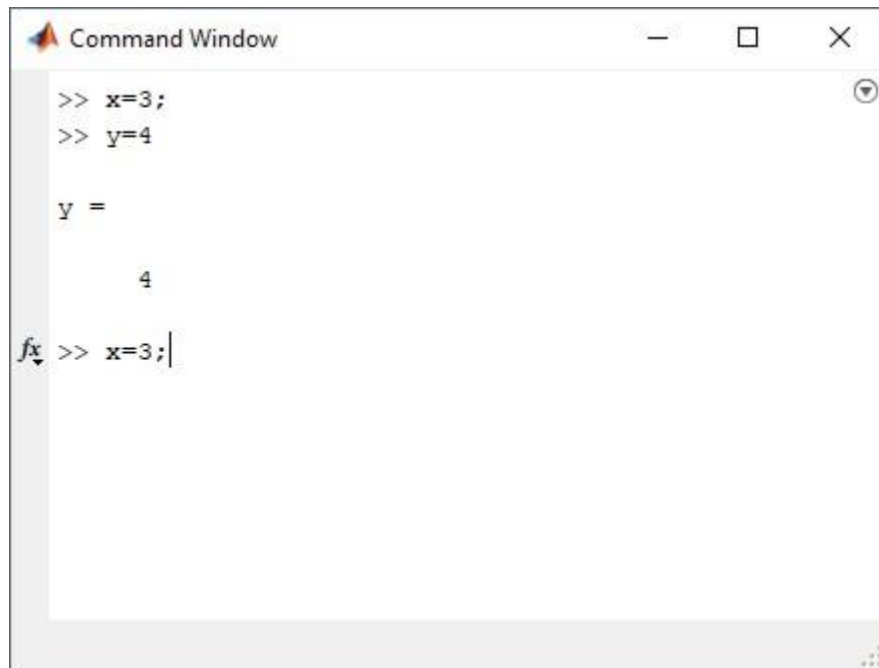
MATLAB dapat melakukan koreksi kode saat terjadi kesalahan ketik dan anda dapat mengulang eksekusi perintah tersebut.



Gambar 19 Command Koreksi Automatis (Caesarendra & Ariyanto, 2011)

#### 5. Memanggil Kode Sebelumnya

Anda dapat mengambil ulang kode yang telah anda eksekusi sebelumnya dengan menggunakan tombol arah ke atas (↑) atau ke bawah (↓).



```
Command Window
>> x=3;
>> y=4

y =

     4

fx >> x=3;|
```

Gambar 20 Command Memanggil Kode Sebelumnya(Caesarendra & Ariyanto, 2011)

#### 6. Memanggil Kode yang Panjang ( ... )

Jika kode perintah terlalu panjang anda dapat menulisnya di baris setelahnya. Anda dapat melakukan dengan menulis 3 titik ( ... ) pada baris sebelumnya.



```
Command Window
>> x+y;...
z=x+y;...
z

z =

     7

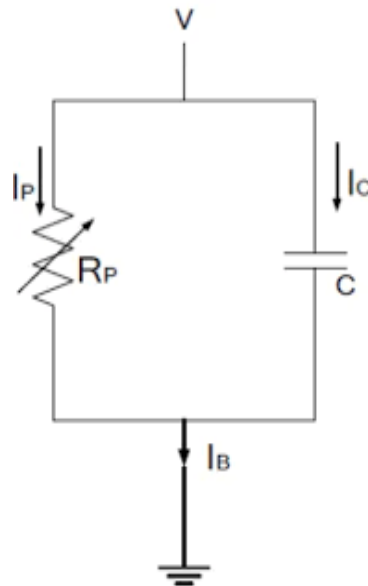
fx >> |
```

Gambar 21 Command Memanggil Kode yang Panjang(Caesarendra & Ariyanto, 2011)

## 2.12 Proses Terjadinya Arus Bocor

Arus bocor terjadi karena adanya perluasan jalur karbon sepanjang permukaan isolator disebabkan karena adanya lucutan listrik yang berkesinambungan, lucutan ini akan menyebabkan terjadinya arus bocor. Besarnya arus bocor tergantung pada tekanan listrik, lingkungan dan juga tingkat kontaminasi permukaan isolator. Secara umum, bahan polimer kehilangan hidrofobitasnya beberapa derajat setelah terkena listrik dan tekanan lingkungan seperti radiasi ultra violet dan variasi suhu. Perubahan hidrofobitas permukaan ini mempengaruhi besarnya arus bocor yang terjadi. Selain itu tingkat arus bocor juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang banyak jenis partikel kontaminannya, kontaminan yang berbeda memberikan tingkat arus bocor yang berbeda karena perbedaan komponen ion elektrolitnya.

Apabila tegangan yang harus ditahan sebuah isolator melebihi dari kemampuannya maka akan terjadi aliran arus pada permukaan isolator. Arus ini sering disebut arus bocor atau arus rambat. Arus bocor yang terjadi pada permukaan bahan isolasi dari isolator pasangan luar tergantung dari kondisi polutan, temperatur dan kondisi cuaca yang menyebabkan kontaminasi pada permukaan. Pembasahan lapisan polutan oleh cuaca lembab, butir-butir air atau embun, dan pembasahan air hujan mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan menyebabkan arus bocor mengalir pada permukaan isolator. Arus bocor ini memberi informasi mengenai kuantitas kontaminasi dari polutan pada permukaan isolator dan menentukan bagaimana pengaruh kinerja flashover. Maka dari itu, identifikasi arus bocor dapat digunakan untuk deteksi kegagalan isolator tegangan tinggi. Pada Gambar 22 dapat dilihat rangkaian ekuivalen arus bocor pada isolator. (S. Muhammad, 2010)



Gambar 22 Rangkaian Ekivalen Arus Bocor pada Isolator(S. Muhammad, 2010)

Pada penelitian ini akan diukur besar arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator. Arus bocor yang akan diukur diperkirakan berada dalam kisaran mikroampere ( $\mu\text{A}$ ) sehingga pengukuran dengan menggunakan amperemeter praktis akan menghasilkan pembacaan yang tidak akurat. Oleh karena itu, untuk mengukur arus bocor, di dalam percobaan ini ditambahkan suatu rangkaian sederhana yang memanfaatkan hukum Ohm. Pada kabel pembumian rangkaian percobaan dipasang resistor dengan nilai yang telah diketahui, selanjutnya akan disebut sebagai resistor uji. Resistor uji kemudian dihubungkan pada voltmeter, sehingga pada saat tegangan 18 KV, 19 KV, 20 KV, 21 KV ( $V_{p-n}$ ) diberikan, pada voltmeter akan terbaca nilai tegangan yang dialami resistor. Dari nilai tegangan tersebut, dapat diperoleh besar arus bocor yang mengalir melalui resistor uji dengan menggunakan persamaan 2.1. (Young, 1999)

$$I = \frac{V}{R}$$

dimana : I = Arus Bocor (Ampere)

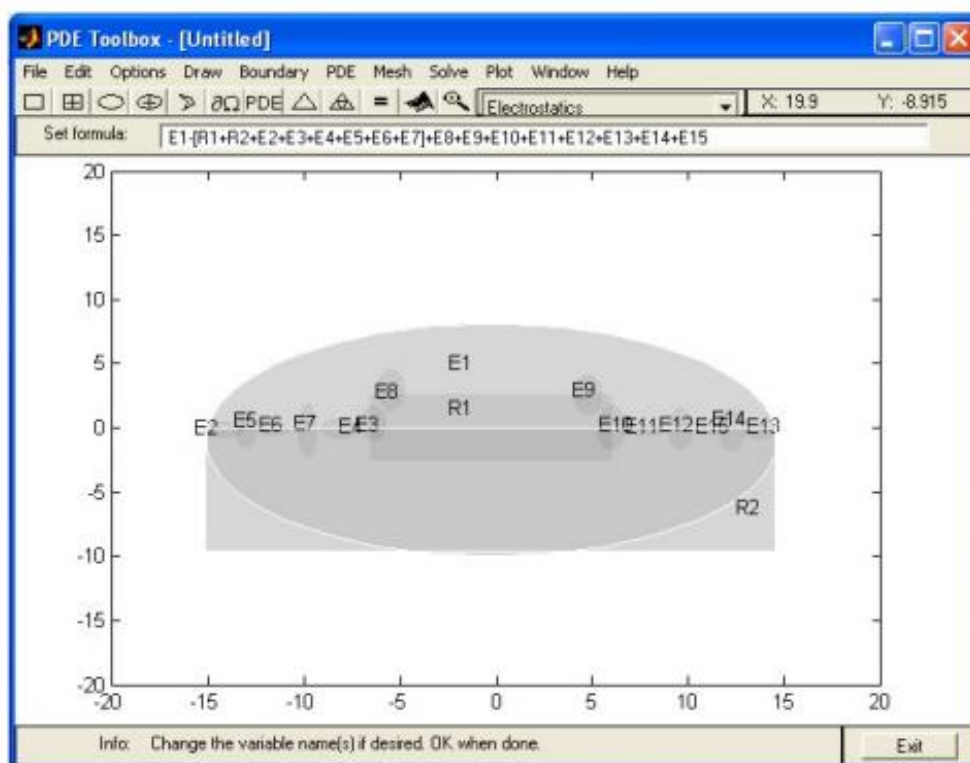
V = Pembacaan Tegangan (Volt)

R = Resistor Uji (ohm)

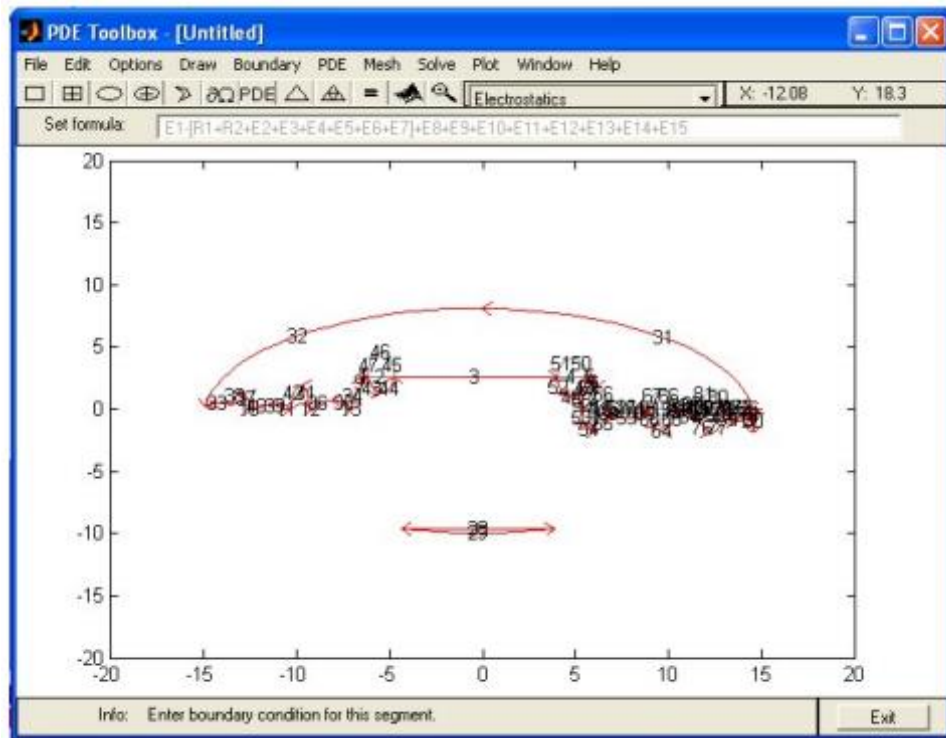
### 2.13 Penelitian Terkait Yang Terdahulu

Insulator gantung jenis ball & socket dipilih sebagai obyek simulasi distribusi tegangan pada insulator gantung. Simulasi ini menggunakan perangkat PDE toolbox MATLAB yang didalamnya telah terintegrasi aplikasi metode elemen hingga. Proses simulasi ini dapat dibagi dalam 5 tahap, yaitu (Protus,2007) :

- Menentukan geometri (menu draw)
- Menentukan kondisi batas (menu boundary)
- Menentukan persamaan differensial partial (menu PDE)
- Membuat mesh segitiga (menu mesh)
- Menyelesaikan persamaan differensial (menu solve).

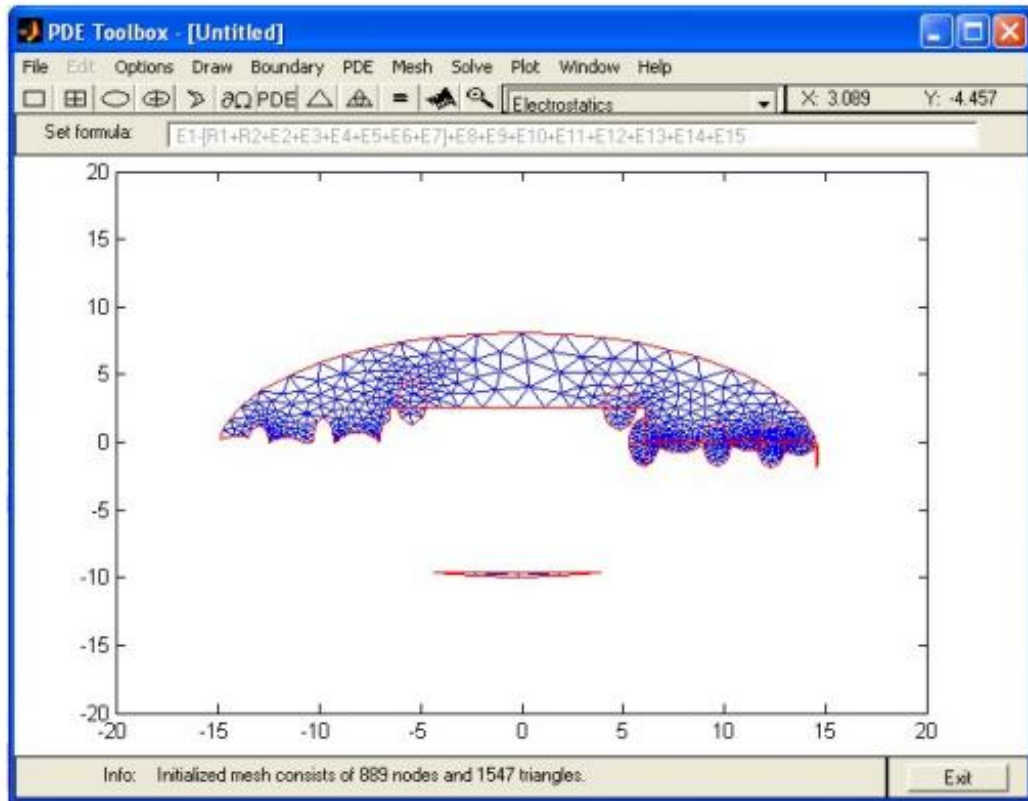


Gambar 23 model CSG insulator gantung (Protus,2007)

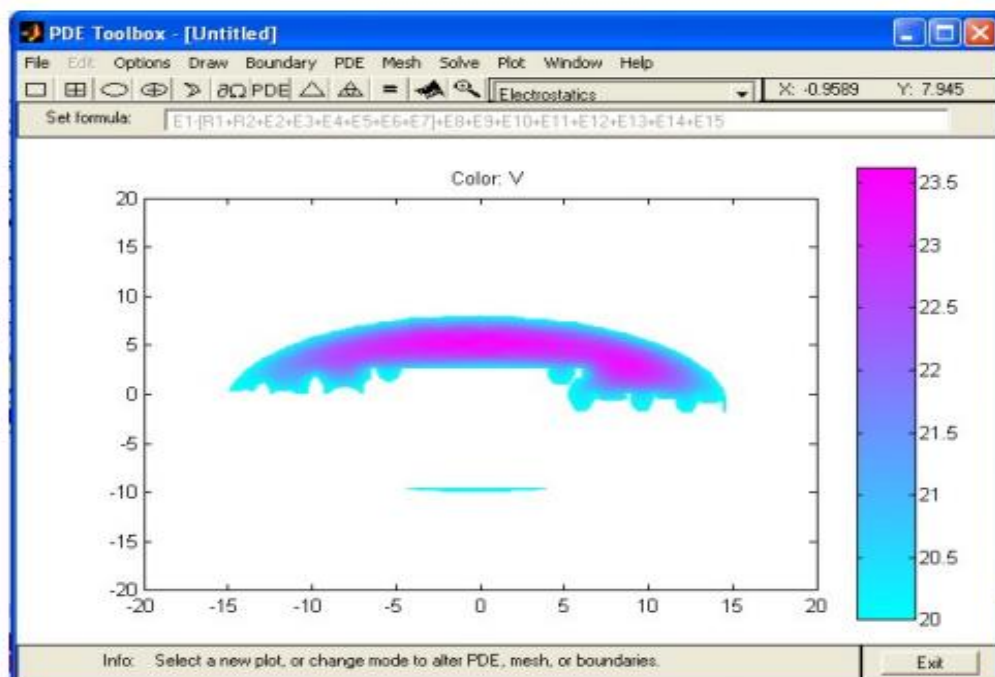


Gambar 24 bentuk batas insulator gantung (Protus,2007)

Gambar 23 Menunjukkan pembentukan bentuk objek isolator gantung yang ingin di simulasikan pada matlab sedangkan gambar 24 menunjukkan bentuk batas insulator gantung setelah dibawah ke menu boundary sehingga terlihat garis-garis luar batas pada objek yang diinginkan untuk di simulasikan



Gambar 25 Mesh segitiga pada insulator gantung(Protus,2007)



Gambar 26 simulasi distribusi tegangan pada permukaan insulator gantung dengan tegangan terpaan 70 KV (Protus,2007)

Dari gambar 26 dapat dilihat bahwa, distribusi tegangan pada permukaan insulator gantung baik dengan nilai tegangan terpaan 20 KV dan 70 KV tidak merata. Nilai tegangan yang terbesar, dapat terlihat pada sekitar bagian tengah bawah (bagian pin) yaitu bagian yang terhubung langsung dengan konduktor saluran dari insulator gantung, sedangkan pada bagian permukaan lainnya nilai tegangannya lebih rendah.

Besarnya nilai tegangan yang terdistribusi di setiap titik di sepanjang permukaan insulator gantung bergantung pada jarak titik tersebut dari bagian pin. Demikian, untuk titik yang berdekatan dengan bagian pin akan mendapatkan nilai tegangan atau tekanan dielektrik terbesar jika dibandingkan dengan bagian permukaan insulator gantung lainnya. Distribusi tegangan yang tidak merata pada permukaan insulator gantung akan membatasi kemampuan insulator untuk menahan tegangan yang diterapkan pada insulator tersebut.

Sehingga Nilai tegangan terbesar pada permukaan isolator terletak pada bagian yang berdekatan dengan pin, sedangkan yang terkecil pada bagian kapya dan juga Tegangan yang tidak terdistribusi secara merata pada permukaan tegangan yang menerpanya.