



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan pertama kali diperkenalkan pada tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak ditanahkan karena saat itu ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Setelah sistem tenaga listrik mulai berkembang besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan yang semakin jauh serta kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat barulah sistem pentanahan diperlukan. Jika tidak ada sistem pentanahan dapat menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem kelistrikan itu sendiri.

Sistem pentanahan merupakan pengamanan rangkaian listrik atau peralatan. Dalam sebuah instalasi listrik, ada empat bagian yang perlu diketanahkan/dibumikan, yaitu sebagai berikut:

1. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai *lightning arrester*. Karena letaknya yang ada di sepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ke tanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.
2. Titik netral dari transformator atau titik netral generator. Hal ini dapat diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.
3. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah) dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ke tanah (bumi) dengan lancar.
4. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantarkan listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.



Pentanahan adalah bagian yang menghubungkan peralatan listrik yang berada dalam keadaan tidak dialiri oleh arus. Tujuannya untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian peralatan dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

Pentanahan peralatan adalah bagian yang menghubungkan badan atau peralatan listrik (generator, transformator, motor, pemutus daya, dan bagian-bagian logam lainnya yang pada keadaan normal tidak dialiri arus) dengan tanah. Maksud dari pentanahan peralatan antara lain :

1. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.
2. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah tertentu.
3. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik yang besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.

Oleh karena itu, secara umum sistem pentanahan berperan sebagai proteksi dengan tujuan pemasangan yaitu :

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan langkah dan tegangan sentuh.
2. Menyalurkan surja petir ke tanah.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik atau peralatan elektronik.
4. Menjamin kerja peralatan listrik atau peralatan elektronik.



## 2.2 Jenis – Jenis Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah sebuah penghantar yang terbuat dari tembaga atau besi yang ditanam ke tanah/bumi sehingga menyebabkan kontak langsung dengan bumi. Adapun jenis-jenis elektroda pentanahan menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 yaitu :

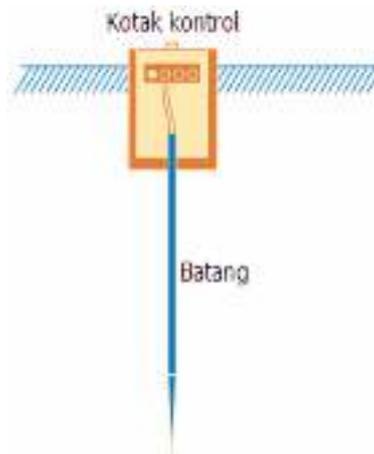
### 1. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda yang berbentuk batang profil atau pipa atau logam lain yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah dengan kedalaman antara 1 sampai 10 meter. Pentanahan ini paling banyak dipakai karena mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan menggunakan elektroda lainnya. Adapun keuntungan yang didapat dari penggunaan elektroda batang adalah harga elektroda ini cukup murah dan mudah didapat, pemasangannya mudah dan tidak memerlukan tempat yang luas.

Jika ditanam sampai pada kedalaman air tanah dengan maksud agar tahanan pentanahan menjadi rendah. Apabila tahanan dari sebuah elektroda belum cukup rendah atau kecil, disekitar elektroda yang pertama dapat dipasang elektroda lain yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang lebih rendah atau kecil. Semakin panjang elektroda batang ditanam dalam tanah, maka tahanan kontakya terhadap tanah akan semakin kecil karena menurunnya tahanan jenis tanah dan bertambahnya luas permukaan yang terkena elektroda.

Ukuran elektroda yang biasa digunakan adalah :

- a. Elektroda dengan diameter 5/8 inch – 3/4 inch.
- b. Panjang 4 feet – 8 feet.



Gambar 2.1 Elektroda Batang

Untuk menentukan besarnya tahanan pentanahan dengan elektroda batang secara horizontal digunakan rumus dibawah ini :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left( \ln \frac{4L_R}{A_R} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

$R_G$  = Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$R_R$  = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal ( $\Omega$ )

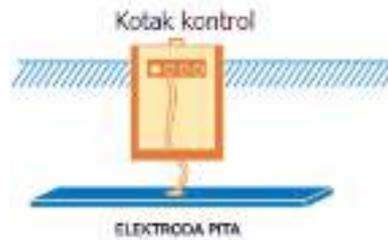
$\rho$  = Hambatan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$L_R$  = Panjang elektroda (m)

$A_R$  = Diameter elektroda (m)

## 2. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau penghantar pilin atau berpenampang bulat yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman 0,5 sampai 1,0 meter dari permukaan tanah, dan tergantung dari kondisi dan jenis tanah. Elektroda jenis ini sering digunakan pada tempat-tempat yang mempunyai tahanan jenis tinggi, terutama pada tanah yang banyak mengandung batu-batu sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda tersebut dihubungkan dengan elektroda lain sehingga membentuk beberapa jaringan seperti bentuk melingkar, radial, atau kombinasi.



Gambar 2.2 Elektroda Pita

Untuk menentukan besarnya tahanan pentanahan dengan elektroda pita digunakan rumus dibawah ini :

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left( \ln \frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} + \frac{1,4 L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$R_G$  = Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$R_W$  = Tahanan pentanahan elektroda pita ( $\Omega$ )

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega m$ )

$d_W$  = Diameter kawat (m)

$L_W$  = Panjang total grid kawat (m)

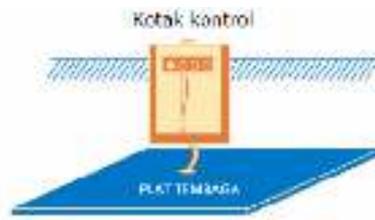
$Z_W$  = Kedalaman penanaman (m)

$A_W$  = Luasan yang dicakup oleh grid (m)

### 3. Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. Pada pemasangannya elektroda ini dapat ditanam tegak lurus atau mendatar tergantung dari tujuan penggunaannya. Bila digunakan sebagai elektroda pentanahan, cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira dibawah 0,5 meter - 1 meter dibawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Jika digunakan sebagai elektroda pengatur maka mengatur kecuraman gradien tegangan untuk menghindari tegangan langkah yang besar dan berbahaya, maka elektroda plat tersebut ditanam mendatar. Pentanahan hantaran netral dengan menggunakan elektroda plat sudah sangat jarang dipakai karena tidak menguntungkan, sebab harganya terlalu mahal, mudah

berkarat dan juga kurang praktis, dimana waktu pengecekan harus digali lubang terlebih dahulu.



Gambar 2.3 Elektroda Plat

Untuk menentukan besarnya tahanan pentanahan dengan elektroda plat digunakan rumus dibawah ini :

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{4\pi L_P} \left[ \ln \left( \frac{8W_P}{\sqrt{0,5W_P + T_P}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

$R_G$  = Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

$R_P$  = Tahanan pentanahan plat ( $\Omega$ )

$\rho$  = Hambatan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$W_P$  = Lebar plat (m)

$L_P$  = Panjang plat (m)

$T_P$  = Tebal plat (m)

### 2.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pembumian

Tahanan pentanahan pada elektroda dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

1. Tahanan dari elektroda pentanahan.
2. Tahanan elektroda pentanahan dengan kontak tanah disekelilingnya.
3. Tahanan jenis tanah.

Dari ketiga faktor diatas, diharapkan nilai tahanan pentanahan dapat sekecil mungkin. Namun kenyataannya di lapangan tidak selalu didapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai atau diharapkan.

Nilai tahanan dalam sistem pentanahan diharapkan memiliki nilai yang serendah mungkin. Elektroda pentanahan yang ditanamkan ke dalam tanah diharapkan memperoleh tahanan yang rendah, namun hal ini sangat susah



diperoleh. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai tahanan pentanahan antara lain :

**1. Faktor Internal**

- a. **Bentuk elektroda.** Ada beberapa macam bentuk dari elektroda itu sendiri yang banyak digunakan pada umumnya, seperti jenis batang, jenis pita, dan jenis plat.
- b. **Jenis bahan dan ukuran elektroda.** Resiko dari penempatannya di dalam tanah adalah elektroda yang dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas yang sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah misalnya korosi. Ukuran elektroda dipilih harus mempunyai kontak paling efektif dengan tanah. Prinsip dasar untuk memperoleh resistansi pembumian yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin sesuai dengan rumus dibawah ini :

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

R = resistansi pentanahan ( $\Omega$ )

$\rho$  = resistansi jenis tanah ( $\Omega m$ )

L = panjang lintasan arus pada tanah (m)

A = luas penampang lintasan arus pada tanah ( $m^2$ )

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar tahanan pentanahan. Berikut ini merupakan tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan. Tabel dibawah ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan, dan luas penampang elektroda pentanahan.



Tabel 2.1 Luas Penampang Minimum Elektroda Pentanahan

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Batang	- Pita baja 25 mm - Baja Profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 $\mu\text{m}$	Tidak ada
Elektroda Pita	Pita baja 100 mm <sup>2</sup> setebal minimum 3 mm	50 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> tebal minimum 2 mm
	Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)
Elektroda Plat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5 mm <sup>2</sup> sampai 1 mm <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm, luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1 m <sup>2</sup>



Tabel 2.2 Ukuran Penampang Penghantar Sistem Pentanahan

Luas Penampang Penghantar Phasa Instalasi S (mm <sup>2</sup> )	Luas Penampang Minimum Penghantar Proteksi Yang Berkaitan S <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> )
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

- c. **Jumlah atau konfigurasi elektroda.** Untuk memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan dan jika tidak memenuhi standar yang ditentukan dengan satu buah elektroda maka dapat digunakan metode parallel dengan cara menambah jumlah elektroda dengan bermacam konfigurasi pemasangannya di dalam tanah.
- d. **Kedalaman penanaman atau pemasangan di dalam tanah.** Untuk kedalaman pemasangan elektroda pembumian tergantung dari pada jenis dan sifat-sifat tanah. Ada dua kondisi yaitu ada yang efektif ditanam secara dalam untuk jenis tanah yang kering dan berbatu, namun ada juga yang cukup ditanam secara dangkal untuk jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat, dan lain-lain.

## 2. Faktor Eksternal

### a. Karakteristik (Sifat Geologi) Tanah

Tahanan jenis tanah (ohm-meter) adalah nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan dalam ohm antara permukaan yang berlawanan dari suatu kubus satu meter kubik.

Pentingnya mengetahui tahanan jenis tanah mempunyai manfaat yang penting yaitu :

1. Beberapa data yang diperoleh dari survei geofisika dibawah permukaan tanah dapat membantu untuk mengidentifikasi lokasi pertambangan, kedalaman batu-batuan, dan kejadian geologi lainnya.



2. Tahanan jenis tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap pipa-pipa bawah tanah. Jika tahanan jenis tanah semakin meningkat maka aktivitas korosi akan semakin meningkat juga.
3. Tahanan jenis lapisan tanah mempunyai pengaruh langsung dalam sistem pembedaan. Ketika merencanakan sistem pembedaan, ada baiknya mencari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar dapat mencapai instalasi pembedaan yang paling ekonomis.

Faktor keseimbangan antara tahanan pembedaan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$ . Nilai tahanan jenis tanah dalam kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor antara lain :

1. Jenis tanah
2. Lapisan tanah
3. Komposisi kimia dari kandungan air dan larutan garam
4. Kelembaban tanah
5. Temperatur tanah
6. Kepadatan tanah

Dari peraturan yang tercantum dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) tahanan jenis tanah dari berbagai tanah dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Nilai Resistansi Jenis Tanah

NO	Jenis Tanah	Resistansi Jenis ( $\Omega m$ )
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat & Tanah Ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir & Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000



Dari tabel diatas bisa menjadi rujukan bagi para perancang sistem pentanahan untuk menentukan langkah awal dalam merancang sistem pentanahan yaitu mengetahui sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pentanahan, sehingga perancang dapat mengetahui resistansi jenis pentanahan. Jika diperlukan pengukuran resistansi tanah perlu diketahui bahwa sifat-sifat tanah dapat berubah-ubah di setiap musim. Hal ini harus sangat dipertimbangkan dalam perancangan sistem pembumian. Apabila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa dijadikan rujukan sebagai acuan adalah dimusim apa kondisi resistansi jenis pentanahan tetap memenuhi syarat, misalnya pada saat musim kemarau. Rumus dari tahanan jenis tanah yaitu :

$$\rho = R_R \frac{2 \cdot \pi \cdot L_R}{\ln\left(\frac{4L_R}{A_R}\right) - 1} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$R_R$  = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal ( $\Omega$ )

$\rho$  = Hambatan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$L_R$  = Panjang elektroda (m)

$A_R$  = Diameter elektroda (m)

b. Komposisi Zat Kimia Dalam Tanah

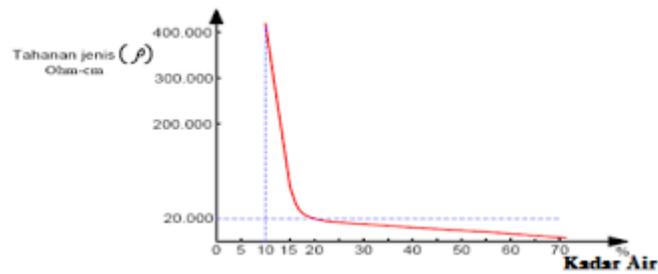
Kadungan zat-zat kimia yang terdapat dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun non-organik yang dapat larut perlu diperhatikan karena di daerah yang mempunyai intensitas curah hujan yang tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh garam yang terkandung pada lapisan atas larut bersama air hujan. Pada daerah yang intensitas curah hujan yang tinggi untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan cara menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.



c. Kandungan Air Tanah

Dalam mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan cara menanam elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah. Ketika kelembaban dan temperatur bervariasi di sekitar elektroda pentanahan membuat harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk mengantisipasi keadaan paling buruk, yaitu pada keadaan tanah dingin dan tanah kering. Tahanan jenis tanah akan mempengaruhi besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah apabila konduktivitas tanah semakin besar, maka tahanan jenis tanah semakin kecil. Kandungan air tanah sangat mempengaruhi perubahan tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik sampai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sangat sedikit sekali. Tahanan pentanahan tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim dan kadar air dalam tanah.

Besar atau kecilnya konsentrasi air di dalam tanah sangat berpengaruh pada harga tahanan tanah. Apabila tanah lembab atau semakin banyak kandungan air maka makin kecil harga tahanan tanahnya karena sifat air yang konduktif. Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air dibawah 10% mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali. Dapat dilihat dibawah ini grafik hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah.

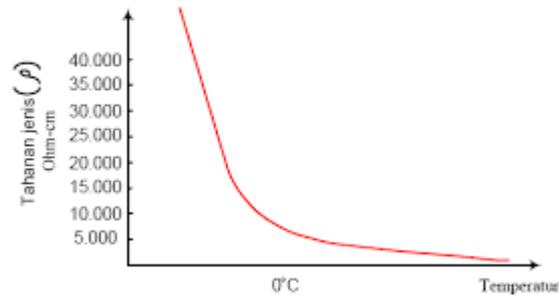


Gambar 2.4 Hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah

Atas dasar prinsip diatas, maka harus diusahakan suatu elektroda pentanahan ditanam sampai mencapai air tanah. Dengan menanam elektroda tanah dibawah permukaan air tanah dapat menjamin harga tahanan pentanahan tidak banyak bervariasi terhadap cuaca.

d. Temperatur Tanah

Temperatur tanah disekitar elektroda pentanahan dapat mempengaruhi pada besarnya tahanan jenis tanah. Hali ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur dibawah titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Di bawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan nilai tahanan jenis tanah dengan cepat. Gejala diatas dapat dijelaskan sebagai berikut : pada temperature dibawah titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ), air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi sangat rendah. Jika temperature tanah naik, air akan berubah menjadi fase cair. Molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun. Dibawah ini adalah grafik hubungan antara temperature dengan tahanan jenis tanah.



Gambar 2.5 Hubungan antara temperatur dengan tahanan jenis tanah

## 2.4 Gangguan – Gangguan Pada SUTT 70 KV

### 2.4.1 Definisi Gangguan

Menurut Hutauruk, T.S. Bagian SUTT yang paling sering terkena gangguan ada pada kawat transmisi (70% s.d 80% dari seluruh gangguan). Hal ini disebabkan karena luas dan panjang kawat transmisi yang terbentang dan beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda. Pada sistem transmisi, suatu gangguan dapat terjadi disebabkan kesalahan mekanis, thermis dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya gangguan hubung singkat, gangguan ke tanah atau konduktor yang putus. Akibat-akibat yang disebabkan gangguan antara lain :<sup>1</sup>

- Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (sirkuit) atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.
- Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen.
- Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
- Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan.

<sup>1</sup> Hutauruk, T.S. 2018. Pengetanahan Netral Sitem Tenaga & Pengetanahan Peralatan. Jakarta: Penerbit Erlangga. (Halaman 3).



## 2.4.2 Penyebab Gangguan Pada SUTT 70 KV

Faktor – faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada SUTT yaitu :

### a. Petir

Berdasarkan pengalaman diperoleh bahwa sambaran petir sering mengakibatkan gangguan pada sistem tegangan tinggi.

### b. Burung atau dedaunan

Burung atau dedaunan yang terbang dan menyentuh dua kawat penghantar SUTT baik antar fasa dengan tower, maka dapat memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.

### c. Polusi

Debu yang menempel pada isolator bisa bersifat konduktif, sehingga dapat menyebabkan loncatan bunga api listrik pada isolator tersebut.

### d. Pohon yang tumbuh di dekat SUTT

Pohon yang tumbuh dekat dengan SUTT dapat menyebabkan jarak aman (clearance) berkurang. Jarak aman yang berkurang dapat berakibat gangguan pada SUTT

### e. Keretakan pada isolator

Bila terjadi keretakan pada isolator, maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan terjadi arus yang tembus (breakdown) pada isolator.

Ditinjau dari asalnya, penyebab gangguan dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Gangguan dari dalam adalah gangguan yang terjadi oleh sebab kelainan pada peralatan itu sendiri.
- b. Gangguan dari luar adalah gangguan yang terjadi oleh sebab benda atau makhluk atau alam yang menimpa pada peralatan.

Ditinjau dari jenisnya, penyebab gangguan dibedakan menjadi empat yaitu :

- a. Gangguan hubung singkat antar fasa.
- b. Gangguan hubung singkat fasa dengan tanah.
- c. Putus rangkaian.



- d. Penurunan nilai isolasi.

## 2.5 Proteksi Petir SUTT 70 KV

SUTT adalah instalasi yang penting sehingga menjadi target yang mudah untuk tersambar petir karena strukturnya yang tinggi dan berada pada lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTT merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan listrik menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT, sehingga pada SUTT timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT. Untuk dari itu nilai pentanahan tower SUTT harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan pada tower yang tinggi sehingga pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan tower sebagai berikut :

Tabel 2.4 Batas Nilai Pentanahan Tower

No	Sistem Penyaluran	Nilai Pentanahan
1	Sistem 70 kV	$\leq 5 \Omega$
2	Sistem 150 kV	$\leq 10 \Omega$
3	Sistem 275 / 500 kV	$\leq 15 \Omega$

Komponen-komponen yang termasuk dalam fungsi proteksi petir adalah semua komponen pada SUTT dan SUTET yang berfungsi dalam melindungi saluran transmisi dari sambaran petir diantaranya:

- a. Konduktor Tanah (*Earth Wire*)

Konduktor tanah atau *Earth Wire* adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Konduktor tanah terbuat dari baja yang sudah digalvanis atau sudah dilapisi dengan aluminium. Di dalam ground wire difungsikan fiber optic untuk keperluan telemetri, teleproteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (*Optic Ground Wire*).

- b. Konduktor Penghubung Konduktor Tanah

Untuk melindungi hubungan konduktor tanah dengan tiang, maka pada ujung travers konduktor tanah dipasang konduktor penghubung



yang dihubungkan ke konduktor tanah. Konduktor penghubung terbuat dari konduktor tanah yang dipotong dengan panjang yang disesuaikan dengan kebutuhan. Konduktor penghubung pada tipe penegang dipasang antara tiang dan konduktor tanah serta antar klem penegang konduktor tanah. Hal ini dimaksudkan agar arus gangguan petir dapat mengalir langsung ke tanah maupun antar konduktor tanah. Sedangkan pada tipe penyangga, konduktor penghubung dipasang pada tiang dan disambungkan ke konduktor tanah dengan klem jembatan atau dengan memasangnya pada *suspension clamp* konduktor tanah.

c. Arcing Horn

Alat pelindung proteksi petir yang paling sederhana adalah arcing horn. Arcing horn berfungsi memotong tegangan impuls petir secara pasif (tidak mampu memadamkan *follow current* dengan sendirinya).

d. Konduktor Penghubung Konduktor Tanah ke Tanah

Pada tiang SUTT yang berlokasi di daerah petir tinggi biasanya dipasang konduktor penghubung dari konduktor tanah ke tanah. Bahan yang dipakai untuk konduktor penghubung umumnya sama dengan bahan konduktor tanah. Konduktor penghubung ini berfungsi agar arus petir yang menyambar konduktor tanah maupun tiang SUTT dapat langsung disalurkan ke tanah dengan pertimbangan bahwa nilai hambatan konduktor lebih kecil dibandingkan nilai hambatan tiang.

e. Pentanahan (*Grounding*)

Pentanahan tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dan tiang SUTT ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang di klem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/tembaga disekitar pondasi tiang yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir.

### 2.6 Perencanaan Elektroda-Elektroda Pentanahan

Di tempat-tempat dengan tahanan tinggi dimana tahanan pentanahan yang diperoleh dengan susunan atau konstruksi melampaui harga batas yang ditentukan maka digunakan elektroda jamak. Dalam hal ini digunakan 3 elektroda, dan jarak antara elektroda tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda.

Untuk praktisnya, tahanan dari tiga elektroda atau pasak dapat dihitung paralel dan tahanan total menjadi setengah atau sepertiga dari tahanan tanah dengan menggunakan elektroda tunggal. Kadang jarak antar elektroda tidak dapat dibuat besar, untuk itu ada rumus empiris penentuan tahanan total dari berbagai macam susunan paralel, seperti berikut:

- a. Dua elektroda atau pasak dipasang paralel

$$\frac{\text{Tahanan 2 pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana,

$$x = \left( \frac{L}{\left( \ln 48 \frac{L}{a} \right) - 1} \right) / d \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

d = jarak antara 2 pasak paralel (m)

L = panjang elektroda (m)

a = diameter elektroda (m)



Gambar 2.6 Elektroda tanah : (a) Dalam susunan segi empat kosong, (b) Dalam susunan segi empat terisi

- b. Tiga pasak paralel berbentuk segitiga sama sisi dengan sisi = d

$$\frac{\text{Tahanan 3 pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots\dots\dots(2.8)$$

- c. Pasak jamak tersusun dalam segi empat kosong atau segi empat terisi seperti terlihat pada gambar 2.6. Apabila jumlah pasak adalah N, maka:



$$\frac{\text{Tahanan } N \text{ pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+kx}{N} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

k = konstanta yang tergantung jumlah pasak

N = jumlah pasak

Tabel 2.5 Harga Konstanta Pada Jumlah Pasak atau Elektroda

Jumlah Pasak Sepanjang Sisi Segi Empat	Jumlah Pasak Seluruhnya	Harga K
Segi empat terisi		
2	4	2.7071
3	8	4.2583
4	12	5.3939
5	16	6.0072
6	20	6.4633
7	24	6.8363
8	28	7.1479
9	32	7.4195
10	36	7.6551
Segi empat kosong		
3	9	5.8917
4	16	8.5545
5	25	11.4371
6	36	14.0650
7	49	16.8933
8	64	19.5003
9	81	22.3069
10	100	24.9587

Sumber : Pabla, As dan Hadi, Ir. Abdul. Sistem Distribusi Daya Listrik (Hal.164)



## 2.7 Usaha Memperbaiki Tahanan Pentanahan Yang Tidak Sesuai Standar

### 1. Perawatan Rutin

Perawatan dilakukan untuk mempertahankan kondisi optimal kinerja sistem pentanahan dilakukan rutin setiap 1 tahun/ 6 bulan untuk memantau kondisi fisik saluran transmisi berikut sistem pentanahannya. Tahanan pentanahan diukur dengan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Kerusakan yang terjadi pada sistem pentanahan biasanya diakibatkan sambungan kendur atau korosi antar bagian elektroda. Perbaikan dilakukan dengan mengencangkan kembali baut-baut sambungan dan membersihkan bagian elektroda dari korosi.

Telah diketahui bahwa logam, khususnya besi dan baja bila ditanam dalam tanah maka akan terjadi pengurangan (*korosif*). Tahanan jenis tanah yang rendah menunjukkan kandungan larutan garam dan air yang tinggi. Tanah dengan daya hantar tinggi maka akan tinggi pula daya korosinya. Keadaan tanah dapat diklasifikasikan dalam 4 kategori mengacu pada tahanan tanah dan daya korosinya, seperti pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Tahanan Jenis Tanah Dan Daya Korosi

No	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)	Daya Korosi
1	0 – 25	Tinggi
2	25 – 50	Menengah
3	50 – 100	Rendah
4	> 100	Sangat Rendah

### 2. Penggunaan Senyawa Kimia

Metode konvensional untuk menurunkan tegangan permukaan tanah yang bernilai tinggi adalah dengan menurunkan tahanan jenis tanah. Beberapa zat aditif yang ditambahkan di dalam tanah terbukti mampu menurunkan tahanan jenis tanah dan secara langsung akan menurunkan tegangan permukaan tanah. Beberapa jenis garam yang secara alamiah terkandung di dalam tanah cenderung bersifat konduktif dan menurunkan tahanan jenis tanahnya. Penambahan aditif harus diperhitungkan cermat karena beberapa aditif pada dosis tertentu cenderung bersifat korosif yang sangat dihindari dalam sistem pentanahan.



Buku-buku pentanahan kuno (1930-an), menyatakan bahwa tahanan elektroda dapat turun sampai dengan 90 % dengan perlakuan kimia. Bahan-bahan yang digunakan adalah sodium klorid (garam), magnesium sulfat (garam Inggris), tembaga sulfat, sodium karbonat (soda api), dan kalsium klorid. Bahan-bahan ini disebar disekitar elektroda melalui sebuah lubang di sekeliling elektroda. Resistivitas yang dihasilkan dapat turun 0,2 Ohm-m dengan menambahkan soda api dan 0,1 Ohm-m dengan penambahan garam dapur. Bahan-bahan terbaru yang digunakan untuk menurunkan tahanan jenis tanah antara lain sebagai berikut:

a. Bentonit

Bentonit adalah suatu jenis lempung yang sebagian besar mengandung montmorillonite dengan mineral-mineral seperti kwarsa, kalsit, dolomit, feldspars, dan mineral lainnya. Bentonit memiliki sifat dapat menyerap air dan menahan air pada strukturnya, hal ini dikarenakan pada montmorillonit terdapat beberapa lapisan yaitu lapisan lempung yang terdiri dari lapisan tetrahedral dan lapisan oktahedral kemudian lapisan interlayer dimana penyerapan air terjadi pada lapisan interlayer. Pada lapisan interlayer ini terdapat molekul air dan kation-kation. Bentonit telah banyak di aplikasikan dalam usaha perbaikan tahanan pentanahan. Bentonit sering di gunakan karena memiliki sifat:

- 1) Memiliki sifat tahanan jenis yang sangat rendah dan stabil.
- 2) Bentonit dapat mengembang menjadi beberapa kali lipat bila di celupkan ke dalam air dan dapat menahan air pada strukturnya.
- 3) Bentonit memiliki harga yang ekonomis.
- 4) Bentonit tidak menyebabkan korosi pada elektroda.
- 5) Bentonit tidak mudah hancur karena bentonit merupakan bagian dari tanah liat.

b. Marcionit

Marcionite adalah bahan yang bersifat konduktif dengan kandungan kristal karbon yang cukup tinggi pada fase normalnya, dan juga mengandung belerang dan klorida dengan konsentrasi rendah. Seperti halnya bentonite, marcionite akan bereaksi korosif terhadap logam tertentu, dan memiliki tahanan jenis rendah. Logam yang digunakan sebaiknya dilapisi bitumen atau cat bitumastik sebelum dihubungkan dengan marcionite. Aluminium, lapisan timah dan baja galvanis



sebaiknya jangan dipasang pada marcionite. Marconite dapat mempertahankan kelembabannya dalam kondisi lingkungan sangat kering sehingga kelemahan bentonite dapat ditutup oleh marcionite. Marcionite juga digunakan sebagai bahan anti statik pada lantai dan tabir elektromagnetik. Marcionite terdaftar dalam merek dagang *Marconi Communication System United*.

#### c. Gypsum

Kalsium sulfat (gypsum) digunakan sebagai bahan uruk, baik dalam fase sendiri maupun dicampur dengan bentonite atau dengan tanah alami berasal dari daerah tersebut. Gypsum mempunyai kelarutan yang rendah sehingga tidak mudah dihilangkan, tahanan jenisnya rendah berkisar 5-10 Ohm-m pada kondisi jenuh. Dengan pH berkisar 6,2 -6,9, gypsum cenderung bersifat netral. Gypsum tidak mengkorosi tembaga, meskipun terkadang kandungan ringan  $SO_3$  menjadi masalah pada struktur dasar dan fondasi. Zat ini tidak mahal dan biasanya dicampur dengan tanah urukan sekitar elektroda. Diklaim zat ini membantu mempertahankan tahanan yang rendah dengan periode waktu yang relative lama.

#### d. Arang Kayu

Perlakuan kimiawi terhadap tanah dirasa cocok dan murah diterapkan sebagai solusi pemecahan terhadap tingginya tahanan tanah. Metode tersebut dilakukan dengan memberikan bahan urukan (backfill material), yang digunakan adalah arang kayu untuk menurunkan resistivitas tanah. Arang kayu dimasukkan dalam lubang yang dibuat di sekitar driven ground dengan dimensi diameter 1 m dan kedalaman 3 m. Abu stasiun pembangkit dan arang digunakan karena kandungan karbon yang tinggi cenderung bersifat konduktif. Namun demikian bahan ini mengandung oksida karbon, titanium, potassium, sodium, magnesium atau kalsium bercampur dengan silika dan karbon. Pada kondisi basah, beberapa zat tersebut tidak dapat dielakkan bereaksi dengan tembaga dan baja menyebabkan korosi. Dengan demikian penggunaan arang kayu sebagai backfill material perlu dievaluasi kembali atau mungkin perlunya lapisan pelindung pada elektroda seperti bitumen ditambahkan.



### 3. Jumlah atau Konfigurasi Elektroda

Untuk memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan dan jika tidak memenuhi standar yang ditentukan dengan satu buah elektroda maka dapat digunakan metode parallel dengan cara menambah jumlah elektroda dengan bermacam konfigurasi pemasangannya di dalam tanah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang elektroda tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam. Tanpa pengaturan jarak elektroda yang tepat, bidang pengaruhnya akan berpotongan dan tahanan tidak akan menurun.