BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem tenaga listrik adalah sistem penyediaan tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pembangkit atau pusat listrik terhubung satu dengan lainnya oleh jaringan transmisi dengan pusat beban atau jaringan distribusi[1].

Sistem tenaga listrik di indonesia di bagi menjadi tiga bagian utama , yaitu (Gambar 2.1):

1. Sistem Pembangkitan

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga seperti : air, angin, uap, panas dan nuklir, pada sisi pembangkitan terdapat sistem mekanis elektrik yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik pada output pembangkit listrik ditingkatkan atau dinaikkan berkali-kali lipat, sebelum dikirimkan ke gardu induk . gardu induk menaikkan tegangan listrik tersebut menggunakan trafo step up. Tujuannya adalah agar tidak terjadi loss tegangan saat di transformasikan[4].

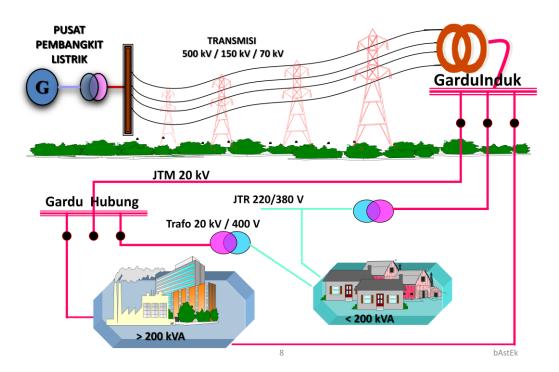
2. Sistem Penyaluran (Transmisi dan Gardu induk).

Transmisi merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga hingga saluran distribusi listrik sehingga dapat disalurkan ke konsumen pengguna listrik. Energi listrik dari output trafo step up sudah dinaikkan berkali lipat. Mengirim listrik dengan jarak ratusan kilo meter antar kota , antar provinsi menggunakan

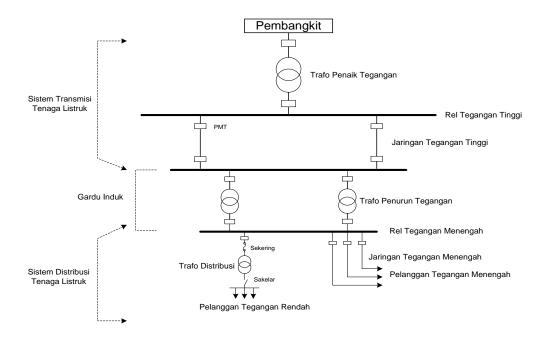
instalasi kabel baja dan menara listrik. Energi listrik berikutnya dialirkan menuju GI (gardu induk). Yang kemudian akan didistribusikan menuju ke konsumen[4].

3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar 20 kV sampai ke konsumen 380/220 V [4].



Gambar 2.1 Bagan sistem tenaga listrik



Gambar 2.2 Bagan sistem tenaga listrik

Dari bagan diatas Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan 11 kV /24 kV dinaikkan tegangannya di Gardu Induk dengan Trafo step up menjadi 150/500kV, Kemudian dari Gardu induk di salurankan melalui jaringan transmisi menuju ke Gardu induk Step down dimana tegangan dari 150/500Kv diturunkan menjadi 20Kv. Kemudian disalurkan ke distribusi. Distribusi menyalurkan tegangan 20kv ke jaringan-jaringan Tegangan menengah dan kemudian diubah lagi oleh Trafo tiang dari 20kV menjadi 380/220 V. Yang selanjutnya dialirkan ke Rumah-rumah atau konsumen.

2.1 SUTT

Saluran Udara Tegangan Tinggi (disingkat SUTT) dengan kekuatan 150 kV yang ditujukan untuk menyalurkan energi <u>listrik</u> dari pusat-pusat pembangkit yang jaraknya jauh menuju pusat-pusat beban sehingga energi listrik bisa disalurkan dengan efisien [2]. SUTTmemiliki beberapa bagian yaitu:

2.1.1 Primary

Berdasarkan fungsi dari tiap – tiap komponennya, sistem transmisi SUTT dikelompokkan sebagai berikut :

- 1. Current Carrying / Pembawa Arus
- 2. Insulation / Isolasi
- 3.Structure / struktur
- 4. Junctions / Penghubung

2.1.1.1 Current Carrying (Pembawa Arus)

Komponen yang termasuk dalam fungsi pembawa arus adalah komponen SUTT yang berfungsi dalam proses penyaluran arus listrik dari pembangkit ke Gardu Induk atau dari Gardu Induk ke Gardu Induk lainnya. Komponen-komponen yang termasuk fungsi pembawa arus [6], yaitu:

2.1.1.1.1 Bare Conductor OHL (Termasuk ACSR, TACSR dan ACCC)

Sebagai media pembawa arus pada SUTT/SUTET dengan kapasitas arus sesuai spesifikasi atau ratingnya yang direntangkan lewat tiang-tiang SUTT/SUTET melalui insulator – insulator sebagai penyekat konduktor dengan tiang. Pada tiang tension, konduktor dipegang oleh strain clampl compression

dead end clamp, sedangkan pada tiang suspension dipegang oleh suspension clamp.

2.1.1.1.2ConductorJoint (Midspan Joint)

Sambungan konduktoradalah material untuk menyambung konduktorpenghantar yangcara penyambungannya dengan alat press tekanan tinggi.Sambungan (*joint*) harus memenuhi beberapa syarat antara lain:

- 1. Konduktivitas listrik yang baik
- 2. Kekuatan mekanik yang besar

2.1.1.1.3Jumper Joint

Berfungsi sebagai pembagi arus pada titik sambungan konduktor contoh (Gambar 2.3):



Gambar 2.3 Jumper Joint

2.1.1.4Jumper Conductor (Konduktor Jumper)

Jumper Conductordigunakan sebagai penghubung konduktor pada tiang tension. Besar penampang, jenis bahan, dan jumlah konduktor pada konduktor penghubung disesuaikan dengan konduktor yang terpasang pada SUTT/ SUTET tersebut. Contoh gambar jumper conduktor (Gambar 2.4);



Gambar 2.4 Jumper Conduktor

Jarak *Jumper conductor* dengan tiang diatur sesuai tegangan operasi dari SUTT ,konduktor pada tiang *tension* SUTET umumnya dipasang *counter weight* sebagai pemberat agar posisi dan bentuk konduktor penghubung tidak berubah. Pada tiang tertentu perlu dipasang insulator *support* untuk menjaga agar jarak antara konduktor penghubung dengan tiang tetap terpenuhi. Untuk menjaga jarak dan pemisah antar *Jumper Conductor* pada konfigurasi 2 konduktor atau 4 konduktor perlu dipasang *twin spacer* ataupun *quad spacer*.

2.1.1.2 Insulation (Isolasi)

Insulation berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagin yang tidak bertegangan/ ground, baik saat normal continous operation dan saat terjadi surja (termasuk petir) didalam saluran transmisi [6].

Sesuai fungsinya, insulator yang baik harus memenuhi sifat:

1.Karakteristik elektrik

Insulator mempunyai ketahanan tegangan impuls petir pengenal dan tegangan kerja, tegangan tembus minimum sesuai tegangan kerja dan merupakan bahan isolasi yang diapit oleh logam sehingga merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembapan udara

dipermukaannya. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada insulator, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan.

2.Karakteristik mekanik

Insulator harus mempunyai kuat mekanik guna menggung beban tarik konduktor penghantar maupun beban berat insulator dan konduktor penghantar.

2.1.1.2.1 Ceramic insulator (*Insulator Keramik*)

Ceramic insulator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan atau ground secara elektrik dan mekanik. Pada SUTT / SUTET , insulator berfungsi untuk mengisolir konduktor fasa dengan tower / ground, insulator keramik terbuat dari bahan porselen yang mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca. Dalam penggunaannya insulator ini harus di glasur. Warna glasur biasanya coklat, dengan warna lebih tua atau lebih muda. Hal itu juga berlaku untuk daerah dimana glasur lebih tipis dan lebih terang, sebagai contoh pada bagian tepi daerah radius kecil. Daerah yang diglasur harus dilingkupi glasur halus dan mengkilat, bebas dari retak dan cacat lain.

2.1.1.2.2Non - ceramic

1.Insulator gelas/ kaca

Digunakan hanya untuk insulator jenis piring. Bagian gelas harus bebas dari lubang atau cacat lain termasuk adanya gelembung dalam gelas. Warna gelas biasanya hijau, dengan warna lebih tua atau lebih muda. jika terjadi kerusakan insulator gelas mudah dideteksi.

2.Insulator polymer

Insulator polymer dilengkapi dengan mechanical load-bearing fiberglass rod, yang diselimuti oleh weather shed polimer untuk mendapatkan nilai kekuatan elektrik yang tinggi.

2.1.1.2.3Isolasi udara (Ground Clearance) disekitar kawat penghantar

Isolasi udara berfungsi untuk mengisolasi anatra bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan / ground dan antar fasa yang bertegangan secara elektrik. Kegagalan fungsi isolasi udara disebabkan karena breakdown volatge yang terlampaui (jarak yang tidak sesuai, perubahan nilai tahanan udara, tegangan lebih), dan isolasi udara (ground clearance) mempunyai jarak bebas minimum yaitu jarak terpendek antar penghantar SUTT dengan permukaan tanah, benda – benda dan kegiatan lain disekitarnya, yang mutlak tidak boleh lebih pendek dari yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia dan mahkluk hidup lainnya serta juga keamanan operasi SUTT (Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi No. 01.P/47/MPE/1992 tanggal 07 februari 1992, pasal 1 ayat 9), berikut standart jarak aman ROW pada (Tabel 2.1):

Tabel 2.1 Standar Jarak Aman/ROW

No	Lokasi	SUTT 150 KV (m)
1	Lapangan Terbuka	7.5
2	Daerah dengan Keadaan tertentu	
2.1	Bangunan tidak tahan api	13,5
2.2	Lalu Lintas / Jalan Raya	4,5
2.3	Lalu Lintas / Jalan Raya	9
2.4	Pohon - pohon pada umumnya, hutan dan perkebunan	4,5
2.5	Lapangan olahraga	13,5
2.6	SUTT lainnya, penghantar tegangan rendah, jaringan telekomunikasi, antena radio, antena televisi, dan kereta gantung.	4
2.7	Rel kereta biasa	9
2.8	Jembatan besi, rangka besi penahan penghantar, kereta listrik terdekat dan sebagainya.	4
2.9	Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang tertinggi pada lalu lintas air.	4

2.1.1.3 STRUCTURE (Struktur)

Komponen utama dari fungsi structure pada sistem transmisi SUTT/SUTET adalah tiang (Tower). Tiang adalh konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga / merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya denagn sekat insulator [6].

2.1.1.3.1BRACING TOWER (Besi Siku Tower)

Rangkaian Bracing tower membentuk struktur tower yang berfungsi menjaga dan mempetahankan kawat penghantar pada jarak ground clearance tertentu sehingga proses transmisi daya berlangsung kontinyu. Tiang /Tower menurut fungsi:

1. Tiang penegang (tension tower)

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

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)contoh (Gambar 2.5):



Gambar 2.5 Tiang Sudut

b. Tiang akhir (dead end tower)

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

c.Tiang penyangga (suspension tower)

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

d. 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.

e.Tiang transposisi

Adalah tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan phasa konduktor-konduktor SUTT atau SUTET contoh (Gambar 2.6):



Gambar 2.6 Tiang transposisi

f.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 crossing0. Tiang ini dibangun dibawah saluran transmisi eksisting.

g. Tiang kombinasi (combined tower)

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

Tiang menurut bentuk:

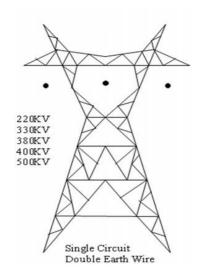
1.Tiang pole

Konstruksi SUTT dengan tiang beton atau tiang baja, pemanfaatannya digunakan pada perluasan SUTT dalam kota yang padat penduduk dan memerlukan lahan relatif sempit. Berdasarkan materialnya, terbagi menjadi:

- a. Tiang pole baja
- b. Tiang pole beton
- 2. Tiang kisi-kisi (Lattice Tower)

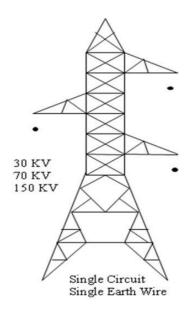
Terbuat dari baja profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya. Berdasarkan susunan/ konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3(Tiga) kelompok besar, yaitu:

a. Tiang delta (delta tower)



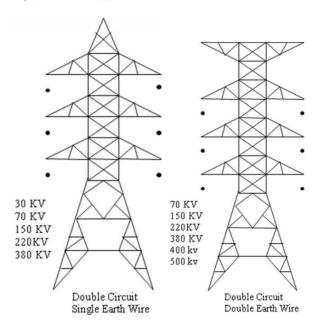
Gambar 2.7 Tiang delta

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



Gambar 2.8 Tiang zig-zag

c.Tiang piramida (pyramid tower)



Gambar 2.9 Tiang piramida

2.1.1.4 Pondasi Tower

a. Pondasi Lattice Tower

Pondasi adalah konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub)denganbumi.Jenis pondasi tower beragam menurut kondisi tanah tempat tapaktower berada danbeban yang akan ditanggung oleh tower. Pondasi tower yangmenanggung beban tarik(tension) dirancang lebih kuat / besar daripada tower tipe suspension.Jenis pondasi:

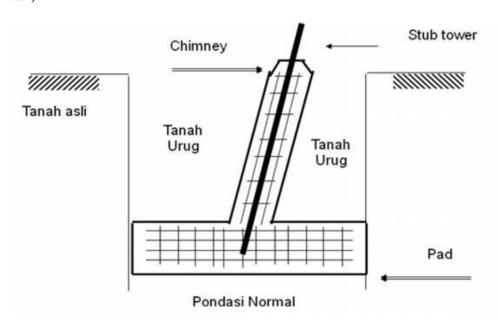
- 1. Normal, dipilih untuk daerah yang dinilai cukup keras tanahnya.
- 2. Spesial: Pancang (fabrication dan cassing), dipilih untuk daerah yanglembek/tidak keras sehingga harus diupayakan mencapai tanah kerasyang lebih dalam.
- 3. Raft, dipilih untuk daerah berawa/ berair.

4. Auger, dipilih karena mudah pengerjaannya dengan mengebor danmengisinya dengan semen.

5. Rockdrilled, dipilih untuk daerah berbatuan.

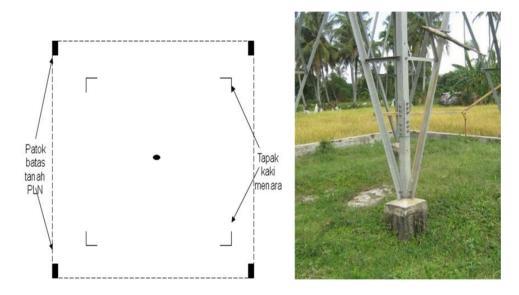
Stub adalah bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaandenganpemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi. Bagian atas stub munculdipermukaan tanah sekitar 0,5 sampai 1 meter dan dilindungi semen serta dicat agartidak mudah berkarat.Pemasangan stub paling menentukan mutu pemasangan tower, karena harus memenuhisyarat, lihat (Gambar 2.10):

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



Gambar 2.10 Pondasi spesial (pancang)

Halaman tower adalah daerah tapak tower yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar stub tergantung pada jenis tower. Contoh (Gambar 2.11):

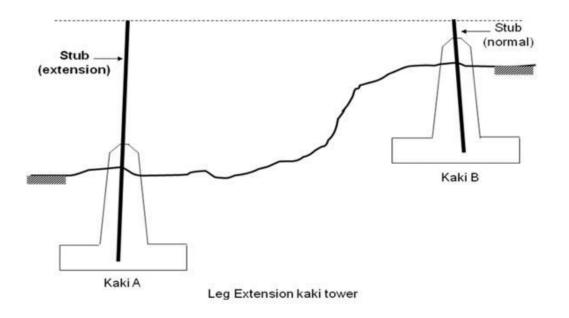


Gambar 2.11 Halaman tower

Kaki tower (leg) .Leg adalah kaki tower yang terhubung antara stub dengan tower body. Pada tanah yangtidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi leg. *TowerBody* harustetap sama tinggi permukaannya.(Gambar 2.11).

Pengurangan leg ditandai: -1; -2; -3

Penambahan *leg* ditandai:+1; +2; +3



Gambar 2.12 Leg tower

b. Pondasi tiang pole

Jenis pondasi yang digunakan pada tiang *pole* adalah:

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

2.1.2 Secondary

- 1. Protection
- 2. Monitoring dan pemeliharaan saluran transmisi

2.1.2.1 Protection

Protection SUTT adalah pengaman instalasi dari gangguan petir, getaran/ stresmekanis yang ditimbulkan oleh angin, ancaman/ kemungkinan gangguan akibat manusia,gangguan dari luar (tertabrak pesawat udara, terjun payung dan lain - lain) dan jugapengaman dari urat konduktor putus [6].

2.1.2.1.1Pengaman dari Gangguan Petir SUTT

Merupakan instalasi penting yang menjadi target mudah (easy target) bagisambaran petir karena strukturnya yang tinggi dan berada pada lokasi yang terbuka. Sambaran petir pada SUTT merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatanini menimbulkan kenaikan tegangan pada SUTT, sehingga pada SUTT timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls dan merambat ke ujung-ujung SUTT. Tegangan lebih akibat sambaran petir sering disebut surja petir. Jika tegangan lebih surja petir tiba di Gardu Induk, maka tegangan lebih tersebut akan merusakisolasi peralatan Gardu Induk. Oleh karena itu, perlu dibuat alat pelindung agar tegangan surja yangtiba di Gardu Induk tidak melebihi kekuatan isolasi peralatan Gardu Induk. Komponen-komponen yang termasuk dalam fungsi proteksi petir adalah semuakomponen pada SUTT yang berfungsi dalam melindungi saluran transmisi darisambaran petir, yang terdiri dari (4):

2.1.1.1Kawat Ground Steel Wire (GSW)/ Optic Ground Wire (OPGW)

Kawat GSW/ OPGW adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir.Kawat ini dipasang di atas konduktor fasa dengan sudut perlindungan yang sekecilmungkin, dengan anggapan petir menyambar dari atas konduktor. Namun, jika petirmenyambar dari samping maka dapat

mengakibatkan konduktor fasa tersambar dandapat mengakibatkan terjadinya gangguan.

2..1.1.2 Jumper GSW

Untuk menjaga hubungan Kawat GSW dan OPGW dengan tower, maka pada ujungtravers Kawat GSW/ OPGW dipasang jumper GSW yang dihubungkan ke kawat GSW.Kawat penghubung terbuat dari kawat GSW yang dipotong dengan panjang yangdisesuaikan dengan kebutuhan.Jumper GSW pada tipe tower tension dipasang antara tower dan Kawat GSW/ OPGWserta antar dead end compression atau protection rods yang dilengkapi helical dead endkawat GSW/ OPGW. Hal ini dimaksudkan agar arus gangguan petir dapat mengalirlangsung ke tower maupun antar kawat GSW/ OPGW. Sedangkan pada tipe towersuspension, Jumper GSW dipasang pada tower dan disambungkan ke kawat GSW/OPGW dengan klem penghubung (pararel grup, wire clipe) ataupun denganmemasangnya pada suspension clampkawat GSW/OPGW.

2.1.2.1.1.3 Arcing Horn

Alat pelindung proteksi petir yang paling sederhana adalah arcing horn. Arcing hornberfungsi memotong tegangan impuls petir secara pasif (tidak mampu memadamkanfollow current dengan sendirinya). Arcing horn terpasang pada SUTT/ SUTET yaitu:

- 1. Arcing horn sisi penghantar
- 2. Arcing horn sisi tower
- 3. Bentuk lain dari arcing horn

2.1.2.1.1.4 Transmision Line Arrester (TLA)

Pada dasarnya Jalur transmisi dirancang dengan baik sehingga kebal terhadap sambaranpetir. Parameter penting dalam desain tower adalah geometeri, ketinggian, shiled wiredan tingkat pentanahan tower. Namun dalam beberapa kasus tidak mungkin untukmerancang dengan sempurna, hanya solusi optimal yang dapat dilakukan. Optimalisasiini berdasarkan keseimbangan biaya dari desain dan outage yang dapat ditoleransi.Mengingat geografis jalur transmisi memiliki life cycle dan kebutuhan pelanggan terhadaptingkat pelayanan semakin tinggi. Sementara perubahan desain jalur transmisi biasanyamahal, memasang arrester petir pada saluran transmisi TLA merupakan solusi yangefektif untuk meningkatkan reliability sistem. Sebuah transmission lightning arrester harus mampu bertindak sebagai insulator,mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistem danberubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ketanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan withstand string insulatorketika terjadi tegangan lebih, menghilangan arus susulan mengalir dari sistem melaluiTLA (power follow current) setelah surja petir berhasil didisipasikan

TLA dapat melindungi sistem dari kejadian-kejadian sebagai berikut, contoh (Gambar 2.13).

1. Back flashover,

kejadian dimana petir menyambar bagian-bagian grounding sistem (seperti tower danGSW) tetapi arus petir tidak dapat dialirkan ke tanah karena impact local groundingdesainya yang tidak bekerja dengan baik.

2. Flash over

kejadian dimana perlindungan GSW tidak maksimal sehingga petir menyambar langsungpada konduktor.



Gambar 2.13 TLA

2.1.2.1.1.5 Konduktor Penghubung

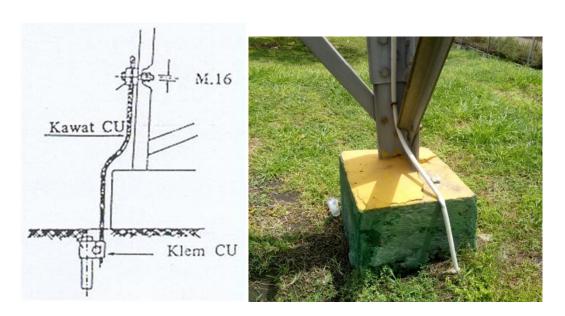
Pada tiang SUTT yang berlokasi di daerah petir tinggi biasanya dipasangkonduktor penghubung. Bahan yang dipakai untuk konduktor penghubung umumnyasama dengan bahan kawat GSW/ OPGW. Konduktor penghubung ini berfungsi sebagaimedia berjalannya surja petir dengan nilai induktansi yang lebih rendah daripadainduktansi tower agar arus petir yang menyambar kawat GSW/ OPGW maupun towerSUTT/ SUTET dapat langsung

disalurkan ke tanah.Ujung bagian atas konduktor ini dihubungkan langsung dengan kawat GSW/ OPGW

menggunakan klem sambungan atau dihubungkan dengan batang penangkap petir yangdipasang di atas tower. Sedangkan ujung bagian bawahnya dihubungkan denganpentanahan tower. Dengan pemasangan konduktor penghubung diharapkan tidak terjadiarus balik yang nilainya lebih besar daripada arus sambaran petir yang sesungguhnya,sehingga gangguan pada transmisi dapat berkurang.

2.1.2.1.1.6 Rod Pentanahan (Grounding)

Rod pentanahan adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tower SUTT ke tanah dan menghindari terjadinya back flashover pada insulator saat grounding sistem terkena sambaran petir.Pentanahan tower terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem padapipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/ tembaga disekitar pondasi tower yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir. Berikut contoh gambar grounding (Gambar 2.14):



Gambar 2.14 Pentanahan tower

Jenis-jenis pentanahan tower pada SUTT:

- Electroda bar, yaitu suatu rel logam yang ditanam di dalam tanah.Pentanahan ini paling sederhana dan efektif, dimana nilai tahanan tanahadalah rendah.
- 2. Electroda plat, yaitu plat logam yang ditanam di dalam tanah secarahorisontal atau vertikal. Pentanahan ini umumnya untuk pengamananterhadap petir.
- 3. Counter poise electrode, yaitu suatu konduktor yang digelar secara horisontal di dalam tanah. Pentanahan ini dibuat pada daerah yang nilaitahanan tanahnya tinggi atau untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahan.
- 4. Mesh electrode, yaitu sejumlah konduktor yang digelar secara horisontalditanah yang umumnya cocok untuk daerah kemiringan.

2.1.2.1.2 Pengaman dari Getaran/ Stres Mekanis yang Ditimbulkan olehAngin

2.1.2.1.2.1 Spacer

Komponen ini berfungsi sebagai pemisah/ perentang dan sekaligus sebagai peredamgetaran pada konduktor dan juga menjaga agar konduktor pada satu bundle fasabergerak seirama.

2.1.2.1.2.2 Armour Rod

Komponen ini berfungsi melindungi alumunium konduktor dari stres mekanis dititikjunction dengan insulator pada tower suspension.

2.1.2.1.2.3 Counter Weight

Komponen ini berfungsi menjaga jumper konduktor agar stabil diposisinya sehingga tidakbersentuhan dengan tower saat tertiup angin atau terjadi goncangan.

2.1.2.1.2.4 Vibration Damper

Komponen ini berfungsi sebagai peredam getaran pada titik titik terminasi antarakonduktor dan insulator

2.1.2.1.3Pengaman dari Ancaman/ Kemungkinan Gangguan AkibatManusia

2.1.2.1.3.1 ACD (Anti Climbing Device)/ Penghalang Panjat

Komponen ini berfungsi untuk mencegah/ menghambat manusia yang tidakberkepentingan untuk memanjat tower. Penghalang panjat dibuat runcing, berjarak 10 cmdengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah Rambu tanda bahaya

2.1.2.1.3.2 Plat Rambu Bahaya

Komponen ini berfungsiuntuk memberikan peringatan bahaya tegangan tinggi / teganganekstra tinggi.

2.1.2.1.4 Pengaman dari Kemungkinan Gangguan Luar (Pesawat Udara, Terjun Payung)

2.1.2.1.4.1 Bola Rambu

Komponen ini berfungsi untuk memberi tanda bagi pilot pesawat dan nakoda kapaltentang keberadaan saluran transmisi SUTT/ SUTET. Bola rambu dipasang di kawatGSW/ OPGW (Gambar 2.15):



Gambar 2.15 Bola rambu

2.1.2.1.4.2 Aviation Lamp (Lampu penerbangan)

Adalah rambu peringatan berupa lampu terhadap lalu lintas udara, berfungsi untukmemberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat konduktor salurantransmisi. tang keberadaan saluran transmisi SUTT/ SUTET. Bola rambu dipasang di kawat GSW/ OPGW (Gambar 2.16).



Gambar 2.16 Lampu penerbangan Tower

2.2 Pembumian sistem tenaga

Grounding system_adalah suatu perangkat instalasi yang berfungsi untuk melepaskan arus petir kedalam bumi, salah satu kegunaannya untuk melepas muatan arus petir. Standart kelayakan grounding/pembumian harus bisa memiliki nilai Tahanan sebaran/Resistansi maksimal 5 Ohm (*Bila di bawah 5 Ohm lebih baik*). Material grounding dapat berupa batang tembaga, lempeng tembaga atau kerucut tembaga, semakin luas permukaan material grounding yang di tanam ke tanah maka resistansi akan semakin rendah atau semakin baik[3].

Untuk mencapai nilai grounding tersebut, tidak semua areal bisa terpenuhi, karena ada beberapa aspek yang mempengaruhinya, yaitu:

1. Kadar air

bila air tanah dangkal/penghujan maka nilai tahanan sebaran mudah didapatkan.

2. Mineral/Garam

kandungan mineral tanah sangat mempengaruhi tahanan sebaran/resistansi karena jika tanah semakin banyak mengandung logam maka arus petirsemakin mudah menghantarkan.

3. Derajat Keasaman,

semakin asam PH tanah maka arus petir semakin mudah menghantarkan.

4. Tekstur tanah

untuk tanah yang bertekstur pasir dan porous akan sulit untuk mendapatkan tahanan sebaran yang baik karena jenis tanah seperti ini air dan mineral akan mudah hanyut.

Grounding system atau pembumian dapat di buat dengan 3 bentuk, diantaranya:

1. Single Grounding

Yaitu dengan menancapkan sebuah batang logam/pasak biasanya di pasang tegak lurus masuk kedalam tanah

2. Pararel Grounding

Bila sistem single grounding masih mendapatkan hasil kurang baik, maka perlu di tambahkan material logam arus pelepas ke dalam tanah yang jarak antara batang logam/material minimal 2 Meter dan dihubungkan dengan kabel BC/BCC. Penambahan batang logam/material dapat juga di tanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa di terapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan

sebaran/resistansi kurang dari 5 Ohm setelah pengukuran dengan *Earth Tester Ground*

3. Maksimun Grounding

Yaitu dengan memasukan material grounding berupa lempengan tembaga yang diikat oleh kabel BC, serta dengan pergantian tanah galian di titik grounding tersebut.

2.2.1 Pentanahan titik netral

Jarak *Jumper conductor* dengan tiang diatur sesuai tegangan operasi dari SUTT ,konduktor pada tiang *tension* SUTET umumnya dipasang *counter weight* sebagai pemberat agar posisi dan bentuk konduktor penghubung tidak berubah. Pada tiang tertentu perlu dipasang insulator *support* untuk menjaga agar jarak antara konduktor penghubung dengan tiang tetap terpenuhi. Untuk menjaga jarak dan pemisah antar *Jumper Conductor* pada konfigurasi 2 konduktor atau 4 konduktor perlu dipasang *twin spacer* ataupun *quad spacer*.

Pada saat sistem tenaga listrik masih dalam skala kecil, gangguan hubung singkat ke tanah pada instalasi tenaga listrik tidak merupakan suatu masalah yang besar. Hal ini dikarenakan bila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah arus gangguan masih relatif kecil (lebih kecil 5 Amper), sehingga busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara fasa yang terganggu dan tanah masih dapat padam sendiri.

Tetapi dengan semakin berkembangnya sistem tenaga listrik baik dalam ukuran jarak (panjang) maupun tegangan, maka bila terjadi gangguan fasa ketanah arus gangguan yang timbul akan besar dan busur listrik tidak dapat lagi padam

dengansendirinya. Timbulnya gejala-gejala "busur listrik ke tanah (arching ground)" sangat berbahaya karena menimbulkan tegangan lebih transient yang dapat merusak peralatan.

Apabila hal diatas dibiarkan, maka kontinuitas penyaluran tenaga listrik akan terhenti, yang berarti dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar. Oleh karena itu sistem-sistem tenaga listrik tidak lagi dibuat terapung (floating) yang lajim disebut sistem delta, tetapi titik netralnya ditanahkan melalui tahanan, reaktor dan ditanahkan langsung (solid grounding). Pentanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral.

Adapun tujuan pentanahan titik netral sistem adalah sebagai berikut :

- -Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu system.
- -Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
- -Meningkatkan keandalan (realibility) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
- -Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (restrike ground fault).
- -Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.

2.2.2 Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/Solid Grounding)

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netrral sistem dihubungkan langsung dengan tanah, tanpa memasukkan harga suatu impedansi.

Pada sistem ini bila terjadi gangguan phasa ke tanah akan selalu mengakibatkan terganggunya saluran (line outage), yaitu gangguan harus di isolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan pentanahan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah[1].

Keuntungan:

- -Tegangan lebih pada phasa-phasa yang tidak terganggu relatif kecil
- -Kerja pemutus daya untuk melokalisir lokasi gangguan dapat dipermudah, sehingga letak gangguan cepat diketahui.
- Sederhana dan murah dari segi pemasangan.

Kerugian:

- Setiap gangguan phasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya
- Arus gangguan ke tanah besar, sehingga akan dapat membahayakan makhluk hidup didekatnya dan kerusakan peralatan listrik yang dilaluinya.

2.2.3 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan (resistance grounding)

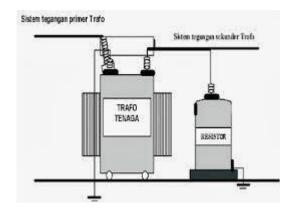
Pentanahan titik netral melalui tahanan (resistance grounding) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (resistor).

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistem pada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya besar arus gangguan fasa ke tanah pertama-tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan

demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan fasa ke tanah.

2.2.4 Transformator Pentanahan

Bila pada suatu sistem tenaga listrik tidak terdapat titik netral, sedangkan sistem itu harus diketanahkan, maka sistem itu dapat ditanahkan dengan menambahkan "Transformator Pentanahan" (grounding transformer), contoh gambar pemasangan Trafo Pentanahan seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.17 Pemasangan Trafo Pentanahan

Transformator pentanahan itu dapat terdiri dari transformator Zig-zag atau transformator bintang-segitiga $(Y-\Delta)$. Trafo pentanahan yang paling umum digunakan adalah transformator zig-zag tanpa belitan sekunder.

2.2.3 Pentanahan peralatan

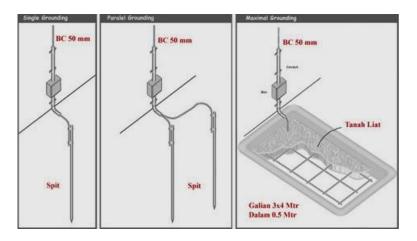
Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMT, bodi PMS, bodi

motor listrik, dudukan Batere dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan.

Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan.

Pentanahan yang demikian disebut Pentanahan peralatan.

sebagai contoh pemasangan pentanahan peralatan lihat gambar 2.18:



Gambar 2.18 Pemasangan Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan merupakan hal yang sangat penting dan perlu diperhatikan, baik pada pembangunan Gardu Induk, Pusat-pusat listrik, Industri-industri bahkan rumah tinggal juga perlu dilengkapi dengan sistem pentanahan ini.

Tujuan pentanahan peralatan dapat dipormulasikan sebagai berikut :

- 1. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu.
- 2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.

3. Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.

2.2.4 Tahanan Jenis Tanah

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

- Jenis tanah = tanah liat, berpasir, berbatu, dll
- Lapisan tanah = berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform.
- Kelembaban tanah.
- Temperatur.

Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah itu makin rendah tahanan jenisnya. Secara umum harga-harga tahanan jenis ini diperlihatkan pada tabel (2.2):

Tabel 2.2 Tahanan jenis tanah

NO	JENIS TANAH	TAHANAN JENIS TANAH(OHM)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat atau Tanah ladang	100
3	Pasir Basah	200
4	Kerikil Basah	500
5	Pasir dan Kerikil Kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

Sering dicoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara priodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga dapat mengubah tahanan jenis tanah.

2.3 Metode peramalan

Pada dasarnya peramalan tidak terlepas daripada perencanaan di mana kemampuan para perencana dalam meramalkan harus sesuai dengan situasi dan kondisi saat ini dan data yang ada agar rencana atau kebijakan yang diambil dapat dijalankan secara efektif dan tepat. Pada hakikatnya peramalan perhitungan tidak terlepas daripada rencana atau perencanaan . Kegunaan daripada peramalan perhitungan adalah untuk dapat mengambil keputusan/kebijakan di mana keputusan yang baik adalah keputusan yang didasarkan pada pertimbangan yang akan terjadi pada waktu keputusan tersebut dilaksanakan (Widodo, 2008).

Dalam penerapan *Metode Trend Moment* dapat dilakukan dengan menggunakan data historis dari satu variable, adapun rumus yang digunakan dalam penyusunan dari metode ini menurut Sugiarto dan Dergibson (2002), [7].adalah:

$$Y = a + bX \tag{2.1}$$

Dimana:

Y = nilai trend atau variabel yang akandiramalkan

a = bilangan konstant

b =slope atau koefisien garis trend

X = indeks waktu (dimulai dari 0,1,2,...n)

Untuk mencari nilai a dan b pada rumus diatas, digunakan dengan cara matematis dengan penyelesaiannya menggunakan metode subtitusi dan metode eliminasi .

Adapun persamaannya menurut Sugiarto dan Dergibson (2002)[7], yaitu:

$$\sum y = a.n + b.\sum x \tag{2.2}$$

$$\sum xy = a.\sum x + b\sum x^2 \tag{2.3}$$

Dimana:

 $\sum y = \text{jumlah dari data penjualan}$

 $\sum x$ = jumlah dari periode waktu

 $\sum xy = jumlah dari data penjualan dikali dengan periode waktu$

n = jumlah data

2.3.1 Ukuran akurasi peramalan

Model-model peramalan yang dilakukan , kemudian divalidasi menggunakan sejumlah indikator. Indikator-indikator yang umum digunakan adalah :

1. Mean Absolute Deviation (MAD)

Metode untuk mengevaluasi metode peramalan menggunakan jumlah dari kesalahan – kesalahn yang absolut. Mean Absolut Deviation (MAD) mengukur ketepatan ramalan dengan merata-rata kesalahan dugaan (nilai absolut masingmasing kesalahan).MAD berguna ketika mengukur kesalahan ramalan dalam unit yang sama sebagai deret asli. Nilai MAD dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MAD = \underline{\sum}(absolut dari forecast errors)$$

2. Mean Square Error (MSE)

Mean Squared Error adalah metode lain untuk mengevaluasi metode peramalan. Masing-masing kesalahn atau sisi dikuadratkan. Kemudian dijumlahkan dan ditambahkan dengan jumlah observasi . pendekatan ini mengatur kesalahn peramalan yang besar karena kesalahan-kesalahn itu dikuadratkan.

$$MSE = \sum ei^2 = \underbrace{\sum (Xi\text{-}Fi)^2}_{n}$$

dimana:

ei = selisih hasil ramalan dengan data sebenarnya

n = jumlah tower

Xi = x = data sebenarnya

Fi = y = hasil Forecast

3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error dihitung dengan menggunakan kesalahn absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata untuk periode itu. Kemudian merata-rata kesalahan persentase absolut tersebut.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{ei}{x}}{n} \times 100$$

dimana

ei = selisih hasil ramalan dengan data sebenarnya

n = jumlah tower

x = data sebenarnya

y = hasil *Forecast*