

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

1. Deni Rhamdani (2008) membahas tentang “*Analisis resistansi tanah berdasarkan pengaruh kelembaban, temperature, dan kadar garam*”, yang bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan terhadap kelembaban, temperatur, dan kadar air. Dengan menggunakan metode penambahan air dan air es kedalam tanah. Hasil yang didapat dari pengujian resistansi tanah adalah pengaruh temperature terhadap resistansi tanah sebanding dimana pada setiap penurunan temperature terjadi penurunan resistansi tanah dan pada kelembaban dan kadar garam berbanding terbalik terhadap resistansi tanah dimana setiap kenaikan kelembaban maka terjadi penurunan resistansi tanah.
2. Aris Sunawar (2013) membahas tentang “*Analisis pengaruh temperatur dan kadar garam terhadap hambatan jenis tanah*”, dalam penelitian menjelaskan, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh garam dan suhu terhadap nilai hambatan, dengan melakukan pengujian hambatan ditanah dengan suhu yang dikondisikan dan penambahan garam, dan mendapatkan hasil, nilai resistivitas suatu tanah dapat dirubah menjadi kecil atau besar bila tanah tersebut diperlakukan secara khusus. Perlakuan dengan menambahkan air dapat memperkecil nilai resistivitasnya sampai dengan 75% dari 323,164 ohm menjadi 77,622 ohm sedangkan penambahan garam mencapai 48% dari semula 51,42 5ohm menjadi 8,707 ohm. Besaran hambatan pentanahan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dan komposisi tanah pendukungnya, faktor kelembaban, suhu dan campuran bahan kimia yang terkandung didalam tanah tersebut.
3. Ir.Leonardus Siregar, MT (2014) membahas tentang “*Analisis pengukuran tahanan pbumian menara transmisi Tirik kuning-Lubuk pakam*”. Penelitian ini bertujuan menganalisis nilai pbumian menara

transmisi, Dengan melakukan metode pengambilan data dan penambahan elektroda untuk nilai pentanahan menara transmisi Titi kuning-Lubuk pakam. Pada penelitian ini mendapatkan hasil adalah pada menara transmisi titik kuning-lubuk pakam dalam kondisi yang baik, dimana nilai tahanan pentanahan tidak lebih dari 10 ohm.

4. Arif Putra Utama (2014) meneliti tentang “*Evaluasi nilai tahanan pentanahan SUTT 150 kv transmisi Maninjau-Simpang empat*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan SUTT 15 Kv dengan menganalisa nilai tahanan pentanahan SUTT 150 kv Maninjau-Simpang empat. Dari 9 tower yang di evaluasi terdapat 1 tower yang nilai tahanan pentanahan yang besar, terdapat pada tower dengan nilai yaitu 18  $\Omega$ . Untuk mengecilkan nilai pada tower 13 maka dilakukan penambahan 4 batang elektroda. Setelah dipasang nilai tower 13 yang awal bernilai 18  $\Omega$  menjadi 7.2  $\Omega$ .
5. Dwi Agus Setiono (2016) meneliti tentang “*pengaruh kandungan air terhadap jenis tanah lempung (Clay)*”, dengan menggunakan tiga titik berdasarkan musim yaitu musim hujan dan musim kemarau dengan variabel kandungan air tanah, suhu dan pH tanah lempung. Dengan hasil pengukur adalah pada saat musim kemarau nilai tahanan jenis tanah lebih besar dari pada saat musim hujan pada tanah lempung.

Untuk lebih rincinya tinjauan pustaka ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Rincian penelitian terkait pada tinjauan pustaka

Peneliti	Judul dan Metode	Hasil
Deni Rhamdoni (2008)	Judul : analisis resistansi pentanahan berdasarkan pengaruh kelembaban, temperatur, dan kadar garam. Metode: menggunakan air dan es	pengujian resistansi tanah adalah pengaruh temperature terhadap resistansi tanah sebanding dimana pada setiap penurunan temperatur terjadi penurunan resistansi tanah dan pada kelembaban dan kadar garam berbanding terbalik terhadap resistansi tanah

Tabel 2.1 Rincian penelitian terkait pada tinjauan pustaka (lanjutan)

Peneliti	Hasil dan Metode	Hasil
Aris sunawar (2013)	Judul : analisis pengaruh temperatur dan kadar garam terhadap hambatan jenis tanah Metode : suhu yang dikondisikan dan penambahan kadar garam.	Besaran hambatan pentanahan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah dan komposisi tanah pendukungnya, faktor kelembaban, suhu dan campuran bahan kimia yang terkandung didalam tanah tersebut
Ir.Leonardus Siregar, MT (2014)	Judul : Analisis pengukuran tahanan pembumian menara transmisi Tirik kuning-Lubuk pakam. Metode:penambahan elektroda pada nilai yang buruk	pada menara transmisi titik kuning-lubuk pakam dalam kondisi yang baik, dimana nilai tahanan pentanahan tidak lebih dari 10 ohm
Arif Putra Utama (2014)	Judul : Evaluasi nilai tahanan pentanahan SUTT 150 kv transmisi Maninjau-Simpang empat Metode:menambahkan 4 elektroda	terdapat 1 tower yang nilai tahanan pentanahan yang besar, terdapat pada tower dengan nilai yaitu 18 $\Omega$ . Untuk mengecilkan nilai pada tower 13 maka dilakukan penambahan 4 batang elektroda. Setelah dipasang nilai tower 13 yang awal bernilai 18 $\Omega$ menjadi 7.2 $\Omega$ .
Dwi Agus Setiono (2016)	Judul : pengaruh kandungan air terhadap jenis tanah lempung (Clay) Metode:dengan variabel kandungan air tanah, suhu dan pH tanah lempung	pada saat musim kemarau nilai tahanan jenis tanah lebih besar dari pada saat musim hujan pada tanah lempung

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Sistem Transmisi

Pembangkit listrik sangat jauh terhadap gardu induk sehingga tenaga listrik disalurkan melalui kawat transmisi ke pemakai tenaga listrik. Bagian dari sistem tenaga listrik adalah:

#### 1. Pembangkit Tenaga Listrik

Generator merupakan pembangkit tenaga listrik. Ada beberapa macam PLT yang ada di Indonesia sebagai berikut:

- a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
- b. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)
- d. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- e. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

#### 2. Transformator Daya

Tegangan listrik pada umumnya antara 6 KV sampai 24 KV yang ada di pembangkit. Untuk menaikkan tegangan dibutuhkan transformator daya yaitu transformator *step up*, agar menjadi 30 KV sampai dengan 500 KV. Tujuan dari menaikkan tegangan agar memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran.

#### 3. Saluran Transmisi

Terdapat dua kategori saluran transmisi, antara lain: saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel tanah (*underground cable*). Saluran udara menyalurkan tenaga listrik melalui kawat telanjang yang digantung pada menara atau tiang transmisi dengan perantara isolator, untuk kabel tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel yang ditanam atau dipasang di bawah permukaan tanah.

#### 4. Gardu Induk

Gardu induk digunakan sebagai transformasi tenaga listrik tegangan tinggi 500 KV menjadi tegangan tinggi 150 KV atau dari tegangan tinggi 150 KV menjadi tegangan menengah 20 KV. Proses transformasi ini menggunakan transformator penurun tegangan (*step down*).

#### 5. Saluran Distribusi Primer

Digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dengan tegangan menengah 20 KV.

#### 6. Transformator Distribusi

Transformator distribusi menggunakan transformator jenis step down untuk menurunkan tegangan menengah 20 KV menjadi tegangan rendah 220 V. Transformator distribusi ini terpasang sepanjang jaring distribusi primer.

#### 7. Saluran Distribusi Skunder

Berfungsi menyalurkan tegangan rendah 220 V untuk digunakan oleh konsumen (masyarakat perumahan).

Sistem transmisi terdapat pada nomor 2, 3, dan 4, dan sistem distribusi terdapat pada nomor 5, 6, dan 7. fungsi sistem transmisi adalah menyalurkan tenaga listrik dalam jumlah besar ke pusat beban atau perusahaan-perusahaan pemakai tenaga listrik dalam jumlah besar. Sedangkan sistem distribusi adalah menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke pemakai tenaga listrik dalam jumlah yang lebih kecil dari sistem transmisi.

Sistem transmisi yang dipakai untuk menyalurkan tenaga listrik dalam jumlah besar adalah sistem transmisi arus bolak – balik 3 fasa, saluran udara. Pada sistem transmisi saluran udara, kawat – kawat digantung pada suatu tiang atau menara. Tegangan sistem transmisi adalah 30 KV sampai 700 KV. Adapun tegangan transmisi yang banyak digunakan di Indonesia adalah dengan tegangan tinggi 150 KV dan dan tegangan ekstra tinggi 500 KV.

Dalam membuat rencana penyaluran tenaga listrik, harus diperhatikan:

- a. Pemilihan tegangan
- b. Pemilihan jenis kawat dan penampang kawat
- c. pemilihan sistem perlindungan terhadap gangguan – gangguan
- d. kontinuitas penyaluran tenaga listrik
- e. pembebasan tanah yang dilalui

Namun, dari semua faktor tersebut, masih ada faktor yang menentukan yaitu faktor ekonomis.

### **2.2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)**

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sarana di atas tanah untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau dari GI ke GI lainnya yang terdiri dari kawat/konduktor yang direntangkan antara tiang – tiang melalui isolator – isolator dengan system tegangan tinggi (30 KV, 70 KV, dan 150 KV). SUTT ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Bagian – bagian utama dari SUTT adalah terdiri dari: menara/tiang transmisi, isolator, kawat penghantar, dan kawat tanah.

1. Menara atau Tiang Transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi. Tiang menurut bentuk atau konstruksinya dibagi menjadi empat macam, yaitu:

- a. Tiang konstruksi baja, terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Tiang jenis ini yang sering disebut dengan tower karena bentuk konstruksinya.
- b. Tiang manesman, terbuat dari pipa baja, dimana ukuran-ukuran panjang, diameter, dan ketebalan dari pipa baja yang akan digunakan disesuaikan dengan keperluan.
- c. Tiang beton bertulang, terbuat dari beton.
- d. Tiang kayu, terbuat dari kayu ulin dan kayu besi yang tidak perlu diawetkan, sedangkan jenis rasamala, kruing, dan damar laut, sebelum dipergunakan, harus dilakukan pengawetan terlebih dahulu agar umur tiang kayu tersebut dapat lebih lama.

Sedangkan tiang menurut fungsinya, terdiri atas:

- a. Tiang penegang (*tension/aspn tower*)

Tiang penegang, digunakan untuk menahan gaya berat dan menahan gaya tarik dari kawat – kawat SUTT.

- b. Tiang penyangga (*suspension/dragh tower*)

Tiang penyangga berfungsi sebagai penopang dan harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang tersebut.

- c. Tiang sudut (*angle tower*)

Tiang sudut adalah tiang penegang yang berfungsi untuk menerima gaya tarik dari perubahan arah SUTT.

- d. Tiang akhir (*dead end tower*)

Tiang akhir adalah tiang penegang yang direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik kawat-kawat dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung SUTT yang akan masuk ke Gardu Induk.

e. Tiang transposisi

Tiang transposisi adalah tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa kawat-kawat SUTT.

Pemilihan macam tiang yang akan dipakai, tergantung pada beberapa faktor, antara lain:

- a. Lokasi atau keadaan medan yang akan dilewati saluran
- b. Biaya pembangunan tiang
- c. Biaya perawatan tiang
- d. Bahan tiang yang diperoleh
- e. Perkiraan lama pemakaian saluran

Jenis tiang yang banyak dipergunakan dalam penyaluran transmisi 150 KV adalah bangunan menara baja atau yang biasa disebut dengan tower SUTT 150 KV. Jenis tiang menara ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jenis tiang menara baja/tower SUTT 150 KV

2. Isolator - isolator

Isolator yang digunakan pada SUTT adalah dari bahan porselen atau gelas dan berfungsi sebagai isolasi tegangan listrik antara kawat penghantar dengan tiang. Jenis isolatornya adalah jenis isolator piring, yang digunakan sebagai

isolator penegang dan isolator gantung, dimana jumlah piringan isolator disesuaikan dengan tegangan sistem SUTT tersebut. Satu piring isolator untuk isolasi sebesar 15 KV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 KV, maka jumlah piring isolatornya adalah 10 piringan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Isolator piring

#### 1. Kawat Penghantar

Kawat penghantar berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari suatu tempat tempat ke tempat lainnya. Jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambing sebagai berikut:

- a. AAC (*All-Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- b. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- d. ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu, kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga. Penghantar dengan campuran aluminium (*aluminium alloy*) digunakan karena dapat memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium. Sebagaimana diketahui bahwa letak antar tiang/menara saluran transmisi yang jauh (ratusan meter), maka dibutuhkan kuat tarik yang tinggi. Penghantar yang digunakan adalah dari jenis aluminium *alloy ACSR*.

## 2. Kawat tanah

Kawat tanah atau juga disebut sebagai kawat ground wires pelindung, gunanya untuk melindungi kawat – kawat penghantar atau kawat- kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tersebut dipasang di atas kawat fasa. Sebagai kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

Pada SUTT, jumlah kawat tanah yang digunakan ada yang menggunakan satu kawat tanah dan ada yang menggunakan dua kawat tanah. Agar dapat memenuhi fungsi kawat tanah sebagai pelindung terhadap sambaran langsung , kawat tanah tersebut harus (*direct stroke*) memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Harus cukup tinggi di atas fasa konduktor dan agar dapat menangkap (*intercept*) pukulan langsung.
- b. Harus mempunyai jarak aman yang cukup terhadap (*clearance*) konduktor pada tengah-tengah rentangan.
- c. Tahanan kaki tower harus cukup rendah untuk memperkecil tegangan yang melintas pada isolator.

Kawat tanah pada tower transmisi dengan menggunakan dua kawat tanah ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 SUTT dengan dua kawat tanah

### **2.2.3 Gangguan-gangguan pada SUTT 150 KV**

#### **1. Definisi Gangguan**

Gangguan didefinisikan sebagai kejadian yang menyebabkan bekerjanya relay dan menjatuhkan Pemutus Tenaga (PMT) di luar kehendak operator, sehingga menyebabkan putusnya aliran daya yang melalui PMT tersebut. 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.

Ditinjau dari sifatnya, gangguan pada SUTT 150 KV terdiri dari gangguan yang bersifat temporer dan bersifat permanen.

#### **a) Gangguan yang bersifat temporer**

Gangguan temporer yaitu gangguan yang berlangsung singkat dan dapat hilang dengan sendirinya. Sebab gangguan ini dapat terjadi karena petir, burung, atau dahan pohon yang menyentuh

kawat fasa SUTT dalam waktu singkat yang dapat menyebabkan terjadinya loncatan api yang dapat mengakibatkan hubung singkat.

b) Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan permanen yaitu gangguan yang berlangsung lama dan tidak dapat hilang dengan sendirinya. Gangguan ini baru bisa diatasi setelah gangguannya dihilangkan. Gangguan ini bisa disebabkan karena ada kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen, misalnya kawat putus atau dahan yang menimpa kawat fasa SUTT. Gangguan temporer yang terjadi berkali-kali dapat menyebabkan timbulnya kerusakan peralatan yang akhirnya dapat menyebabkan gangguan yang bersifat permanen.

## 2. Penyebab Gangguan pada SUTT 150 KV

Faktor – faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada

SUTT adalah:

a. Petir

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

b. Burung atau pohon

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

c. Polusi (debu)

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 timbulnya 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:

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

Ditinjau dari jenisnya, penyebab gangguan dibedakan menjadi:

- a. Gangguan hubung singkat antar fasa
- b. Gangguan hubung singkat fasa dengan tanah
- c. Putus rangkaian
- d. Penurunan nilai isolasi

Sebab gangguan yang paling utama pada SUTT adalah petir. Hal ini disebabkan karena memang jumlah petir di Indonesia tergolong banyak. Hal ini biasanya dinyatakan dengan (IKL), yaitu angka yang *Isokraunic Level* menunjukkan jumlah hari guruh pertahun. Angka IKL di pulau Jawa berkisar antara 20 sampai dengan 135. Parameter – parameter yang mempengaruhi jumlah gangguan karena petir adalah:

- a. Isokraunic Level (IKL)
- b. Konfigurasi kawat tanah
- c. Konstruksi tiang
- d. Tahanan pentanahan
- e. Andongan penghantar

Petir yang menyambar SUTT menimbulkan gelombang berjalan yang merambat ke berbagai arah dan menghasilkan pula gelombang-gelombang pantul yang berinterferensi satu dengan yang lain. Gelombang berjalan ini beserta hasil interferensi dengan pantulannya, apabila telah mencapai nilai yang lebih besar daripada nilai isolasi dasar (*Basic Isulation Level*) dari peralatan SUTT maupun peralatan lainnya yang terhubung secara langsung dengan SUTT, dapat menimbulkan lompatan api yang menyangkut permukaan (*flashover*) pada peralatan tersebut yang mungkin menimbulkan gangguan dan kerusakan pada peralatan, terutama flashover ini tidak berhenti setelah tegangan kembali mencapai tegangan nominal dari SUTT.

Petir juga dapat menyambar kawat kawat tanah pada SUTT 150 KV, dan jika nilai tahanan pentanahan dari kaki tower tinggi maka dapat terjadi *flashover* pada isolator yang dapat merusak isolator tersebut dan mengenai kawat fasa.

#### **2.2.4. Pentanahan Tower SUTT 150 KV**

Fungsi system pentanahan untuk meneruskan dari tegangan atau arus lebih akibat gangguan baik itu sanbaran petir/hubung singkat yang kemudian diteruskan kebumi sehingga pentanahan tower SUTT aman, dipasang beberapa batang pentanahan (*ground rod*) yang dihubungkan satu sama lain dengan kawat/plat tembaga dan dihubungkan ke tower dari dua sisi yang berlawanan. Standar PLN untuk nilai tahanan pentanahan tower SUTT maksimal 10 Ohm. Semakin kecil nilai pentanahan maka nilai dari pentanahan akan semakin baik.

Untuk nilai resistansi pentanahan telah diatur oleh PLN yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Surat keputusan PLN nilai resistansi pentanahan (PLN,2014)

Peralatan yang diperiksa	Tegangan operasi	Hasil ukur	Rekomendasi
<i>Grounding</i>	70KV	< 5 ohm	Lanjutkan perawatan rutin
		> 5 ohm	Memperbaiki secepatnya atau menambahkan batang elektroda
	150 KV	< 10 ohm	Lanjutkan perawatan rutin
		> 10 ohm	Memperbaiki secepatnya atau menambahkan batang elektroda
	500 KV	< 15 ohm	Lanjutkan perawatan rutin
		> 15 ohm	Memperbaiki secepatnya atau menambahkan batang elektroda

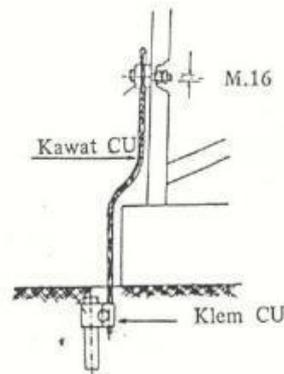
Agar pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Meneruskan arus/tegangan dari akibat sambaran petir atau hubung singkat yang kemudian diteruskan ke bumi sehingga pentanahan tower SUTT aman.
2. Menggunakan bahan yang baik untuk menghantarkan arus (Tembaga, hal ini untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi
3. Memiliki sifat mekanik yang kuat namun mudah dalam penyaluran arus.
4. Nilai pentanahan SUTT <10 Ohm

Bagian – bagian dari pentanahan tower SUTT 150 KV terdiri dari lima macam, sebagai berikut:

1. Elektrode pentanahan (*grounding electrode*), merupakan logam seperti pipa/plat tembaga, pipa galvanis, atau yang sejenis yang ditanam cukup dalam di bawah tanah (sebaiknya mencapai air tanah).
2. Rel pentanahan (*ground bus*), merupakan suatu rel jaringan pentanahan tempat dimana elektrode – elektrode dihubungkan, sehingga seluruh elektrode menjadi satu. Rel pentanahan ini bisa berbentuk jaring. Rel pentanahan ini hanya digunakan pada tempat yang sulit untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang baik setelah menggunakan *ground rod*. Bahan yang digunakan untuk *ground bus* adalah jenis kawat tembaga atau kawat baja *GSW (Ground Steel Wires)*.
3. Penghantar pentanahan (*grounding conductor*), merupakan kawat yang menghubungkan dan atau dengan kaki *tower ground rod ground bus SUTT*. Bahan menggunakan kawat tembaga atau *Grounding conductor* kawat baja *GSW (Ground Steel Wires)*.
4. Klem pentanahan, merupakan klem dari plat untuk kontak antara *ground rod* dengan *grounding conductor* atau *ground bus*. Klem pentanahan menggunakan plat, yaitu baja yang dilapisi dengan lapisan bimetal tembaga.
5. Baut, digunakan sebagai kontak antara dengan kaki *grounding conductor tower*. Baut yang digunakan antara lain nomor 16, 17, 19, atau 21.

Pentanahan tower saluran udara tegangan tinggi 150 kv secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pentanahan/arde tower SUTT 150 KV secara umum

Macam dan bentuk elektrode pentanahan dapat berupa:

1. Elektrode pita/strip, ialah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam pada sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala, atau kombinasi dari bentuk tersebut
2. Elektrode batang, ialah elektrode dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektrode bentuk batang ini yang biasa dikenal sebagai batang pentanahan (ground rod)
3. Elektrode pelat, adalah elektrode dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam

Faktor – faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan tower SUTT 150 KV yang menggunakan adalah sesuai dengan persamaan ground rod untuk menghitung tahanan pentanahan adalah sebagai berikut terdapat pada Rumus 2.1.

$$R_{s1} = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln\left(\frac{2L}{a}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R = Tahanan elektroda ke tanah (ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (ohm meter)

$L$  = Panjang elektroda batang (meter)

$a$  = Jari-jari penampang elektroda (cm)

Berdasarkan persamaan tersebut, tahanan pentanahan tower SUTT 150 KV tergantung dari:

#### 1. Tahanan jenis tanah

Tahanan pentanahan sangat tergantung pada tahanan jenis tanah yaitu tahanan pentanahan berbanding lurus dengan tahanan jenis tanah. Tahanan jenis tanah bervariasi dari 10 sampai dengan 10.000 Ohm-m, kadang harga ini dinyatakan dalam Ohm-m. Pernyataan Ohm-m merepresentasikan tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 m<sup>3</sup>.

Faktor – faktor yang menentukan besarnya tahanan jenis tanah adalah sebagai berikut:

##### a. Jenis tanah

Jenis tanah dapat mempengaruhi tahanan jenis tanah. Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, yang bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berbeda. Untuk memperoleh harga yang sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung di tempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

Besarnya tahanan jenis tanah berdasarkan jenis tanah dapat dilihat dalam Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3. Tahanan jenis tanah pada jenis tanah yang berbeda

No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm-m)
1.	Tanah rawa	10 s.d. 40
2.	Tanah liat dan ladang	20 s.d. 100
3.	Pasir basah	50 s.d. 200
4.	Kerikil basah	200 s.d. 3.000
5.	Pasir dan kerikil kering	<10.000
6.	Tanah berbatu	2.000 s.d. 3.000
7.	Air laut dn tawar	10 s.d. 100

b. Lapisan/komposisi kimia tanah

Lapisan tanah yang dimaksud adalah dapat berlapis-lapis dengan komposisi kimia tanah yang berbeda. Perbedaan lapisan tanah menimbulkan besarnya tahanan jenis menjadi berlainan. Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat ground rod dengan maksud memperoleh tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, setidaknya enam bulan sekali.

c. Iklim dan kelembaban tanah

Tahanan jenis tanah dapat berubah tergantung kondisi iklim/cuaca, karena terkait dengan kandungan air (kelembaban) dalam tanah. Semakin banyak air yang dikandung dalam tanah, maka tanah tersebut menjadi lembab, dan memiliki tahanan jenis yang baik. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis akibat pengaruh iklim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanam ground rod sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan.

d. Temperatur

Temperatur tanah di sekitar ground rod juga dapat berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Bila temperatur dalam tanah yang rendah atau bahkan mencapai di bawah  $0^{\circ}\text{C}$ , maka air dalam tanah akan membeku dan molekul air dalam tanah akan sulit bergerak sehingga daya hantar listrik dalam tanah rendah sekali. Bila temperature tanah naik, air akan berubah menjadi fase cair, molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar dan tahanan jenis tanah menjadi turun.

## 2. Panjang ground rod

Tahanan pentanahan tower SUTT 150 KV dapat berkurang dengan menambah panjang ground rod. Tapi hubungan ini tidak langsung akan mencapai satu titik di mana penambahan panjang ground rod hanya akan mengurangi tahanan pentanahan dalam jumlah sedikit, dalam hal ini ground rod paralel digunakan.

Penggunaan ground rod paralel, persamaan diatas tadi tetap dapat digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan tower, bila variable dirubah menjadi A dan jari – jari tiap ground rod sama. Harga A adalah kelipatan ground rod yang tergantung dari penempatan masing- masing ground rod.

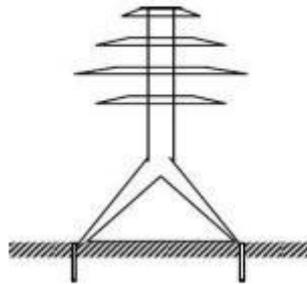
## 3. Diameter ground rod

Berdasarkan persamaan diatas tadi, semakin besar diameter *ground rod*, maka semakin besar tahanan pentanahannya. Hal ini disebabkan karena luas kontak antara ground rod dengan tanah sekitar menjadi besar. Jika diameter ground rod terlalu besar, maka akan menimbulkan masalah dalam pemasangan. Cara mengurangi nilai tahanan pentanahan dengan menambah diameter *ground rod* ini agak ditinggalkan.

### **2.2.5. Metode/Cara Pentanahan Tower SUTT 150 KV**

#### 1. Pentanahan dengan Elektrode Tancap (*Driven Ground*)

Pentanahan dengan driven ground adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektrode ke tanah. Besarnya tahanan pentanahan dapat dihitung dengan persamaan dengan metode ini dihitung dengan persamaan yang sama. Bagian pentanahan dengan driven ground terdapat pada Gambar 2.6

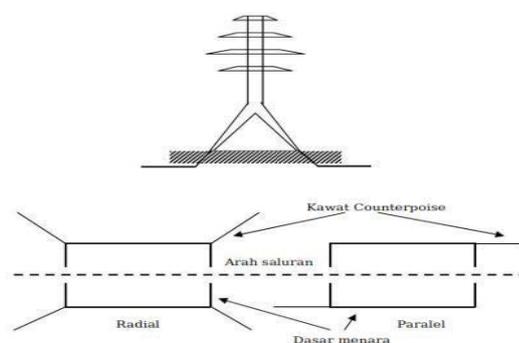


Gambar 2.6 Pentanahan dengan Driven Ground

## 2. Pentanahan dengan Counterpoise

Pentanahan dengan counterpoise adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektrode sejajar atau radial beberapa cm di bawah tanah (30 s.d. 90 cm).

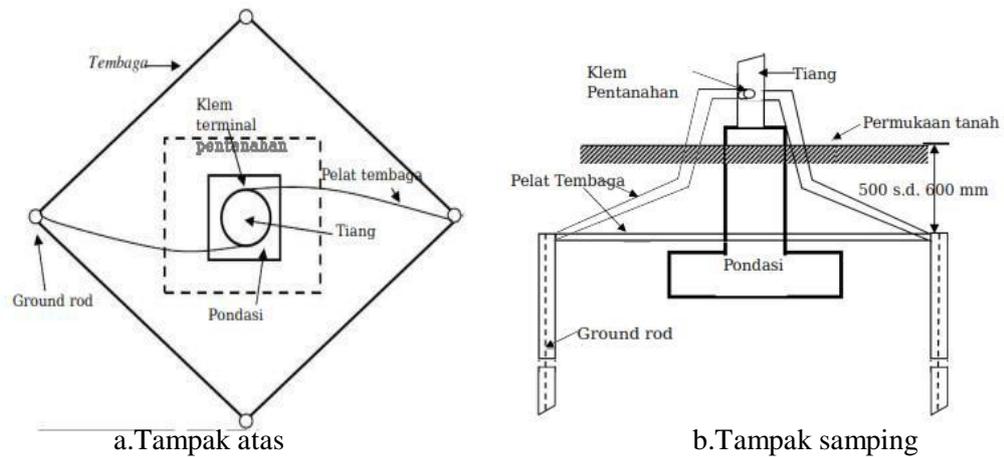
Digunakan pada daerah yang mempunyai lapisan tanah yang keras dan berbatu-batu atau daerah yang tahanan jenis tanahnya tinggi. Tujuan desain *counterpoise* adalah mencapai tahanan yang tetap dari *counterpoise* sebelum tegangan pada puncak tower mencapai pada tingkat loncatan api dari isolator. Pentanahan dengan desain *counterpoise* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pentanahan dengan Counterpoise

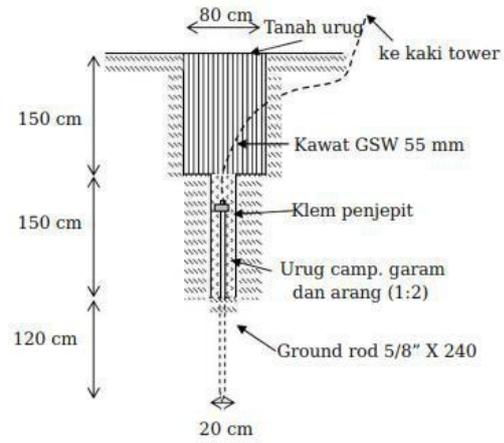
### 3. Pentanahan untuk tiang manesman

Pada pentanahan untuk tiang manesman terlihat tampak atas dan terlihat tampak samping ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8. Pentanahan untuk tiang manesman tampak atas (a) dan samping (b)

Metode pentanahan untuk tower SUTT 150 KV yang biasa digunakan adalah dengan menggunakan metode *driven ground* atau *driven ground* yang dikombinasikan dengan kawat pentanahan membentuk ground bus, untuk memperoleh tahanan pentanahan di bawah 10 ohm. Panjang *ground rod* sudah ditentukan yaitu 240 cm berbahan tembaga atau baja dengan diameter 5/8 inci. Kawat penghubung tiang dengan ground rod yang digunakan adalah jenis kawat baja atau *GSW (Ground Steel Wires)* berdiameter 55 mm. Penanaman *ground rod* sedalam 1,8 m di dalam tanah, dan penanaman *ground bus* sedalam 60 cm di bawah permukaan tanah. Kontruksi pentanahan dengan *ground rod* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Konstruksi pentanahan dengan ground rod