

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. (Arif Putra Utama, 2014) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Nilai Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Transmisi Mainjau-Simpang Empat, menjelaskan tentang nilai hambatan jenis.
2. (Fajar Wibowo, 2014) melakukan penelitian mengenai Analisis Pengukuran Tahanan Penhambatan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 KV Transmisi Sraondol – Wates, Bc Semarang, menjelaskan tentang pengukuran dan perbedaan hambatan disetiap tanah.
3. Wijaya, Setiawan (2011) melakukan penelitian mengenai Analisis Tahanan Penhambatan Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (Sutt) 150 KV Transmisi palur – sragen, menjelaskan tentang pengukuran hambatan dengan menggunakan Earth Tester.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Transmisi

Menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena pembangkit tenaga listrik dibangun ditempat yang jauh dari pusat-pusat beban. Bagian dari sistem tenaga listrik adalah :

1. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik yang banyak dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapatkan tenaga listrik arus bolak balik tiga fasa. Tenaga mekanik yang dipakai memutar generator listrik didapat dari mesin penggerak generator listrik (penggerak mula (*primover*)). Mesin penggerak generator listrik yang banyak digunakan adalah mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. (Muslim Supari, dkk : 1) Macam – macam Pembangkit Tenaga Listrik yang ada dan dikembangkan di Indonesia seperti :

- 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 yang dibangkitkan pada pusat pembangkit pada umumnya antara 6 KV sampai 24 KV (Hutauruk, T. S. 1985 : 1). Untuk menaikkan tegangan

tersebut menjadi 30 KV sampai dengan 500 KV, yang dibutuhkan transformator penaik tegangan (*step up*). Tujuan dari penggunaan tegangan yang lebih tinggi ini adalah untuk memperkecil rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran.

3. Saluran Transmisi

Ada 2 kategori saluran transmisi, yaitu : 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, sedangkan kabel tanah menyalurkan tenaga listrik melalui kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah.

4. Gardu Induk

Gardu induk adalah suatu instalasi listrik yang berfungsi untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik melalui sistem Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), Tegangan Tinggi (SUTT) Dan Tegangan Menengah (SUTM).

5. Jaring 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. Jaring Distribusi Sekunder

Berfungsi menyalurkan tegangan rendah 220 V untuk digunakan oleh konsumen (masyarakat perumahan dan pedesaan). Yang termasuk dalam sistem transmisi adalah nomor 2, 3, dan 4, sedangkan yang termasuk dalam sistem distribusi adalah nomor 5, 6, dan 7.

Tugas 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 biasa 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 70 KV. Adapun tegangan transmisi yang banyak digunakan di Indonesia adalah dengan tegangan tinggi 150 KV 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. (Soepartono & A. Rida Ismu, 1980 : 2)

2.2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sarana yang terbentang di udara untuk menyalurkan tenaga listrik dari Pusat Pembangkit ke Gardu Induk (GI) atau dari GI ke GI lainnya yang disalurkan melalui konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower) melalui isolator-isolator dengan sistem tegangan tinggi (30 KV, 70 KV, 150 KV). (SK 1 14/DIR/2010 : 9)



Gambar 2.1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Bagian – bagian utama dari SUTT adalah terdiri dari : konstruksi dan pondasi, isolasi, kawat penghantar, dan kawat tanah.

2.2.3. Konstruksi dan pondasi

Komponen utama dari fungsi konstruksi dan pondasi pada sistem transmisi SUTT & SUTET adalah tiang (Tower). Tiang (Tower) adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang cukup agar aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat isolator.).(SK 1 14/DIR/2010: 9). Menurut bentuk

konstruksinya jenis-jenis tower dibagi atas macam 4 yaitu :

- *Lattice tower (Menara kisi)*



Gambar 2.2. Lattice tower

- *Tubular steel pole (Tiang baja berbentuk tabung)*



Gambar 2.3. Tubular steel pole

- *Concrete pole(Tiang beton)*



Gambar 2.4. Concrete pole

- *Wooden pole(Tiang kayu)*



Gambar 2.5. Wooden pole

Konstruksi tower merupakan jenis konstruksi SUTT yang paling banyak digunakan di jaringan PLN karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif karena besi-besinya rawan terhadap pencurian.

Tower harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya yaitu:

1. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan)
2. Gaya tarik akibat rentangan kawat
3. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

Menurut fungsinya tower dibagi atas 6 macam yaitu :

1) Tiang penegang (*tension tower*)

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

a. Tiang sudut (*angle tower*)

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

b. Tiang akhir (*dead end tower*)

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

2) Tiang penyangga (*suspension tower*)

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

3) Tiang penyekat (*section tower*)

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

4) *Tiang transposisi (Transposition tower)*

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).

5) Tiang portal (*gantry tower*)

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

6) Tiang kombinasi (*combined tower*)

Yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang

berbeda tegangan operasinya.

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. Hal ini disebabkan karena jenis tower kurang memerlukan pengawasan, biaya perawatan kecil, dan dapat tahan lama.



Gambar 2.6. Jenis tiang menara baja/tower SUTT 150 KV

2.2.4. Isolator – isolator

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

disesuaikan dengan tegangan sistem SUTT tersebut. Satu piring isolator untuk isoalsi sebesar 15 KV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 KV, maka jumlah piring isolatornya adalah 10 piringan.



Gambar 2.7. Isolator piring

2.2.5. Kawat Penghantar

Berfungsi untuk menghantarkan arus listrik yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT & SUTET melalui isolator-isolator sebagai penyekat konduktor dengan tiang. Pada tiang tension, konduktor dipegang oleh *tension clamp/compression dead end clamp*, sedangkan pada tiang suspension dipegang oleh *suspension clamp*. (SK 1 14/DIR/2010: 17)

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat sebagai berikut :

- a. Konduktivitas tinggi
- b. Kekuatan tarik mekanik tinggi
- c. Berat jenis yang rendah
- d. Ekonomis
- e. Lentur/tidak mudah patah

Jenis – 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 lambang sebagai berikut :

- AAC = “*All-Aluminium Conductor*”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC = “*All-Aluminium – Alloy Conductor*”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR = “*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*”, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- 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 hambatan 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 *aluminium alloy* yang digunakan adalah dari jenis AC SR. (Hutauruk, T.S. 1985 : 4)

2.2.6. Kawat tanah

Kawat tanah atau *ground wires* juga disebut sebagai kawat 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 menggunakan dua kawat tanah. Agar dapat memenuhi fungsi kawat tanah sebagai pelindung terhadap sambaran langsung (*direct stroke*), kawat tanah tersebut harus memenuhi syarat sebagai berikut :

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



Gambar 2.8. SUTT dengan dua kawat tanah

2.3. Gangguan – gangguan pada SUTT 150 KV

2.3.1. Definisi Gangguan

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

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

2.3.2. Penyebab Gangguan pada SUTT 150 KV

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

- a) Petir

Berdasarkan pengalaman diperoleh bahwa sambaran petir sering

mengakibatkan gangguan pada sistem tegangan tinggi.

b) Burung atau dedaunan

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

c) Polusi (debu)

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

2.4. Proteksi Petir SUTT 150 KV

SUTT 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 merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT, sehingga pada SUTT timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT.

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 :

- a) Konduktor Tanah (*Earth Wire*)

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

b) 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.

c) Arcing horn

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

d) Konduktor Penghubung Konduktor Tanah ke Tanah

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

disalurkan ke tanah dengan pertimbangan bahwa nilai hambatan konduktor lebih kecil dibandingkan nilai hambatan tiang.

e) Pentanahan (*Grounding*)

Pentanahan tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tiang SUTT 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.

2.5. Pentanahan Tower SUTT 150 KV

Untuk mereduksi adanya tegangan sentuh dan tegangan lebih akibat sambaran petir pada konstruksi SUTT yang tidak bertegangan, dipasang beberapa batang pentanahan (*ground rod*) yang dihubungkan satu sama lain dengan plat tembaga dan dihubungkan ke tiang dari dua sisi berlawanan. Hambatan pentanahan setiap tiang disyaratkan maksimum 10 Ohm, diukur tanpa dihubungkan dengan kawat tanah. (SPLN – 121 – 1996)

Menurut Pabla, A.S. (1994 : 154), agar pentanahan dapat bekerja efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan yang berulang.
2. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, hal ini meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur

peralatan yang dilindungi.

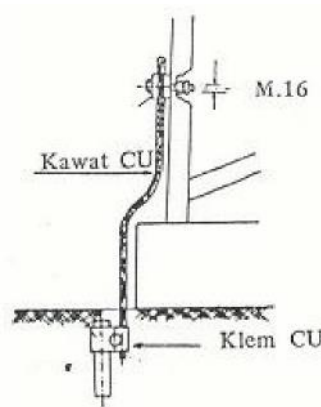
3. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Bagian – bagian dari pentanahan tower SUTT 150 KV terdiri dari 5 macam, sebagai berikut : (PLN : Pusdiklat)

- a. Elektode 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).
- b. Rel pentanahan (*ground bus*), merupakan suatu rel jaringan pentanahan tempat dimana elektrode – elektrode dihubungkan, sehingga seluruh electrode menjadi satu. Rel pentanahan ini bisa berbentuk jaring/jala – jala. Rel pentanahan ini 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*).
- c. Penghantar pentanahan (*grounding konduktor*), merupakan kawat yang mengubungkan *ground rod* dan atau *ground bus* dengan kaki tower SUTT. Bahan *Grounding Konduktor* menggunakan kawat tembaga atau kawat baja GSW (*Ground Steel Wires*).
- d. Klem pentanahan, merupakan klem dari plat untuk kontak antara *ground*

rod dengan *grounding conductor* atau *ground bus*. Klem pentanahan menggunakan plat bimetal, yaitu baja yang dilapisi dengan lapisan tembaga.

- e. Baut, digunakan sebagai kontak antara *grounding conductor* dengan kaki tower. Baut yang digunakan antara lain nomor 17, 19, atau 24.



Gambar 2.9. 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 hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV yang menggunakan *ground rod* adalah sesuai dengan persamaan untuk menghitung hambatan pentanahan menurut Hutaaruk, T.S. (1991 : 157) adalah sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \quad (2.1)$$

dimana :

R = hambatan pentanahan tower, Ohm

ρ = hambatan jenis tanah, Ohm-m

L = panjang/kedalaman elektroda, m

d = diameter elektroda, m

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

2.5.1. Hambatan jenis tanah

Hambatan pentanahan sangat tergantung pada hambatan jenis tanah yaitu hambatan pentanahan berbanding lurus dengan hambatan jenis tanah. Hambatan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai dengan 50.000 Ohm per- cm^3 , harga ini dinyatakan dalam Ohm-cm. Pernyataan Ohm-cm

merepresentasikan hambatan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 cm^3 .

Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah hambatan jenis tanah. Harga hambatan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan hambatan jenis rata – rata untuk keperluan perencanaan, maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu, misalnya selama 1 tahun. Hambatan tanah tergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air yang konstan. (Hutauruk, T. S. 1991 : 141 – 142)

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

a. Jenis tanah

Jenis tanah dapat mempengaruhi hambatan jenis tanah. Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur hambatan 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 hambatan jenis yang berbeda. Untuk memperoleh harga yang sebenarnya dari hambatan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung di tempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

Harga hambatan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi hambatan jenisnya, sebaliknya semakin lembab hambatan jenis makin rendah hambatan jenisnya. Secara umum harga-harga hambatan jenis diperlihatkan pada

tabel 2.1.

Tabel 2.1. Hambatan jenis tanah pada jenis tanah yang berbeda

(www.elektroindonesia.com/elektro/ener24b.html)

No.	Jenis Tanah	Hambatan Jenis (Ohm)
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 dan tawar	10 .d. 100

Untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan hambatan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali. sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga dapat mengubah hambatan jenis tanah. (PLN, Udiklat)

b. Lapisan/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 hambatan 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

Hambatan 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 hambatan jenis yang baik. Untuk mengurangi variasi hambatan 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 hambatan jenis tanah. Bila temperatur dalam tanah yang 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 sekali. Bila temperatur 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.

2.5.2. Panjang *ground rod*

Hambatan 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 hambatan pentanahan dalam jumlah sedikit, dalam hal ini *ground rod* paralel digunakan. Penggunaan *ground rod* paralel, persamaan 2.1 tetap dapat digunakan untuk menghitung hambatan pentanahan tower, bila variabel “d” dirubah menjadi “A” dan jari – jari tiap *ground rod* sama. Harga A adalah kelipatan *ground rod* yang tergantung dari penempatan masing – masing *ground rod* sebagai berikut :

Penempatan :

2 *ground rod* diletakkan di mana saja

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{ar}} \right) \quad (2.2)$$

3 *ground rod* diletakkan membentuk segitiga

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt[3]{a^2 r}} \right) \quad (2.3)$$

4 *ground rod* diletakkan membentuk segiempat

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt[4]{2\frac{1}{2}a^3 r}} \right) \quad (2.4)$$

di mana :

r = jari – jari dari masing – masing *ground rod* (harus sama)

a = jarak antara *ground rod*

2.5.3. Diameter *ground rod*

Berdasarkan persamaan 2.1, semakin besar diameter *ground rod*, maka semakin besar hambatan 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 hambatan pentanahan dengan menambah diameter *ground rod* ini agak ditinggalkan.

Usaha – usaha yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) APP Salatiga Basecamp Yogyakarta, Gardu Induk 150 KV Bantul. untuk dapat memperbaiki nilai hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV yaitu dengan cara :

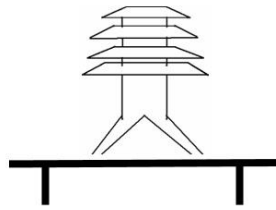
- a. Menambah jumlah arde baru sebuah elektroda batang, pada kaki lain tetapi tetap berlawanan

- b. Menambah jumlah arde baru sebuah elektroda batang dan menghubungkan secara paralel dengan arde yang lama

2.6. Metoda/Cara pentanahan Tower

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

Pentanahan dengan *Driven Ground* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah (PLN, Udiklat). Besarnya hambatan pentanahan dapat dihitung dengan persamaan dengan metode ini dihitung dengan persamaan 2.1.



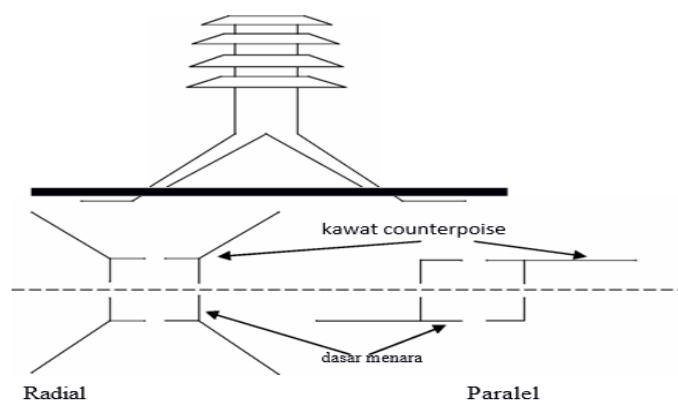
Gambar 2.10. Pentahan dengan *Driven Ground*



Gambar 2.11. Satu batang elektroda dan Dua batang elektroda

2. pentanahan dengan *Counter Poise*

Pentanahan dengan *Counter Poise* adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial, beberapa cm di bawah tanah (30 cm –90 cm).(PLN, Udiklat). Besarnya hambatan Pentanahan dengan *Counter Poise* digunakan apabila hambatan tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan *driven ground*, karena hambatan jenis tanah terlalu tinggi.



Gambar 2.12. Pentanahan menara dengan *counterpoise*

Menurut T.S. Hutauruk, hambatan pentanahan tower dengan metode ini dapat

dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \sqrt{r\rho} \cdot \text{Coth} \left(L \sqrt{r/\rho} \right) \text{ Ohm} \quad (2.5)$$

Dimana:

R = hambatan pentanahan tower, Ohm

r = hambatan kawat, Ohm/meter

Á = hambatan jenis tanah, Ohm-meter

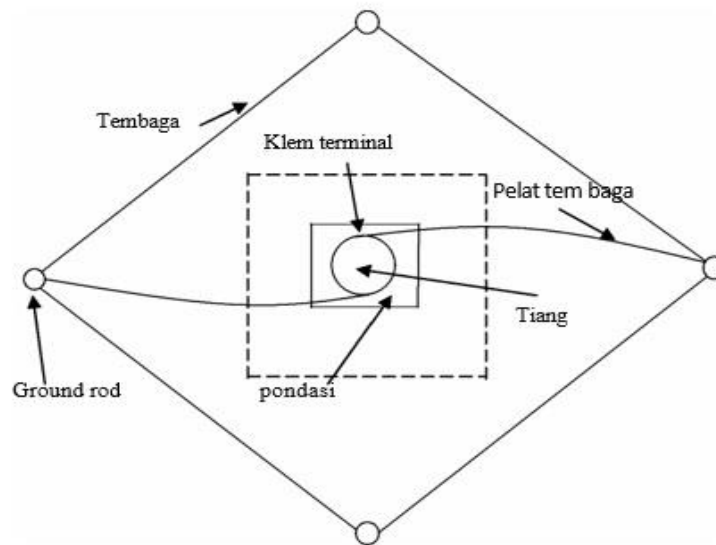
L = panjang kawat, meter

Tujuan desain *counterpoise* adalah mencapai yang tetap dari *counterpoise* sebelum tegangan pada puncak tower mencapai pada tingkat loncatan api dari *counterpoise*, dapat dihitung menggunakan rumus :

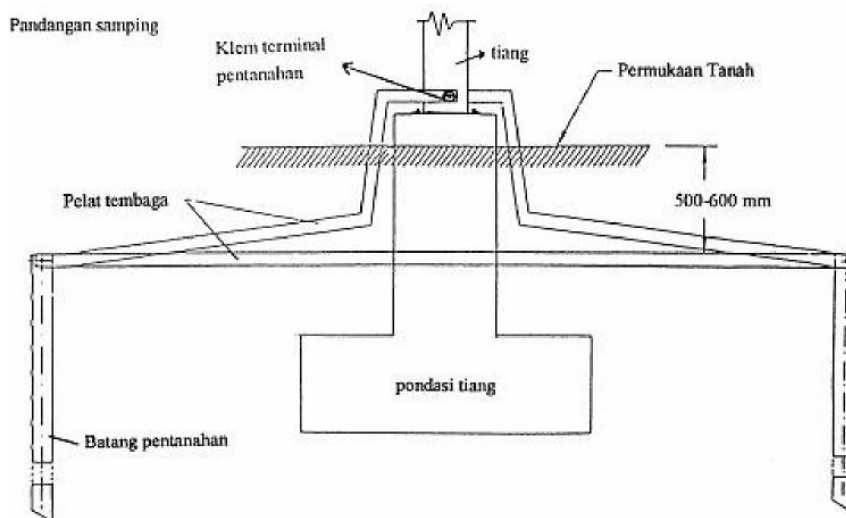
isolator. Panjang minimum *cou*

$$L = \sqrt{\frac{\rho}{r} \text{Coth}^{-1} \left(R / \sqrt{r\rho} \right)} \quad (2.6)$$

Bila *counterpoise* terlalu panjang, 2 atau lebih kawat dapat digunakan dalam *counterpoise* sampai hambatan 10 Ohm yang diinginkan diperoleh. Pentanahan untuk tiang manesman Gambar 2.11. Pentanahan untuk tiang manesman tampak atas



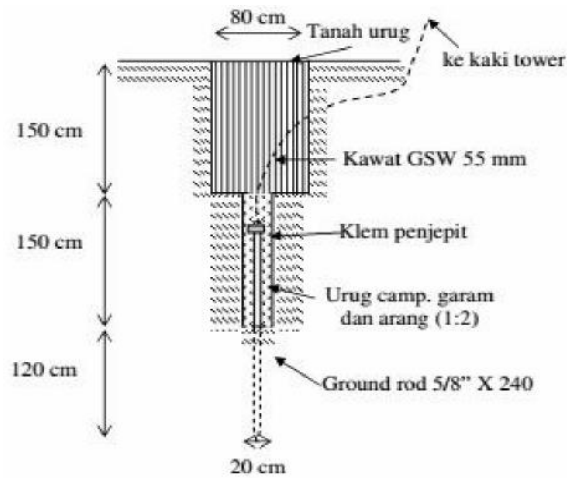
Gambar 2.13. Pentanahan untuk tiang manesman tampak atas



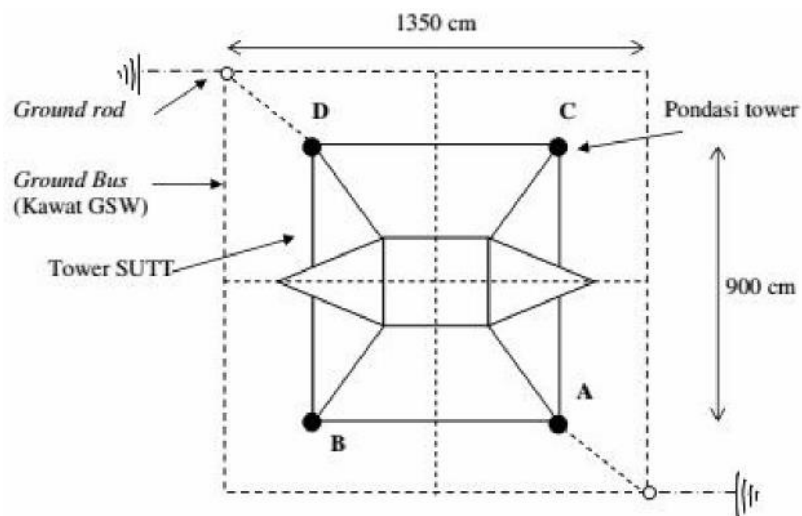
Gambar 2.14. Pentanahan untuk tiang manesman tampak samping

Metode pentanahan untuk tower SUTT 150 KV yang digunakan adalah metode *driven ground* atau *driven ground* yang dikombinasikan dengan kawat pentanahan membentuk *ground bus*, untuk memperoleh hambatan pentanahan dibawah 10 Ohm. Panjang *ground rod* sudah ditentukan yaitu 3 m berbahan tembaga atau baja dengan diameter 16 mm. 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 didalam tanah,

dan penanaman *ground bus* sedalam 60 cm di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.15. Konstruksi pentanahan SUTT 150 KV



Gambar 2.16. Pentanahan SUTT 150 KV dengan *driven ground* dan *ground bus*

2.7. Pengukuran Hambatan Pentanahan SUTT 150 KV

2.7.1 Aspek Pengukuran

Pengukuran hambatan pentanahan tower SUTT 150 KV merupakan bagian dari pemeliharaan tahunan tower SUTT 150 KV yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) APP Salatiga Basecamp Yogyakarta, Gardu Induk 150 KV Bantul. Pengukuran ini terdiri dari berbagai aspek, yaitu meliputi :

hambatan pentanahan kaki tower bersama dengan pentanahan (*arde*),

hambatan pentanahan kaki tower sendiri (tanpa arde), dan hambatan pentanahan gabungan dari sisi kaki tower (sisi AB dan sisi CD). Alat yang digunakan dalam proses pengukuran hambatan pentanahan, antara lain adalah :

➤ ***Earth Resistance Tester***

Dengan data sebagai berikut :

- Merk : KYORITSU
- Sumber tenaga : 9 V DC, jenis baterai R6P (SUM – 3)
x 6
- Jenis : Digital Earth Resistance Tester 4105A

Alat ini digunakan untuk menampilkan nilai hambatan pentanahan yang terukur dengan kemampuan mengukur sampai 1999 Ω (Ohm). Skema gambar Earth Resistance Tester ini ditunjukkan pada gambar 2.16.

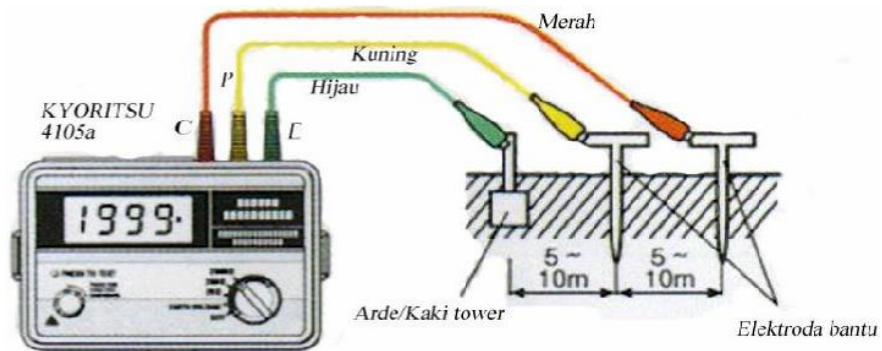


Gambar 2.17. *Digital Earth Resistance Tester 4105A*

Keterangan :

1. Layar penampilan
2. Lampu indikator
3. Pemutar
4. Push button

5. Ring selektor
6. Terminal ke elektroda utama dan bantu



Gambar 2.18. Rangkaian pengukuran hambatan pentanahan

2.7.2 Nama tower SUTT 150 KV

Pemberian nama tower sendiri terdiri dari jenis tower dan diikuti dengan nomer urut tower, dan kebanyakan sudah ada tertulis pada tower SUTT 150 KV. Jenis tower yang paling banyak dijumpai adalah jenis tower penegang (*aspan/tension*) dan penyangga (*dragh*). Sebagai contoh pada tower pertama SUTT 150 KV transmisi Bantul – Wates dengan jenis A1, dimana A sebagai jenis tower dan 1 adalah nomor tower dari GI yang disebut pertama pada saluran transmisi.



Gambar 2.19. Tower SUTT 150 KV jenis aspan/tension



Gambar 2.20. Tower SUTT 150 KV jenis dragh

Penanaman kaki tower SUTT 150 KV adalah dengan menggunakan huruf abjad, sebagaimana pada gambar 2.19.



Gambar 2.21. Nama kaki tower SUTT 150 KV