

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Isolator

Isolator listrik merupakan bagian yang penting dalam sistem transmisi maupun distribusi listrik. Prinsip kerja dari isolator adalah memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian-bagian yang tidak bertegangan. Apabila isolator tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik maka akan terjadi aliran arus listrik yang tidak semestinya ada. Isolator listrik merupakan bagian vital pada jaringan listrik untuk itu isolator memiliki dua fungsi yaitu (Eva, dkk, 2009):

a. Fungsi kelistrikan

Sebagai penyekat arus listrik, sehingga arus listrik tidak merambat ke benda lain selain yang telah ditentukan.

b. Fungsi mekanik

Sebagai tempat bertambatnya konduktor, yang akan melindungi berbagai kendala di lapangan seperti : perubahan cuaca, perubahan suhu, hujan, angin, dan sebagainya dalam waktu yang cukup lama.

Dalam menentukan penggunaan isolator perlu mempertimbangkan syarat-syarat dari suatu isolator. Adapun syarat-syaratnya adalah sebagai berikut (Eva, dkk, 2009) :

- a. Isolator harus memiliki kekuatan mekanik yang tinggi sehingga mampu menahan berat dari kawat penghantar.
- b. Memiliki ketahanan isolasi yang tinggi untuk mencegah arus bocor ketanah.
- c. Mampu menahan variasi temperatur yang besar, yaitu isolator tidak boleh pecah ketika terkena temperatur yang tinggi selama musim kemarau dan temperatur rendah selama musim hujan.
- d. Mampu mencegah peresapan gas pada tempat-tempat yang terpolusi serta pengaruh air dan udara lembab selama musim hujan.

## 2.2 Isolator Terpolusi

Polutan yang dapat mempengaruhi tahanan permukaan suatu isolator dibagi menjadi 2 yaitu (Arismunandar, 1993:152):

a. Polutan yang bersifat konduktif

Polutan yang bersifat konduktif adalah polutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Polutan jenis ini terdiri dari garam yang dapat terurai menjadi ion-ion seperti NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan sebagainya. Garam-garam tersebut yang telah terurai akan membentuk lapisan konduktif pada permukaan isolator.

b. Polutan yang bersifat inert

Polutan yang bersifat inert merupakan bagian dari zat padat yang tidak dapat terurai menjadi ion-ion, namun zat ini dapat menyebabkan ketahanan pada isolator. Zat seperti SiO<sub>2</sub>, tanah liat, dan lain sebagainya dapat mengikat komponen-komponen konduktif.

Dalam perencanaan isolator suatu jaringan diperlukan standart tentang tingkat polusi di kawasan tersebut. Standart ini digunakan untuk menentukan isolator yang layak digunakan di wilayah tersebut. Sehubungan dengan ini IEC telah menerbitkan standart IEC 815 sebagai pedoman untuk pemilihan isolator di wilayah terpolusi (Arismunandar, 1993:154)

Menurut IEC 815, jarak rambat minimal isolator adalah sebagai berikut:

$$l_n = J_{RS} \times V \times k_d \quad (2-1)$$

Dalam hal ini :

$l_n$  = Jarak rambat nominal minimum (mm)

$J_{RS}$  = Jarak rambat spesifik minimum (mm/kV)

$V$  = Tegangan fase-ke-fase tertinggi sistem (kV)

$k_d$  = Faktor koreksi yang bergantung pada diameter isolator

Menurut standart IEC 815, tingkat bobot isolasi isolator dibagi atas 4 tingkatan. Besar jarak rambat spesifik isolator diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Jarak Rambat Spesifik Untuk Tingkat Bobot Polusi

Tingkat Bobot Polusi	$J_{RS}$ (mm/kV)
<b>Ringan</b>	16
<b>Sedang</b>	20
<b>Berat</b>	25
<b>Sangat Berat</b>	31

Sumber : Arismunandar, 1993:154

Selain standart jarak rambat spesifik isolator, IEC 815 juga menetapkan penggolongan tingkat pengotoran yang dipengaruhi oleh kondisi geografis disuatu tempat diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penggolongan tingkat pengotoran berdasarkan kondisi geografis

Tingkat Bobot Polusi	KEG
<b>Ringan</b>	0.03 - 0.06
<b>Sedang</b>	0.1 - 0.2
<b>Berat</b>	0.3 – 0.6
<b>Sangat Berat</b>	>0.6

Sumber : Arismunandar, 1993:154

IEEE menggolongkan ESDD (*Equivalent Salt deposit density*) kepadatan jumlah garam ekivalen menjadi empat tingkatan seperti Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penggolongan tingkat pengotoran

Tingkat Bobot Polusi	ESDD
<b>Ringan</b>	0 – 0.03
<b>Sedang</b>	0.03 – 0.06
<b>Berat</b>	0.06 – 0.1
<b>Sangat Berat</b>	>0.1

Sumber : Arismunandar, 1993:155

Isolator yang terpolusi akan memiliki konduktansi yang berbeda-beda. Konduktansi lapisan pengotor dipengaruhi oleh kelembapan udara, tebal lapisan,

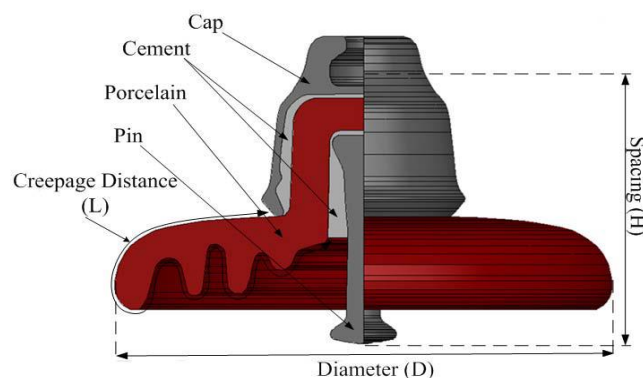
dan jenis pengotor. Permukaan yang kotor akan mengalami drop tegangan, sehingga menyebabkan aliran bocor. Arus yang besar akan menimbulkan bunga api parsial yang lebih besar, dan apabila dapat menjembatani elektroda elektroda dari isolator maka akan terjadi flashover.

### 2.3 Karakteristik Isolator Kaca

Salah satu isolator yang banyak digunakan adalah isolator berbahan kaca, karena selain pembuatannya lebih mudah harganya juga relatif lebih murah dari isolator berbahan porselin. Namun isolator kaca memiliki kekurangan yaitu memiliki sifat mengkondensasi air atau mengembun. Hal ini menyebabkan polutan gampang menempel pada isolator kaca. Isolator kaca yang dibuat dengan baik dan melalui proses pengerasan serta memiliki kandungan alkali rendah, karakteristik listrik dan mekaniknya akan lebih tinggi dari isolator berbahan porselin.

### 2.4 Konstruksi Isolator Piring

Konstruksi isolator piring dibagi menjadi 3 bagian utama, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Bagian utama tersebut yaitu bahan dielektrik, kap, dan tonggak. Selain itu terdapat juga semen yang berfungsi sebagai perekat bahan dielektrik dengan tonggak pin dan bahan dielektrik dengan kap (Wilvian,2012:12).



Gambar 2.1 Konstruksi utama isolator piring  
Sumber : Wilvian, 2012 : 12

Dengan D adalah diameter isolator piring dan H (spacing) adalah jarak spasi minimal dengan pin dan kap isolator piring. Pada umumnya isolator piring memiliki diameter isolator antara 25-40 cm dan jarak spasi minimal antara 127-240 mm.

## 2.5 Karakteristik Isolator Plat Berbahan Kaca

Salah satu isolator yang banyak digunakan adalah isolator berbahan kaca, karena selain pembuatannya lebih mudah harganya juga relatif lebih murah dari isolator berbahan porselin. Namun isolator kaca memiliki kekurangan yaitu memiliki sifat mengkondensasi air atau mengembun. Hal ini menyebabkan polutan gampang menempel pada isolator kaca. Isolator kaca yang dibuat dengan baik dan melalui proses pengerasan serta memiliki kandungan alkali rendah, karakteristik elektris dan mekaniknya akan lebih tinggi dari isolator berbahan porselin.

Tegangan tembus pada permukaan isolator atau disebut juga tegangan lompatan api (*flashover voltage*) terdiri atas tegangan tembus frekuensi rendah (AC) dan tegangan impuls. Tegangan tembus frekuensi rendah kering terjadi diantara kedua konduktor yang kondisi permukaan isolatornya bersih dan kering, sedangkan tegangan tembus frekuensi rendah basah adalah tegangan tembus yang terjadi diantara 2 konduktor yang kondisi permukaan isolatornya basah atau sengaja dibasahi untuk merepresentasikan keadaan hujan. Tegangan tembus impuls adalah tegangan tembus yang terjadi apabila tegangan impuls dengan gelombang standart diterapkan (Gonen, 1987:152). Menurut IEC gelombang standar impuls adalah  $1,2 \times 50 \mu\text{s}$ .

Sistem jaringan tegangan tinggi biasanya memasang isolator jenis kaca. Isolator ini berfungsi sebagai pembatas antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Terdapat dua peristiwa yang menyebabkan isolator gagal menjalankan tugasnya, yaitu terjadinya tembus listrik pada media udara disekitar permukaan isolator piring yang disebut peristiwa lewat denyar (*flashover*) dan akibat tembus listrik pada permukaan isolator yang menyebabkan isolator pecah.

Karakteristik listrik dan mekanik dari isolator piring berbahan kaca dengan standar IEC 60120 pada Tabel 2.4.

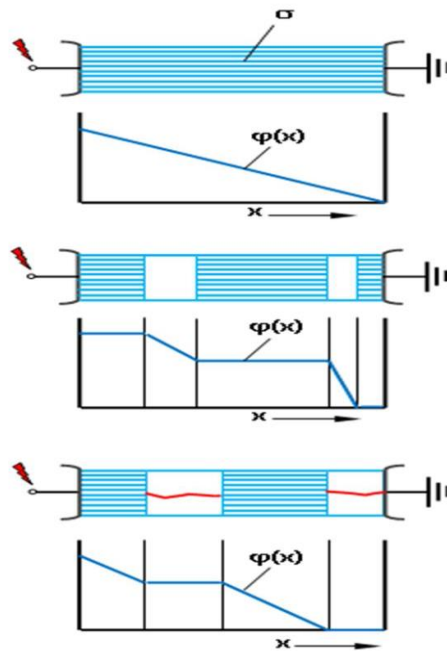
Tabel 2.4 : Karakteristik isolator plat berbahan kaca

CATALOG No	N100/146	
Equivalent ANSI class or IEC	52-3	
<b>MECHANICAL CHARACTERISTICS</b>		
Mechanical failing load	kN	100
	Lbs	22,000
Impact strength	Nm	45
	in-lbs	400
Tension proof	kN	50
	lbs	11,000
<b>DIMENSIONS</b>		
Diameter (D)	Mm	255
	In	10
Spacing (S)	Mm	146
	In	5 ¾
Creepage distance	Mm	320
	in	12 5/8
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>		
Low frequency dry flashover	kV	80
Low frequency wet flashover	kV	50
Positive critical impulse flashover	kV	125
Negative critical impulse flashover	kV	130
Low frequency puncture voltage	kV	130
R.I.V low frequency voltage	kV	10
Max RIV at 1 MHz	µV	50
<b>PACKING AND SHIPPING DATA</b>		
Approx. net weight per unit	Kg	4
No. of insulator per crate		6
No. of insulator per pallet		72

Sumber : *NGK insulator*

## 2.6 Pengertian Pita Konduksi

Terbentuknya pita konduksi menyebabkan kegagalan lewat denyar (*flasvover*). Polusi yang terkontaminasi air menyebabkan terbentuknya lapisan konduktif di permukaan isolator. Lapisan konduktif inilah yang menyebabkan terjadinya arus bocor (*leakage current*) (Chackravorti, 1993). Gambar 2.2 menunjukkan skema terbentuknya pita kering.



Gambar 2.2 skema terbentuknya pita kering (*dry band*)  
 Sumber : Kind, 1993:58

Pita konduksi ditimbulkan oleh polutan yang terkontaminasi air, lapisan konduktif inilah yang menyebabkan menurunnya nilai tahanan permukaan. Nilai tahanan permukaan yang menurun menyebabkan arus bocor pada permukaan isolator kaca. Temperatur disekitar permukaan isolator kaca yang mengalami arus bocor sangat tinggi, dan menyebabkan penguapan disekitar lapisan pita konduksi. Penguapan inilah yang menyebabkan terbentuknya pita kering (*dry band*) (Kind,1993:58).

## 2.7 Lapisan Pita Konduksi

Terdapat beberapa bahan yang dapat digunakan untuk merepresentasikan zat pengotor yaitu carbon conductive paint, copper paint dan lain-lain. Pada penelitian ini, bahan yang digunakan untuk representasi dari zat pengotor adalah natrium klorida (*sodium chloride*), biasanya disebut juga dengan garam dapur. Natrium klorida biasanya digunakan sebagai bumbu dapur sehingga mudah ditemukan di pasaran dan harganya terjangkau. Pada penelitian ini menggunakan natrium

klorida murni. Gambar 2.3 merupakan gambar natrium klorida sebaga representasi zat pengotor dari penelitian ini.



Gambar 2.3 Natrium klorida murni

## 2.8 Konsentrasi Zat Pengotor

Zat pengotor yang digunakan dalam penelitian ini adalah natrium klorida (NaCl). Larutan ini serupa dengan polutan yang menempel pada permukaan isolator. Larutan natrium klorida dapat menurunkan tahanan permukaan isolator yang menyebabkan terjadinya arus bocor. Berikut ini adalah beberapa cara untuk menyatakan komposisi dari suatu cairan zat pengotor secara kuantitatif, antara lain:

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

Namun dalam penelitian ini hanya menentukan komposisi larutan natrium klorida dengan persen konsentrasi dan molaritas. Berikut penjelasan masing-masing komposisi dari zat pengotor yang digunakan dalam penelitian ini



### 2.8.1 Persen Konsentrasi

Persen konsentrasi adalah banyaknya zat terlarut terhadap berat larutan. Persen konsentrasi diterapkan dalam campuran padat cair. Persen konsentrasi suatu zat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persen konsentrasi} = \frac{\text{Massa zat trlarut}}{\text{Massa zat (terlarut+pelarut)}} \times 100\%$$

### 2.8.2 Molaritas

Molaritas didefenisikan sebagai perbandingan antara jumlah zat mol terlarut (solute) setiap satuan volume dalam satuan liter larutan. Secara matematis didefenisikan sebagai berikut :

$$M = \frac{\text{gram}}{\text{Mr NaCl}} \times \frac{1000}{\text{volume air (ml)}} \quad (2-1)$$

dengan :

M	= molaritas larutan (molar)
Massa jenis NaCl	= 2,16 gram/cm <sup>3</sup>
Massa jenis air	= 1gram/cm <sup>3</sup>
Mr NaCl	= 58,85 (masa molar gram/mol)

## 2.9 Konduktivitas Zat Pengotor

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Hal ini juga menjadi parameter performa dari permukaan isolator kaca dalam menghantarkan listrik pada sistem tegangan tinggi. Pengujian konduktivitas bahan sama seperti pengujian resistivitas yaitu dengan menggunakan permukaan kaca yang dioleskan dengan zat pengotor dan diberi tegangan arus searah. Besarnya konduktivitas sesuai dengan persamaan:

$$\Lambda_m = \frac{\sigma_{\text{Larutan}} - \sigma_{\text{pelarut}}}{c} \quad (2-2)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2-3)$$

Dengan :

$\sigma$  = konduktivitas (S/m)

$\Lambda_m =$  Hantaran molar (100,76 Sm<sup>2</sup>/mol)

c = Konsentrasi larutan (mol/L)

## 2.10 Arus Bocor

Timbulnya arus bocor diawali dengan adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator (Sundararajan,1993). Lapisan konduktif pada permukaan isolator terbentuk akibat polutan yang menempel di permukaan isolator.

Lapisan konduktif pada permukaan isolasi ditimbulkan adanya polusi yang terkontaminasi air. Lapisan konduktif menyebabkan menurunnya nilai tahanan permukaan, menurunnya nilai tahanan permukaan menyebabkan naiknya arus bocor. Arus bocor yang mengalir memiliki temperatur yang tinggi dan menyebabkan penguapan sebagian pada permukaan isolator, hal ini dapat menyebabkan terbentuknya pita kering (*dryband*). Jika terjadi terus menerus maka lebar pita kering akan bertambah. Keadaan ini menyebabkan terjadinya peluahan muatan (*discharge*) melintasi pita kering disebut busur api, jika peluahan muatan melewati seluruh permukaan isolator maka akan terjadi tegangan *flashover* (Valdi dkk, 2009).

Pada kondisi basah jalur konduktif yang terbentuk pada permukaan isolator akan mengalir arus dari konduktor ke tanah. Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan isolator yang terkontaminasi polusi, artinya dengan meningkatnya nilai arus bocor ini diikuti dengan menurunnya nilai resistansi permukaan isolator.

## 2.11 Rugi-Rugi Daya Elektrik

Arus bocor yang melalui permukaan isolator adalah rugi-rugi yang dapat menyebabkan rugi daya elektrik. Rugi daya elektrik dapat dituliskan secara matematis yaitu :

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

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

Dimana :

$P_{loss}$  = daya yang hilang (watt)

$I_{ic}$  = arus bocor (A)

$R_{pol}$  = resistansi permukaan isolator terkontaminasi ( $\Omega$ )

$V$  = tegangan fasa jaringan (v)

$W_{loss}$  = energi yang hilang (Wh)

Dalam waktu satu hari memungkinkan lapisan berada pada kondisi basah sehingga rugi daya elektrik terjadi berkali-kali dan dapat dihitung dengan model matematika. Jika dalam 1 tahun dianggap ada 8760 jam, maka rugi daya elektrik dapat dihitung dengan rumusan :

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

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

## 2.12 Distribusi Medan Listrik

Medan listrik adalah suatu daerah atau ruang disekitar muatan yang masih dipengaruhi oleh gaya listrik. Besar medan listrik dapat ditentukan nilainya, yaitu gaya persatuan muatan yang dialami oleh suatu muatan titik tersebut, secara matematis dituliskan sebagai (Harry, 2008):

$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon R^2} \vec{a}_1 \quad (2-8)$$

Kuat medan listrik pada  $Q_2$  didefinisikan secara matematis :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_2} \quad (2-9)$$

Distribusi medan listrik yaitu penyebaran medan listrik pada ruang yang terdapat diantar elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda). Distribusi medan listrik memiliki tingkat intensitas yang berbeda dalam setiap jarak sela. Bentuk distribusi medan listrik menentukan besarnya intensitas medan listrik pada setiap titik. Intensitas medan listrik dirumuskan dengan

Distribusi medan listrik dapat dibedakan menjadi dua yaitu distribusi medan listrik homogen, dan distribusi medan non homogen. Ukuran homogen tidaknya distribusi medan listrik ditentukan oleh nilai efisiensi medan listrik yang didefinisikan oleh Schwaiger yaitu :

$$\eta = \frac{E_r}{E_m} \quad (2-10)$$

Nilai faktor efisiensi medan listrik berdasarkan pada bentuk geometris dari susunan elektroda, yaitu untuk susunan elektroda homogen maka nilai efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) = 1, sedangkan untuk susunan elektroda non homogen nilai efisiensi medan listrik ( $\eta$ ) < 1.