



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolasi berfungsi untuk mengisolasi dan memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan/ ground, baik saat normal continous operation dan saat terjadi surja (termasuk petir) didalam saluran transmisi. Maka dari itu isolator pada jaringan transmisi SUTT/SUTET harus memiliki keandalan untuk mengisolasi dan memisahkan bagian bertegangan dan tidak bertegangan tersebut.

Maka dari itu Sesuai fungsinya, isolator yang baik harus memenuhi beberapa karkteristik tertentu :

2.1.1 Karakteristik Elektrik

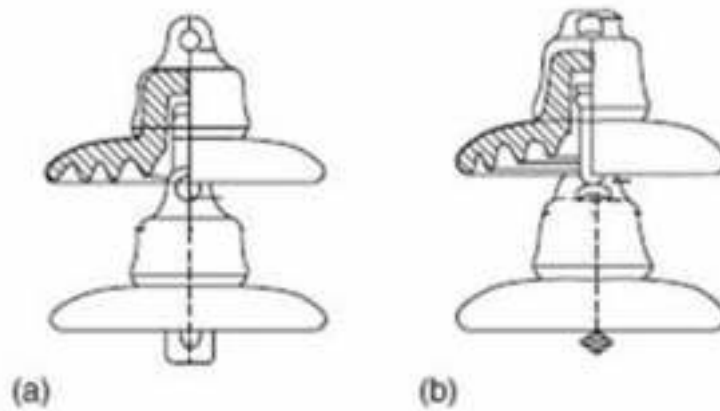
Isolator mempunyai ketahanan tegangan impuls petir pengenal dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan merupakan bahan isolasi yang diapit oleh logam sehingga merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara di permukaannya. Apabila nilai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

2.1.2 Karakteristik Mekanik

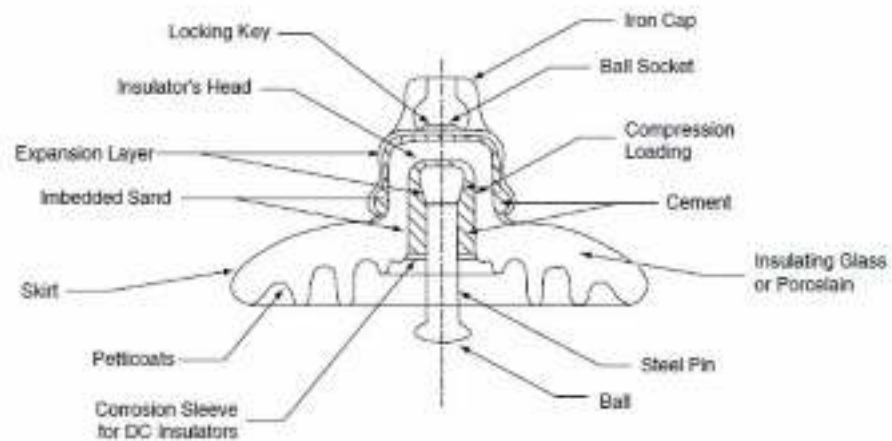
Isolator harus mempunyai kuat mekanik guna menanggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat isolator dan konduktor penghantar. Maka menurut bentuknya, isolator terdiri dari :

1. Isolator Piring

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



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



Gambar 2.2 Komponen isolator piring tipe ball-and-socket

2. Isolator Tipe Post

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



Gambar 2.3 Isolator Post

3. Isolator long rod

Isolator long rod adalah isolator porselen atau komposit yang digunakan untuk beban tarik.



Gambar 2.4 Isolator long rod

2.1.3 Jenis Jenis Pemasangan Isolator

1. "I" String



Gambar 2.5 Isolator "I" string

2. "V" String



Gambar 2.6 Isolator "V" string



3. Horizontal String



Gambar 2.7 Isolator horizontal string

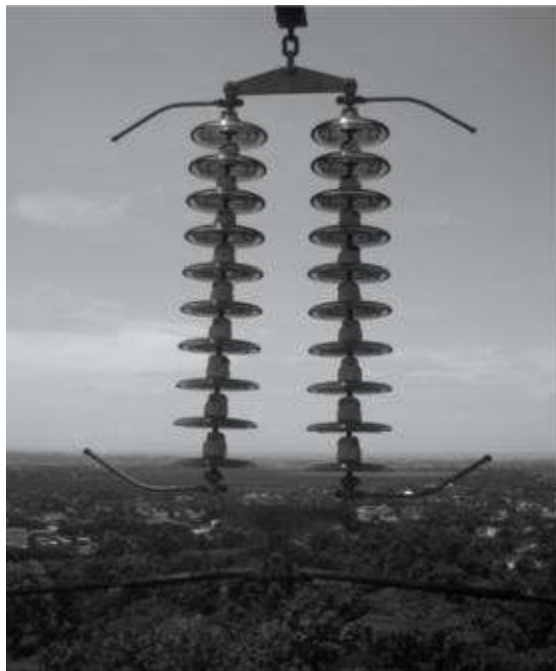
4. Single String



Gambar 2.8 Isolator single string



5. Double String Vertical



Gambar 2.9 Isolator double string Vertical

6. Quadruple



Gambar 2.10 Isolator quadruple

2.1.4 Jenis – Jenis Isolator Berdasarkan Bahan

1. Ceramic Isolator (Isolator Keramik)

Ceramic isolator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan atau ground secara elektrik dan mekanik. Pada SUTT / SUTET, isolator berfungsi untuk mengisolir konduktor fasa dengan tower / ground. Isolator keramik terbuat dari bahan porselen yang mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca. Dalam penggunaannya isolator 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 Isolator

2. Non – Ceramic Isolator

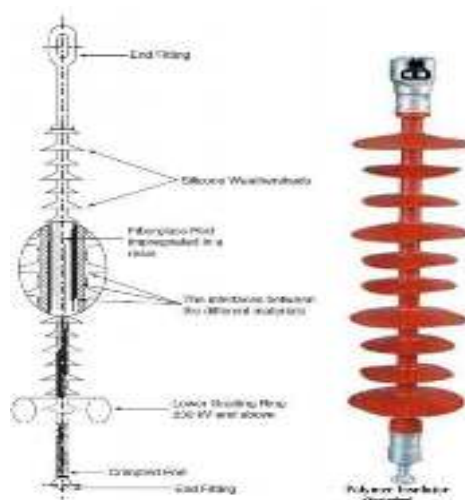
a) Isolator gelas/ kaca

Digunakan hanya untuk isolator 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 isolator gelas mudah dideteksi.

Gambar 2.12 Isolator gelas/ kaca



b) Isolator Polymer



Gambar 2.13 Isolator polymer

Isolator polymer dilengkapi dengan mechanical load-bearing



fiberglass rod, yang diselubungi oleh weather shed polimer untuk mendapatkan nilai kekuatan elektrik yang tinggi.

Komponen utama dari isolator polymer yaitu:

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



Tabel 2.1 Jarak Aman ROW
Penamaan Isolator

No	Lokasi	SUTT	SUTT	SUTET 500 kV	
		66 kV	150 kV	Sirkuit Ganda	Sirkuit Tunggal
		(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

Tipe Isolator keramik atau gelas didefinisikan dengan:¹

A	<spasi>	B	<spasi>	C	D	E
---	---------	---	---------	---	---	---

Gambar 2.14 Sistem Penamaan Isolator

Dimana:

A = Jenis Isolator 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).

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 Isolator. Berikut jenis-jenis tiang berdasarkan bentuknya :²

Tiang Pole

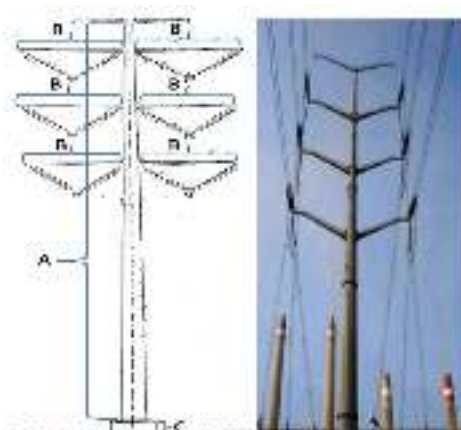
Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja, pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit.

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

² PT. PLN (Persero), Surat Keputusan Direksi PT. PLN (Persero) No. 0520-1.K/DIR/2014, hal. 17

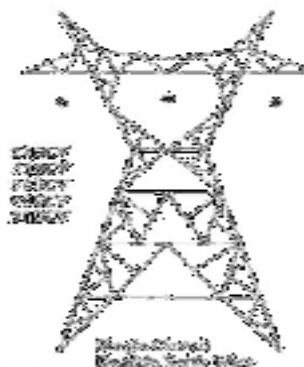


Gambar 2.15 Tiang Pole

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 pengantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:³

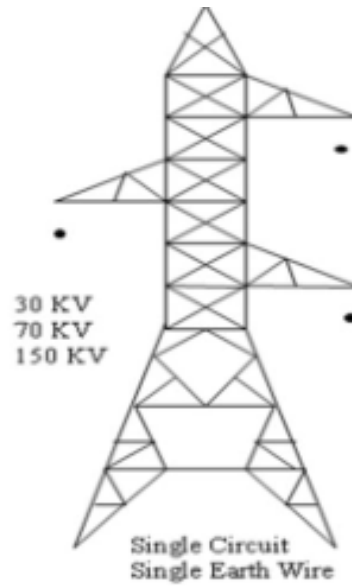
a. Tiang Delta (*Delta Tower*)



Gambar 2.16 Tiang Delta

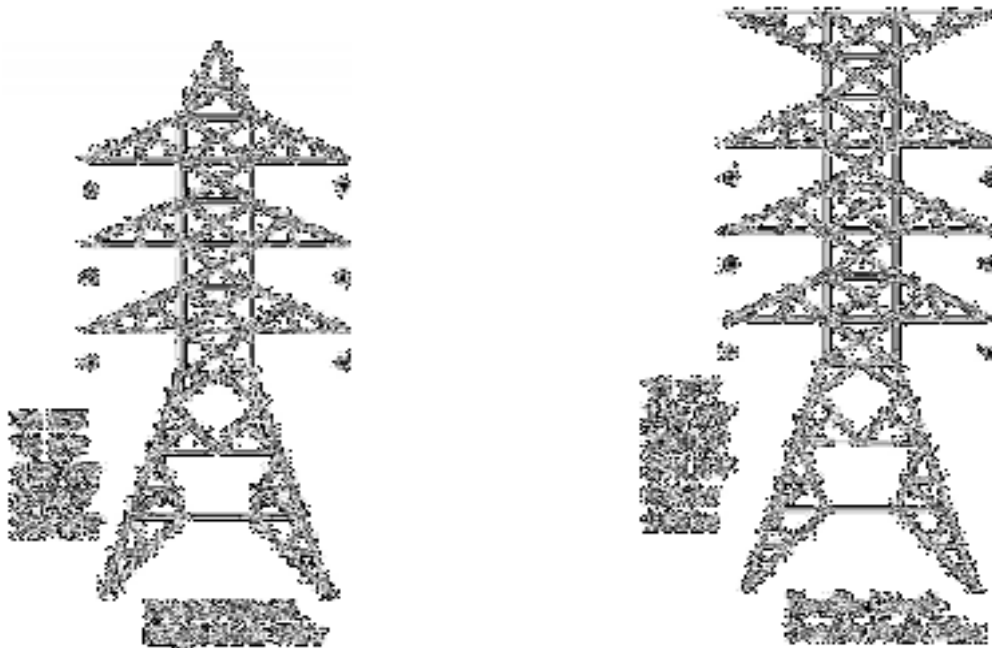
b. Tiang Zig-Zag

³ PT. PLN (Persero), Standar PT. PLN (Persero) No. T3.008-1, hal.22



Gambar 2.17 Tiang Zig – Zag

c. Tiang Priramida (*Pyramid*)



Gambar 2.18 Tiang Piramid (*Pyramid*)

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 V a.b. efektif.

Khusus untuk tempat-tempat berikut ini:

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

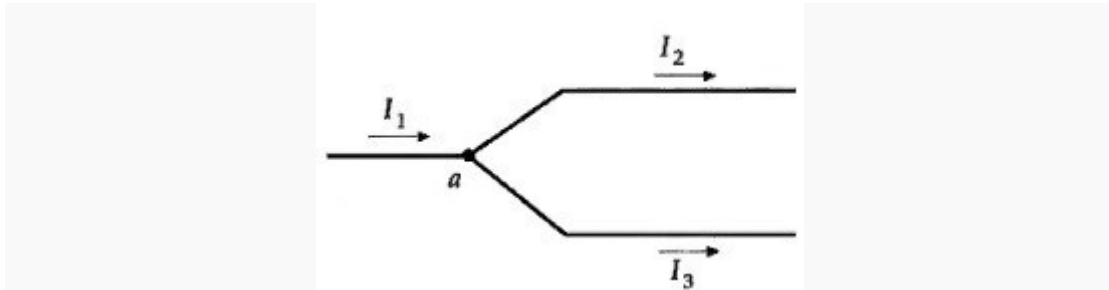
tegangan sentuh yang terlalu tinggi adalah tegangan sentuh yang > 25 V a.b. efektif.⁴

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 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”

⁴ Badan Standardisasi Nasional. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. No. SNI 04-0225-2000, hal 28 dan 54



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 .

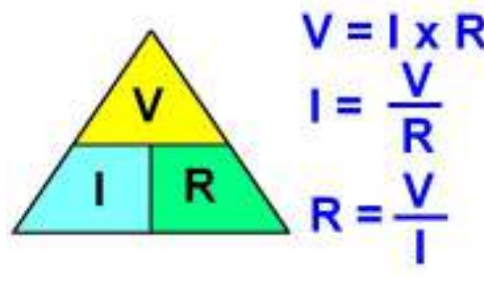
Dalam rentang waktu Δt , muatan $q_1 = I_1 \Delta t$ mengalir melalui titik percabangan dari arah kiri. Dalam rentang waktu Δt juga, muatan $q_2 = I_2 \Delta t$ dan $q_3 = I_3 \Delta t$ bergerak ke arah kanan meninggalkan titik percabangan. Karena muatan tersebut bukan berasal dari titik percabangan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

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;


$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ I &= \frac{V}{R} \\ R &= \frac{V}{I} \end{aligned} \dots\dots\dots(2.1)$$

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 Isolator.

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

$$R_i = \frac{V}{I_b} \dots\dots\dots(2.2)$$

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 (Rv) dan resistansi permukaan (Rp). Resistansi volume mengakibatkan mengalirnya arus bocor Iv, sedangkan resistansi permukaan menyebabkan mengalirnya arus bocor Ip. Resistivitas volume pada umumnya disebut resistivitas saja. Beberapa hal yang harus diperhatikan sehubungan dengan resistivitas adalah :

- a. 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.
- b. Untuk bahan isolasi yang di higroskopis, di daerah daerah yang lembab resistivitasnya akan turun secara mencolok.
- c. 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.

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,⁵

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata Tahanan Isolasi} &= \frac{\Sigma \text{Tahanan Isolasi}}{\text{Banyak Data}} \\ &= \frac{R1+R2+R3}{3} \dots\dots\dots(2.3) \end{aligned}$$

$$\% \text{ Penurunan Tahanan Isolasi} = \frac{\Sigma Ra - \Sigma Rb}{\Sigma Ra} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- R1, R2, R3 = Nilai Percobaan Pertama, Kedua, dan Ketiga
- ΣRa = Jumlah Nilai Tahanan Isolasi Isolator Kondisi Baik

⁵ "Cara Menghitung Persentase Penurunan". cara.aimyaya.com. 4 September 2020. <<https://www.cara.aimyaya.com/2019/02/cara-menghitung-persentase-penurunan.html>>



$\sum R_b$ = Jumlah Nilai Tahanan Isolasi Isolator Kondisi Buruk

