

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Literature Review**

Pada tahun 2008 penelitian yang dilakukan oleh R. Simon (Simon, 2008) dengan judul “Pengaruh Polutan pada Isolator *Epoxy Resin*” pada penelitian ini peneliti menganalisis besar tahanan pada permukaan isolator ketika dipaparkan oleh polutan NaCl, Karbon, CaCO<sub>3</sub>.

Pada tahun 2012, K. Abdelrahman (Abdelrahman, 2013) melakukan penelitian dengan judul " *Equivalent Salt Deposit Density Prediction of Outdoor Polymer Insulators during Salt Fog Test*" pada penelitian ini, peneliti menghitung besar ESDD pada isolator *polymer* pasang luar, dengan *salt fog test*.

Pada tahun 2018, Kevin Rolando (Rolando & Naisbitt, 2018) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Perbandingan Tahanan Isolasi dan Arus Bocor pada Isolator *Silicone Rubber* dan keramik akibat pengaruh kontaminan abu vulkanik dan belerang” penelitian ini penulis bertujuan untuk mengetahui besar tahanan isolator dan besar arus bocor yang terjadi ketika dipaparkan polutan dan sebelum dipaparkan polutan dari abu vulkanik dan belerang.

Pada tahun 2015, D. S. Lopes (Lopes & Bezerra, 2015) melakukan penelitian dengan judul “*Potential Distribution Along a 500 kV Polymer Insulator in Presence of a Pollution Layer*” pada penelitian ini peneliti melakukan analisis tentang Isolator Polimer pada tegangan 500 kV dengan keadaan isolator bersih dan keadaan isolator diberikan polutan-polutan, peneliti menganalisis dibantu menggunakan software *Comsol*.

#### **2.2 Teori Pendukung**

##### **2.2.1 Isolator Jaringan**

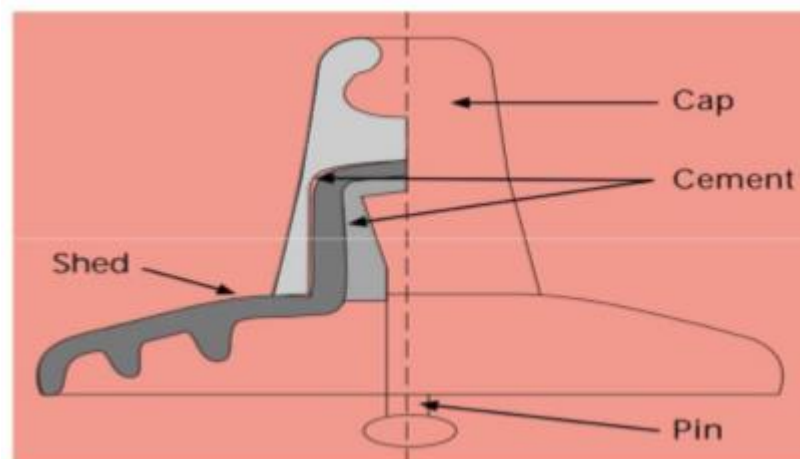
Pada suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai bagian yang memiliki tegangan dan juga tidak bertegangan. Sehingga bagian yang tidak bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang tidak bertegangan. Hal ini dilakukan agar

tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian dengan yang lainnya. Misalnya pada suatu jaringan transmisi, antara suatu konduktor penghantar dengan konduktor lainnya dipisahkan oleh udara. Namun konduktor ini harus digantungkan pada tower penopang sehingga dibutuhkan suatu isolator yang cukup kuat untuk menopang konduktor ini sekaligus mengisolasi antara konduktor dengan menara yang terhubung ke tanah agar tidak terjadi hubung singkat ke tanah.

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

### 2.2.2 Konstruksi Isolator

Isolator pada umumnya memiliki tiga bagian utama yaitu bahan dielektrik, kap dan fitting seperti pada Gambar 2.1. Selain itu juga terdapat semen yang berfungsi sebagai bahan perekat yang merekatkan ketiga bagian ini.



Gambar 2.1 Konstruksi Isolator Piring  
(Dirman, 2017)

Adapun persyaratan umum yang harus dipenuhi dalam merancang suatu isolator adalah sebagai berikut:

1. Isolator harus memiliki kekuatan mekanis yang kuat untuk menahan beban konduktor, terpaan angin dan lain-lain.
2. Isolator harus menggunakan bahan dengan resistansi yang tinggi agar tidak terjadi arus bocor yang besar ke tanah.
3. Isolator harus memiliki kekuatan permitivitas yang tinggi agar dapat memiliki kemampuan dielektrik yang baik.
4. Isolator harus padat dan tidak memiliki celah udara karena dapat menimbulkan peluahan sebagian.
5. Isolator dapat menahan *flashover*.
6. Setiap lubang pada bahan isolator harus memiliki sumbu yang sejajar dengan sumbu tegak isolator. Dan lubang dibuat pada temperature penampaan isolator.
7. Tidak memiliki lekukan runcing agar pada isolator tidak terjadi medan elektrik yang tinggi.
8. Permukaan isolator harus licin dan bebas partikel runcing.
9. Tidak ada resiko meledak atau pecah.
10. Jarak rambat isolator harus diperbesar jika isolator ditempatkan pada kawasan yang dihuni banyak burung.
11. Bahan perekat harus memiliki kekuatan adhesi yang tinggi.
12. Bentuk dan dimensi sirip harus dibuat sedemikian rupa agar dapat dengan mudah dibersihkan.

### **2.2.3 Karakteristik Isolator**

Karakteristik isolator secara umum dapat ditinjau dari dua segi yaitu, segi elektrik dan segi mekanis.

1. Pada segi elektrik isolator berfungsi untuk mengisolir konduktor bertegangan dan kerangka penyangga yang dikebunikan agar tidak muncul arus listrik yang melewati rangka penyangga. Namun ada dua hal yang dapat menyebabkan sistem isolasi tersebut gagal melaksanakan fungsinya tersebut. Kegagalan elektrik pada isolator dipengaruhi oleh kelembaban dan polusi udara (Suyanto, 2010). 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 (*flashover*) dan tegangan tembus listrik (*breakdown*) pada isolator yang menyebabkan isolator pecah (Tobing, 2012). 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 bebandari kawat penghantar.

#### **2.2.4 Jenis Isolator Jaringan**

Gambar 2.2 merupakan isolator jaringan yang sering digunakan pada saluran transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik dapat dibedakan menjadi empat macam secara berturut-turut berdasarkan fungsi dan konstruksinya, yaitu :

1. Isolator jenis Pasak (*pin type insulator*).
2. Isolator jenis Pos (*post type insulator*).
3. Isolator jenis Gantung (*suspension type insulator*).
4. Isolator jenis Cincin (*spool type insulator*).

Penggunaan masing-masing isolator ditentukan oleh fungsi dan letak isolator tersebut terpasang.



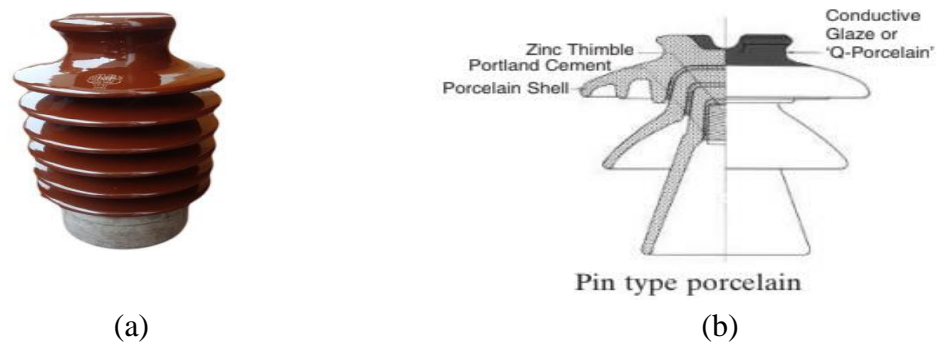
Gambar 2.2 (a) Isolator Pos , (b) Isolator Pasak, (c) Isolator Gantung, (d) Isolator Cincin  
(Dirman, 2017)

### 2.2.5 Bahan Penyusun Isolator

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kemampuan elektris dan mekanis isolator tersebut. Secara umum bahan penyusun yang sering digunakan adalah porselin, gelas, polimer, dan epoxy resin

#### a. Isolator Porselin

Gambar 2.3 merupakan gambar fisik dan bentuk penampang isolator *porcelain*, yang terdiri dari bahan campuran tanah porselin, kwarts, dan veld spat, yang pada bagian permukaannya dilapisi dengan bahan glazur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Bahan Porselin bergantung pada ikatan kimia polar yang kuat antara silicon dan oksigen untuk memberikan bahan yang stabil pada suhu tinggi, dan kuat (Masoud & William, 2009). Isolator jenis ini memiliki kekuatan dielektrik yang sangat tinggi serta 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. Dengan lapisan glazur ini permukaan isolator menjadi licin dan mengkilat, sehingga tidak dapat menghisap air. Kekuatan mekanis porselen standar berdiameter 2-3 cm adalah 45.000 kg/cm<sup>2</sup> untuk beban tekan; 700 kg/cm<sup>2</sup> untuk beban tekuk; dan 300 kg/cm<sup>2</sup> untuk beban tarik. 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.



Gambar 2.3 (a) Gambar Fisik dan (b) Penampang Isolator *Porcelain*

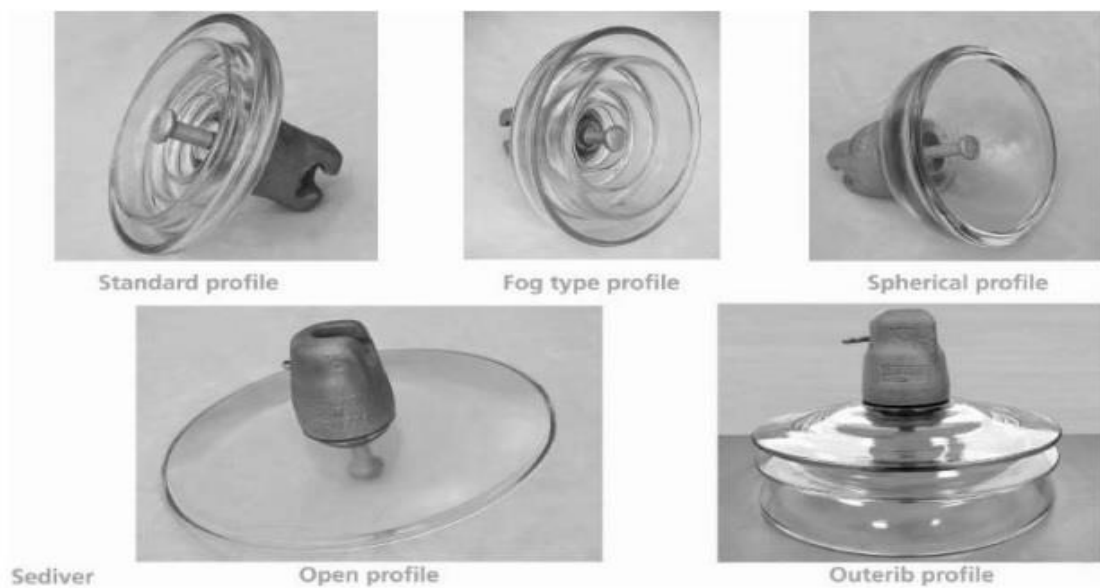
(Dirman, 2017)

### b. Isolator Gelas

Isolator gelas seperti pada Gambar 2.4 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. Didalam gelas terdapat kandungan alkali yang akan menambah sifat higroskopis permukaan isolator sehingga konduktivitas permukaan isolator semakin besar. Kekuatan dielektrik gelas alkali tinggi adalah 17,9 kVrms /mm dan gelas alkali rendah adalah 48 kVrms /mm, yakni dua kali lebih tinggi daripada kekuatan dielektrik porselen. Dilihat dari proses pembuatannya isolator gelas terdiri dari dua jenis, yaitu gelas yang dikuatkan (*annealed glass*) dan gelas yang dikeraskan (*hardened glass*). Dari kedua jenis isolator gelas tersebut, isolator gelas yang dikeraskan lebih baik daripada isolator gelas yang dikuatkan. Keunggulan isolator bahan ini adalah kuat dielektriknya tinggi, kuat tekannya lebih besar dibandingkan porselin, serta kerusakan pada permukaan isolator gelas mudah dideteksi. Pada Gambar 2.5 merupakan jenis-jenis dari Isolator Gelas.



Gambar 2.4 Isolator Gelas  
(Ramos & Naito, 1993)



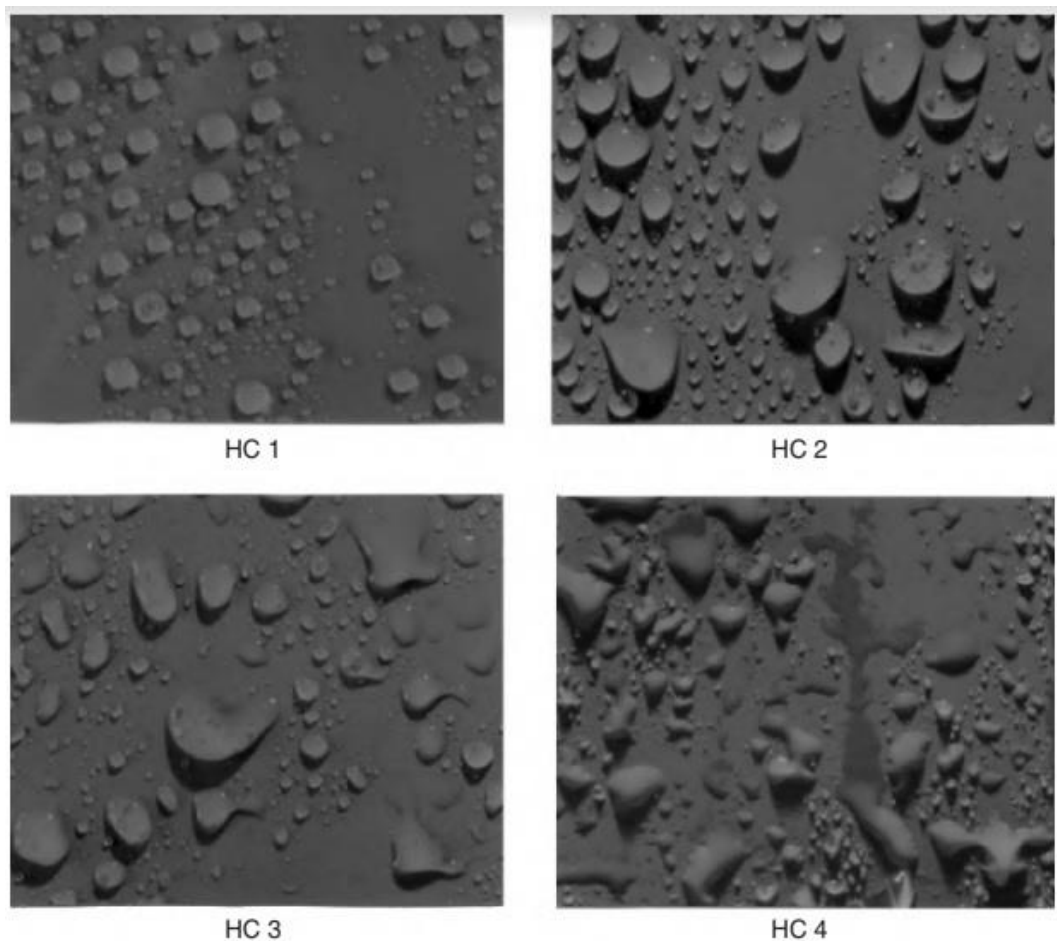
Gambar 2.5 Jenis-jenis Isolator Gelas  
(Ramos & Naito, 1993)

### c. Isolator Polimer

Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator polimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas diantaranya sifat hidrofobiknya yang baik, dapat dilihat pada Gambar 2.6

untuk karakteristik sifat hidrofobik pada isolator polimer. Untuk kelebihan-kelebihan isolator polimer adalah seperti berikut :

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

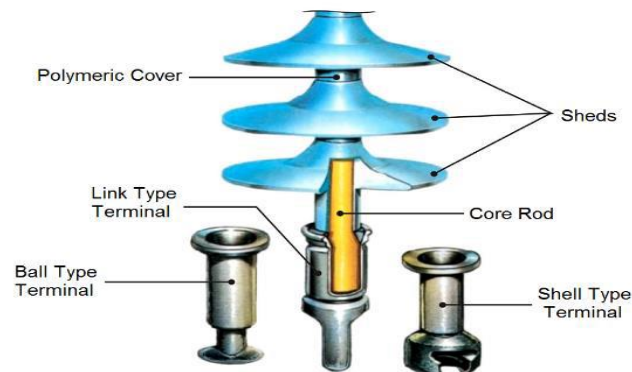


Gambar 2.6 Karakteristik Hidrofobik pada Isolator *Polymer*  
(Vosloo & Macey, 2002)



Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer adalah:

1. Kekuatan mekanis isolator polimer lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
2. Ketidakcocokan bahan antar muka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
3. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim.
4. Penuaan/degradasi pada permukaan dan *stress* yang disebabkan oleh korona, radiasi UV, atau zat kimia dapat mengakibatkan reaksi kimia pada permukaan isolator polimer. Sehingga dapat mempercepat penuaan yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya. Gambar 2.7 memperlihatkan bentuk Isolator *Polymer*.



Gambar 2.7 Isolator Polimer  
(Lopes & Bezerra, 2015)

#### d. Isolator *Epoxy Resin*

*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 2.8 merupakan Isolator *Epoxy Resin* jenis *post*.

Keuntungan yang didapat dari isolator epoksi resin adalah:

- a. Sifat mekanis yang lebih baik.
- b. Keretakan dan kebocoran yang rendah.
- c. Ketahanan busur api yang tinggi.
- d. Bahan yang ringan.
- e. Dimensi yang kompak.



Gambar 2.8 Isolator *Epoxy Resin*  
(Ramos & Naito, 1993)

### 2.2.6 Polusi Pada Isolator

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:

1. Garam.
2. Petrokimia, yaitu sisa pembakaran dari industri seperti karbon dioksida, klorin, dan sulfur dioksida dan sebagainya.
3. Pasir didaerah gurun

Kondisi cuaca akan mempengaruhi polutan pada permukaan isolator. Kontaminan berupa kotoran umum akan terkikis dan hilang dikarenakan tercuci oleh hujan yang lebat sedangkan kontaminasi berupa debu akan melekat misalnya semen, abu batu bara, petrokimia tidak akan terkikis dan hilang. Sedangkan gerimis, kelembaban yang tinggi, dan kabut akan membuat lapisan polutan menjadi basah sehingga dapat membuat permukaan isolator semakin konduktif.

### 2.2.7 Jenis Kegagalan Dielektrik Pada Isolator

Penyebab utama penurunan kualitas isolator yaitu polutan udara dan air hujan yang mengakibatkan munculnya *dry band arcing*. Pada isolator peningkatan fenomena *dry band arcing* adalah salah satu penyebab kegagalan-kegagalan pada isolator (Masahisa, 2001). Adapun kegagalan-kegagalan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

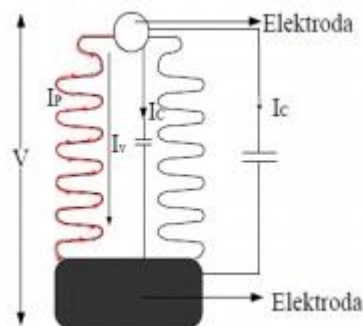
1. Kegagalan tembus (*breakdown*), fenomena ini disebabkan karena adanya factor luar seperti sambaran petir dan terbentuknya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan kontaminan tersebut mengakibatkan penurunan tegangan tembusnya. Hal ini diakibatkan kemampuan elektrik isolator berkurang. Kegagalan ini mengakibatkan karakteristik isolator tidak dapat kembali pulih seperti semula, dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.
2. Kegagalan Lewat Denyar (*flashover*), kegagalan elektrik tersebut bergantung pada tahanan permukaan dan bentuk isolator. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan. Fenomena ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator. Kegagalan ini bermula dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Pita kering tersebut disebabkan karena adanya lapisan kontaminan pada permukaan isolator. Lapisan yang terbentuk dipermukaan isolator menyebabkan meningkatnya arus bocor (*leakage current*). Pita kering tersebut dialiri oleh arus bocor secara terus-menerus sehingga mengakibatkan pemanasan pada permukaan isolator. Pemanasan secara terus-menerus dapat mempercepat penuaan (*aging*) serta munculnya busur listrik menyebabkan terbentuknya jejak erosi (*tracking*).

### 2.2.8 Arus Bocor

Munculnya arus bocor pada isolator dipengaruhi oleh adanya bagian konduktif pada permukaan isolator. Lapisan konduktif ini diakibatkan adanya kontaminasi polutan yang menempel pada permukaan isolator. Polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat bersifat konduktif dan non-konduktif. Polutan yang bersifat konduktif berperan sebagai jalur arus bocor, namun polutan yang bersifat non-konduktif (lembam) mampu menginisiasi adanya arus bocor. Hal

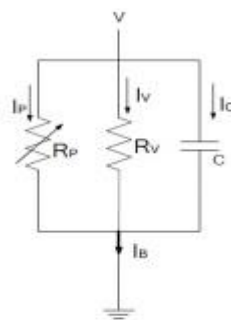
ini dikarenakan polutan yang bersifat lembab mampu meningkatkan kebasahan (hidrofilik) pada permukaan isolator serta meningkatkan pengikatan polutan yang bersifat konduktif.

Pada kondisi bersih atau tanpa polutan, permukaan isolator memiliki tahanan listrik dan kuat dielektrik yang besar sehingga nilai arus bocor sangat kecil. Namun, adanya lapisan konduktif dan kontaminasi air pada permukaan isolator mengakibatkan kemampuan tahanan listrik dan kuat dielektrik menurun (Masahisa, 2001). Hal tersebut mengakibatkan peningkatan nilai arus bocor. Adanya arus bocor yang disebabkan oleh lapisan polutan tersebut pada permukaan isolator mengakibatkan pemanasan pada isolator. Gambar 2.9 merupakan gambar konstruksi isolator dimana arus bocor pada isolator terdiri dari 2 arus, yaitu arus permukaan dan arus kapasitif didalam isolator.



Gambar 2.9 Arus Bocor pada Isolator  
(Suyanto, 2010)

Untuk rangkaian ekivalen isolator, dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen Isolator  
(Suyanto, 2010)

### 2.2.9 Tingkat Kotor Permukaan Isolator

Pengotoran pada permukaan isolator disebabkan adanya komponen polutan yang menempel pada permukaan isolator. Komponen polutan tersebut terdiri dari dua jenis yaitu komponen konduktif dan komponen lembam. Komponen konduktif adalah komponen yang mampu dialiri arus listrik. Komponen konduktif terdiri dari lapisan garam yang terurai menjadi ion. Sedangkan komponen lembam memiliki dua kemungkinan sifat yang dimiliki, yaitu hidrofobik dan hidrofilik. Sifat hidrofobik mengakibatkan titik-titik air mudah menempel pada permukaan isolator. Sedangkan sifat hidrofilik meningkatkan kebasahan permukaan isolator (Suyanto, 2010). Menurut standar IEC 815 ayat 2, ada tiga metode untuk menentukan tingkat bobot polusi isolator di suatu kawasan, yaitu:

1. Berdasarkan analisa kualitatif kondisi lingkungan.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap pengalaman lapangan tentang perilaku isolator yang sudah terpasang di kawasan tersebut.
3. Berdasarkan pengukuran polutan isolator yang sudah terpasang/sudah beroperasi.

Komponen-komponen tersebut akan membentuk suatu lapisan polutan yang menempel pada permukaan isolator. Lapisan polutan ini bersifat konduktif. Lapisan polutan konduktif tersebut dapat dianggap sebagai resistansi yang menghubungkan bagian-bagian di isolator (Tobing, 2012). Ketebalan lapisan polutan tersebut menurut standar IEC 815 ditetapkan menjadi empat, yaitu ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Metode umum yang digunakan adalah ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) dan tinjauan keadaan di lapangan. Adapun penentuan tingkat polusi isolator dengan menggunakan metode ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) berdasarkan standart IEC 815 tahun 1994, untuk tingkatan klasifikasinya ada pada Tabel 2.1.

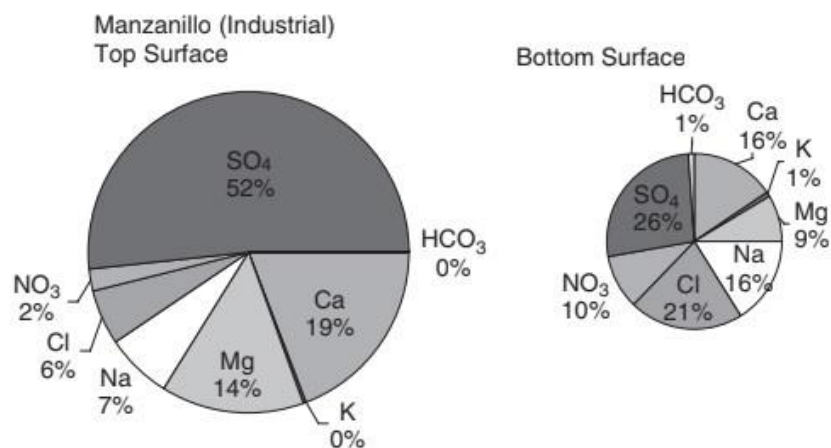
Tabel 2.1. Klasifikasi Tingkat ESDD tahun 1994

ESDD(mg/cm <sup>2</sup> )	Tingkat Polusi
0.03-0.06	Ringan
0.1-0.2	Sedang
0.3-0.6	Berat
>0.6	Sangat Berat

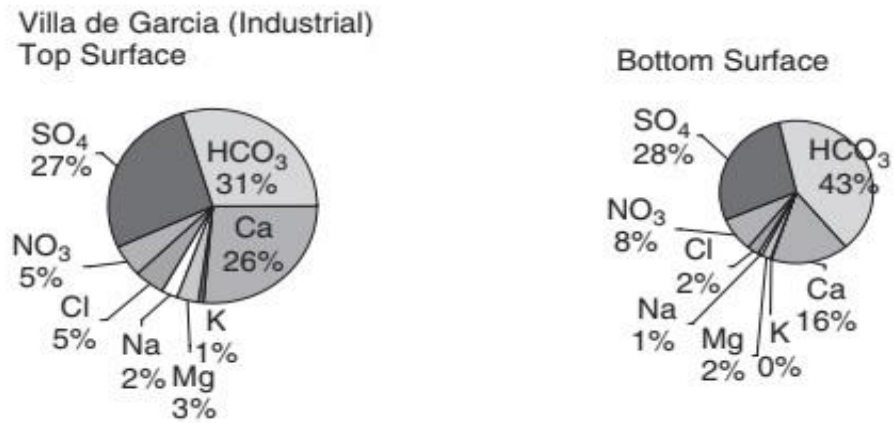
IEC 815 (1994)

### 2.2.10 Polutan Industri

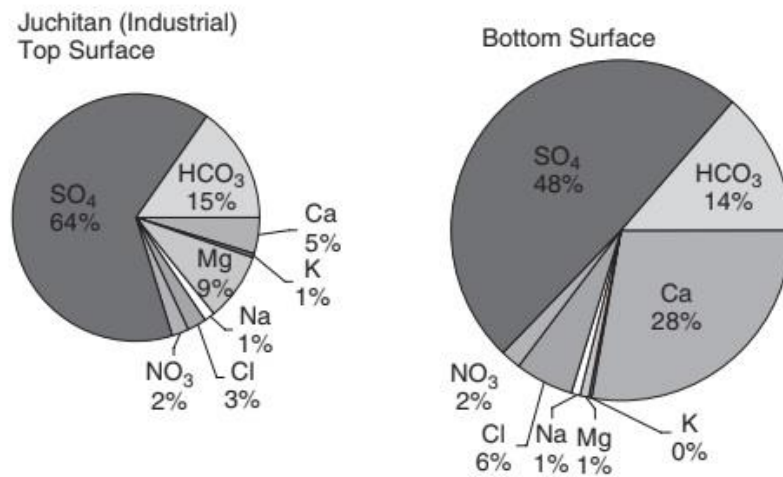
Polusi industri dari isolator muncul dengan pengembangan industri dan oleh kontaminan dihasilkan dan dikeluarkan ke atmosfer, menjadi beragam jenis: metalurgi, zat kimia, debu, asap, dan semen. Zat-zat ini akan bereaksi terhadap angin, berat, dan medan listrik pada isolator membuat lapisan kontaminan. Lapisan ini berada pada isolator terbentuk perlahan selama periode yang bisa berlangsung berbulan-bulan atau tahun. Hal ini bisa menyebabkan masalah pada isolator tersebut, diantaranya arus bocor, *flashover*, maupun kerusakan pada isolator itu sendiri (Ramos & Naito, 1993). Gambar 2.11 s.d. Gambar 2.13 merupakan data kandungan kimia polutan di permukaan isolator dari suatu studi pada kawasan industri di *mexico*.



Gambar 2.11 Polutan di Permukaan Isolator pada Kawasan Industri Manzanillo (Ramos & Naito, 1993)



Gambar 2.12 Polutan di Permukaan Isolator pada Kawasan Industri Villa de Garcia  
(Ramos & Naito, 1993)



Gambar 2.13 Polutan di Permukaan Isolator pada Kawasan Industri Juchitan  
(Ramos & Naito, 1993)

Pada tahun 2002 Vosloo melakukan penelitian tentang kandungan kimia apa saja yang terdapat pada kawasan industri di daerah Afrika, pada Tabel 2.2 kandungan kimia yang didapatkan oleh Vosloo pada kawasan industri di Afrika.

Tabel 2.2 Tabel Polutan Kawasan Industri

No	Nama Polutan	Senyawa Kimia
1	Asam Sulfat	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
2	Kalium Klorida	KCl
3	Kalsium Oksida	CaO
4	Feri Klorida ( Besi (III) Klorida)	FeCl <sub>2</sub>
5	Besi (III) Oksida	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6	Besi (II) Sulfat	FeSO <sub>4</sub>
7	Kalium Sulfat	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

(Vosloo & Macey, 2002)

### 2.2.11 Koefisien korelasi dan kovarian

Koefisien korelasi adalah ukuran statistik yang menghitung kekuatan hubungan antara dua variabel. Nilai berkisar antara -1.0 dan 1.0. Angka yang dihitung lebih besar dari 1,0 atau kurang dari -1,0 berarti bahwa ada kesalahan dalam pengukuran korelasi. Korelasi -1,0 menunjukkan korelasi negatif sempurna, sedangkan korelasi 1,0 menunjukkan korelasi positif sempurna. Korelasi 0,0 menunjukkan tidak ada hubungan antara kedua variable (Drapper & Smith, 1992). Untuk penentuan interval korelasi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Rumus untuk menghitung Koefisien Korelasi adalah :

$$r_{XY} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (2.1)$$



Tabel 2.3 Interval Tingkatan Korelasi

Interval Korelasi	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1	Sangat kuat

(Sugiyono, 2015)

Kovarian adalah metoda untuk menghitung ukuran hubungan linier antar beberapa variable, jika bernilai positif berarti mempunyai hubungan linier positif, jika bernilai negatif berarti mempunyai hubungan linier negatif, jika mendekati nilai 0 maka tidak ada hubungan linier.

### 2.2.12 Regresi Linier

Analisis regresi linear sederhana dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu buah variabel bebas terhadap satu buah variabel terikat (Galton, 1877). Persamaan umumnya seperti pada Persamaan 3.10.

$$y = f(x) = Ax + B \quad (2.2)$$

Dengan Y adalah variabel terikat dan X adalah variabel bebas. Koefisien adalah konstanta (*intercept*) yang merupakan titik potong antara garis regresi dengan sumbu Y pada kordinat kartesius.

### 2.2.13 *Principal Component Analysis* (Analisis Komponen Utama)

Analisis Komponen Utama (Principal Componen Analysis) bermula dari tulisan Karl Pearson pada tahun 1901 untuk peubah non-stokastik. Analisis ini kemudian ditetapkan menjadi peubah stokastik oleh Harold Hotelling pada tahun 1933. Analisis ini merupakan analisis tertua. Perhitungan dalam analisis ini pada waktu tersebut merupakan pekerjaan yang sukar walaupun hanya menggunakan

beberapa peubah. Analisis ini baru berkembang penggunaannya setelah tersedianya fasilitas komputasi elektronik.

Analisis komponen utama adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan ketika menghadapi begitu banyaknya dimensi gugus data yang diperoleh dalam sebuah penelitian. Banyaknya sumber daya data yang kita peroleh seringkali mengakibatkan tumpang tindih antara data yang satu dengan data yang lainnya, Analisis Komponen Utama mampu mempertahankan sebagian besar informasi yang diukur dengan menggunakan sedikit peubah yang menjadi komponen utamanya saja.

#### **2.2.14 Fast Fourier Transform**

*Fast Fourier Transform* (FFT) yang ditemukan tahun 1965 merupakan pengembangan dari *Fourier Transform* (FT). Penemu FT adalah J. Fourier pada tahun 1822. FT membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. Definisi *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah metode yang sangat efisien untuk menghitung koefisien dari Fourier diskrit ke suatu finite sekuen dari data yang kompleks. Karena substansi waktu yang tersimpan lebih dari pada metoda konvensional, fast fourier transform merupakan aplikasi temuan yang penting didalam sejumlah bidang yang berbeda seperti analisis spectrum, speech and optical signal processing, design filter digital. Algoritma FFT berdasarkan atas prinsip pokok dekomposisi perhitungan discrete fourier transform dari suatu sekuen sepanjang N kedalam transformasi diskrit Fourier secara berturut-turut lebih kecil. Cara prinsip ini diterapkan memimpin ke arah suatu variasi dari algoritma yang berbeda, di mana semuanya memperbandingkan peningkatan kecepatan perhitungan. Fast Fourier Transform, adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi fourier diskrit dengan cepat dan efisien. Karena banyak sinyal-sinyal dalam sistem komunikasi yang bersifat kontinyu, sehingga untuk kasus sinyal kontinyu kita gunakan transformasi fourier. Untuk formula Fast Fourier Transform adalah seperti pada Persamaan 2.2.

$$Y_k = \sum_{r=0}^{n-1} \{Re[y_r] + j Im[y_r]\} \{Re[W_n^{kr}] + j Im[W_n^{kr}]\} \quad (2.2)$$

Untuk  $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$

### 2.2.15 Total harmonic distortion (THD)

Harmonik adalah arus atau tegangan dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi daya dasar menjadi 50 atau 60Hz (50Hz untuk daya Eropa dan 60Hz untuk Kekuatan Amerika). Jika frekuensi daya dasar adalah 50 Hz, maka harmonik ke-2 adalah 100 Hz, yang ketiga adalah 150 Hz, dll., Frekuensi harmonik dari yang ketiga hingga ke-25 adalah yang paling banyak rentang frekuensi umum yang diukur dalam sistem distribusi listrik. Distorsi harmonik: Harmonik dapat dipahami sebagai frekuensi periodik yang berbeda komponen yang ditumpangkan pada bentuk gelombang frekuensi utama. Dalam sistem tenaga, harmonisa yang ada sebagian besar adalah kelipatan bilangan bulat ganjil dari frekuensi daya. Ke-3, ke-5, ke-9, Urutan ke-7, ke-11 dan ke-13 dapat diidentifikasi sebagai harmonisa yang paling umum.

*Total Harmonic Distortion* (THD) merupakan nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin kecil nilai %THD atau mendekati nol maka bentuk suatu gelombang akan mendekati sinusoidal murni.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2.3)$$

Pada Persamaan 2.3 dimana untuk  $I_1$  adalah harmonik fundamental, lalu untuk  $h$  merupakan orde harmonik ganjil ( $h = 3,5,7,\dots$ dst). Kemudian untuk nilai komponen harmonik dengan fundamentalnya dapat di definisikan dengan  $I_h/I_1$ .