

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator mempunyai sifat atau kemampuan untuk dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan sehingga arus listrik tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah (Tobing, 2003)

Isolator merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, untuk menentukan pilihan tentang isolator yang akan dipakai perlu mempertimbangkan syarat-syarat dari suatu isolator. Adapun syarat-syaratnya adalah sebagai berikut (Raina, dkk, 1985 : 106):

- 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 ke tanah.
- 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 gas pada tempat-tempat yang terpolusi serta pengaruh air dan udara lembab selama musim hujan.

2.2 Karakteristik isolator Berbahan *Silicone rubber*

Silicone rubber merupakan salah satu bahan polimer yang cocok digunakan untuk bahan isolator dibandingkan dengan bahan keramik dan kaca karena sifatnya yang baik dalam menolak air (hidrofobik).

Selain itu *silicone rubber* memiliki konduktivitas termal sekitar 0,2 W/m.K yang dapat digunakan sampai pada suhu 150 °C tanpa batasan waktu penggunaan dan hampir tidak ada perubahan dalam sifat-sifatnya, dengan demikian *silicone rubber* adalah bahan yang cocok digunakan di lingkungan yang memiliki suhu tinggi. Bahan *silicone rubber* ini memiliki sifat isolasi yang stabil pada rentang suhu yang luas. Ketika direndam dalam air, kinerjanya hampir tidak mengalami penurunan. *Silicone rubber* memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap *discharge* korona dan busur api pada tegangan tinggi serta memiliki

karakteristik mekanis berupa kekuatan sobek dan kekuatan tarik sekitar 9,8 kN/m. Maka dari itu bahan *silicone rubber* menjadi bahan isolasi yang cukup ideal untuk digunakan.

Pembuatan bahan *silicone rubber* (SIR) dapat dilakukan dengan vulkanisasi PDMS yaitu pematangan (*curing*), untuk merubah molekul panjang agar saling berkaitan melalui proses kondensasi. Untuk menyesuaikan jenis isolator yang diinginkan maka dalam teknologi pembuatannya dapat menggunakan proses (Anton & Angraini, 2004).

- a. Vulkanisasi temperatur kamar (*room temperature vulcanized*, RTV) dengan bahan reaksi platinum catalyst.
- b. Vulkanisasi temperatur tinggi (*high temperature vulcanized*, HTV) dengan menggunakan bahan pemercepat benzoyl peroksida.

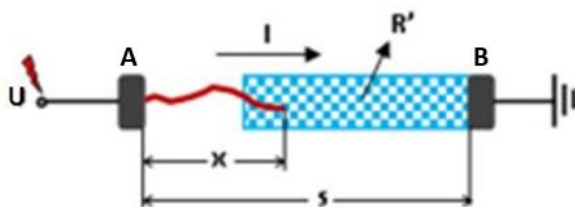
2.3 Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik

Menurut ANSI C84.1-1989, sistem tenaga listrik dibagi menjadi lima macam, yaitu:

1. Tegangan Rendah : Tegangan listrik dengan nilai kurang dari 600 V.
2. Tegangan Menengah : Tegangan listrik dengan nilai 600 V-69 kV.
3. Tegangan Tinggi : Tegangan listrik dengan nilai 69 kV-230 kV.
4. Tegangan Ekstra Tinggi : Tegangan listrik dengan nilai 230 kV-1100 kV.
5. Tegangan Ultra Tinggi : Tegangan listrik dengan nilai lebih dari 1100 kV.

2.4 Pengertian Pita Konduksi

Kegagalan lewat denyar (*flashover*) berawal dari terbentuknya pita konduksi. Polutan yang menempel pada permukaan isolator *silicone rubber* menyebabkan terbentuknya lapisan konduktif dipermukaan isolator tersebut. Lapisan konduktif yang menempel pada isolator menyebabkan timbulnya arus bocor (*leakage current*) pada permukaan isolator *silicone rubber* seperti pada Gambar 2.1.

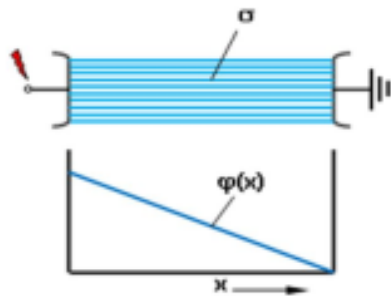


Gambar 2. 1 Ilustrasi kegagalan isolator
Sumber: Kind (1985:58).

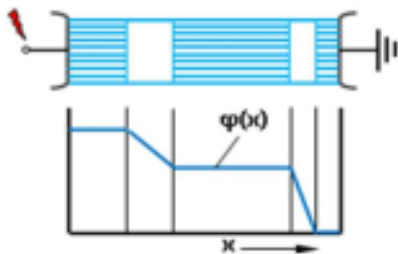
$$U = E_b X + IR'(S - X) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana U merupakan tegangan (kV), E_b merupakan kuat medan listrik (kV/cm), x adalah panjang koneksi busur api antara konduktor A dengan lapisan konduktif (cm), s merupakan jarak sela antara elektroda A dan B (cm), R' adalah resistansi lapisan konduktif (Ω), dan I adalah arus yang mengalir dari elektroda A-B (μA).

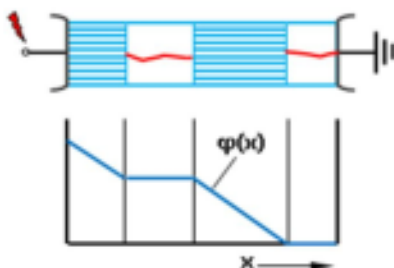
Arus bocor yang mengalir pada permukaan konduktif isolator *silicone rubber* menyebabkan terjadinya pemanasan pada lapisan konduktif tersebut. Apabila arus bocor mengalir secara terus menerus pada permukaan isolator *silicone rubber*, maka dapat menyebabkan terbentuknya pita konduksi pada lapisan konduktif tersebut. Pada tegangan tertentu, kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya pelepasan muatan melintasi pita konduksi. Pelepasan muatan yang melintasi pita konduksi dapat melebar sehingga dapat terbentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi lewat denyar (*flashover*) yang melalui seluruh permukaan isolator. Pada *Gambar 2.2* ditunjukkan mekanisme terbentuknya pita konduksi dan distribusi potensial.



a. Permukaan isolator dengan polutan yang homogen



b. Proses terbentuknya pita kering (*dry bands*)



c. Proses terbentuknya busur api

Gambar 2.2 Mekanisme terbentuknya pita konduksi dan distribusi potensial

Sumber: Kind (1985:58).

Terbentuknya pita konduksi pada permukaan isolator dapat menyebabkan gangguan medan listrik di sepanjang permukaan konduktif isolator sehingga terjadi tegangan percikan (*spark over*) dan menimbulkan pelepasan muatan di daerah tertentu. Pada *Gambar 2.2-a* menunjukkan permukaan isolator yang terkontaminasi dengan polutan homogen / lapisan konduktif (σ), arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator menghasilkan distribusi potensial listrik (ϕ) yang linier terhadap jarak sela x , $\phi(x)$. Hal tersebut dapat menyebabkan terbentuknya beberapa pita kering pada lapisan konduktif seperti pada *Gambar 2.2-b*, terbentuknya pita kering tersebut dapat menyebabkan terjadinya perbedaan konduktivitas pada permukaan isolator, kemudian distribusi potensial listrik $\phi(x)$ turun secara esensial dan arus yang mengalir menjadi sangat kecil. Akhirnya terbentuk busur api yang menjembatani antara lapisan konduktif dan pita kering sehingga terjadi *flashover* seperti pada *Gambar 2.2-c*. Kemudian terjadi pelebaran pada lapisan pita kering yang menyebabkan distribusi potensial listrik linier dengan nilai arus yang lebih rendah.

2.5 Lapisan Pita Konduksi

Banyak sekali bahan yang digunakan untuk merepresentasikan zat pengotor pada permukaan isolator di antaranya adalah *silver conductive paint*, *copper paint*, *conductive paint*, dan lain-lain. Pada penelitian ini, bahan yang digunakan sebagai representasi dari zat pengotor adalah *sodium chloride* (natrium klorida) murni. Natrium klorida dapat ditemukan dengan mudah di toko penjual bahan kimia dengan harga yang relatif murah. Natrium klorida jenis ini biasanya digunakan untuk penelitian.

2.6 Konsentrasi Zat Pengotor (Larutan Natrium Klorida)

Zat pengotor yang akan digunakan pada penelitian ini adalah larutan natrium klorida. Larutan ini serupa dengan polusi yang ada di permukaan isolator yang terkontaminasi garam. Permukaan isolator yang terkontaminasi dengan garam akan mengalami penurunan kinerja yang berupa menurunnya nilai tahanan pada permukaan isolator sehingga pada permukaan isolator akan mengalir arus bocor. Berikut ini adalah cara untuk menyatakan secara kuantitatif komposisi dari suatu cairan zat pengotor, antara lain:

1. Persen konsentrasasi
2. Part per millio (ppm) atau bagian per juta (bpj)
3. Molaritas

4. Molalitas
5. Normalitas
6. Fraksi mol

dalam penelitian ini hanya akan membahas komposisi dari suatu zat pengotor berupa persen konsentrasi dan molaritas. Berikut ini penjelasan mengenai masing-masing komposisi dari zat pengotor yang dipakai dalam penelitian ini:

2.6.1 Persen Konsentrasi

Persen konsentrasi adalah persen yang menyatakan persentase dari zat terlarut didalam suatu larutan kimia. Persen konsentarsi dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-2) dan (2-3).

$$C = \frac{M_p}{M_l} \times 100\% \dots\dots\dots (2-2)$$

$$M_l = M_p + M_c \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana:

C : persen konsentarsi (%)

M_p : massa zat terlarut (gram)

M_l : massa larutan (gram)

M_c : massa zat pelarut (gram)

2.6.2 Molaritas

Molaritas adalah konsetrasi suatu larutan yang menyatakan mol zat terlarut dalam setiap liter larutan kimia. Molaritas dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-4).

$$M = \frac{\text{gram}}{Mr \text{ NaCl}} \times \frac{1000}{\text{volume air (ml)}} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana:

M : molaritas larutan (molar)

Massa jenis NaCl : 2,16 gram/cm³

Massa jenis air : 1 gram/cm³

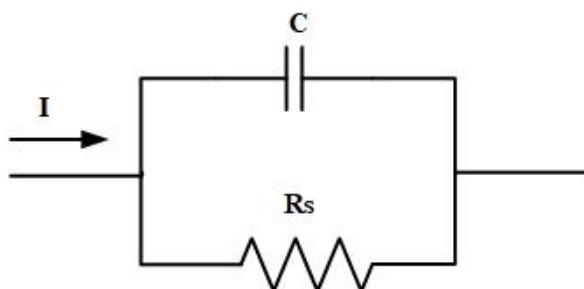
Mr NaCl : 58,85 (gram/mol)

2.7 Arus Bocor

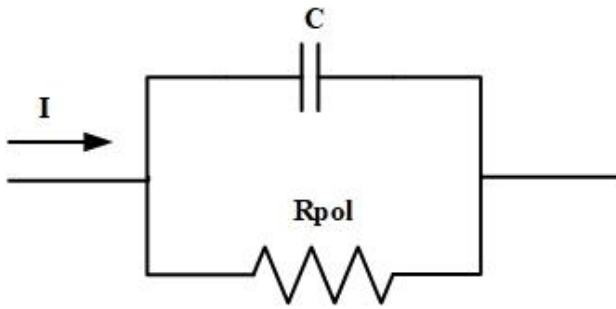
Timbulnya arus bocor diawali oleh adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator. Lapisan konduktif terbentuk akibat adanya kontaminasi polutan atau terjadi pembasahan di permukaan isolator dikarenakan hujan. Pada keadaan bersih, permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang besar. Pembentukan lapisan konduktif disebabkan adanya kontaminasi pada permukaan isolator, hal ini dapat menyebabkan penurunan nilai tahanan pada permukaan isolator. Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator memiliki temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan penguapan sebagian pada permukaan isolator. Penguapan yang terjadi pada permukaan isolator menyebabkan terbentuknya pita kering (*dry band*). Semakin banyak pita kering yang terbentuk, lebar pita kering akan semakin bertambah sehingga menyebabkan terjadinya peluahan muatan (*discharge*) yang melintasi pita kering atau biasa disebut dengan busur api. Apabila busur api dapat memanjang melintasi seluruh permukaan isolator, maka akan terjadi tegangan *flashover* (Arismunandar, 1993).

2.8 Rangkaian Ekuivalen untuk Perhitungan Arus Bocor

Rangkaian ekuivalen suatu isolator kondisi bersih dan isolator dengan kontaminan adalah seperti pada *Gambar 2.3* dan *Gambar 2.4*, dengan C adalah nilai kapasitansi dari bahan isolator itu sendiri yaitu bahan keramik dan resistansi permukaan isolator dalam keadaan bersih (R_s). Dalam keadaan bersih arus bocor (I_c) akan mengalir pada isolator dengan nilai yang kecil. Apabila isolator mengalami pembasahan pada permukaannya, maka nilai resistansi permukaannya akan turun. Resistansi permukaan isolator yang terkontaminasi polutan dinyatakan dengan R_{pol} .



Gambar 2.3 Rangkaian ekuivalen isolator bersih
Sumber: Kind (1993:68).



Gambar 2. 4 Rangkaian ekivalen isolator terkomunikasi
Sumber: Kind (1998:68).

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, artinya dengan meningkatnya arus bocor ini diikuti dengan menurunnya nilai resistansi permukaan isolator. Karena arus bocor merupakan hasil dari pengukuran, maka sesuai hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus listrik (I) yang mengalir dalam sebuah bahan, berbanding lurus dengan tegangan (V), dan berbanding terbalik dengan resistansi (R). Sehingga dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-5).

$$V = IR \dots\dots\dots (2-5)$$

2.9 Rugi-Rugi Daya Listrik dan Rugi Energi Listrik

Arus bocor yang melewati permukaan rugi-rugi yang dapat menyebabkan rugi daya listrik. Rugi daya listrik yang disebabkan oleh arus bocor dapat dinyatakan seperti pada Persamaan (2-6) dan (2-7).

$$P_{rugi} = I_{lc}^2 \cdot R_s \dots\dots\dots (2-6)$$

$$P_{rugi} = \frac{V^2}{R_s} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana:

P_{rugi} : daya yang hilang (Watt)

I_{lc} : arus bocor (A)

R_s : resistansi isolator yang terkontaminasi (Ω)

V : tegangan fasa jaringan (Volt)

Dalam waktu satu hari banyak sekali kemungkinan permukaan isolator berada pada kondisi basah, dengan hal ini rugi-rugi perlu diperhitungkan. Apabila dalam satu tahun terdapat 365 hari maka terdapat 8760 jam. Dalam jangka waktu satu tahun, rugi-rugi energi yang terjadi dapat dihitung dalam satuan waktu jam dengan menggunakan Persamaan (2-8), (2-9), dan (2-10).

$$W_{rugi} = I_{lc}^2 \cdot R_s \cdot 8760 \dots\dots\dots (2-8)$$

$$W_{rugi} = \frac{V^2}{R_s} \cdot 8760 \dots\dots\dots (2-9)$$

$$W_{rugi} = P_{rugi} \cdot 8760 \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana:

W_{rugi} = Energi listrik yang hilang dalam satu tahun (Watt)

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 terdapat suatu kuantitas yang menyatakan tingkat kekuatan medan yang disebut kuat medan listrik. Kuat medan listrik (E) di sebuah titik adalah gaya persatuan muatan yang dialami oleh sebuah muatan di titik tersebut. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mathbf{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon R^2} \hat{\mathbf{a}}_r \dots\dots\dots (2-11)$$

Kuat medan listrik pada muatan Q_2 dalam elektroda ialah:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon R^2} \hat{\mathbf{a}}_r \dots\dots\dots (2-12)$$

Distribusi medan listrik adalah persebaran 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. Bentuk distribusi medan listrik dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu distribusi medan listrik seragam dan tidak seragam. Ukuran seragam tidaknya distribusi medan listrik dapat dinyatakan dengan besar nilai efisiensi medannya, dimana besar faktor efisiensi medan listrik bergantung pada bentuk geometris dari

susunan elektroda. Pada penelitian ini, susunan elektroda menggunakan pelat-pelat yang merupakan susunan elektroda homogen. Susunan elektroda yang menghasilkan medan listrik homogen memiliki nilai $\eta \approx 1$, sedangkan pada susunan elektroda yang menghasilkan medan listrik non homogen memiliki nilai $\eta < 1$. (Dachlan, Harry Soekotjo, dkk, 2008, pp. 2-3).

