



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan<sup>1</sup>

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

---

<sup>1</sup> Hutaaruk, T. S., 1991, Pengetanahan netral sistem tenaga dan pengetanahan peralatan, hlm.125



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)
5. 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 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<sup>2</sup>**

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.

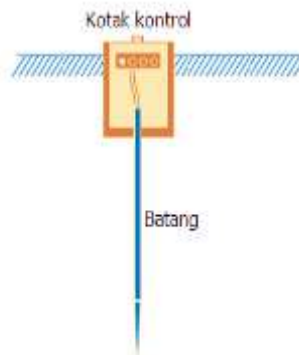
Jika ditanam sampai pada kedalaman air tanah dengan maksud agar tahanan pentanahan menjadi rendah. Apabila tahanan dari sebuah elektroda belum cukup rendah atau kecil, disekitar elektroda yang pertama dapat dipasang elektroda lain yang dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang lebih rendah atau kecil. Semakin panjang elektroda batang ditanam dalam tanah, maka tahanan kontakannya 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.

---

<sup>2</sup> PUIL (Peraturan Umum Instalasi Listrik) 2000, hlm.80-82



Gambar 2.1 Elektroda Batang

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

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

Keterangan :

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

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

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

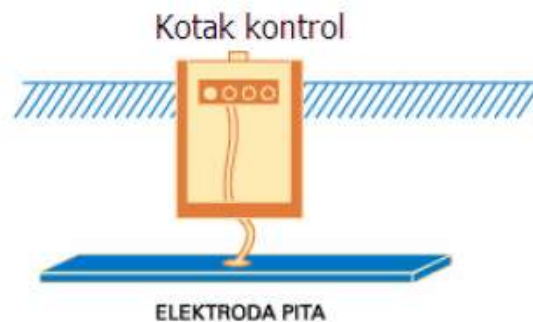
$L_R$  = Panjang elektroda (m)

$A_R$  = Diameter elektroda (m)

(<https://www.kelistrikanku.com/2016/05/elektroda-pentanahan.html>)

## 2. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman 0,5 sampai 1 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 :

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

Keterangan :

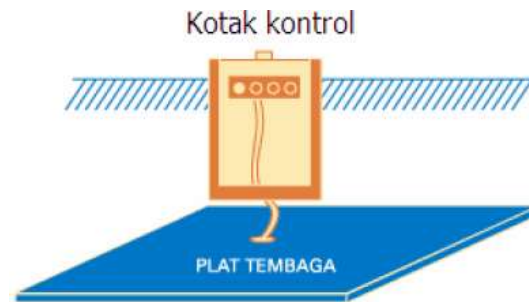
- $R_G$  = Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )
- $R_W$  = Tahanan pentanahan elektroda pita ( $\Omega$ )
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )
- $d_w$  = Diameter kawat (m)
- $L_W$  = Panjang total grid kawat (m)
- $Z_w$  = Kedalaman penanaman (m)
- $A_w$  = Luasan yang dicakup oleh grid (m)

### 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 sampai 1,0 meter dibawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Jika digunakan sebagai elektroda pengatur maka mengatur kecuraman gradient 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 :

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{4 \pi L_p} \left[ \ln \left( \frac{8 W_p}{\sqrt{0,5 W_p + T_p}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

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

$R_R$  = 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 Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan pada elektroda dipengaruhi oleh tiga factor, yaitu :

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



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

Nilai tahanan dalam system 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 factor 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 knduktivitas yang sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah misalnya korosi. Ukuran elektroda dipilih harus mempunyai kontak paling efektifid dengan tanah. Prinsip dasar untuk memperoleh resistansi pbumian 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 ( $\Omega\text{m}$ )

L = Panjang lintasan arus pada tanah (m)

A = Luas penampang lintasan arus pada tanah (m)

Ukuran elektroda pentanahan akan mennetukan 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 Tabel Luas Penampang Minimum Elektroda Pentanahan

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Batang	- Pita baja 25 mm - Baja Profil (mm) L65 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 $\text{mm}^2$ setebal minimum 3 mm	50 $\text{mm}^2$	Pita tembaga 50 $\text{mm}^2$ tebal minimum 2 mm
	Penghantar pilin 95 $\text{mm}^2$ (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 $\text{mm}^2$ (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 Tabel 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 survey 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 pembumian. Ketika merencanakan sistem pembumian, ada baiknya mencari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar dapat mencapai instalasi pentanahan yang paling ekonomis.

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan 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:



Tabel 2.3 Tabel Nilai Resistansi Jenis Tanah

Jenis Tanah	Resistansi Jenis ( $\Omega\text{m}$ )
Tanah Rawa	30
Tanah Liat & Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir & Kerikil Kering	1000
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 pembedahan. 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 :

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

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)

(<http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/75/jbtpolban-gdl-agungmardi-3734-3-bab2--2.pdf>)



a. 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.

b. Kandungan Air Tanah

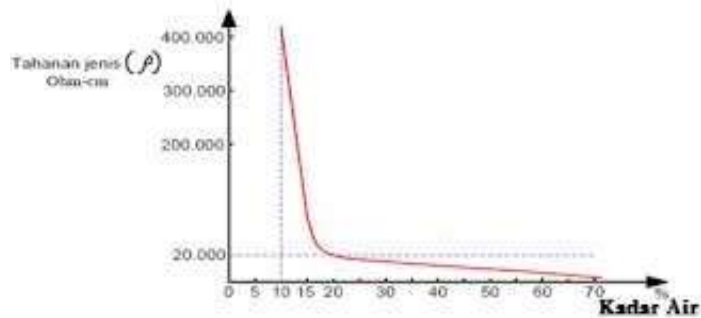
Dalam mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan cara menanam elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah. Ketika kelembaban dan temperatur bervariasi di sekitar elektroda pentanahan membuat harga tahanan jenis tanah harus 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 konduktif.

Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air dibawah 10%



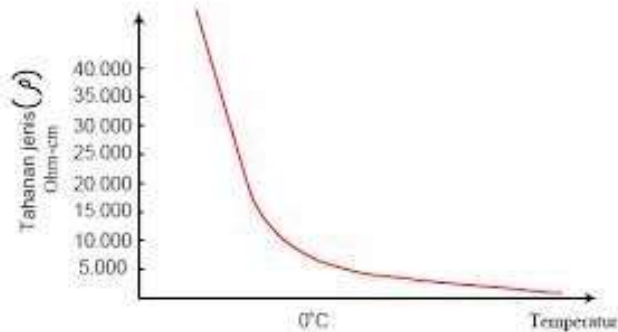
mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali. Dapat dilihat dibawah ini grafik hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah.



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.

### c. Temperatur Tanah



Gambar 2.5 Hubungan antara temperatur dengan tahanan jenis 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.

## 2.4 Konstruksi Pondasi Tower<sup>3</sup>

Komponen utama dari Fungsi Konstruksi dan Pondasi 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 dan sekat insulator.

### 2.4.1 Tiang Menurut Fungsi

#### 1. Tiang penegang (tension tower)

Tiang penegang disamping menahan gaya berat juga menahan gaya tarik dari konduktor-konduktor saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET). Tiang penegang terdiri dari :



Gambar 2.6 Tiang Penegang

<sup>3</sup> PT PLN (PERSERO), 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Saluran udara tegangan tinggi dan ekstra tinggi (sutt/sutet), hlm.18-38



a. Tiang Sudut (angle tower)

Tiang sudut adalah tiang penegang yang berfungsi menerima gaya tarik akibat perubahan arah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET).



Gambar 2.7 Tiang Sudut

b. Tiang akhir (dead end tower)

Tiang akhir adalah tiang penegang yang direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik konduktor-konduktor dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET) yang akan masuk ke switch yard Gardu Induk.



Gambar 2.8 Tiang Akhir



2. Tiang penyangga (suspension tower)

Tiang penyangga untuk mendukung / menyangga dan harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang tersebut.



Gambar 2.9 Tiang Penyangga

3. Tiang penyekat (section tower)

Yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan konduktor), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.

4. Tiang transposisi

Adalah tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa konduktor-konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).





Gambar 2.10 Tiang Transposisi

5. Tiang portal (gantry tower)

Yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi yang membutuhkan ketinggian yang lebih rendah untuk alasan tertentu (bandara, tiang crossing). Tiang ini dibangun di bawah saluran transmisi eksisting.



Gambar 2.11 Tiang Portal



6. Tiang kombinasi (combined tower)

Yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.



Gambar 2.12 Tiang Kombinasi

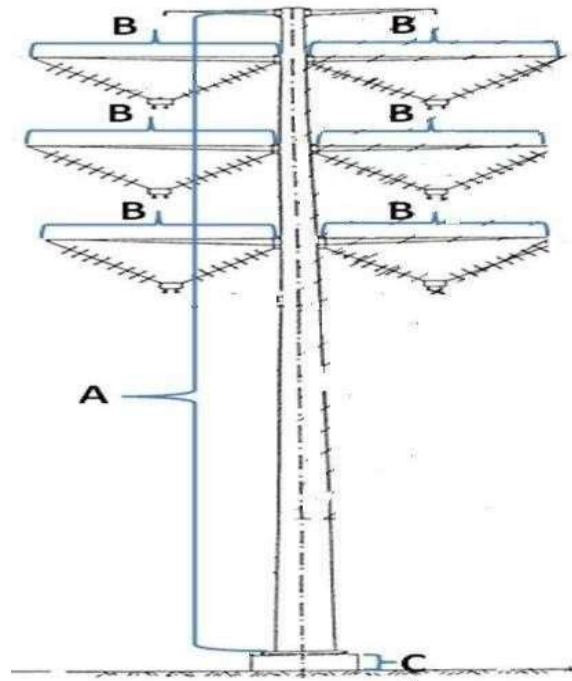
#### 2.4.2 Tiang Menurut Bentuk

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 :

1. Tiang pole baja
2. Tiang pole beton



Gambar 2.13 Konstruksi tiang pole

Konstruksi tiang pole terdiri dari 3 bagian utama yaitu :

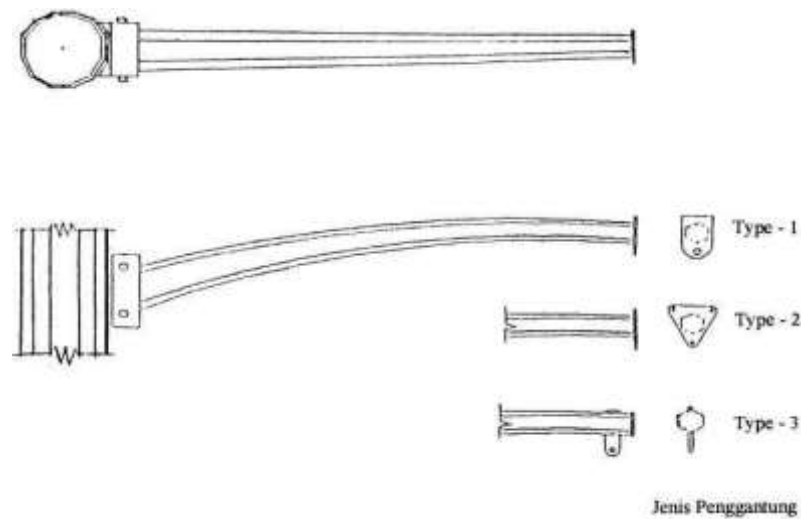
a. Tiang

Tiang adalah bagian utama dari tiang pole yang berfungsi sebagai penopang dari palang dan insulator. Untuk pemakaian pada saluran dengan jarak rentang yang panjang (menyeberang sungai, lembah dan sebagainya), digunakan tiang khusus yang konstruksinya dan dimensinya dibuat lebih besar serta lebih kuat dari pada jenis tiang yang standar. Tiang baja terbuat dari high steel yang berpenampang poligonal atau bulat, sedangkan tiang beton terbuat dari beton pra-tekan berpenampang bulat.

b. Palang (travers)

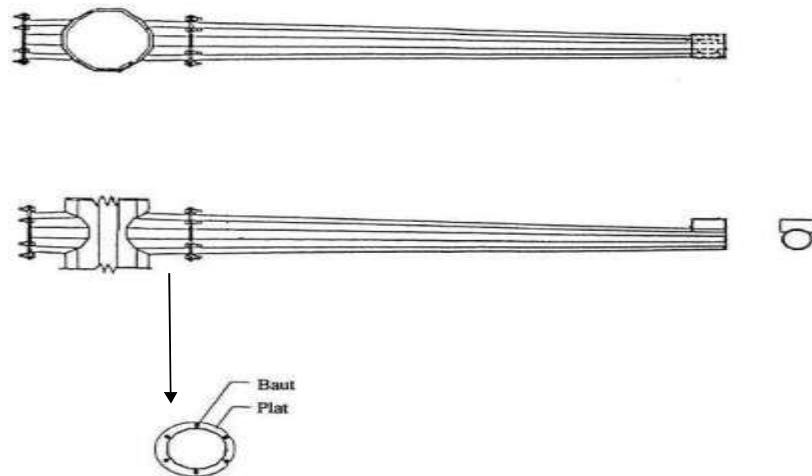
Jenis palang yang digunakan :

- palang poligonal lengkung (davit)



Gambar 2.14 Palang poligonal lengkung (davit)

- palang poligonal lurus



Gambar 2.15 Palang poligonal lurus

Traverse davit dan Traverse poligonal lurus dipergunakan untuk SUTT tiang tunggal. Sedangkan untuk SUTT tiang ganda menggunakan traverse lurus.



Gambar 2.16 Traverse lurus

Bahan palang terbuat dari bahan baja mutu ASTM A-572 dengan minimum Grade 50 dan digalvanis.

c. Pondasi

Jenis pondasi yang digunakan pada tiang pole adalah :

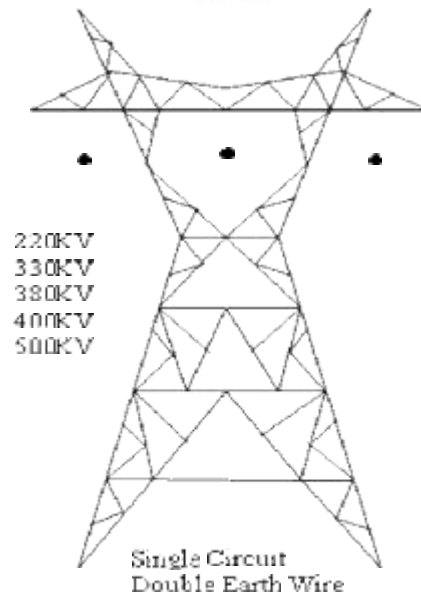
1. Pondasi bor yang terdiri atas :
  - a. Pondasi bor poros lurus
  - b. Pondasi bor tanam langsung
2. Pondasi beton bertulang dengan baut angkur, terdiri atas :
  - a. Pondasi beton bertulang dengan tiang pancang
  - b. Pondasi beton bertulang tanpa tiang pancang

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 :

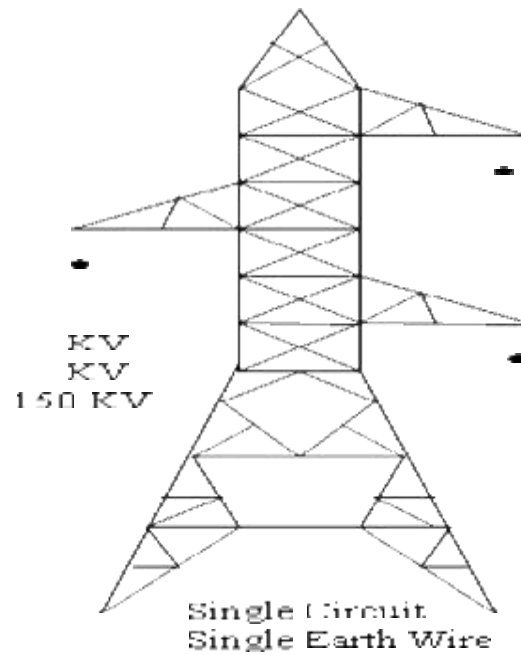


a. Tiang delta (delta tower)



Gambar 2.17 Tiang delta

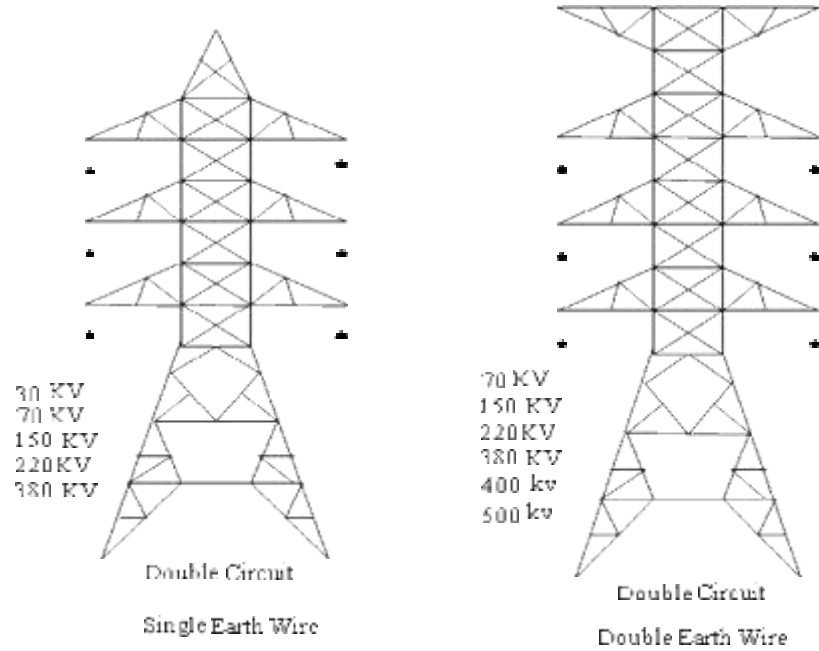
b. Tiang zig-zag (zig-zag tower)



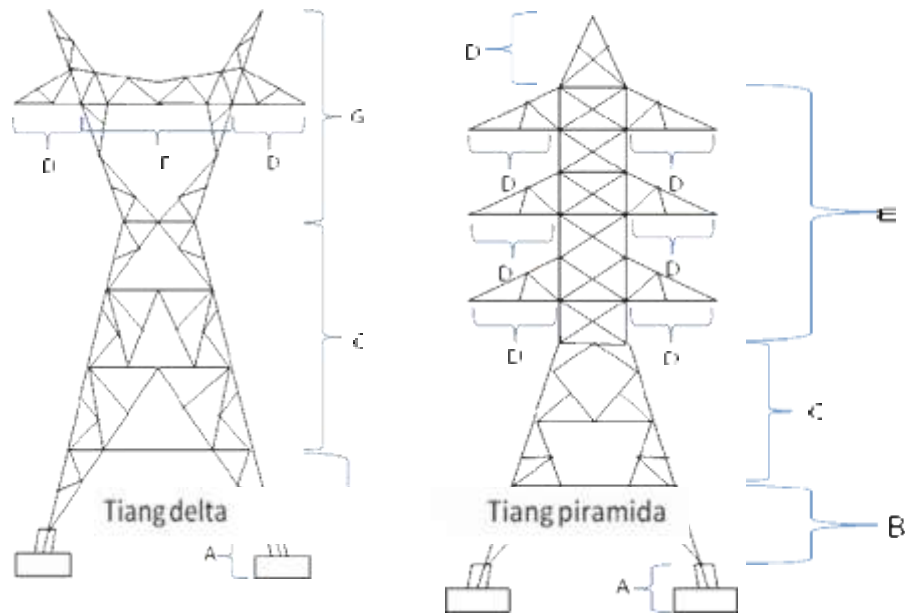
Gambar 2.18 Tiang zig-zag



c. Tiang piramida (pyramid tower)



Gambar 2.19 Tiang piramida



Gambar 2.20 Konstruksi tiang lattice



### **2.4.3 Pondasi Tower**

Pondasi adalah konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub) dengan bumi. Jenis pondasi tower beragam menurut kondisi tanah tempat tapak tower berada dan beban yang akan ditanggung oleh tower. Pondasi tower yang menanggung beban tarik (tension) dirancang lebih kuat / besar daripada tower tipe suspension.

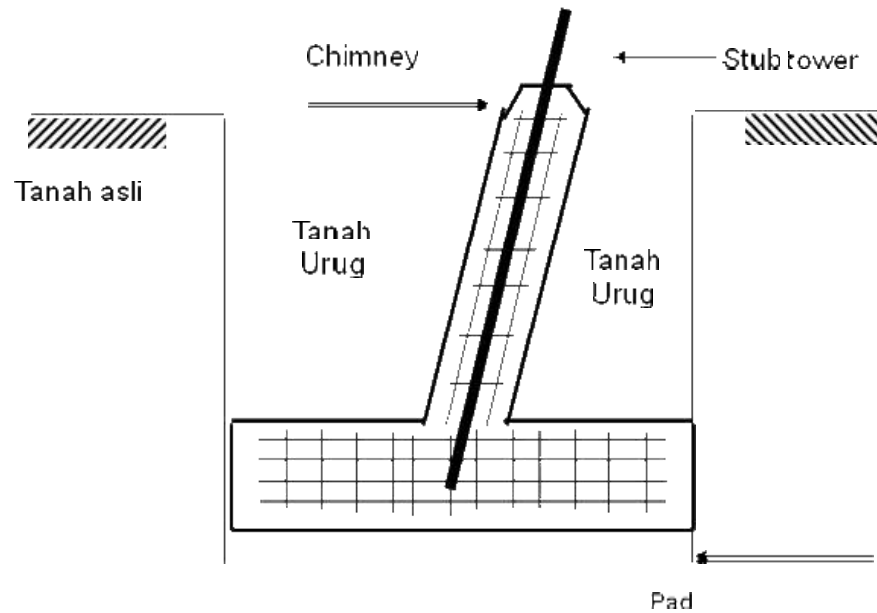
Jenis pondasi :

- Normal, dipilih untuk daerah yang dinilai cukup keras tanahnya.
- Spesial : Pancang (fabrication dan cassing), dipilih untuk daerah yang lembek / tidak keras sehingga harus diupayakan mencapai tanah keras yang lebih dalam.
- Raft, dipilih untuk daerah berawa / berair.
- Auger, dipilih karena mudah pengerjaannya dengan mengebor dan mengisinya dengan semen.
- Rock drilled, dipilih untuk daerah berbatuan.

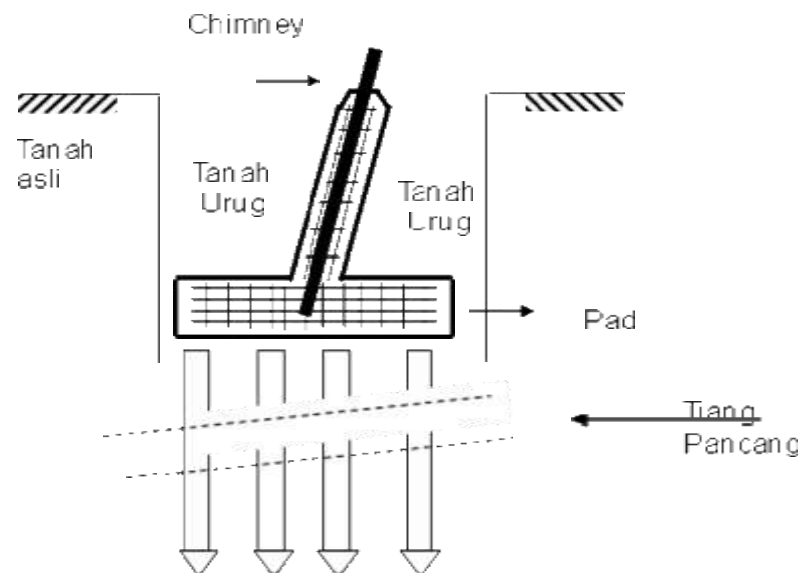
Stub adalah bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi. Bagian atas stub muncul dipermukaan tanah sekitar 0,5 sampai 1 meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat. Pemasangan stub paling menentukan mutu pemasangan tower, karena harus memenuhi syarat :

- Jarak antar stub harus benar
- Sudut kemiringan stub harus sesuai dengan kemiringan kaki tower
- Level titik hubung stub dengan kaki tower tidak boleh beda 2 mm (milimeter).

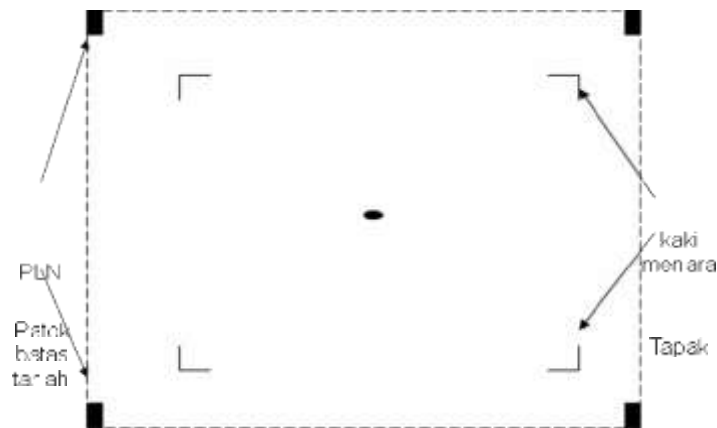




Gambar 2.21 Pondasi normal



Gambar 2.22 Pondasi spesial (pancang)



Gambar 2.23 Halaman tower

## 2.5 Proteksi Petir

SUTT & SUTET merupakan instalasi penting yang menjadi target mudah (easy target) bagi sambaran petir karena strukturnya yang tinggi dan berada pada lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTT / SUTET merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT / SUTET, sehingga pada SUTT / SUTET timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT / SUTET. Tegangan lebih akibat sambaran petir sering disebut surja petir.

Jika tegangan lebih surja petir tiba di GI, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan GI. Oleh karena itu, perlu dibuat alat pelindung agar tegangan surja yang tiba di GI tidak melebihi kekuatan isolasi peralatan GI. Komponen-komponen yang termasuk dalam fungsi proteksi petir adalah semua komponen pada SUTT & SUTET yang berfungsi dalam melindungi saluran transmisi dari sambaran petir, yang terdiri dari :

### 2.5.1 Konduktor Tanah (*Earth Wire*)

Konduktor tanah atau Earth wire adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Konduktor ini dipasang di atas konduktor fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, dengan anggapan petir menyambar dari atas



konduktor. Namun, jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan konduktor fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.



Gambar 2.24 Konduktor tanah

Konduktor tanah terbuat dari baja yang sudah digalvanis, maupun sudah dilapisi dengan aluminium. Pada SUTET yang dibangun mulai tahun 1990an, di dalam ground wire difungsikan fiber optic untuk keperluan telemetri, teleproteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (Optic Ground Wire), sehingga mempunyai beberapa fungsi.

Jumlah konduktor tanah pada SUTT maupun SUTET paling sedikit ada satu buah di atas konduktor fasa, namun umumnya dipasang dua buah. Pemasangan satu buah konduktor tanah untuk dua penghantar akan membuat sudut perlindungan menjadi besar sehingga konduktor fasa mudah tersambar petir. Pada tipe penegang, pemasangan konduktor tanah dapat menggunakan klem penegang dengan press dan klem penegang dengan mur baut. Sedangkan pada tipe penyangga digunakan suspension clamp untuk memegang konduktor tanah.

### **2.5.2 Konduktor Penghubung Konduktor Tanah**

Untuk menjaga 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 tiang maupun antar konduktor tanah. Sedangkan pada tipe penyangga, konduktor penghubung dipasang pada tiang dan disambungkan ke konduktor tanah dengan klem jembatan ataupun dengan memasangnya pada suspension clamp konduktor tanah.



Gambar 2.25 Konduktor penghubung konduktor tanah

### 2.5.3 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). Arcing horn terpasang pada SUTT / SUTET yaitu :

1. Arcing horn sisi penghantar



Gambar 2.26 Arcing horn sisi penghantar

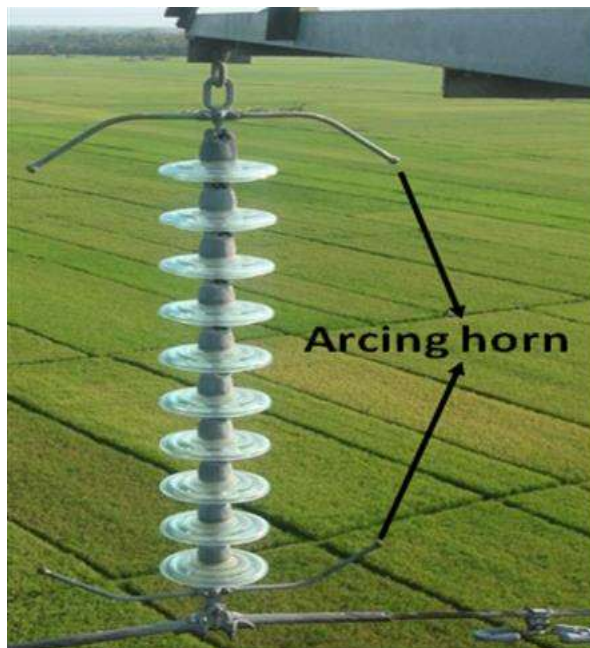


## 2. Arcing horn sisi tower



Gambar 2.27 Arcing horn sisi tower

## 3. Bentuk lain dari arcing horn



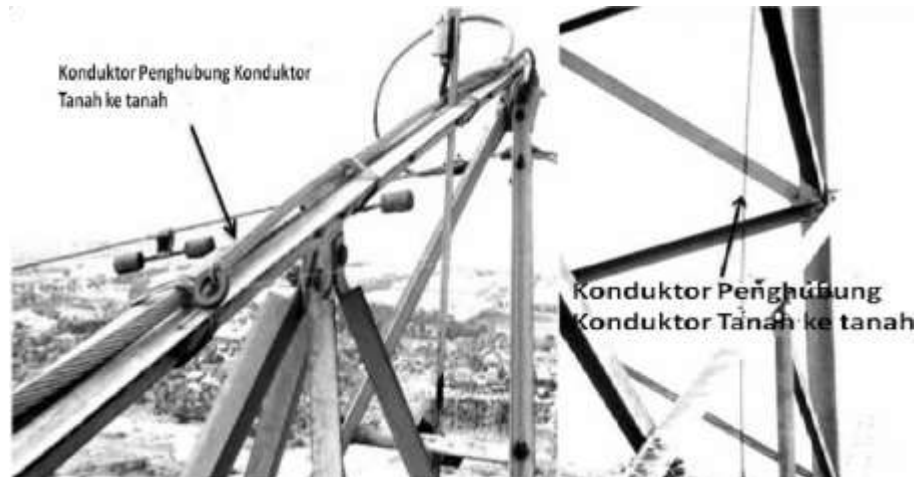
Gambar 2.28 Bentuk lain arcing horn

### **2.5.4 Konduktor Penghubung Konduktor Tanah ke Tanah**

Pada tiang SUTT & SUTET 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 / SUTET dapat langsung disalurkan ke tanah dengan pertimbangan bahwa nilai hambatan konduktor lebih kecil dibandingkan nilai hambatan tiang.



Gambar 2.29 Konduktor penghubung konduktor tanah ke tanah

Ujung bagian atas konduktor ini dihubungkan langsung dengan konduktor tanah menggunakan klem jembatan atau dihubungkan dengan batang penangkap petir yang dipasang di atas tiang. Sedangkan ujung bagian bawahnya dihubungkan dengan pentanahan tiang. Dengan pemasangan konduktor penghubung diharapkan tidak terjadi arus balik yang nilainya lebih besar daripada arus sambaran petir yang sesungguhnya, sehingga gangguan pada transmisi dapat berkurang.