



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Insulator

Insulation berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/ ground, baik saat normal continuous operation dan saat terjadi surja (termasuk petir) didalam saluran transmisi.¹

Sesuai fungsinya, insulator yang baik harus memenuhi beberapa karkteristik tertentu :

1.1.1 Karakteristik Elektrik

Insulator mempunyai ketahanan tegangan impuls petir pengenal dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan merupakan bahan isolasi yang diapit oleh logam sehingga merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara di permukaannya. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada insulator, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan.

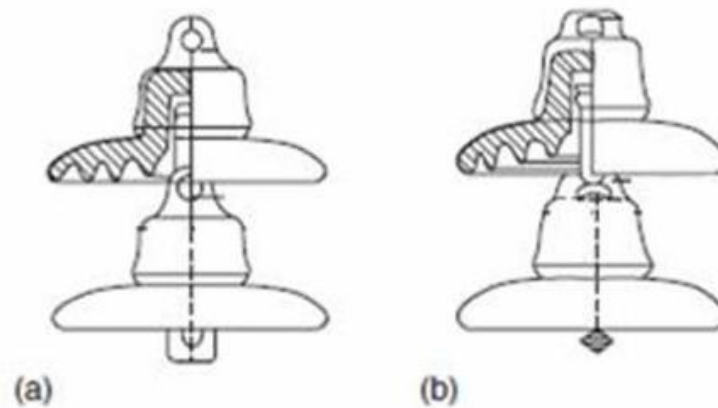
1.1.2 Karakteristik Mekanik

Insulator harus mempunyai kuat mekanik guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar. Menurut bentuknya, insulator terdiri dari :

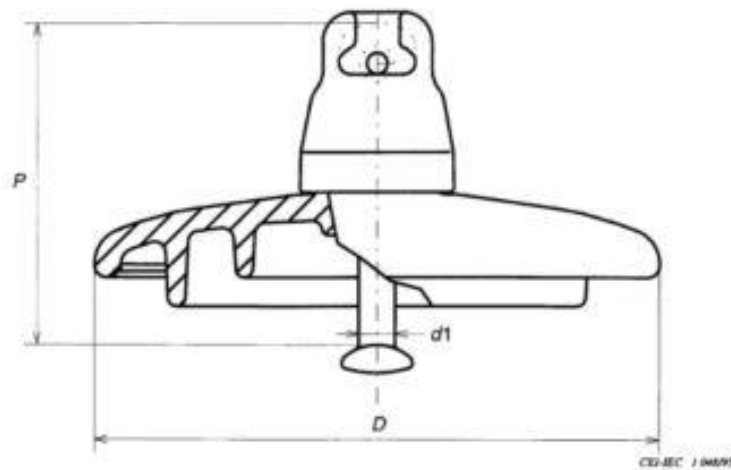
1. Insulator Piring

Dipergunakan untuk insulator penegang dan insulator gantung, dimana jumlah piringan insulator disesuaikan dengan tegangan sistem.

¹ PT. PLN (Persero), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014, hal.9



Gambar 2.1 Insulator piring (a) tipe clevis (b) tipe ball-and-socket



Gambar 2.2 Komponen insulator piring tipe ball-and-socket

2. Insulator Tipe Post

Dipergunakan sebagai tumpuan dan memegang bagi konduktor di atasnya untuk pemasangan secara vertikal dan sebagai insulator dudukan. Biasanya terpasang pada tower jenis pole atau pada tiang sudut. Dipergunakan untuk memegang dan menahan konduktor untuk pemasangan secara horizontal.²

² PT. PLN (Persero), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014, hal. 10



Gambar 2.3 Insulator Post

3. Insulator long rod

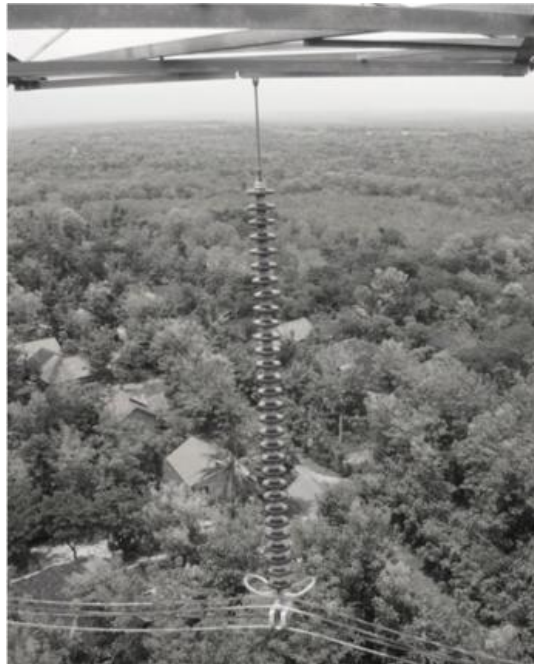
Insulator long rod adalah insulator porselen atau komposit yang digunakan untuk beban tarik.



Gambar 2.4 Insulator long rod

1.1.3 Jenis Jenis Pemasangan Insulator

1. "I" String



Gambar 2.5 Insulator "I" string

2. "V" String



Gambar 2.6 Insulator "V" string

3. Horizontal String



Gambar 2.7 Insulator horizontal string

4. Single String



Gambar 2.8 Insulator single string

5. Double String



Gambar 2.9 Insulator double string

6. Quadruple



Gambar 2.10 Insulator quadruple

1.1.4 Bahan-Bahan Dasar Pembuat Insulator

1. Ceramic Insulator (Insulator Keramik)

Ceramic insulator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan atau ground secara elektrik dan mekanik. Pada

SUTT / SUTET, insulator berfungsi untuk mengisolir konduktor fasa dengan tower / ground. Insulator keramik terbuat dari bahan porselen yang mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca. Dalam penggunaannya insulator ini harus di glasur. Warna glasur biasanya coklat, dengan warna lebih tua atau lebih muda. Hal itu juga berlaku untuk daerah dimana glasur lebih tipis dan lebih terang, sebagai contoh pada bagian tepi dengan radius kecil. Daerah yang di glasur harus dilingkupi glasur halus dan mengkilat, bebas dari retak dan cacat lain.



Gambar 2.11 Ceramic Insulator

2. Non – Ceramic Insulator

a) Insulator gelas/ kaca

Digunakan hanya untuk insulator jenis piring. Bagian gelas harus bebas dari lubang atau cacat lain termasuk adanya gelembung dalam gelas. Warna gelas biasanya hijau, dengan warna lebih tua atau lebih muda. Jika terjadi kerusakan insulator gelas mudah dideteksi.



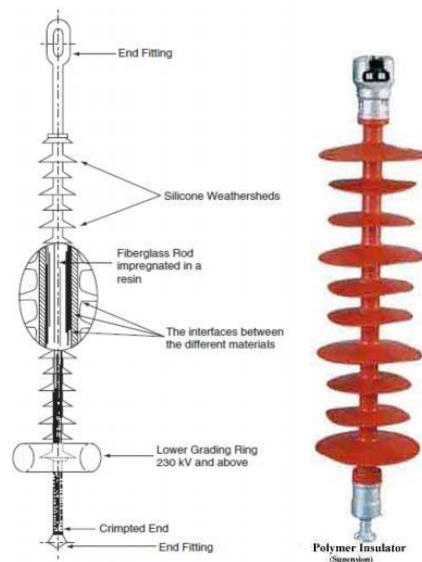
Gambar 2.12 Insulator gelas/ kaca

b) Insulator Polymer

Insulator polymer dilengkapi dengan mechanical load-bearing fiberglass rod, yang diselubungi oleh weather shed polimer untuk mendapatkan nilai kekuatan elektrik yang tinggi.

Komponen utama dari insulator polymer yaitu:

- a. End fittings
- b. Corona ring(s)
- c. Fiberglass-reinforced plastic rod
- d. Interface between shed and sleeve
- e. Weather shed



Gambar 2.13 Insulator polymer

c) Isolasi Udara (Ground Clearance) Disekitar Kawat Penghantar

Isolasi udara berfungsi untuk mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/ ground dan antar fasa yang bertegangan secara elektrik. Kegagalan fungsi isolasi udara disebabkan karena breakdown voltage yang terlampaui (jarak yang tidak sesuai, perubahan nilai tahanan udara, tegangan lebih), dan isolasi udara (ground clearance) mempunyai jarak bebas minimum yaitu jarak terpendek antara penghantar SUTT/ SUTET dengan permukaan tanah, benda benda dan kegiatan lain disekitarnya, yang mutlak tidak boleh lebih pendek dari yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia dan makhluk hidup lainnya serta juga keamanan operasi SUTT/SUTET (Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi No. 01.P/47/MPE/1992 tanggal 07 Februari 1992, pasal 1 ayat 9).³

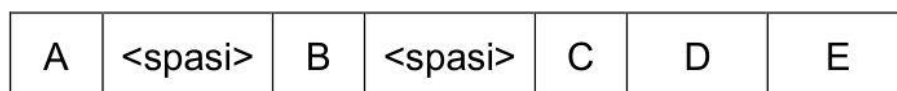
³ PT. PLN (Persero), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014, hal. 15

Tabel 2.1 Jarak Aman Row

No	Lokasi	SUTT	SUTT	SUTET 500 kV	
		66	150	Sirkuit Ganda	Sirkuit Tunggal
		kV	kV		
		(m)	(m)	(m)	(m)
1	Lapangan Terbuka	6,5	7,5	10	11
2	Daerah Dengan Keadaan Tertentu				
2.1.	Bangunan tidak tahan api	12,5	13,5	14	15
2.2.	Bangunan tahan api	3,5	4,5	8,5	8,5
2.3.	Lalu lintas / jalan raya	8	9	15	15
2.4.	Pohon-pohon pada umumnya, hutan dan perkebunan	3,5	4,5	8,5	8,5
2.5.	Lapangan olahraga	12,5	13,5	14	15
2.6.	SUTT lainnya, penghantar tegangan rendah, jaringan telekomunikasi, antena radio, antena televisi, dan kereta gantung	3	4	8,5	8,5
2.7.	Rel kereta biasa	8	9	15	15
2.8.	Jembatan besi, rangka besi penahan penghantar, kereta listrik terdekat dan sebagainya	3	4	8,5	8,5
2.9.	Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang tertinggi pada lalu lintas air	3	4	8,5	8,5

1.2 Penamaan Insulator

Tipe insulator keramik atau gelas didefinisikan dengan:⁴



Gambar 2.14 Sistem Penamaan Insulator

⁴ PT. PLN (Persero), Standar PT. PLN (Persero) No. T3.008-1, hal.4



Dimana:

A = Jenis insulator kap dan pin (U);

B = beban gagal elektromekanis / mekanis dalam kN;

C = kopling bola dan sendi (B);

D = jarak spasi (S - short / L - long);

E = peruntukan kawasan terpolusi (P).

1.3 Struktur (Tiang)

Komponen utama dari Fungsi structure pada sistem transmisi SUTT / SUTET adalah tiang (Tower).Tiang adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga / merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat insulator. Berikut jenis-jenis tiang berdasarkan bentuknya :⁵

1.3.1 Tiang Pole

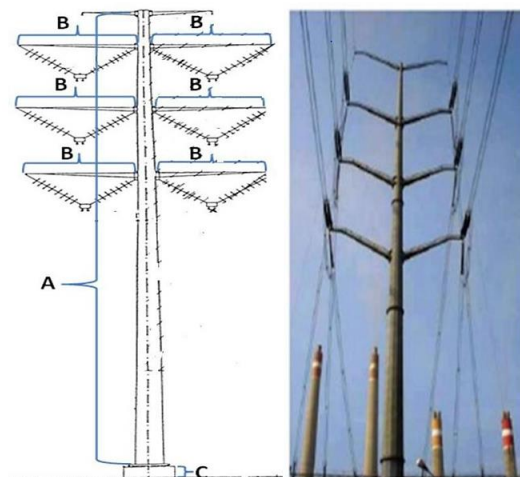
Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja, pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit.

Berdasarkan materialnya, terbagi menjadi:

- a. Tiang pole baja
- b. Tiang pole beton

⁴ PT. PLN (Persero), Standar PT. PLN (Persero) No. T3.008-1, hal.4

⁵ PT. PLN (Persero), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014, hal. 17

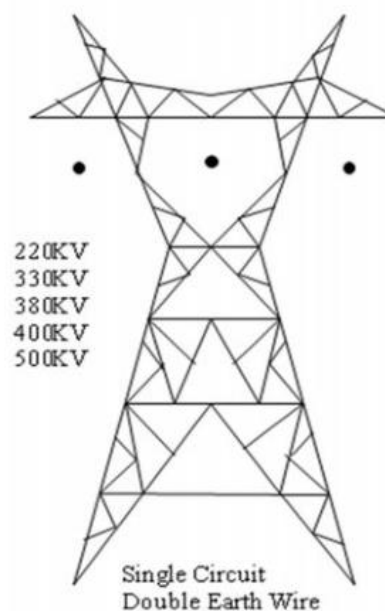


Gambar 2.15 Tiang Pole

1.3.2 Tiang Kisi – Kisi (*Lattice Tower*)

Terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan / konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:⁶

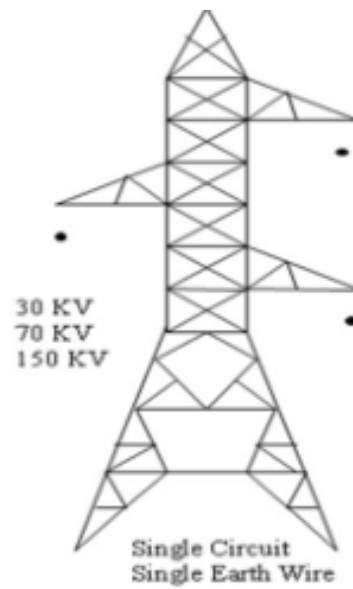
- a. Tiang Delta (*Delta Tower*)



Gambar 2.16 Tiang Delta

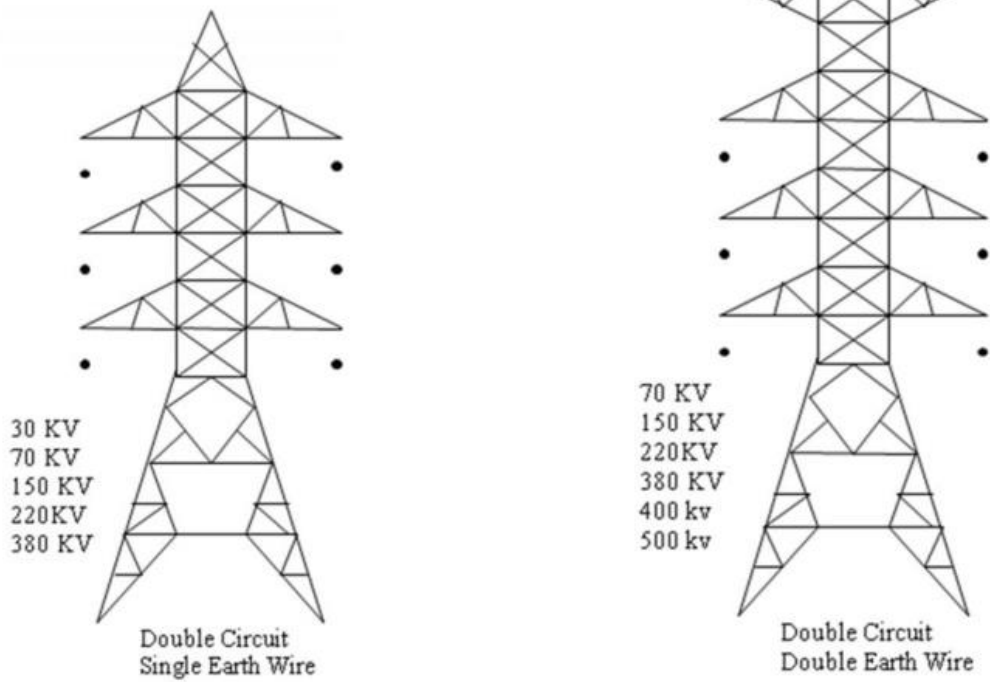
⁶ PT. PLN (Persero), Standar PT. PLN (Persero) No. T3.008-1, hal.22

b. Tiang Zig-Zag



Gambar 2.17 Tiang Zig – Zag

c. Tiang Priramida (Pyramid)



Gambar 2.18 Tiang Piramid (Pyramid)



1.4 Tegangan Sentuh

tegangan yang timbul selama gangguan isolasi antara dua bagian yang dapat terjangkau dengan serempak. Terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan dalam meninjau tegangan sentuh :

- a. Berdasarkan perjanjian, istilah ini hanya dipakai dalam hubungan dengan proteksi dari sentuh tak langsung.
- b. Dalam hal tertentu, nilai tegangan sentuh dapat dipengaruhi cukup besar oleh impedans orang yang menyentuh bagian tersebut.

(touch voltage) – IEC MDE, 1983, p.437, IEC 826-03-02

Tegangan sentuh yang terlalu tinggi adalah tegangan sentuh yang melampaui batas rentang tegangan I yaitu $> 50 \text{ V}$.

Khusus untuk tempat-tempat berikut ini:

- a. Tempat yang lembab/basah, atau
- b. Ruang kerja dalam industri pertanian,

Khusus tempat- tempat diatas tegangan sentuh yang terlalu tinggi adalah tegangan sentuh yang $> 25 \text{ V}$.⁷ Adapun rumus untuk mencari tegangan sentuh :

$$\text{Tegangan Sentuh} = I_b \times 1000 \text{ Ohm} \dots \dots \dots (2.1)$$

Ket :

Tegangan Sentuh (V)

I_b = Arus Bocor (A)

1000 Ohm = Resistansi

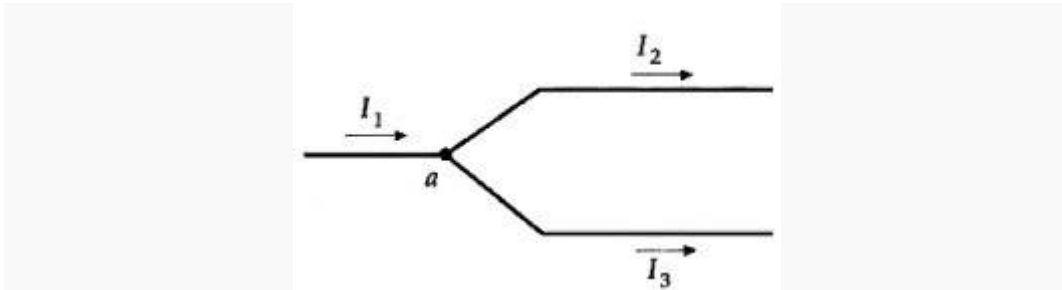
1.5 Hukum Kirchoff

Hukum Kirchoff 1 dikenal sebagai hukum percabangan (junction rule), karena hukum ini memenuhi kekekalan muatan. Hukum ini diperlukan untuk rangkaian yang multisimpal yang mengandung titik-titik percabangan ketika arus mulai terbagi. Pada keadaan tunak, tidak ada akumulasi muatan listrik pada setiap titik dalam rangkaian. Dengan demikian, jumlah muatan yang masuk di dalam

⁷ Badan Standardisasi Nasional. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. No. SNI 04-0225-2000, hal 28 dan 54

setiap titik akan meninggalkan titik tersebut dengan jumlah yang sama. Hukum Kirchoff 1 menyatakan bahwa:

“Jumlah arus listrik yang masuk melalui titik percabangan dalam suatu rangkaian listrik sama dengan jumlah arus yang keluar melalui titik percabangan tersebut”



Gambar 2.19 Aliran Arus Menurut Hukum Kirchoff I

Ilustrasi hukum Kirchoff tentang titik percabangan. Arus I_1 yang mengalir melalui titik percabangan a akan sama dengan jumlah $I_2 + I_3$ yang keluar dari titik percabangan. Secara umum rumus hukum Kirchoff 1 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum I_{masuk} = \sum I_{keluar}$$

Gambar 2.14 menunjukkan suatu titik percabangan dari 5 buah kawat yang dialiri arus I_1, I_2 dan I_3 .

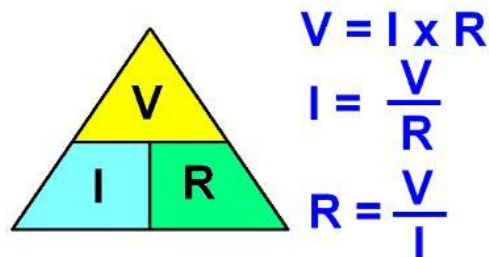
Dalam rentang waktu Δt , muatan $q_1 = I_1 \Delta t$ mengalir melalui titik percabangan dari arah kiri. Dalam rentang waktu Δt juga, muatan $q_2 = I_2 \Delta t$ dan $q_3 = I_3 \Delta t$ bergerak ke arah kanan meninggalkan titik percabangan. Karena muatan tersebut bukan berasal dari titik percabangan dan tidak juga menumpuk pada titik tersebut dalam keadaan tunak, maka muatan akan terkonservasi di titik percabangan tersebut, yaitu: $I_1 = I_2 + I_3$

1.6 Hukum Ohm

Hukum Ohm merupakan sebuah teori yang membahas mengenai hubungan antara Tegangan (Volt), Arus (Ampere), dan Hambatan listrik dalam sirkuit (Ohm). 1 Ohm adalah hambatan listrik yang menyebabkan perbedaan satu volt saat arus sebesar 1 Ampere mengalir. Hukum Ohm menyatakan bahwa

“Kuat arus listrik pada suatu beban listrik berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan”

Lambang dari hambatan adalah R, lambang dari Arus adalah I, dan lambang dari tegangan adalah V. Berdasarkan hukum Ohm diatas maka bisa diambil rumus sebagai berikut ini;



Keterangan:

I = Besar arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

V = Besar tegangan pada penghantar (Volt)

R = Besar hambatan (Ohm)

Berdasarkan patokan rumus diatas maka kita bisa mencari Nilai I, V, dan R pada suatu rangkaian listrik. Untuk mencari R, caranya cukup dengan menggunakan logika berdasarkan rumus diatas.

Misal jika $5=10/2$, maka $10=5 \times 2$ dan $2=10/5$. Berdasarkan logika tersebut untuk mencari V rumusnya adalah $V=I \times R$ sedangkan untuk mencari nilai R digunakan rumus $R=V/I$. Berdasarkan hukum Ohm diatas maka di dapat lah salah satu sifat sebuah insulator.

Sesuai dengan fungsinya bahan, bahan isolasi yang baik adalah bahan isolasi yang resistivitasnya besar tak terhingga tetapi pada kenyataanya bahan yang demikian itu belum bias diperoleh. Sampai sekarang semua bahan isolasi pada Teknik listrik masih mengalirkan arus listrik (walaupun kecil) yang lazim disebut arus bocor. Pemaikaian bahan isolasi pada daerah kerja yang suhunya tinggi atau lembab, harus dipilih bahan yang sesuai, baik bahan dan tegangan kerjanya. Hal ini menunjukkan bahwa resistansi bahan isolasi bukan tidak terbatas besarnya. Besarnya resistansi bahan isolasi sesuai dengan Hukum Ohm adalah

$$R_i = \frac{V}{I_b}$$

$$V = I_b \times R_i \dots \dots \dots (2.2)$$



Keterangan;

R_i = Resistansi isolasi (Ω)

V = Tegangan yang digunakan (V)

I_b = Arus bocor (A)

Kalau diperhatikan lebih jauh, terdapat dua macam resistansi yaitu resistansi volume (R_v) dan resistansi permukaan (R_p). Resistansi volume mengakibatkan mengalirnya arus bocor I_v , sedangkan resistansi permukaan menyebabkan mengalirnya arus bocor I_p . Resistivitas volume pada umumnya disebut resistivitas saja. Beberapa hal yang harus diperhatikan sehubungan dengan resistivitas adalah :

- Baik resistivitas volume maupun resistivitas permukaan akan berkurang besarnya jika suhu di naikan. Banyak bahan mempunyai ρ_v dan ρ_p yang besar pada suhu kamar, tetapi turun drastis pada suhu 100°C .
- Untuk bahan isolasi yang di higroskopis, di daerah daerah yang lembab resistivitasnya akan turun secara mencolok.
- Resistivitasnya akan turun jika tegangan yang di berikan naik.

Dari tiga hal diatas, maka pada pemakaian sehari-hari dalam pemakaian bahan isolasi misalnya untuk daerah kerja yang suhunya tinggi atau lembab, harus dipilih bahan yang sesuai baik bahan maupun tegangan kerjanya.

1.7 Rumus Penurunan Tahanan Isolasi

Dalam proses penghitungan penurunan tahanan isolasi. Terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk mendapat kan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam hal ini rata-rata data nilai tahanan isolasi yang terukur saat Pengukuran dan presentase penurunan nilai tahanan isolasi. Adapun kedua persamaan sebagai berikut,⁸

$$\text{Tahanan Isolasi 11 Insulator} = n \times R_a + n \times R_b \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Rata – Rata Tahanan Islolasi} &= \frac{\Sigma \text{Tahanan Isolasi}}{\text{Banyak Data}} \\ &= \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} \dots \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

⁸ "Cara Menghitung Persentase Penurunan". cara.aimyaya.com. 4 September 2020. <<https://www.cara.aimyaya.com/2019/02/cara-menghitung-persentase-penurunan.html>>



$$\% \text{ Penurunan Tahanan Isolasi} = \frac{\Sigma R_a - \Sigma R_b}{\Sigma R_a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

R1, R2, R3 = Nilai Percobaan Pertama, Kedua, dan Ketiga

Ra = Nilai Tahanan Isolasi Insulator Kondisi Baik

Rb = Nilai Tahanan Isolasi Insulator Kondisi Buruk

n = Jumlah Insulator

