

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

(Ir. Leonardus Siregar, MT 2014), Metode melakukan pengumpulan data nilai hambatan pentanahan menara transmisi Titi Kuning - Lubuk Pakam. Penelitian yang dilakukan adalah Analisa Pengukuran Tahanan Pembumian Menara Transmisi Titi Kuning – Lubuk Pakam. Dari hasil analisis menara transmisi Titi Kuning - Lubuk Pakam dalam kondisi yang baik, dimana nilai tahanan pentanahan tidak lebih dari 10 ohm.

(Nurchahyo Hajar Saputro 2016), Metode melakukan pengumpulan data nilai hambatan pentanahan kaki menara transmisi 150 kv Rembang-Blora. Penelitian yang dilakukan adalah Analisis Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 KV SUTT Transmisi Rembang-Blora Bertahanan dan Usaha Untuk Menurunkannya. Dari hasil pengukuran kondisi hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV transmisi Rembang - Blora terdapat beberapa kondisi tower yang harus diperbaiki. Dengan konfigurasi penanaman batang elektroda juga dapat menurunkan besarnya hambatan pentanahan.

(Samsuri 2017), Metode melakukan pengumpulan data nilai hambatan pentanahan kaki menara transmisi 150 KV Bantul – Wates Tahun 2015 – 2016. Penelitian yang dilakukan adalah Studi Analisa Hambatan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 KV Transmisi Bantul – Wates. Dari hasil pengukuran kondisi hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV transmisi Bantul – Wates yaitu Karakteristik hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV transmisi Bantul – Wates pada tahun 2016 relatif dalam kondisi baik. Karakteristik nilai hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV transmisi Bantul – Wates dalam waktu satu tahun yaitu tahun 2015 sampai tahun 2016 ada sedikit kenaikan.

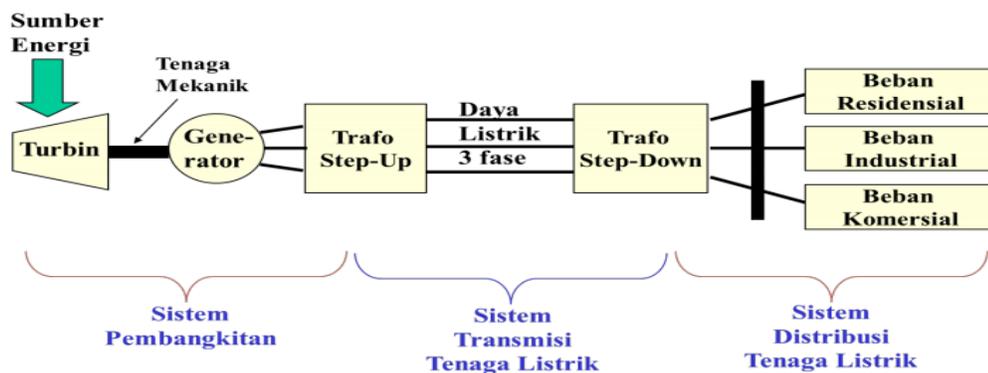
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Transmisi Listrik

Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga Saluran distribusi listrik (*substation distribution*) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Bagian dari sistem tenaga listrik adalah:

1. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, pada pembangkit tenaga listrik terdapat peralatan elektrik, mekanikal, dan bangunan kerja. Terdapat juga komponen-komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi (potensi) mekanik menjadi energi (potensi) listrik. Siklus aliran tenaga listrik secara garis besar terdiri dari pusat pembangkit, jaringan transmisi (gardu induk dan saluran transmisi) dan jaringan distribusi. Gambar siklus aliran tenaga listrik ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus aliran tenaga listrik

Jenis – jenis PLT yang ada di Indonesia seperti:

- Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)
- Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
- Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

- d. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
- e. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

2. Transformator Daya

Transformator Daya mempunyai fungsi mentransformasikan daya listrik, dengan mengubah besarnya tegangan dan frekuensinya tetap. Transformator daya juga mempunyai fungsi pengaturan tegangan. Transformator daya dilengkapi dengan transformator pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari transformator daya. Gambar transformator daya ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Transformator Daya

3. Saluran Transmisi

Ada dua jenis saluran transmisi, antara lain: saluran udara (*overhead lines*) serta saluran kabel bawah tanah (*underground cable*). Saluran udara bekerja menyalurkan arus listrik melewati kawat telanjang yang digantung pada tower atau tiang transmisi dengan perantara isolator, sedangkan kabel dalam tanah menyalurkan arus listrik melewati kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah. Gambar saluran transmisi ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Saluran Transmisi

4. Gardu Induk

Gardu Induk (GI) sebagai komponen utama dalam sistem tenaga listrik berperan penting dalam penyaluran daya listrik ke konsumen (Zainuddin, 2016). Gardu Induk adalah suatu instalasi dari sekumpulan alat listrik yang dirancang dengan pola tertentu dan pertimbangan teknis, ekonomis serta estetika. Gardu Induk berfungsi untuk :

- a. Menaikkan dan menurunkan tenaga listrik atau mentransformasikan tenaga listrik
- b. Menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan yang aman dan dapat diandalkan
- c. Pengaturan tenaga listrik yang disalurkan ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah

5. Jaringan Distribusi

Mempunyai fungsi mendistribusikan energi listrik dari GI ke setiap beban. Jaringan distribusi terbagi menjadi beberapa komponen utama sistem distribusi, yaitu:

- a. Jaringan distribusi primer menyalurkan energi listrik dari sisi sekunder trafo GI ke sisi primer transfo distribusi. Tegangan jaringan distribusi pada umumnya sebesar 20 kV.
- b. Jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah mempunyai fungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi sampai kepada konsumen.

Tegangan jaringan distribusi sekunder pada umumnya sebesar 220 Volt, secara garis besar sistem distribusi tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban tegangan rendah.

6. Transformator Distribusi

Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk menaikkan dan menurunkan tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan penggunaan konsumen. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step - down* 20kV/400. Gambar transformator distribusi ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Transformator Distribusi

2.2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah piranti untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit menuju gardu induk (GI) atau dari GI menuju GI lainnya yang terdiri dari kawat atau *konduktor* yang digantung antara tiang - tiang melalui isolator – isolator. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dengan sistem tegangan tinggi (30 KV, 70 KV, dan 150 KV). (PLN, 1981). Gambar saluran udara tegangan tinggi (SUTT) ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Bagian – bagian utama dari SUTT antara lain: tower atau tiang transmisi, isolator, kawat penghantar, dan kawat tanah.

1. Tower atau Tiang Transmisi

Tower atau tiang transmisi adalah suatu piranti untuk menopang saluran transmisi. Tiang dari segi bentuk atau konstruksinya dibagi menjadi empat macam, antara lain: (PLN, 1981)

- a. Tiang konstruksi baja, bahan terbuat dari baja profil, susunan sedemikian rupa sehingga menjadi suatu menara yang sudah diperhitungkan kekuatannya yang disesuaikan dengan kebutuhan. Tiang model ini sering disebut dengan tower karena bentuk konstruksinya.
- b. Tiang manesman, terbuat dari bahan pipa baja, ukuran panjangnya , diameter, dan ketebalan dari pipa baja yang akan digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan.
- c. Tiang beton bertulang, terbuat dari bahan beton.
- d. Tiang kayu, terbuat dari bahan kayu ulin dan kayu besi yang yang termasuk jenis kayu awet atau tahan lama, sedangkan jenis rasamala, kruing, dan damar laut, sebelum digunakan harus dilakukan pengawetan terlebih dahulu agar awet dan tahan lama

Tiang menurut fungsinya, antara lain: (PLN, 1981)

- a. Tiang penegang (tension atau aspan tower)

Tiang penegang, selain menahan gaya berat juga untuk menahan gaya tarik dari kawat – kawat SUTT.

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

Tiang penyangga berfungsi untuk mendukung atau menyangga, harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang SUTT.

- c. Tiang sudut (*angle* tower)

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

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

Tiang akhir adalah tiang penegang yang dirancang sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik kawat – kawat dari satu arah saja. Penempatan tiang akhir pada ujung SUTT yang akan masuk ke Gardu Induk.

- e. Tiang transposisi

Tiang transposisi adalah tiang penegang yang fungsinya untuk tempat perpindahan letak susunan fasa kawat – kawat SUTT

Pemilihan jenis tower atau tiang yang digunakan , tergantung pada beberapa faktor, antara lain:

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

Jenis tower atau tiang yang banyak digunakan dalam penyaluran transmisi 150 KV adalah bangunan menara baja atau yang biasanya disebut dengan tower SUTT 150 KV. Hal ini dikarenakan jenis tower tidak begitu memerlukan pengawasan, biaya

perawatan kecil, dan dapat bertahan lama. Gambar tower (SUTT) ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tower SUTT

2. Kawat Penghantar

Konduktor yang ada pada SUTT / SUTET merupakan konduktor berkas (*stranded*) atau serabut yang dipilin, supaya memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan konduktor pejal dan mudah dalam penanganannya.

Jenis - jenis konduktor berdasarkan bahannya, antara lain :

1. Konduktor jenis tembaga (BC : *Bare copper*)

Konduktor jenis ini merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas yang tinggi dan kekuatan mekanik yang sangat baik.

2. Konduktor jenis aluminium

Konduktor menggunakan bahan aluminium ini lebih ringan dari pada konduktor jenis tembaga, konduktivitas dan kekuatan mekanik lebih rendah.

Jenis-jenis konduktor aluminium antara lain :

a. Konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Konduktor ACSR dibagian dalam berupa *steel* yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, sedangkan bagian luar berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR karena sifat elektron lebih menyukai bagian luar konduktor daripada bagian sebelah dalam konduktor,.

Khusus daerah yang memiliki udara mengandung kadar belerang tinggi digunakan jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor *steel*nya terlapisi dengan aluminium

b. Konduktor jenis TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran atau beban sistem tinggi maka harus dipasang konduktor jenis TACSR. Konduktor tersebut memiliki kapasitas yang lebih besar akan tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, tapi berpengaruh terhadap *sagging*.

c. Konduktor jenis ACCC

Konduktor ACCC bagian dalam berupa *composite* yang memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, disebabkan tidak dari bahan konduktif, maka bahan ini tidak mengalami pemuaian ketika dibebani arus maupun tegangan. Konduktor jenis ACCC tidak mengalami korosi yang cocok untuk daerah pinggir pantai, sedangkan bagian luar berupa aluminium yang memiliki konduktivitas yang tinggi. Konduktor jenis ini dipilih karena memiliki karakteristik *high conductivity & low sag conductor*.

Keunggulan Konduktor ACCC :

1. Daya Hantar :

- a. Konduktor ACCC bisa menyalurkan arus dua kali lipat dibandingkan konduktor biasa atau konvensional.
- b. *Core* atau inti yang lebih ringan memungkinkan penambahan luas aluminium sampai 28 % tanpa penambahan berat.

2. Mengurangi *Losses*

Dalam kondisi beban sama mengurangi *losses* 30 sampai 40% dibanding konduktor dengan diameter dan berat yang sama.

3. Kekuatan Berat

Hybrid Carbon Composite Core lebih kuat dan lebih ringan dari *steel core* / inti baja

4. Bentang lebih Panjang

Lebih kuat dan dimensi yang stabil memungkinkan *span* lebih panjang atau tower yang lebih rendah.

3. Isolator - Isolator

Isolator yang biasanya digunakan pada SUTT terbuat dari bahan porselen atau gelas, berfungsi untuk isolasi tegangan listrik antara kawat penghantar dengan tiang. Jenis isolator adalah jenis isolator piring, yang digunakan sebagai isolator penegang dan isolator gantung, dengan jumlah piringan isolator yang disesuaikan dengan tegangan sistem SUTT. Satu piringan isolator digunakan untuk isolasi sebesar 15 KV, jika SUTT 150 KV maka jumlah piringan isolator butuh 10 piringan. Gambar isolator ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Isolator

4. Kawat Tanah

Kawat tanah atau kawat ground *wires* pelindung, berfungsi untuk melindungi kawat – kawat penghantar atau kawat- kawat fasa terhadap sambaran petir. Kawat tanah dipasang di atas kawat fasa. Kawat tanah biasanya menggunakan kawat baja (*steel wires*) karena lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR.

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

- a. Letak harus tinggi di atas fasa konduktor supaya bisa menangkap (*intercept*) pukulan langsung.
- b. Harus memiliki jarak aman yang cukup terhadap (*clearance*) konduktor pada tengah -tengah rentangan.
- c. Hambatan kaki tower harus cukup rendah untuk memperkecil tegangan yang melewati isolator.

2.2.3 Gangguan - gangguan pada SUTT 150 KV

1. Definisi Gangguan

Gangguan diartikan sebagai kejadian yang mengakibatkan bekerjanya relay dan menjatuhkan Pemutus Tenaga (PMT) di luar kehendak operator, sehingga mengakibatkan putusnya aliran daya yang melewati PMT. Bagian SUTT yang sering terkena gangguan berada pada kawat transmisi (70% s.d. 80% dari seluruh gangguan). Hal ini dikarenakan luas dan panjang kawat transmisi yang terbentang dan beroperasi pada kondisi udara yang berbeda – beda.

Gangguan pada SUTT 150 KV antara lain:

- a. Gangguan yang bersifat temporer

Gangguan temporer adalah gangguan yang berlangsung singkat dan bisa hilang dengan sendirinya. Penyebab gangguan ini bisa terjadi karena sambaran petir, burung,

atau dahan pohon yang menyentuh kawat fasa SUTT dalam waktu singkat yang dapat menyebabkan terjadinya loncatan api yang bisa menimbulkan hubung singkat.

b. Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan permanen adalah gangguan yang berlangsung lama dan tidak dapat hilang dengan sendirinya. Gangguan ini baru bisa diatasi setelah gangguannya dihilangkan. Gangguan ini bisa disebabkan karena terdapat 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

Sambaran petir sering kali mengakibatkan gangguan pada sistem tegangan tinggi.

b. Burung atau Pepohonan

Burung dan pepohonan yang bersentuhan langsung dengan dua kawat penghantar SUTT baik antar fasa atau fasa dengan tower, maka bisa mengakibatkan terjadinya loncatan bunga api listrik.

c. Polusi (debu)

Debu yang menempel pada isolator bisa bersifat konduktif atau mengalirkan listrik, bisa mengakibatkan terjadinya loncatan bunga api listrik pada isolator.

d. Pohon yang tumbuh di dekat SUTT

Pohon yang tumbuh disekitar tower SUTT bisa mengakibatkan jarak aman (*clearance*) berkurang, jarak aman yang berkurang dapat berakibat munculnya gangguan pada SUTT.

e. Keretakan pada isolator

Jika terjadi keretakan pada isolator, maka secara mekanis, apabila ada petir yang menyambar akan terjadi arus yang bocor (*breakdown*) pada isolator.

Ditinjau dari asalnya, penyebab gangguan dapat dibedakan menjadi:

1. Gangguan dari dalam yaitu gangguan yang terjadi karena kelainan pada peralatan itu sendiri.
2. Gangguan dari luar yaitu gangguan yang terjadi karena benda atau makhluk atau alam yang mengganggu pada peralatan.

Ditinjau dari jenisnya, penyebab gangguan dibedakan menjadi 4, antara lain:

1. Gangguan hubung singkat antar fasa
2. Gangguan hubung singkat fasa dengan tanah
3. Putus rangkaian
4. Penurunan nilai hambatan

Gangguan yang paling pokok pada SUTT adalah sambaran petir. Hal ini dikarenakan 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 sekitar 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 ketika menyambar SUTT mengakibatkan gelombang berjalan merambat ke berbagai arah dan menghasilkan gelombang-gelombang pantul yang berinterferensi

satu dengan yang lain. Gelombang berjalan beserta hasil interferensi dengan pantulannya, apabila sudah mencapai nilai yang lebih besar dari pada nilai isolasi dasar (*Basic Isulation Level*) dari peralatan SUTT maupun peralatan lainnya yang terhubung secara langsung dengan SUTT, dapat mengakibatkan loncatan api yang menyangkut permukaan (*flashover*) pada peralatan tersebut yang menimbulkan gangguan dan kerusakan pada peralatan, terutama *flashover* ini tidak berhenti setelah tegangan kembali mencapai tegangan nominal dari SUTT.

Petir juga bisa menyambar kawat - kawat tanah pada SUTT 150 KV, jika nilai hambatan pentanahan dari kaki tower tinggi maka dapat terjadi *flashover* pada isolator yang bisa merusak isolator 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 sambaran petir atau hubung singkat yang kemudian diteruskan kebumi sehingga pentanahan tower SUTT aman, perlu dipasangkan batang pentanahan (*ground rod*) yang dihubungkan satu sama lain dengan kawat atau plat tembaga dan dihubungkan ke tower dari dua sisi yang berlawanan. Standar PT. PLN untuk nilai hambatan pentanahan tower SUTT maksimal 10 Ohm.

Nilai hambatan pentanahan maksimal yang diperbolehkan maksimum yaitu sebesar 10 Ω yang diatur dalam peraturan pada PUIL 2000 ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Pentanahan Berdasarkan Peraturan Pada PUIL 2000

Peralatan Yang Diperkisa	Hambatan Oprasi	Hasil Ukur	Rekomendasi	Kondisi
Pentanahan (<i>Grounding</i>)	150 kV	< 5 Ohm	Lanjut pengujian rutin 1 tahunan	
		5 – 10 Ohm	Lanjut pengujian rutin 1 tahunan dan bersihkan	
		>10 Ohm	Perbaiki dan ganti secepatnya atau penambahan pentanahan kaki tower	

Keterangan:

 = Kondisi baik (<5 ohm)

 = Kondisi sedang/awas (5-10 ohm)

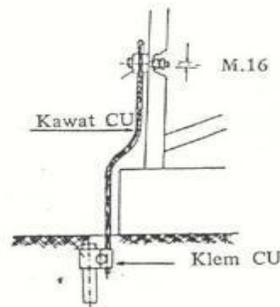
 = Kondisi buruk (>10 ohm)

Agar pentanahan dapat bekerja dengan baik, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Meneruskan arus/tegangan dari akibat sambaran petir atau hubung singkat yang kemudian diteruskan kebumi sehingga pentanahan tower SUTT aman.
2. Menggunakan bahan yang baik untuk menghantarkan arus (Tembaga, hal ini untuk meyakinkan kontinuitas *performa* 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, diantaranya sebagai berikut:

1. Elektrode pentanahan (*grounding electrode*), yaitu logam seperti pipa/plat tembaga, pipa galvanis yang ditanam cukup dalam di bawah tanah (sebaiknya mencapai air tanah).
2. Rel pentanahan (*ground bus*), yaitu suatu rel jaringan pentanahan tempat elektrode – elektrode terhubung, sehingga seluruh elektrode menjadi satu. Rel pentanahan dapat berbentuk jaring. Rel pentanahan hanya digunakan pada tempat yang sulit untuk mendapatkan nilai hambatan 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*), yaitu kawat yang menghubungkan 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, yaitu klem terbuat dari plat untuk kontak antara *ground rod* dengan *grounding conductor* atau *ground bus*. Klem pentanahan menggunakan plat, seperti baja yang dilapisi dengan lapisan bimetal tembaga.
5. Baut, digunakan sebagai kontak antara dengan kaki *grounding conductor* tower. Menggunakan baut antara lain nomor 16, 17, 19, atau 21. Gambar Pentanahan/arde tower SUTT 150 KV ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pentanahan/arde tower SUTT 150 KV secara umum

Jenis dan bentuk elektrode pentanahan dapat berupa:

Elektrode pita atau strip, yaitu elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau juga penghantar pilin yang umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini bisa juga ditanam pada sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala, atau kombinasi dari bentuk tersebut, Jenis dan bentuk elektroda antara lain:

1. Elektroda batang, yaitu elektrode terbuat dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang ditanam ke dalam tanah. Elektroda berbentuk batang ini yang biasa dikenal sebagai batang pentanahan (*ground rod*)
2. Elektroda pelat, yaitu elektroda terbuat dari bahan logam utuh atau berlubang, biasanya elektroda pelat ditanam secara dalam.

Faktor – faktor yang dapat mempengaruhi hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV adalah sesuai dengan persamaan *ground rod* untuk menghitung hambatan pentanahan adalah sebagai berikut:

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

Dimana :

R = Hambatan elektroda ke tanah (ohm)

ρ = Hambatan jenis tanah (ohm meter)

L = Panjang elektroda batang (meter)

a = Jari-jari penampang elektroda (cm)

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

1. Hambatan jenis tanah

Hambatan pentanahan juga tergantung pada hambatan jenis tanah yaitu hambatan pentanahan berbanding lurus dengan hambatan jenis tanah. Nilai hambatan jenis tanah bervariasi mulai dari 10 sampai dengan 10.000 Ohm-m, terkadang harga ini

dinyatakan dalam Ohm-m. Pernyataan Ohm-m merepresentasikan hambatan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 m³.

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

a. Jenis tanah

Jenis tanah bisa mempengaruhi nilai hambatan jenis tanah. Kesulitan yang dapat ditemukan dalam pengukuran hambatan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidak homogen pada seluruh volume tanah, yang bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan hambatan jenis yang berbeda. Untuk mendapatkan harga hambatan jenis tanah yang sebenarnya, harus melakukan pengukuran langsung di tempat dengan memperbanyak titik pengukuran. Besarnya hambatan jenis tanah berdasarkan jenis tanah dapat dilihat dalam tabel yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hambatan jenis tanah pada jenis tanah yang berbeda

NO	Jenis Tanah	Hambatan Jenis (Ω)
1	Tanah rawa	10 s.d. 40
2	Tanah liat dan ladang	20 s.d. 100
3	Pasir basah	50 s.d. 200
4	Krikil basah	200 s.d. 3.000
5	Pasir dan krikil kering	<10.000
6	Tanah berbatu	2.000 s.d. 3.000
7	Air laut dn tawar	10 s.d. 100

b. Lapisan atau komposisi kimia tanah

Lapisan tanah yang dimaksud adalah dapat berlapis-lapis dengan komposisi kimia tanah yang berbeda. Perbedaan lapisan tanah menimbulkan besarnya hambatan

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 bisa berubah bergantung pada kondisi iklim atau cuaca, karena berkaitan dengan kandungan air (kelembaban) didalam tanah. Maka semakin banyak air yang dikandung dalam tanah, maka tanah tersebut menjadi lembab, dan memiliki nilai hambatan jenis yang baik. Cara mengurangi variasi tahanan jenis akibat pengaruh iklim, pentanahan bisa dilakukan dengan cara menanam *ground rod* sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan.

d. Temperatur

Temperatur tanah di sekitar *ground rod* bisa juga mempengaruhi pada besarnya hambatan jenis tanah. Jika temperatur dalam tanah rendah atau bahkan mencapai di bawah 0° C, maka air dalam tanah akan membeku dan molekul air dalam tanah akan sulit bergerak sehingga daya hantar listrik dalam tanah 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 dan hambatan jenis tanah menjadi turun.

2. Panjang *ground rod*

Hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV bisa berkurang dengan menambahkan panjang *ground rod*. Tapi hubungan ini tidak langsung akan mencapai satu titik di mana penambahan panjang *ground rod* hanya akan mengurangi hambatan pentanahan dalam yang jumlah sedikit, dalam hal ini *ground rod* paralel digunakan.

Penggunaan *ground rod* paralel, persamaan diatas tetap bisa digunakan untuk menghitung hambatan pentanahan tower, bila variable dirubah menjadi A dan jari –

jari tiap *ground rod* sama. Harga A adalah kelipatan *ground rod* yang tergantung pada penempatan masing- masing *ground rod*.

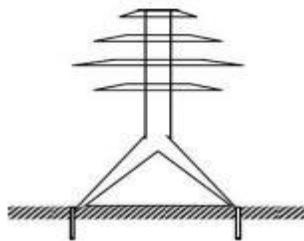
3. Diameter *ground rod*

Berdasarkan persamaan diatas, jika semakin besar diameter *ground rod*, maka semakin besar hambatan pentanahannya. Hal ini dikarenakan luas kontak antara *ground rod* dengan tanah sekitar menjadi lebih besar.

2.2.5 Metode atau 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. Gambar pentanahan dengan *Driven Ground* ditunjukkan pada gambar 2.9.

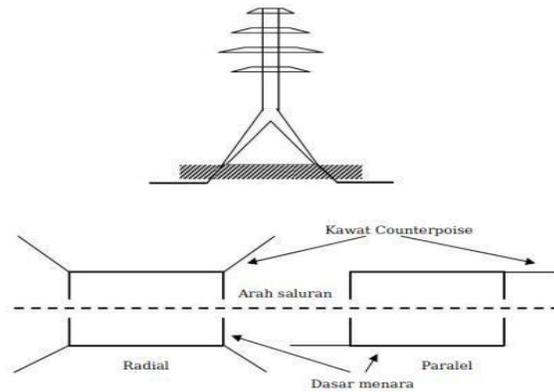


Gambar 2.9 Pentanahan dengan *Driven Ground*

2. Pentanahan dengan *Counterpoise*

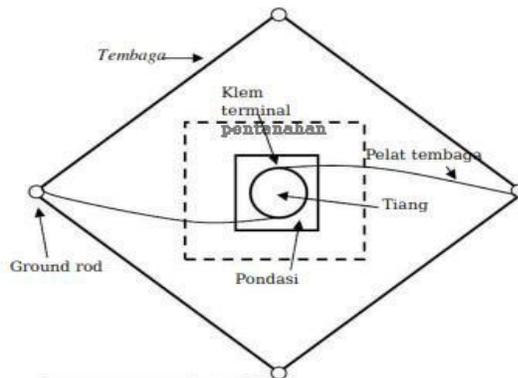
Pentanahan dengan *counterpoise* yaitu pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektrode sejajar atau radial beberapa cm di bawah tanah (30 s.d. 90 cm). Biasanya digunakan pada daerah yang memiliki lapisan tanah yang keras dan berbatu-batu atau daerah yang hambatan jenis tanahnya tinggi. Tujuan desain *counterpoise* yaitu mencapai hambatan yang tetap dari *counterpoise* sebelum tegangan

pada puncak tower mencapai pada tingkat loncatan api dari isolator. Gambar pentanahan dengan *counterpoise* ditunjukkan pada gambar 2.10.

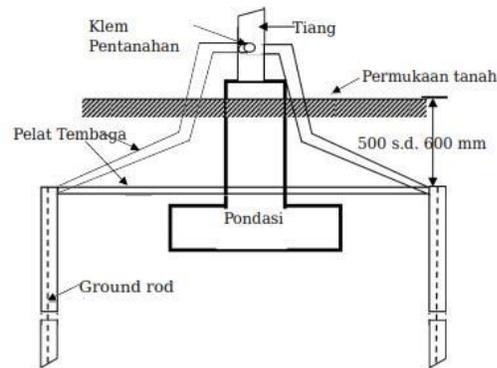


Gambar 2.10 Pentanahan dengan *Counterpoise*

3. Pentanahan untuk tiang manesman ditunjukkan pada gambar 2.11 dan gambar 2.12.

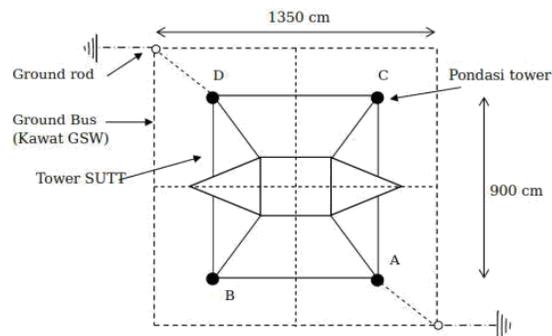


Gambar 2.11 Pentanahan untuk tiang manesman tampak atas

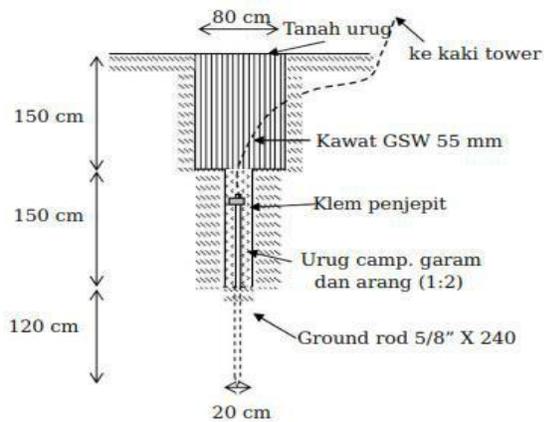


Gambar 2.12 Pentanahan untuk tiang manesman tampak samping

Metode yang digunakan pada tower SUTT adalah dengan menggunakan metode *driven ground* atau *driven ground* yang dikombinasikan dengan kawat pentanahan membentuk *ground bus*, untuk memperoleh hambatan pentanahan di bawah 10 ohm. Panjang *ground rod* sudah ditentukan yaitu 240 cm berbahan tembaga atau baja dengan diameter 5/8 inchi. Kawat penghubung tower dengan *ground rod* yang digunakan adalah jenis kawat baja atau GSW (*Ground Steel Wires*) berdiameter 55 mm. Penanaman *ground rod* sedalam 1,8 m ke dalam tanah, serta penanaman *ground bus* sedalam 60 cm di bawah permukaan tanah. Gambar Pentanahan dengan *driven ground* dan *ground bus* ditunjukkan pada gambar 2.13 dan konstruksi pentanahan dengan *ground rod* ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.13 Pentanahan dengan *driven ground* dan *ground bus*



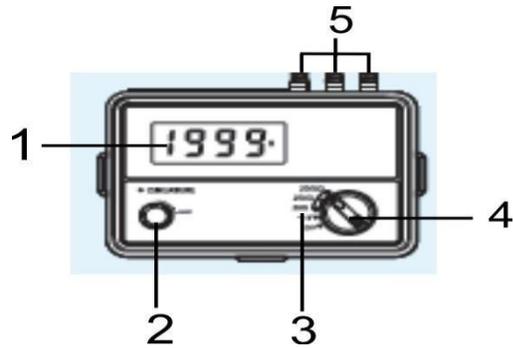
Gambar 2.14 Konstruksi pentanahan dengan *ground rod*

2.2.6 Pengukuran Tahanan Kaki Tower

PT. PLN untuk melakukan pengukuran hambatan pentanahan kaki tower perlu menggunakan alat yang sering disebut *Earth Tester*. Pengukuran hambatan pentanahan kaki tower dilaksanakan secara rutin untuk mengetahui kondisi fisik serta sistem pentanahannya. Gambar *Earth Tester* ditunjukkan pada gambar 2.15 dan bagian *Earth Tester* ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.15 *Earth Tester*

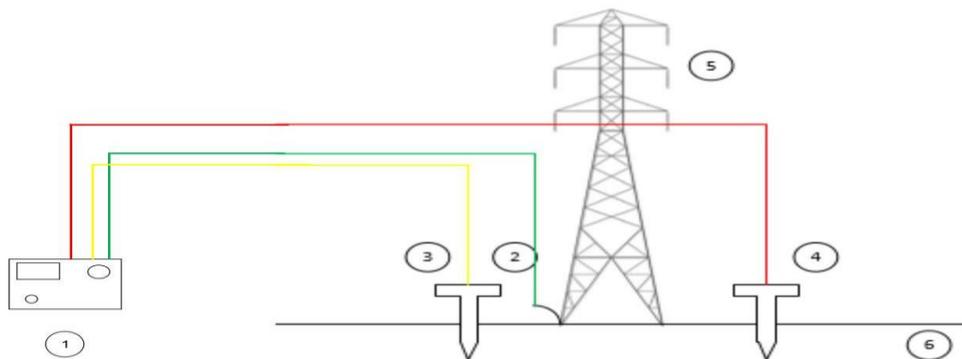


Gambar 2.16 Bagian *Earth Tester*

Keterangan bagian alat ukur:

1. Indikator hasil uji
2. Tombol uji
3. Skala pengukuran
4. Selektor skala pengukuran
5. Terminal

Ilustrasi pengukuran hambatan pentanahan dengan *Earth Tester* ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Ilustrasi pengukuran hambatan pentanahan dengan *Earth Tester*

Keterangan:

1. Earth Resistance Tester Kyoritsu 4105
2. Pentanahan kaki menara

3. Elektroda Bantu
4. Elektroda Bantu
5. SUTT
6. Ground/tanah

Urutan tata cara melakukan pengukuran hambatan pentanahan SUTT dilakukan sebagai berikut:

1. Pengecekan alat ukur sebelum digunakan dalam melakukan pengukuran seperti tegangan baterai, tampilan display alat ukur.
2. Memasang semua kabel pada terminal alat ukur sesuai ketentuan.
3. Terminal dengan kabel warna hijau dihubungkan pada bagian objek yang akan diukur, probe kabel warna kuning ditancapkan pada tanah disekitar tower dengan jarak 5-10 meter dengan probe kabel warna merah.
4. Tombol (No 2) ditekan, layar *indicator* akan menunjukkan besar nilai hambatan pentanahan yang diukur.

Pengukuran terbagi menjadi 3 yaitu:

1. Hambatan kaki tower (tanpa pentanahan). Pengukuran yang mana hambatan pentanahan pada kaki tower (kawat pentanahan dilepas dari kaki tower).
2. Hambatan pentanahan (tower tidak terhubung). Pengukuran yang mana hambatan pentanahan pada kawat pentanahan yang dilepas dari kaki tower.
3. Hambatan paralel (gabungan). Pengukuran yang mana hambatan pentanahan kawat pentanahan belum dilepas dari kaki tower (kaki tower dan pentanahan masih terhubung).