

## **BAB II TINJAUN PUSTAKA**

### **2.1 Isolator**

Isolator adalah alat yang digunakan sebagai pelindung dan pemisah dari bagian yang bertegangan dari bagian lain yang bertegangan maupun yang tidak bertegangan. Karakteristik mekanis dari suatu isolator biasanya ditandai dari kekuatan mekanisnya, seperti beban mekanis yang rendah yang dapat menyebabkan isolator rusak. Kekuatan mekanis ini ditentukan dari pertambahan beban secara bertahap pada isolator kaca. (Tobing, 2012, pp. 24-25).

Sebelum menentukan bagaimana kekuatan mekanis pada suatu isolator konstruksi tertentu perlu diketahui beban mekaniknya yang akan dipikul di lapangan, jika isolator yang digunakan pada jaringan hantaran udara, maka isolator tersebut harus mampu menahan beban dan menahan berat konduktornya. Berat konduktor tersebut ditentukan oleh luas penampang pada konduktor, jarak gawang, jenis bahannya dan ada atau tidak adanya beban lain pada konduktor (Tobing, 2012, pp. 24-25).

Adapun syarat-syarat umum dari isolator adalah sebagai berikut:

- 1 Isolator tersebut harus memiliki ketahanan yang tinggi untuk mencegah terjadinya arus bocor ke tanah.
- 2 Isolator harus mampu mencegah terjadinya peresapan gas pada tempat-tempay yang terkena polusi baik pengaruh air, dan kelembapan udara.
- 3 Isolator juga harus mempunyai kekuata mekanik yang tinggi yang mampu menahan berat dari suatu kawat penghantar.
- 4 Isolator harus mampu menahan variasi dari tempratur khususnya tempratur yang besar dimana isolator tidak boleh pecah pada saat mengalami situasi pada suhu yang tinggi pada musim kemarau ataupun suhu tempratur yang rendah pada musim hujan (Tobing, 2012, p. 106).

## 2.2 Isolator Untuk Tegangan Tinggi

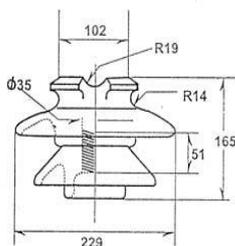
Isolator untuk tegangan tinggi bisa dibuat dari berbagai macam jenis bahan, antara lain adalah, *glass, fiberglass* dengan lapisan resin porselin dan banyak bahan lainnya. Tapi pada umumnya porselinlah yang masih banyak digunakan sebagai bahan isolator. Isolator diperlukan pada sistem transmisi dan distribusi jaringan listrik, khususnya pada tegangan tinggi.

Beberapa tipe dasar isolator untuk tegangan tinggi antara lain adalah (Gonen, 1988, p. 175).

- a. Isolator tipe gantung (*suspension insulator*)
- b. Isolator tipe pasak (*pin type insulator*)
- c. Isolator tarik (*strain insulator*)
- d. Isolator jenis pos saluran (*line post type insulator*)
- e. Isolator jenis batang panjang (*long rod insulator*)

### 2.2.1 Isolator Tipe Pasak (*Pin type insulator*)

Isolator tipe pasak (Pin type insulator) yakni isolator yang diletakkan diatas sebuah pin. Pada SPLN 10-4A : 1994 mengatakan bahwa isolator pin adalah isolator yang kaku dan terdiri dari komponen isolasi yang terpasang secara kokoh pada struktur penyangga dengan pin yang menembus komponen isolasi tersebut dan terdiri dari beberapa bahan material isolasi yang terhubung secara permanen. Gambar dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Andaru, 2017,p.6).

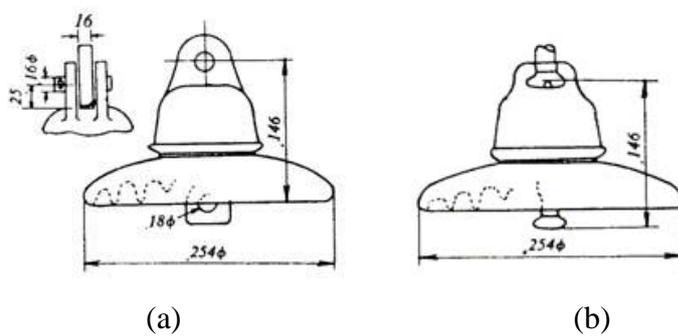


Gambar 2. 1 Gambar Isolator Jenis Pasak

Sumber: Sihombing, Mitro.( 2011).

### 2.2.2 Isolator Tipe Gantung (suspension insulator)

Isolator gantung merupakan isolator yang pemasangan konduktornya digantung di bagian bawah dari isolator rantai, dimana keping isolator gantung atau disebut dengan unit isolator renteng (SPLN 10-1E: 1990) didefinisikan sebagai isolator yang terdiri dari logam dan isolator yang dapat dipasang atau dilepas lagi untuk menggandeng isolator lainnya. Gambar isolator tipe gantung dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3 (Andaru, 2017,p.6).



Gambar 2. 2 (a) Isolator Gantung Jenis Clevis dan (b) Jenis Ball & Socket

Sumber: Suswanto, (2009, p. 74).



Gambar 2. 3 Isolator tipe gantung dengan bahan utama kaca

Sumber : Milan, Jones, (2016).

### 2.3 Karakteristik Isolator Piring Berbahan Kaca

Isolator berbahan *glass* sekarang ini makin banyak digunakan. Pada umumnya isolator kaca ini terbuat dari bahan campuran dari pasir silikat, dolomit, dan fosfat. Komposisi dari bahan-bahan tersebut bisa menentukan sifat dari isolator kaca dan juga dipengaruhi oleh cara

pengolahannya dan isolator kaca ini memiliki harga yang relatif lebih murah. Pada umumnya isolator kaca memiliki sifat mudah mengembun akibat dari kelembapan udara, sehingga pada permukaan isolator akan mudah terkontaminasi oleh debu. Jika tegangan sistem makin tinggi maka makin mudah pula untuk terjadinya arus bocor (*leakage current*) sehingga dapat mengurangi kualitas dari fungsi isolator kaca.

Tegangan tembus pada permukaan isolator (*flashover voltage*) terdiri dari tegangan tembus impuls, dan tegangan tembus frekuensi rendah (AC). Tegangan tembus frekuensi rendah kering adalah tegangan tembus yang terjadi apabila tegangan itu diterapkan diantara kedua konduktor isolator yang kondisi permukaan isolator tersebut dalam keadaan bersih dan tidak basah, sedangkan tegangan tembus frekuensi rendah basah adalah tegangan tembus yang terjadi apabila tegangan tersebut diterapkan diantara kedua konduktor isolator yang kondisi permukaan isolator tersebut dalam keadaan basah akibat hujan ataupun akibat hal lainnya (Salama, Mustamin, 2010, p. 1).

#### **2.4 Arus Bocor (*Leakage Current*)**

Munculnya arus bocor diawali akibat adanya lapisan konduktiv pada permukaan isolator. Lapisan ini muncul akibat adanya kontaminasi dari polutan atau terjadi pembasahan dipermukaan isolator akibat curah hujan. Jika dalam kondisi permukaan isolator yang bersih maka isolator memiliki tahanan listrik yang besar. Jika terkena kontaminasi seperti air dan sebagainya maka terjadi penurunan nilai tahanan pada isolator dan pada saat dialiri tegangan akan muncul arus bocor pada permukaan isolator kaca. Arus bocor mengalir pada permukaan isolator kaca yang memiliki temperatur tinggi sehingga mengakibatkan penguapan pada sebagian daerah di permukaan isolator kaca.

Penguapan ini menyebabkan terbentuknya pita kering (*dry band*). Pada saat pita kering yang terbentuk semakin bertambah luas dan lebarnya bertambah maka akan terjadi peluahan muatan (*discharge*) dan akan terjadi *flashover* pada saat busur api memanjang dan melintasi seluruh permukaan isolator kaca tersebut (Arismunandar, 1993, p. 103).

## 2.5 Perhitungan Arus Bocor

Arus bocor adalah arus yang mengalir permukaan isolator kaca dan bisa menembus permukaan isolator kaca. Pada umumnya arus bocor disebabkan oleh rongga-rongga pada bahan isolasi yang disebabkan akibat dari kesalahan-kesalahan pada pembuatan bahan isolasinya.

Kegagalan pada isolator di tegangan tinggi pada umumnya disebabkan oleh banyak faktor, baik faktor dari luar ataupun dari dalam isolator itu sendiri. Salah satu faktornya adalah arus bocor pada permukaan isolator. Arus bocor akan menyebabkan terjadinya pemanasan pada permukaan isolator dan menyebabkan rugi-rugi daya pada sistem dan dapat menyebabkan berbagai macam kerugian.

Faktor lain yang dapat meningkatkan nilai arus bocor adalah kenaikan dari suhu dan perubahan tegangan. Jika suhu dan tegangan diatas suhu dan tegangan nominalnya, maka akan memberikan pengaruh yang lebih signifikan terhadap penurunan kualitas isolator kaca tersebut.

Konduktivitas larutan pengotoran naik bersamaan dengan naiknya *ESDD* atau *Kepadatan Adhesi Garam*. Untuk isolator jenis pemasangan luar (*outdoor insulators*) nilai *ESDD* dipengaruhi oleh lingkungan dimana isolator tersebut dipasang. Senyawa garam (NaCl) dan bahan tak larut (*lembam*) yang terdapat diudara terutama di daerah pantai, akan terbawa angin dan menempel pada permukaan isolator kaca. Komponen konduktiv dan komponen tak larut yang dibawa oleh angin akan membentuk 2 lapisan pengotoran pada permukaan isolator kaca.

Apabila isolator yang telah terkontaminasi berada pada lingkungan udara yang lembab dan berkabut, maka lapisan pengotoran akan menyerap uap air sehingga membentuk larutan pengotoran dipermukaan isolator (Joko S.dkk, 2001).

Tahanan isolasi dapat mempengaruhi besarnya arus bocor yang terjadi dimana tahanan isolasi akan semakin besar apabila penghantarnya semakin panjang, persamaan dari tahanan isolasi dapat dilihat sebagai berikut (Aulia, 2006, p. 1).

$$I_b = \frac{V_m}{R_p} \quad (2-1)$$

Dimana :

$I_b$  = Arus bocor (A)

$V_m$  = Tegangan gagal thermal minimum (V)

$R_p$  = Resistansi panas( $\Omega$ )

Arus listrik pada umumnya akan melewati konduktor pada kabel, sedangkan arus bocor akan mengalir secara radial dari konduktornya melalui dielektrik menuju lapisan pelindung (Erhaneli,dan Musnadi, 2012 :30).

Arus bocor pada permukaan isolator kaca ditentukan dari polutannya. Polutan ini dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi pada permukaan isolator. Terjadinya lapisan kontaminan terjadi akibat kelembapan udara yang tinggi, dan pengaruh dari curah hujan. Hal tersebut dapat mengakibatkan munculnya elektrolit yang konduktif dan menyebabkan resistansi permukaan kecil, sehingga menimbulkan arus bocor yang mengalir di permukaan isolator kaca (Muhamad, Lanto, 2012).

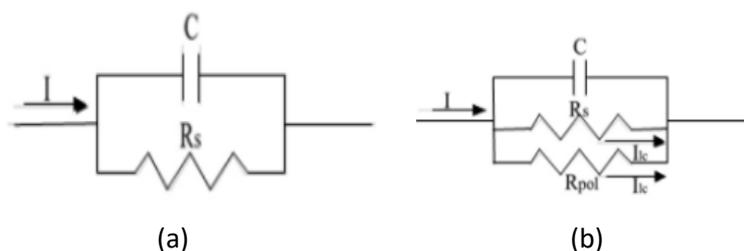
Karena adanya kontaminan pada permukaan isolator maka akan menyebabkan turunya nilai resistansi isolatornya.

$$R_{ek} = \frac{R_s \cdot R_{pol}}{R_s + R_{pol}} \quad (2-2)$$

$$R_{ektotol} = R_{ek1} + R_{ek2} + \dots + R_{ekn} \quad (2-3)$$

Dimana:

Nilai resistansi rata-rata isolator terkontaminasi sebagai nilai resistansi ekivalen ( $R_{ek}$ ) dan nilai rata-rata isolator bersih sebagai nilai resistansi awal ( $R_s$ ) dan nilai resistansi kontaminan ( $R_{pol}$ ) sebagai resistansi yang dipasang paralel dapat dicari dengan menggunakan rumusan diatas. Gambar rangkaian ekivaeln dapat dilihat pada Gambar 2.3 ini:



Gambar 2. 4 (a) Gambar rangkaian ekivalen pada saat isolator bersih (b) Gambar rangkaian ekivalen isolator yang terkontaminasi

## 2.6 Rugi-Rugi Daya Elektrik

Akibat adanya arus bocor yang melewati permukaan isolator kaca, maka akan muncul nilai rugi-rugi daya listrik. Rugi daya yang disebabkan oleh arus bocor dapat dinyatakan seperti persamaan berikut:

$$1. P_{loss} = I_{lc}^2 \times R_{pol} \quad (2-4)$$

$$2. P_{loss} = \frac{V^2}{R_{pol}} \quad (2-5)$$

Dengan :

$P_{loss}$  : daya hilang (Watt)

$I_{lc}$  : arus bocor (A)

$R_{pol}$  : resistansi permukaan terkontaminasi (ohm)

$V$  : tegangan fasa jaringan (volt)

$W_{loss}$  : energy yang hilang (Wh)

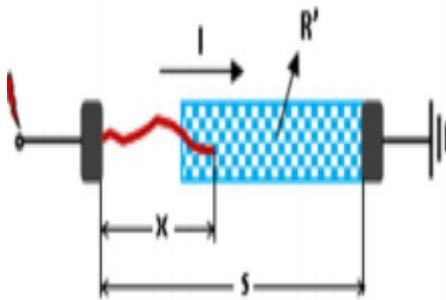
Di dalam hitungan satu hari ada banyak waktu yang memungkinkan lapisan isolasi berada di dalam kondisi basah, maka rugi-rugi dalam kondisi seperti ini sangat perlu untuk diperhitungkan. Apabila dalam satu tahun ada 8760 jam, maka dalam jangka waktu satu tahun rugi energy dapat diperoleh dengan :

$$3. W_{loss} = I_{lc}^2 \cdot R_{pol} \cdot 8760 \quad (2-6)$$

$$4. W_{loss} = V^2 / R_{pol} \cdot 8760 \quad (2-7)$$

### 2.6.1 Pengertian Pita Konduksi

Kegagalan lewat denyar (*flashover*) berawal dari terbentuknya pita konduksi. Polutan yang menempel pada permukaan isolator kaca menyebabkan terbentuknya lapisan konduktif dipermukaan isolator kaca. Lapisan konduktif yang menempel pada permukaan isolator ini menyebabkan timbulnya arus bocor (*leakage current*) pada permukaan isolator kaca. Gambar ilustrasi kegagalan isolator kaca dapat dilihat pada Gambar 2.5.

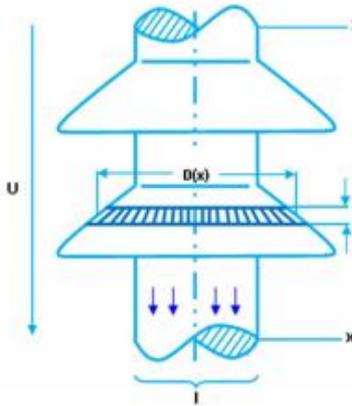


Gambar 2. 5 Ilustrasi kegagalan isolator

Sumber : Dhofir, (2017)

Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator kaca secara terus-menerus dapat menyebabkan terbentuknya pita konduksi pada lapisan konduktif tersebut. Pada tegangan tertentu kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya pelepasan muatan yang melintasi pita konduksi. Pelepasan muatan yang melintasi pita konduksi ini dapat melebar sehingga membentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi lewat denyar (*flashover*) yang melewati seluruh permukaan isolator kaca.

Pada Gambar 2.6 fenomena terjadinya pita konduksi pada permukaan isolator yang terkena polusi.



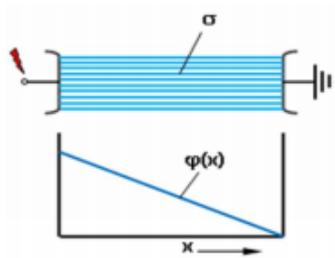
Gambar 2. 6 Skema pita konduksi pada permukaan isolator

Sumber : Dhofr (2017)

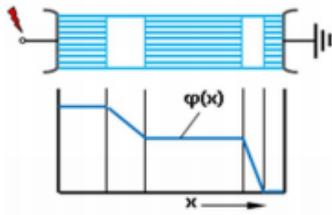
$$dR = \frac{dx}{\pi D} \frac{1}{\sigma_s} \quad (2-8)$$

$$R = \frac{1}{\sigma_s} \frac{1}{\pi} \int_0^s \frac{dx}{D(x)} = \frac{1}{\sigma_s} K_f \quad (2-9)$$

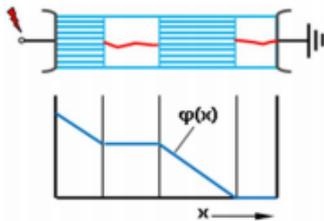
Terbentuknya pita konduksi pada permukaan isolator kaca menyebabkan gangguan pada medan listrik di sepanjang permukaan isolator tersebut, sehingga muncul tegangan percikan (*spark over*) dan dapat menimbulkan pelepasan muatan di daerah tertentu. Pada Gambar 2.7-2.9 adalah mekanisme terbentuknya pita konduksi :



Gambar 2. 7 Mekanisme terbentuknya pita konduksi



Gambar 2. 8 Proses Terbentuknya Pita Kering (dry bands)



Gambar 2. 9 Proses Terbentuknya Busur Parsial  
Sumber : Dhofir (2017)

Pita konduksi memiliki kerapatan arus yang relative lebih besar dari pada daerah lainnya. Sehingga jatuh tegangan yang terjadi pada daerah pita konduksi ( $\Delta V$ ) lebih besar dari pada jatuh tegangan ( $\Delta V$ ) pada daerah lainnya (Dhofir, 2017).

## 2.7 Lapisan Pita Konduksi

Ada beberapa bahan yang dapat digunakan untuk mempresentasikan zat pengotor, antara lain *carbon conductive paint*, *silver conductive paint*, *copper paint* dan sebagainya. Pada penelitian ini, bahan yang digunakan sebagai presentasi dari zat pengotor adalah *sodium chloride* (natrium klorida). Pada gambar 2.9 adalah gambar kemasan dari garam murni yang digunakan pada penelitian ini.

## 2.8 Konsentrasi Zat pengotor (Larutan Natrium Klorida)

Zat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah larutan natrium klorida. Larutan natrium klorida. Polutan atau larutan garam ini dapat menurunkan kinerja dari isolator kaca. Penurunan kinerja isolator kaca berpengaruh terhadap nilai tahanan di permukaan isolator kaca dan nilai arus bocor pengukuran yang mengalir di permukaan isolator kaca. Dibawah ini adalah beberapa cara untuk menyatakan secara kuantitatif komposisi dari suatu cairan zat pengotor, yakni:

1. Persen konsentrasi
2. Part per million (ppm) atau bagian per juta (bpj)
3. Molaritas
4. Molalitas
5. Normalitas
6. Fraksi mol

Di dalam penelitian ini hanya akan membahas komposisi dari suatu zat pengotor berupa persen konsentrasi, molalitas dan konduktivitas (Andaru, 2017, p. 17).

### 2.8.1 Persen Konsentrasi

Persen konsentrasi adalah persen yang menyatakan suatu presentasi dari zat terlarut di dalam suatu larutan zat kimia. Persen konsentrasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Andaru, 2017, p. 17):

$$C = \frac{M_p}{M_t} \times 100\% \quad (2-10)$$

$$MI = M_p + M_c \quad (2-11)$$

Dimana :

C : persen konsentrasi (%)

$M_p$  : masa zat terlarut (gram)

$MI$  : masa larutan (gram)

$M_c$  : masa zat pelarut (gram)

### 2.8.2 Molaritas

Molaritas adalah konsentrasi suatu larutan yang menyatakan mol suatu zat terlarut dalam setiap liter larutan kimia. Maka molaritas dapat dinyatakan sebagai berikut (Andaru, 2017, p. 17):

$$M = \frac{\text{gram}}{M_r, NaCl} \times \frac{1000}{\text{volumeair}(ml)} \quad (2-12)$$

Dimana :

$M$  : molaritas larutan (molar)

Masa jenis NaCl : 2,16 gram/cm<sup>3</sup>

Masa jenis air : 1 gram/cm<sup>3</sup>

$M_r$  NaCl : 58,85 (masa molar (gram/mol))

### 2.8.3 Konduktivitas

Konduktivitas, adalah kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik, hal ini juga menjadi parameter performa dari permukaan isolator kaca dalam menghantarkan arus listrik pada system tegangan tinggi. Pengujian konduktivitas bahan sama seperti pengujian resistivitas yakni dengan menggunakan permukaan kaca yang disemprot dengan suatu zat pengotor yang kemudian diberi tegangan arus searah, dimana besarnya konduktivitas adalah (M. Emrizal, 2017):

$$\Delta m = \frac{k}{c} \quad (2-13)$$

$$K = (K_{\text{larutan}} - K_{\text{pelarut}}) \quad (2-14)$$

$$\Delta m = \frac{K_{\text{larutan}} - K_{\text{pelarut}}}{c} \quad (2-15)$$

$$K_{\text{larutan}} - K_{\text{pelarut}} = \Delta m \cdot c \quad (2-16)$$

$$K_{\text{larutan}} = (\Delta m \cdot c) + K_{\text{pelarut}} \quad (2-17)$$

Dimana :

K : konduktivitas (S/cm)

$\Delta m$ : hantaran molar (Scm<sup>2</sup>/moll)

c : konsentrasi larutan (moll/L)

## 2.9 Polutan

Polutan yang menempel pada sisi permukaan isolator kaca akan membentuk lapisan konduktif dimana lapisan konduktif ini akan menempel di permukaan isolator kaca, sehingga menyebabkan terjadinya arus bocor pada sisi permukaan isolator kaca. Arus bocor akan mengakibatkan terjadinya pemanasan pada lapisan konduktifn, sehingga lapisan ini dapat membentuk pita konduksi yang diakibatkan oleh aliran arus bocor yang terjadi terus-menerus. Dalam kondisi tegangan tertentu hal ini dapat menyebabkan pelepasan muatan yang melintasi pita konsuksinya dimana pelepasan muatan ini dapat melebar dan akan membentuk busur listrik.

Karena isolator dialiri oleh medan listrik dan adanya tegangan yang tinggi, sehingga bisa menarik polutan baik itu polutan padat ataupun cair yang dapat menempel di permukaan isolator sehingga mempengaruhi nilai resistansi dari isolator kaca yang digunakan. Jenis-jenis polutan bisa banyak ditemui, misalnya pada daerah yang kering atau jauh dari laut biasanya akan banyak polutan berupa debu dan zat-zat seperti SiO<sub>2</sub>, tanah liad (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis unt uk mengikat komponen-komponen konduktiv. Pada

daerah pinggir pantai polutan yang sering dijumpai adalah akibat dari partikel dari air laut yang dapat berupa garam yang terbawa udara sehingga menempel pada permukaan isolator kaca pada tegangan tinggi (Milan, Jones, 2016).

## 2.10 Medan Listrik

Medan listrik adalah suatu daerah (ruang) di sekitar muatan yang masih dipengaruhi oleh gaya elektrik. Oleh Michael Faraday medan listrik digambarkan sebagai vektor garis medan listrik yang keluar dari muatan positif dan masuk ke muatan negatif. Kuat medan listrik yang semakin besar digambarkan dengan garis medan yang semakin rapat.

Pada setiap titik di dalam medan listrik ada suatu kuantitas yang menyatakan tingkat kekuatan medan tersebut, yang disebut kuat medan listrik. Kuat medan listrik ( $E$ ) di sebuah titik adalah gaya per satuan muatan yang dialami oleh sebuah muatan di titik tersebut. Secara matematis dapat ditulis:

$$E = \frac{F}{q} \quad (2-18)$$

Sementara kuat medan listrik dalam elektroda:

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \hat{a}_r \quad (2-19)$$

Distribusi medan listrik ialah penyebaran medan listrik pada ruang yang terdapat di antara elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda). Distribusi medan listrik mempunyai tingkat intensitas yang berbeda pada tiap titik dalam jarak sela. Intensitas medan listrik akan memberikan tekanan listrik pada suatu bahan dielektrik yang disebut stress listrik. Sedangkan kekuatan maksimum bahan dalam menahan stress listrik agar tidak terjadi tembus disebut kekuatan dielektrik bahan. Kekuatan dielektrik dan tekanan listrik dinyatakan dalam besaran kV/cm. Bentuk distribusi medan listrik sangat menentukan besarnya intensitas medan listrik pada setiap titik yang artinya juga menentukan besarnya nilai tegangan tembus.

Bentuk distribusi medan listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu distribusi medan listrik seragam dan tidak seragam. Ukuran seragam tidaknya distribusi medan listrik diantara susunan elektroda dapat diketahui dari nilai efisiensi medan listrik. Jika luas penampang dari elektroda semakin besar, maka nilai arus bocornya akan semakin kecil. Pada elektroda jarum memiliki medan listrik yang besar hanya pada ujung jarum tersebut, namun distribusi medan tidak merata yang dimana semakin jauh jarak kedua elektroda maka semakin kecil medan listrik yang didistribusikan.

Besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda yang memberikan distribusi medan listrik homogen maka  $\approx 1$ , sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik non homogen maka nilai  $< 1$ . (Harry Soekotjo Dachlan, Moch. Dhofir, Vico Fernanda, 2008, pp. 2-3).





