



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900 sebelumnya sistem – sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem – sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, baru diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal ini biasa menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem pelayannya sendiri.

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengetan listrik, dan mengamankan komponen – komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik<sup>1</sup>. Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut<sup>2</sup>:

1. Membuat jalur resistansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkain yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge currents*).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang lindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

---

<sup>1</sup> Sumardjati, 2005:159

<sup>2</sup> Pabla, As dan Abdul Hadi, 1991:154



## 2.2 Tujuan Pentanahan

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah<sup>3</sup>:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik.
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik.
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover.
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.

Pengetanahan peralatan berlainan dengan pengetanahan sistem, yaitu pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan dari pengetanahan peralatan tersebut adalah<sup>4</sup>:

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian - bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Secara singkat tujuan pengetanahan itu dapat diformulasikan sebagai berikut<sup>4</sup>:

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran

---

<sup>3</sup> Sumardjati, 2005:159

<sup>4</sup> Hutauruk, 1991:125



atau ledakan pada bangunan atau isinya.

3. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

## **2.3 Komponen Sistem Pentanahan**

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian, yaitu hantaran penghubung dan elektroda pentanahan.

### **2.3.1 Hantaran Penghubung**

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar (*conductor*) yang menghubungkan titik kontak pada badan atau kerangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Fungsi hantaran penghubung adalah untuk menyalurkan arus gangguan ke elektroda pada sistem pentanahan. Penghantar yang digunakan dapat berupa penghantar yang berisolasi atau kabel dan juga penghantar yang tidak berisolasi seperti BC (*Bare Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Bahan yang digunakan kebanyakan terbuat dari aluminium dan tembaga. Dalam hal pentanahan untuk peralatan sering digunakan penghantar dengan tembaga atau BC.

Antara hantaran penghubung dan elektroda pentanahan harus dipasang sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistansi pembedaan sehingga penempatan sambungan tersebut harus pada tempat mudah dicapai. Sambungan hantaran penghubung ini dengan elektroda harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan baik misalnya dengan menggunakan penyambungan las, klem, atau baut kunci yang mudah lepas. Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10mm<sup>2</sup>. Selain faktor diatas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar penghantar penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa lama terjamin.



### 2.3.2 Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

1. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.

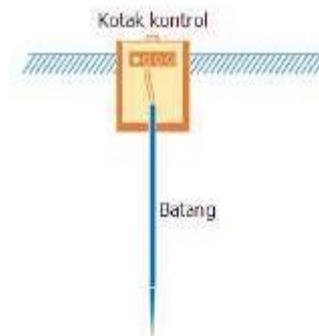
Pada umumnya elektroda - elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya untuk kedalaman beberapa puluh sentimeter didalam tanah. Untuk itu ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai seperti elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.

#### 1. Elektroda Batang

Elektroda Batang (*Rod*), yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Sumardjati, 2005:168



Gambar 2.1 Elektroda Batang

Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{A} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

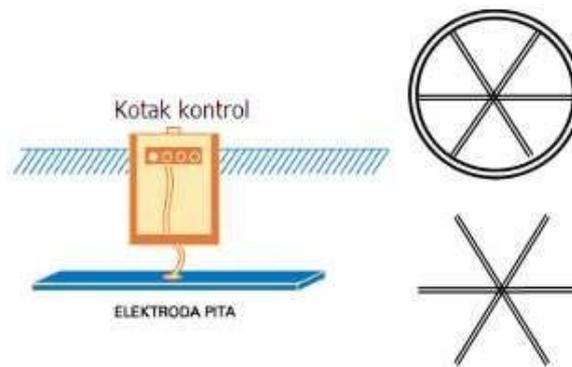
A = Diameter elektroda (meter)

## 2. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapat lapisan – lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan batang hantaran secara vertical ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar dan dangkal. Disamping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi



oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya<sup>6</sup>



Gambar 2.2 Elektroda Pita

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan :

$$R = R_w = \frac{\rho}{\pi LW} \left[ \ln \left( \frac{2LW}{\sqrt{dWZW}} \right) + \frac{1,4LW}{\sqrt{AW}} - 5,6 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

$R_w$  = tahanan dengan kisi – kisi (grid) kawat (ohm)

$\rho$  = tahanan jenis tanah (ohm-meter)

$LW$  = Panjang total grid kawat (meter)

$dW$  = diameter kawat (meter)

$AW$  = luasan yang dicakup oleh grid (meter<sup>2</sup>)

$ZW$  = kedalaman penanaman (meter)

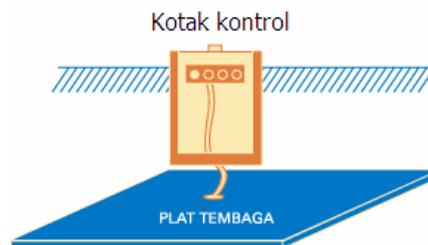
### 3. Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam tanah. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan peralatan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang

<sup>6</sup> Sumardjati, 2005:169



lain<sup>7</sup>. Bentuk elektroda plat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang. Cara penanaman biasanya secara vertikal, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 2.3 Elektroda Plat

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{8W}{0,5W+T} \right) \right] - 1 \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

R = tahanan pentanahan pelat (ohm)

$\rho$  = tahanan jenis tanah (ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

W = lebar elektroda (meter)

T = tebal elektroda (meter)

Untuk melihat ukuran minimum elektroda pentanahan lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.1.

<sup>7</sup> Sumardjati, 2005:169



Tabel 2.1 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan (PUIL, 2000:82)

No	Bahan Jenis Elektroda	Baja Digalvanisasi dengan Proses Pemanasan	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
1	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)
2	Elektroda Batang	- Pipa Baja 25 mm - Baja Profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1m <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m <sup>2</sup> sampai 1m <sup>2</sup>



## 2.4 Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

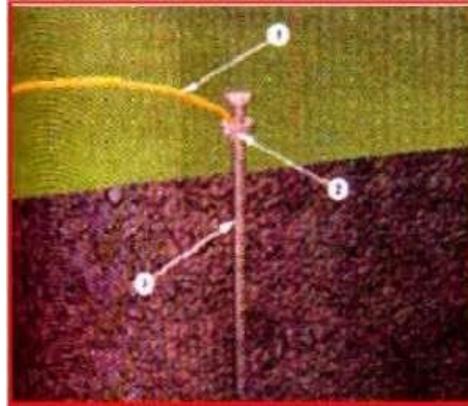
Dalam sebuah instalasi listrik ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut dibumikan empat bagian dari instalasi listrik ini adalah<sup>8</sup>:

1. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
2. 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.
3. 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
4. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Secara teoritis, tahanan dari tanah atau bumi adalah nol karena luas penampang bumi takterhingga. Tetapi kenyataannya tidak demikian, artinya tahanan pentanahan nilainya tidak nol. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya tahanan kontak antara alat pentanahan dengan tanah dimana alat tersebut dipasang (dalam tanah).

---

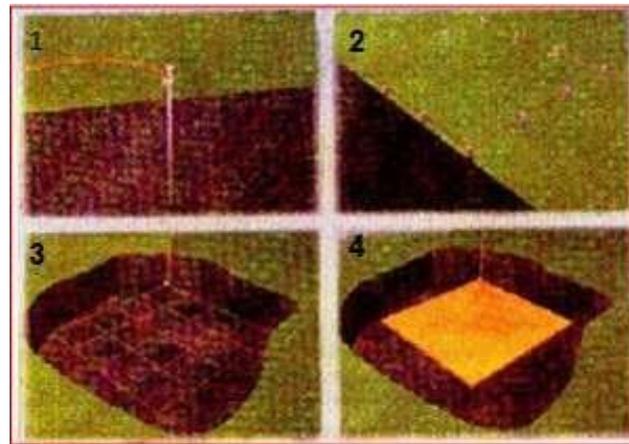
<sup>8</sup> Marsudi, 2005:76



Gambar 2.4 Batang Pentanahan Beserta Aksesorisnya

- Keterangan :
1. Konduktor
  2. Penghubung antara konduktor dengan elektroda tanah
  3. Elektroda tanah

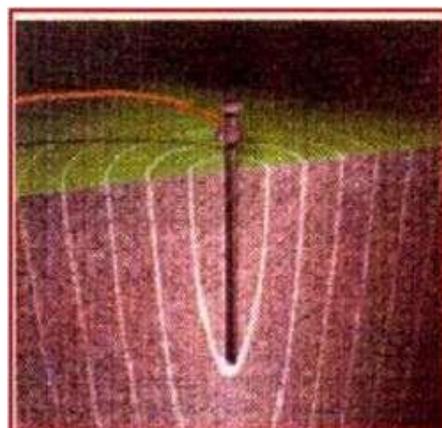
Tahanan pentanahan selain ditimbulkan oleh tahanan kontak tersebut di atas juga ditimbulkan oleh tahanan sambungan antara alat pentanahan dengan kawat penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pentanahan adalah tahanan dari tanah yang ada di sekitar alat pentanahan yang menghambat aliran muatan listrik (arus listrik) yang keluar dari alat pentanahan tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pentanahan ini menghadapi bagian - bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tanah yang sama tahanan jenisnya dipengaruhi oleh kedalamannya. Makin dalam letaknya, umumnya makin kecil tahanan jenisnya, karena komposisinya makin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pentanahan, makin dalam pemasangannya akan makin baik hasilnya dalam arti akan didapat tahanan pentanahan yang makin rendah.



Gambar 2.5 Macam – macam alat pentanahan

Dari Gambar 2.5 tampak bahwa ada empat alat pentanahan, yaitu :

1. Batang pentanahan tunggal (*single grounding rod*).
2. Batang pentanahan ganda (*multiple grounding rod*). Terdiri dari beberapa batang tunggal yang dihubungkan parallel.
3. Anyaman pentanahan (*grounding mesh*), merupakan anyaman kawat tembaga.
4. Pelat pentanahan (*grounding plate*), yaitu pelat tembaga.



Gambar 2.6 Batang pentanahan dan lingkaran pengaruhnya

Gambar 2.6 menggambarkan batang pentanahan beserta lingkaran pengaruhnya (*sphere of influence*) di dalam tanah. Tampak bahwa semakin dalam letaknya di dalam tanah sampai kedalaman yang sama dengan kedalaman batang pentanahan, garis lingkaran pengaruh ini semakin dekat dengan batang pentanahan. Hal ini disebabkan oleh adanya variasi tahanan jenis tanah.

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah dan Tahanan Pentanahannya<sup>9</sup>

Macam Tanah	Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )					
	Kedalaman Batang Pentanahan (m)			Panjang Pita Pentanahan (m)		
	3	6	10	5	10	20
1. Humus lembab	10	5	3	12	6	3
2. Tanah pertanian, tanah liat	33	17	10	40	20	10
3. Tanah liat berpasir	50	25	15	60	30	15
4. Pasir lembab	66	33	20	80	40	20
5. Pasir kering	330	165	100	400	200	100
6. Beton 1:5	-	-	-	160	80	40
7. Kerikil lembab	160	80	48	200	100	50
8. Kerikil kering	330	165	100	400	200	100
9. Tanah berbatu	1.000	500	300	1.200	600	300
10. Batu karang	-	-	-	-	-	-

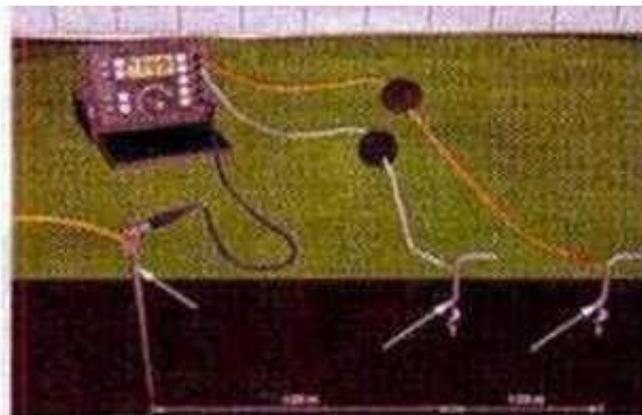
Tabel 2.2 menggambarkan tahanan pentanahan dengan berbagai kedalaman dan apabila digunakan pita pentanahan (*grounding strip*) dengan berbagai ukuran panjang. Dari tabel ini terlihat bahwa untuk memperoleh tahanan pentanahan  $6 \Omega$  di

<sup>9</sup> Marsudi, 2005:78



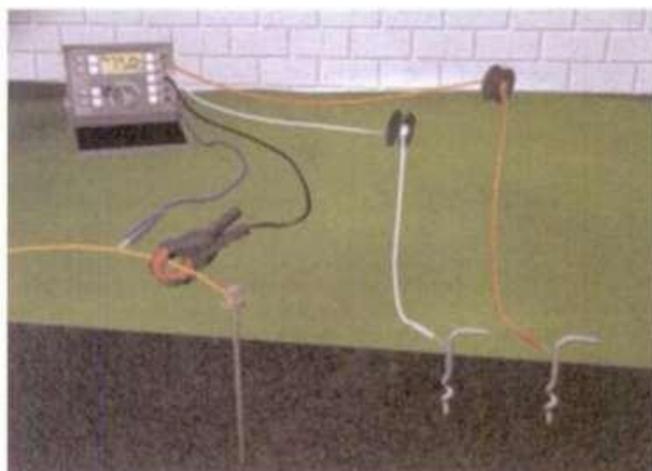
tanah humus lembab, batang pentanahannya cukup dipancang sedalam 5 meter tetapi bila di pasir kering kedalamannya harus 165 meter.

Cara mengukur tahanan tanah secara umum adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Cara Mengukur Tahanan Pentanahan

Pada gambar ini tampak batang pentanahan yang akan diukur tahanan pentanahannya ditanam paling kiri. Paling kanan adalah batang pembantu untuk menyuntikkan arus dari alat pengukur tahanan pentanahan. Arus kemudian mengalir kembali ke alat pengukur melalui batang pentanahan dan kabel warna biru (paling kiri). Sementara pengukuran dilakukan, konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan alat yang ditanahkan oleh batang ini harus dilepas. Alat pengukur ini mengukur tegangan antara batang pembantu yang ada di tengah dan batang pentanahan. Selanjutnya alat pengukur ini akan menghitung tahanan pentanahan menurut hukum Ohm:  $R = \frac{V}{I}$ , di mana  $V$  adalah besarnya tegangan yang diukur seperti tersebut di atas dan  $I$  adalah besarnya arus yang kembali melalui batang pentanahan, yaitu yang melalui kabel warna biru paling kiri. Dengan menggunakan transformator arus jepit (*clamp on current transformer*), seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penggunaan *Transformator Arus Jepit*

Pengukuran tahanan pentanahan seperti tersebut di atas dapat dilakukan tanpa memerlukan pelepasan hubungan konduktor yang menghubungkan batang pertanahan dengan alat yang ditanahkan, karena dengan menggunakan transformator arus jepit, arus yang diukur sudah pasti adalah seluruh arus yang melalui batang pentanahan yang bersangkutan. Sedangkan pada cara pengukuran menurut Gambar 2.7, apabila konduktor penghubung alat yang ditanahkan tidak dilepas, kemungkinan ada arus yang mengalir ke alat tersebut sehingga arus yang masuk ke alat pengukur tidak seluruh arus yang melewati batang pentanahan dan terjadilah kekeliruan dalam mengukur tahanan pentanahan  $R = \frac{V}{I}$ . Misalnya apabila yang dimaksud adalah sebuah tiang transmisi, maka arus yang disuntikkan alat pengukur sebagian dapat mengalir melalui tiang transmisi yang ditanahkan melalui batang pentanahan yang sedang diukur tahanan pentanahannya, kemudian terus mengalir ke kawat petir saluran transmisi dan turun ke tanah melalui tiang-tiang transmisi yang berhubungan dengan kawat petir ini. Dengan menggunakan cara pengukuran seperti Gambar 2.8, yaitu menggunakan transformator arus jepit, kekeliruan pengukuran tersebut di atas dapat dihindarkan walaupun konduktor



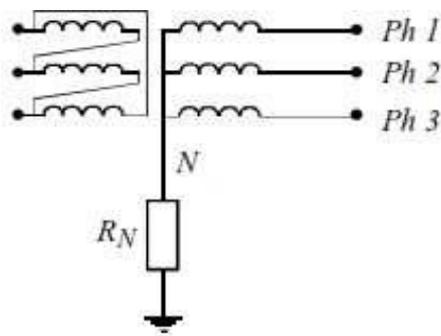
penghubung ke tiang transmisi tidak dilepas<sup>10</sup>.

## 2.5 Sistem – Sistem Yang Diketanahkan

Sistem – sistem yang diketanahkan adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau transformator atau titik hantar tegangan atau hantaran netral. Jenis - jenis sistem yang diketanahkan antara lain.

### 2.5.1 Titik Netral Ditanahkan Melalui Tahanan

Dalam pentanahan ini harga tahanan mempunyai harga ohm yang tinggi dibandingkan dengan reaktansi sistem sehingga arus *line to ground fault* dibatasi oleh resistor tersebut. Dalam transmisi tegangan tinggi atau sistem kabel, arus kapasitif yang terjadi adalah kecil dibandingkan dengan arus resistif dan dapat diabaikan. Tetapi apabila terjadi *line to ground fault* terjadi kerugian tenaga yang besar pada resistor. Besarnya nilai ohm dari *grounding* resistor tergantung pada besarnya tegangan sistem dan kapasitas sistem<sup>11</sup>.



Gambar 2.9 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan

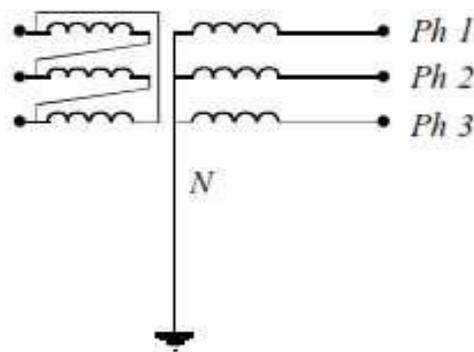
<sup>10</sup> Marsudi, 2005:79

<sup>11</sup> Samaulah, 2004:75



### 2.5.2 Titik Netral Ditanahkan Langsung (Solid Grounding)

Pentanahan ini ialah apabila titik netral dari trafo kita hubungkan langsung ke tanah. Sistem ini apabila terjadi gangguan kawat tanah akan mengakibatkan terganggunya kawat (*line outage*) dan gangguan ini harus diisolasi dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan untuk mentanahkan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa – fasa yang tidak terganggu, bila terjadi gangguan kawat tanah<sup>12</sup>. Adapun sistem pentanahan titik netral langsung ditunjukkan oleh gambar 2.10



Gambar 2.10 Pentanahan Titik Netral Langsung

### 2.5.3 Titik Netral Ditanahkan Melalui Reaktansi

Sistem pentanahan ini ialah menghubungkan titik netral trafo tenaga ketanah dengan suatu reaktansi yang besarnya tertentu, ( $X_0 \leq 10X_1$ ). Dilihat dari besarnya perbandingan  $X_0$  dan  $X_1$  sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan *Petersen*. Keuntungan dari sistem pentanahan melalui reaktansi adalah<sup>13</sup>:

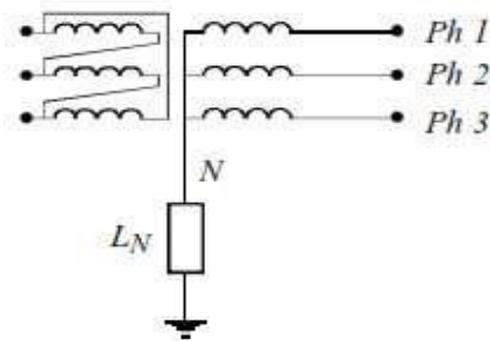
- a. Arus hubung singkat diperkecil.
- b. Tegangan fasa-fasa yang terganggu terbatas naiknya.
- c. *Arching ground* tidak membahayakan

<sup>12</sup> Samaulah, 2004:76

<sup>13</sup> Samaulah, 2004:77



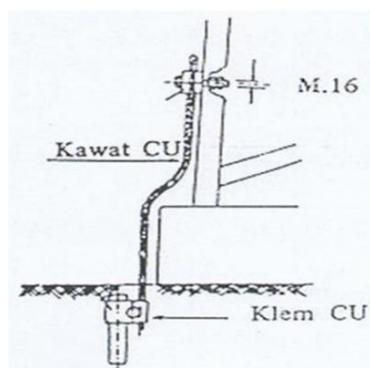
Contoh gambar dari sistem pentanahan titik netral melalui reaktansi dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pentanahan Titik Netral Melalui Reaktansi

## 2.6 Pentanahan Kaki Tower (Grounding Tower)

Pentanahan adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tower SUTT maupun SUTET ke tanah dan menghindari terjadinya *back flashover* pada *insulator* saat *grounding* sistem terkena sambaran petir. Pentanahan tower terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/ tembaga disekitar pondasi tower yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir.

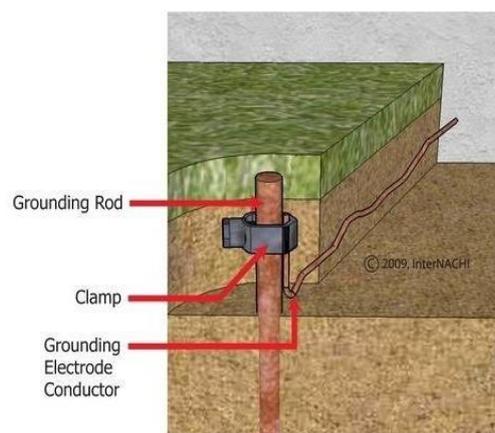




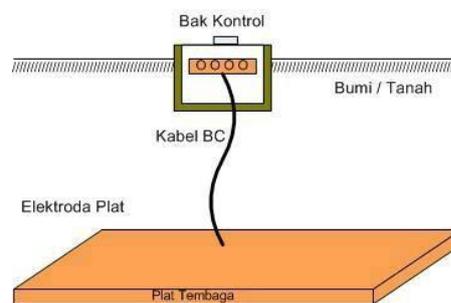
Gambar 2.12 Pentanahan Tower

Jenis-jenis pentanahan tower pada SUTT/ SUTET:

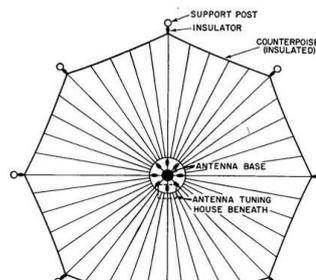
1. Electroda bar, yaitu suatu rel logam yang ditanam di dalam tanah. Pentanahan ini paling sederhana dan efektif, dimana nilai tahanan tanah adalah rendah.

Gambar 2.13 *Grounding Electrode Rod*

2. Electroda plat, yaitu plat logam yang ditanam di dalam tanah secara horisontal atau vertikal. Pentanahan ini umumnya untuk pengamanan terhadap petir.

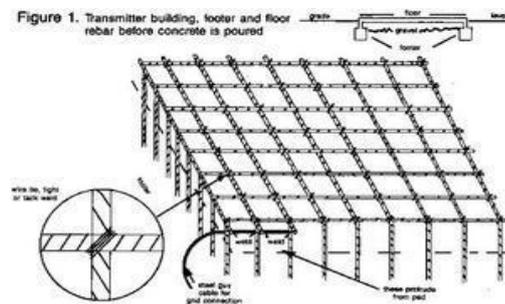
Gambar 2.14 *Grounding Electrode Plat*

3. *Counterpoise* electrode, yaitu suatu konduktor yang digelar secara horisontal di dalam tanah. Pentanahan ini dibuat pada daerah yang nilai tahanan tanahnya tinggi atau untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahan.



Gambar 2.15 *Grounding Counterpoise*

4. Mesh electrode, yaitu sejumlah konduktor yang digelar secara horisontal di tanah yang umumnya cocok untuk daerah kemiringan.

Gambar 2.16 *Grounding Mesh*

Komponen-komponen pentanahan tower:

1. Konduktor pentanahan, terbuat dari bahan yang konduktifitasnya besar.
2. Klem pentanahan atau sepatu kabel.
3. Batang pentanahan.
4. Klem sambungan konduktor pentanahan.

Nilai pentanahan pembumian yaitu dasar atau acuan suatu nilai tahanan dari penghubung suatu titik listrik atau penghantar. Nilai suatu standar pembumian telah diatur dalam SKDIR 520 Transmisi peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini, yaitu kurang dari sama dengan  $10 \Omega$ , dijelaskan bahwa nilai tersebut merupakan batas dari pentanahan tertinggi pembumian (*grounding*) yang masih ditoleransi. Akan tetapi pada keadaan struktur tanah tertentu diperbolehkan hingga

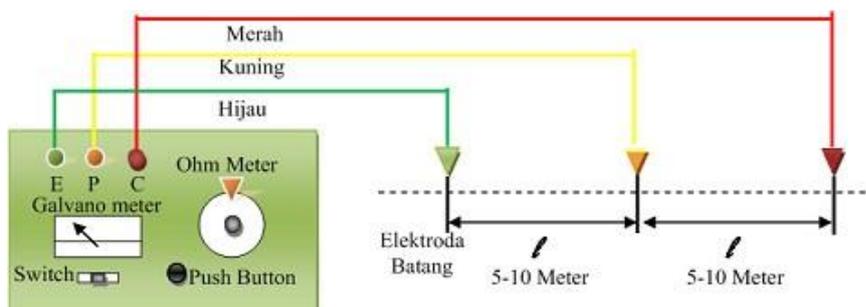


mencapai nilai tahanan  $15 \Omega$ . Apabila nilai pentanahan pembumian (*grounding*) tidak sesuai dengan nilai standarnya maka seharusnya perlu dilakukan upaya untuk menyesuaikan dengan nilai yang telah ditentukan. Jika nilai pentanahan pembumian terlalu besar, maka akan berpengaruh negatif pada komponen dari instalasi tersebut, dikarenakan pembumian yang tidak sempurna akan menimbulkan arus sisa yang akan merusak komponen – komponen penyusun, terutama komponen elektronik yang sangat peka terhadap arus listrik. Alat pengukur nilai pentanahan (*grounding*) *Earth Tester* adalah sebuah alat pengukur pentanahan (*grounding*). Pada dasarnya *grounding* atau pembumian di gunakan untuk mengamankan alat listrik atau elektronika dari induksi listrik ketika terjadi gangguan yang diakibatkan oleh sambaran petir. Untuk mengukur nilai pentanahan tersebut menggunakan *earth tester* tersebut.



Gambar 2.17 *Earth Tester*

Cara pengukuran nilai tahanan pentanahan (*grounding*) menggunakan *Earth Tester* sebagai berikut :



Gambar 2.18 Pengukuran Earth Tester

Periksa kondisi batang elektroda *grounding* menara yang akan diukur. Bila kotor bersihkan dahulu permukaan batang tersebut dengan lap bersih / kertas amplas, agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung bagian permukaan tembaga yang sudah bersih dan untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan pada alat ukur.

- Periksa kondisi dan perlengkapan penunjang alat ukur digital *earth tester*.
- *Earth Tester* mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kebel merah (C), kuning (P) dan hijau (E).
- Mehubungkan kabel ke *Earth Tester* dengan warna yang sudah ditentukan pada alat ukur.
- Mehubungkan kabel merah serta kuning ke tanah dengan masing-masing jarak kurang lebih 5-10 meter dari batang elektroda pentanahan atau *grounding*.
- Mehubungkan juga kabel hijau ke batang elektroda *grounding* yang sudah terpasang.
- Melakukan pengukuran *grounding* (tahanan pentanahan) dengan memutar knob alat ukur pada posisi 20  $\Omega$ , 200  $\Omega$  atau 2000  $\Omega$  tergantung dari kondisi tanah pada area setempat yang akan diukur.
- Kemudian metekan tombol *earth tester* untuk mengetahui pentanahan *grounding* menara, biasanya berwarna kuning / merah dan pada display alat ukur akan muncul nilai tahanan pentanahan.
- Selesai, nilai pentanahan *grounding* sudah diketahui.

Pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik

dari tiang SUTT maupun SUTET ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem 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.

## 2.7 Proteksi Pentanahan Kaki Tower

Indonesia merupakan negara dengan wilayah yang mempunyai kerapatan sambaran petir cukup tinggi, Dengan demikian kemungkinan jaringan transmisi mengalami gangguan petir cukup besar. Telah banyak cara yang digunakan untuk menghindarkan atau mengurangi terputusnya aliran daya listrik akibat sambaran petir, misalnya memasang kawat tanah di atas kawat fase, memperkecil tahanan kaki menara, memasang arrester, dan sebagainya. Tahanan kaki Menara yang rendah dapat diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang-batang pengetanahan (*grounding rod*) dan atau sistem *counterpoise*. Pemilihan penggunaan batang pengetanahan dan atau sistem *counterpoise* tergantung dari tahanan jenis tanah di mana menara tersebut berada.

Pentanahan tiang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir, oleh karena itu nilai pentanahan tiang harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tiang yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai pentanahan tiang sebagai berikut:

Tabel 2.3 Standar Evaluasi Pengujian Resistansi Pentanahan Tower

Peralatan Yang Diperiksa	Tegangan Operasi	Standar
Pentanahan ( <i>Grounding</i> )	70 kV	$\leq 5$ Ohm
	150 kV	$\leq 10$ Ohm
	275 kV / 500 kV	$\leq 15$ Ohm

## 2.8 Tahanan Jenis Tanah



Faktor keseimbangan antaratahanan pentanahan dankapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$  (rho).

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu <sup>14</sup> :

1. Jenis tanah : tanah liat, berbatu, dan lain-lain.
2. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau *uniform*.
3. Kelembaban tanah.
4. Temperatur.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per  $\text{cm}^3$ . Kadang - kadang harga ini dinyatakan dengan harga Ohm per cm.

Untuk mengubah komposisi kimia tanah dapat dilakukan dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembumian dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali.

Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangatlah tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata, maka diperlukan suatu perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu yang tertentu misalnya selama 1 (satu) tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari tingginya permukaan air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembumian dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pembumian mencapai kedalaman dimana terdapat air yang konstan. Penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil pada keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Hutaaruk, 1991:141

<sup>15</sup> Hutaaruk, 1991:142



Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam - macam jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.4 Resistansi Jenis Tanah (PUIL, 2000:80)

No	Jenis Tanah	Tahanan Nilai ( $\Omega$ -m)	Resistansi Jenis ( $\Omega$ -m)
1	Tanah Rawa	30	$\rho < 100$
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100	
3	Pasir Basah	200	$100 < \rho < 300$
4	Kerikil Basah	500	$300 < \rho < 500$
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000	$1000 < \rho < 2000$
6	Tanah Berbatu	3000	$2000 < \rho < 3000$

## 2.9 Konstruksi dan Pondasi Tower

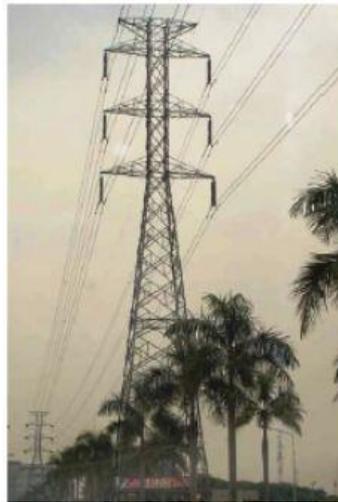
Komponen utama dari Fungsi Konstruksi dan Pondasi pada sistem transmisi SUTT & SUTET adalah Tiang (*Tower*). Tiang adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga / merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dan sekat insulator.



### 2.9.1 Tiang Menurut Fungsi

- 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 2.19 Tiang Penegang

- 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 2.20 Tiang Sudut

- Tiang akhir (dead end tower)

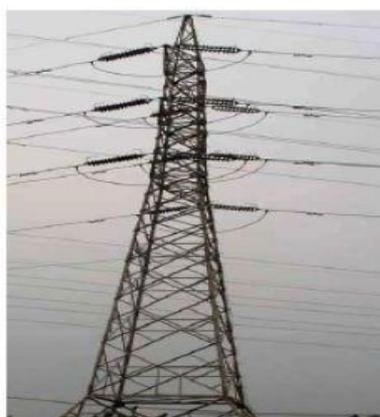
Tiang akhir adalah tiang penegang yang direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik konduktor-konduktor dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET) yang akan masuk ke switch yard Gardu Induk.



Gambar 2.21 Tiang Akhir

- Tiang penyangga (suspension tower)

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





Gambar 2.22 Tiang Penyangga

- 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.
- 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 2.23 Tiang Transposisi

- 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 2.24 Tiang Portal

- Tiang kombinasi (combined tower)

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



Gambar 2.25 Tiang Kombinasi

## 2.9.2 Tiang Menurut Bentuk

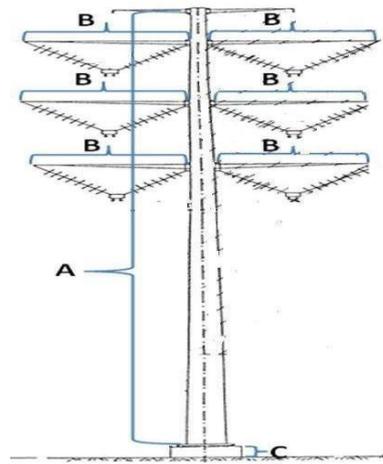
- Tiang pole



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 :

- Tiang pole baja
- Tiang pole beton



Gambar 2.26 Konstruksi tiang pole

Konstruksi tiang *pole* terdiri dari 3 bagian utama yaitu :

a. Tiang

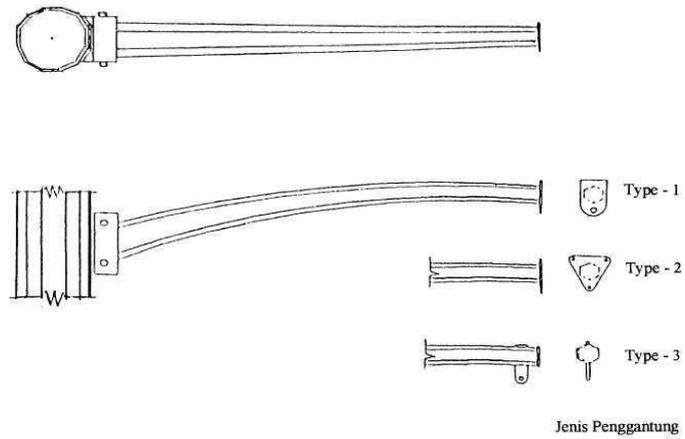
Tiang adalah bagian utama dari tiang *pole* yang berfungsi sebagai penopang dari palang dan insulator. Untuk pemakaian pada saluran dengan jarak rentang yang panjang (menyeberang sungai, lembah dan sebagainya), digunakan tiang khusus yang konstruksi dan dimensinya dibuat lebih besar serta lebih kuat 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 :

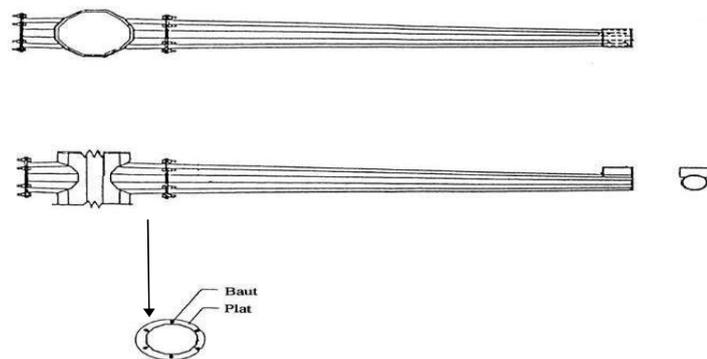


- Palang poligonal lengkung (davit)



Gambar 2.27 Palang poligonal lengkung (davit)

- Palang poligonal lurus



Gambar 2.28 Palang poligonal lurus



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



Gambar 2.29 traverse lurus

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

c. Pondasi

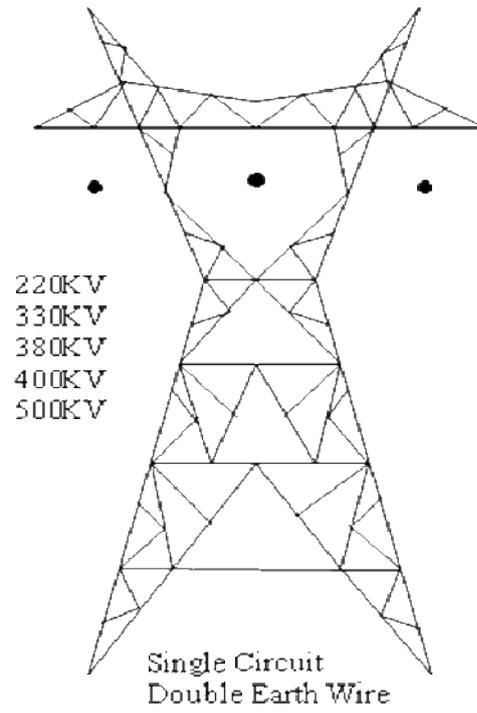
Jenis pondasi yang digunakan pada tiang pole adalah :

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

- Tiang kisi-kisi (lattice tower)

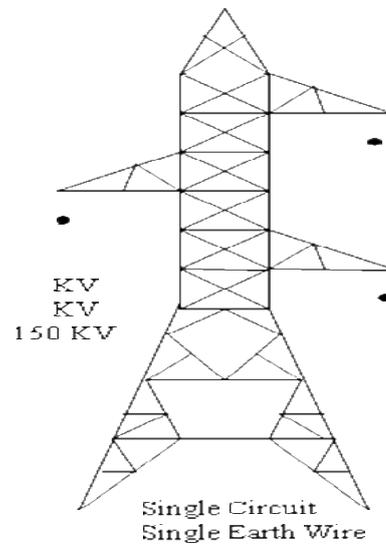
Terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan / konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu :

- a. Tiang delta (delta tower)

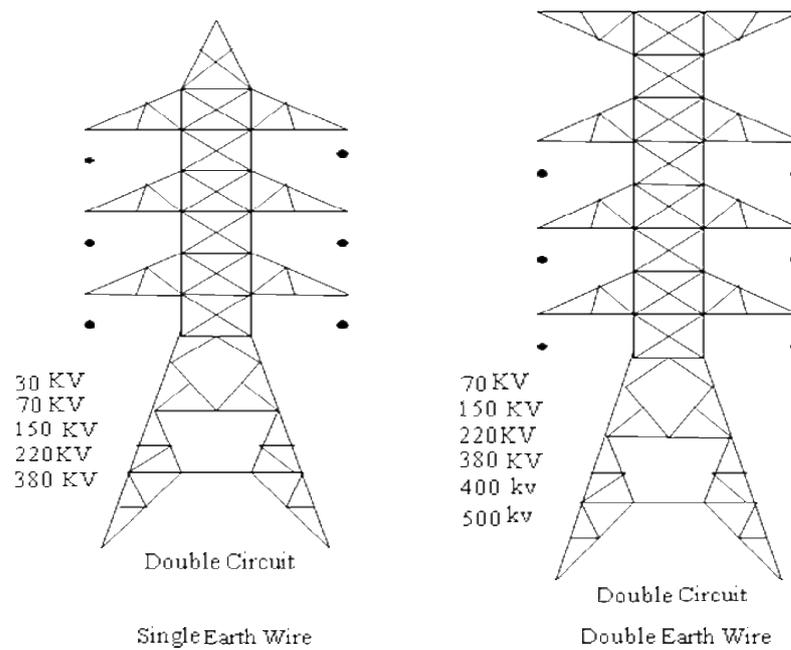


Gambar 2.30 Tiang delta

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



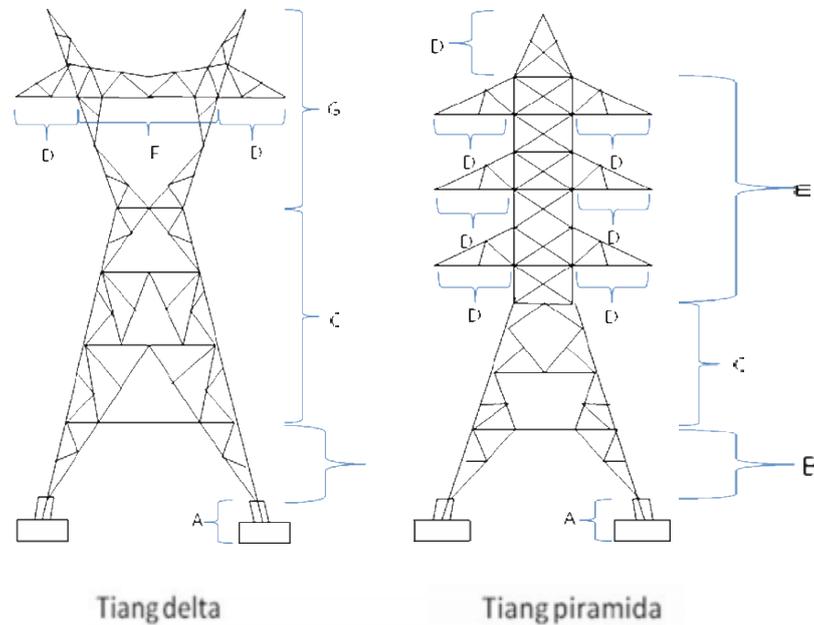
Gambar 2.31 Tiang zig-zag

c. Tiang piramida (*pyramid tower*)

Gambar 2.32 Tiang piramida



d. Bagian-Bagian Tiang Kisi-kisi :



Gambar 2.33 Konstruksi tiang *lattice*

### 2.9.3 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 :

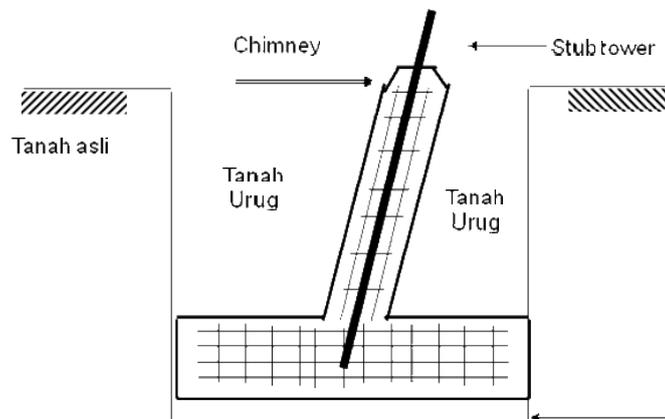
- Normal, dipilih untuk daerah yang dinilai cukup keras tanahnya.
- Spesial : Pancang (*fabrication* dan *cassing*), dipilih untuk daerah yang lembek / tidak keras sehingga harus diupayakan mencapai tanah keras yang lebih dalam.
- *Raft*, dipilih untuk daerah berawa / berair.
- Auger, dipilih karena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



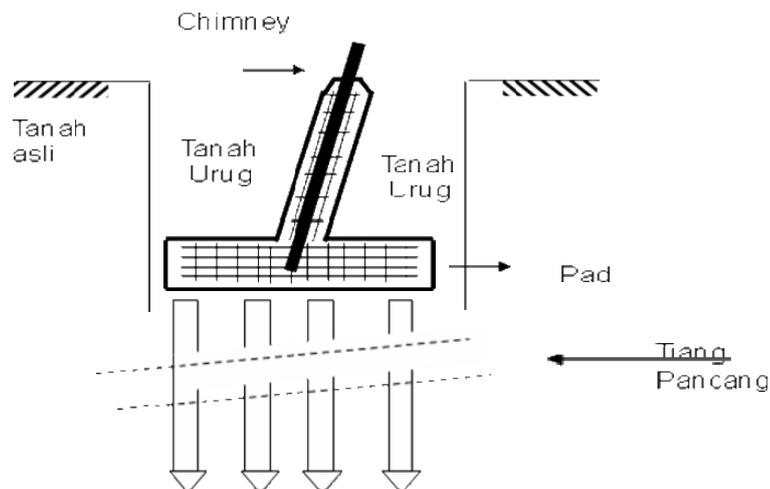
- Rock drilled, dipilih untuk daerah berbatuan.

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).

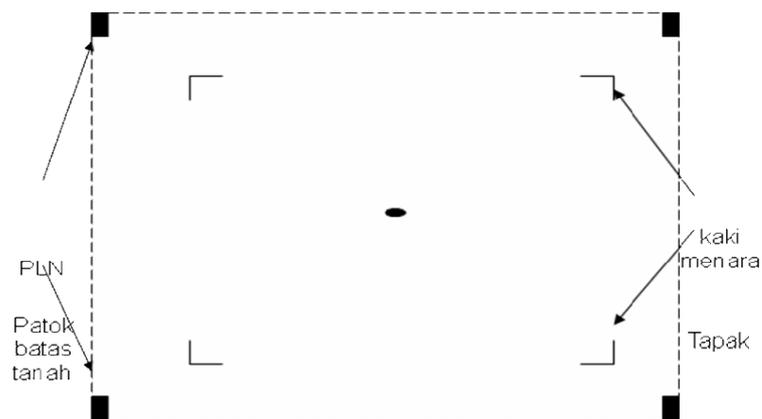


Gambar 2.34 Pondasi normal



Gambar 2.35 Pondasi spesial (pancang)

Halaman tower adalah daerah tapak tower yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar stub tergantung pada jenis tower.



Gambar 2.36 Halaman tower

## 2.10 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 :

### 2.10.1 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 2.37 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.

### 2.10.2 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 2.38 Konduktor penghubung konduktor tanah

### 2.10.3 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 2.39 *Arcing horn* sisi penghantar

2. *Arcing horn* sisi tower



Gambar 2.40 *Arcing horn* sisi tower

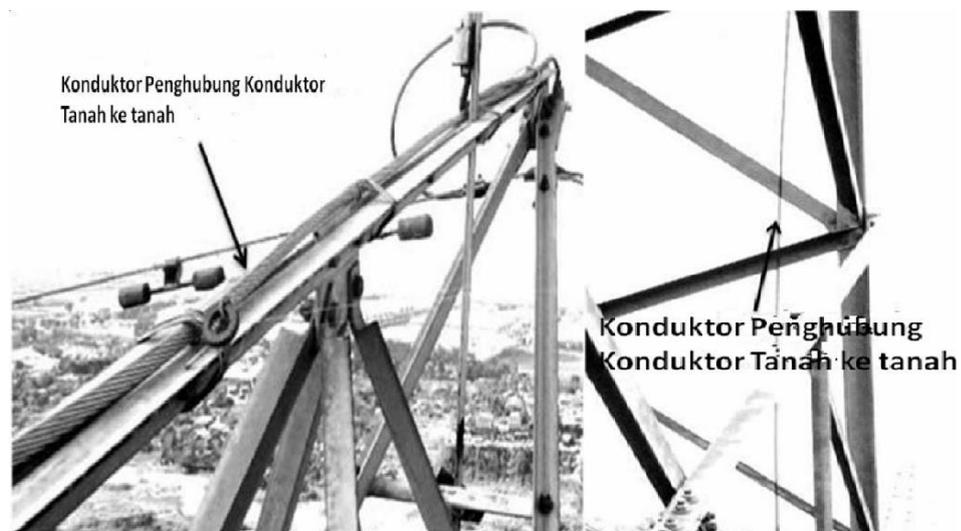
3. Bentuk lain dari *arcing horn*



Gambar 2.41 Bentuk lain *arcing horn*

#### 2.10.4 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 2.42 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.