

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan proyek akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan dalam melakukan penelitian berikut beberapa referensi yang digunakan dalam penelitian :

1. **William, D.Stevenson. 1982. Dalam bukunya yang berjudul ANALISA SISTEM TENAGA LISTRIK.** Menjelaskan tentang hubungan arus dan tegangan pada saluran transmisi.
2. **Arismunandar, Artono. 2004. Dalam bukunya yang berjudul Teknik Tenaga Listrik Jilid II.** Menjelaskan tentang karakteristik umum saluran transmisi.
3. **Hutauruk, T.S. Prof. Ir. M.Sc. 1996. Dalam bukunya yang berjudul TRANSMISI DAYA LISTRIK.** Menjelaskan konstanta saluran transmisi.
4. **Kokasih, Barum. Ghofur. 2017. Dalam jurnalnya yang berjudul ANALISA RUGI-RUGI DAYA PADA PADA SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 kV PADA GARDU INDUK JAJAR-GONDANGREJO.** Menjelaskan tentang perhitungan rugi-rugi daya dan perhitungan biaya yang hilang akibat rugi-rugi daya.
5. **Radil, Muhammad. 2014. Dala Jurnalnya yang berjudul ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PADA PENGHATAR SALURAN TRANSMISI TEGANGAN TINGGI 150 KV DARI GARDU INDUK KOTO PANJANG KE GARDU INDUK GARUDA SAKTI.** Menjelaskan komponen saluran transmisi.

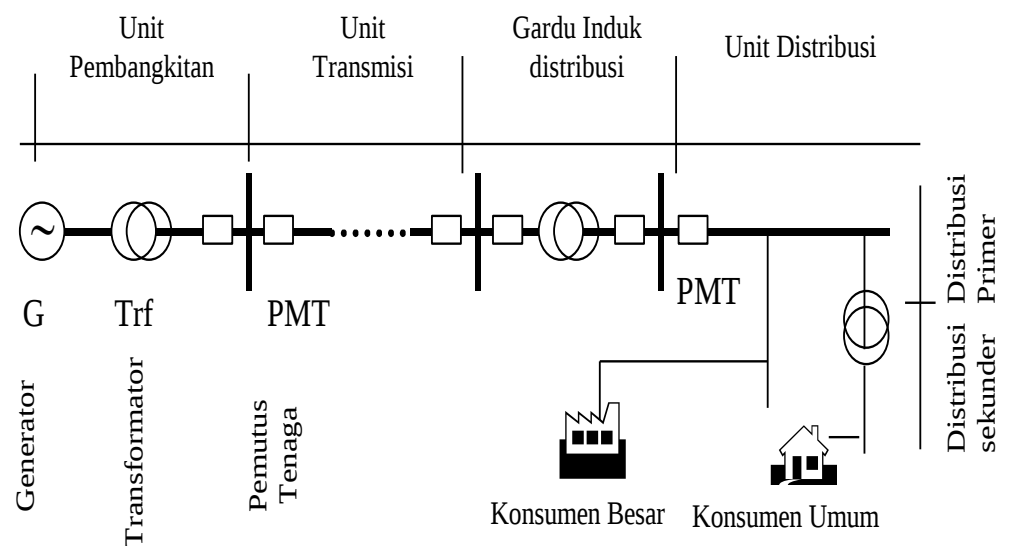
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang berfungsi untuk membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit sampai konsumen.

Tiga komponen utama dari sistem tenaga listrik

1. Pembangkit
2. Transmisi
3. Distribusi



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik

2.2.2. Sistem Transmisi

Transmisi energi adalah proses penyaluran energi listrik dari suatu lokasi ke lokasi-lokasi lainnya. Implementasi transmisi listrik seperti ini, dilapangan dapat terjadi melalui beberapa komponen sistem transmisinya :

1. Dari pembangkit listrik ke gardu induk.
2. Dari suatu gardu induk ke gardu induk yang terdapat di lokasi-lokasi lainnya.

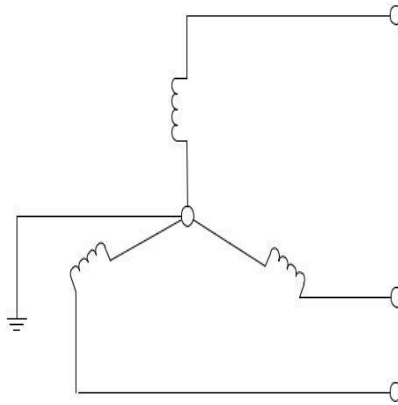
Sementara itu, proses penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke setiap pelanggan (konsumen atau beban) berada pada konteks sistem yang lain yaitu sistem distribusi listrik. Pembagian menjadi dua sistem yang terpisah secara teknis inilah setidaknya menurut pengamatan orang awam yang tidak banyak diketahui bahwa penyaluran energi atau tenaga listrik dari pembangkit melalui beberapa komponen sistem transmisi hingga akhirnya sampai ke para pengguna di rumah-rumah (beban) dilaksanakan pada sebuah sistem transmisi. Proses transmisi energi atau tenaga listrik melalui tahap sebagai berikut :

1. Energi atau tenaga listrik mengalir melalui kawat-kawat penghantar (konduktor) saluran transmisi dari pembangkitnya ke gardu induk (GI) setelah tegangannya terlebih dahulu dinaikan dengan bantuan transformator daya.
2. Tegangan yang telah dinaikan oleh gardu induk (GI) ini kemudian di salurkan kembali ke gardu induk (GI) yang lainnya melalui media tower-tower atau menara transmisi tegangan tinggi.
3. Tegangan tinggi listrik dari gardu-gardu induk (GI) lainnya ini kemudian diturunkan kembali sebelum disalurkan hingga akhirnya menjadi tegangan menengah di gardu-gardu distribusi (GD) melalui media tower-tower transmisi tegangan menengah.

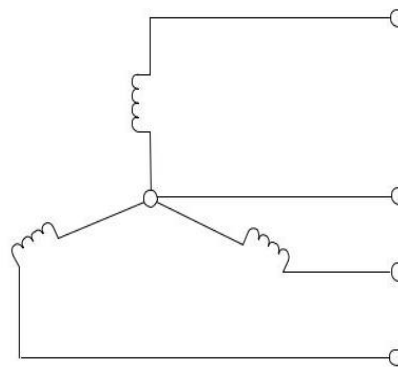
2.2.3. Saluran Transmisi

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari *Generator Station* Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik

Penyaluran tenaga listrik pada transmisi menggunakan arus bolak-balik (AC) ataupun juga dengan arus searah (DC). Penggunaan arus bolak-balik yaitu dengan sistem tiga fasa tiga kawat atau dengan -tiga fasa empat kawat.



Gambar 2.2. Sistem tiga fasa tiga kawat



Gambar 2.3. Sistem tiga fasa empat kawat

Saluran Transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan, mengingat kelebihan sebagai berikut :

1. Mudah pembangkitannya.
2. Mudah pengubahan tegangannya.
3. Dapat menghasilkan medan magnet putar.
4. Dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan.

2.2.4. Konstanta Saluran Transmisi

Suatu sistem pembangkit, mempunyai konstanta-konstanta yang dapat mempengaruhi karakteristik dalam menyalurkan tenaga listrik. Adapun konstanta - konstanta tersebut adalah resistansi, induktansi, kapasitansi. Kapasitansi pada saluran transmisi dengan panjang saluran menengah tegangan menengah (≥ 150 kV) maka kapasitansi tidak dapat diabaikan.

1. Resistansi

Tiap konduktor listrik memberi perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Resistansi dari penghantar saluran transmisi adalah penyebab yang terpenting dari rugi daya (*Power Loss*) pada saluran transmisi.

2. Induktansi

Induktansi saluran yang terdiri dari penghantar pada keadaan yang sama semua serat adalah identik yang membagi arus rata yang mengatur didalamnya. Metode ini dapat diperluas, sehingga berlaku untuk jenis penghantar yang berisiserat-serat dengan ukuran yang berbeda-beda.

3. Kapasitansi

Kapasitansi suatu saluran transmisi adalah akibat beda potensial antarpenghantar (konduktor), kapasitansi menyebabkan penghantar tersebut bermuatan seperti terjadi pada plat kapasitor bila terjadi beda potensial diantaranya. Kapasitansi antara penghantar adalah muatan per-unit beda potensial. Kapasitansi antara penghantar sejajar adalah suatu konstanta yang tergantung pada ukuran dan jarak pemisah antara penghantar. Untuk saluran daya yang panjangnya lebih dari 80 km (50 mil), pengaruh kapasitansinya besar dan biasanya tidak dapat diabaikan. Untuk saluran-saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang lebih tinggi, kapasitansi menjadi bertambah penting.

2.2.5. Kategori Saluran Transmisi

Berdasarkan pemasangannya, saluran transmisi dibagi menjadi dua kategori, yaitu :

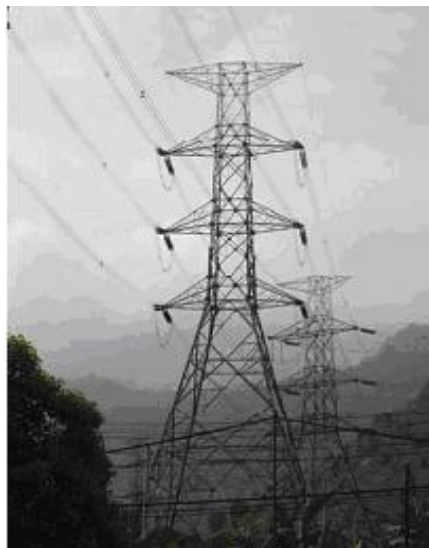
1. Saluran Udara (*Overhead Lines*)

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi. Keuntungan dari saluran transmisi udara antara lain :

- a. Mudah dalam perbaikan
- b. mudah dalam perawatan
- c. mudah dalam mengetahui letak gangguan
- d. Lebih murah

Kerugian :

- a Karena berada di ruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan dari luar, seperti gangguan hubungan singkat, gangguan tegangan bila tersambar petir, dan gangguan lainnya.
- b Dari segi estetika/keindahan kurang, sehingga saluran transmisi bukan pilihan yang ideal untuk transmisi di dalam kota.



Gambar 2.4. Saluran Udara Tegangan Tinggi

2. Saluran kabel bawah tanah (*underground cable*)

Saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah. Kategori saluran seperti ini adalah favorit untuk pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun tetap memiliki kekurangan, antara lain mahal dalam instalasi dan investasi serta sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya.



Gambar 2.5. Saluran Listrik Bawah tanah



Gambar 2.6. Saluran Bawah Laut

3. Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan

Transmisi tenaga listrik sebenarnya tidak hanya penyaluran energi listrik dengan menggunakan tegangan tinggi dan melalui saluran udara (*Overhead Line*), namun transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, yang besaran tegangannya adalah Tegangan Ultra Tinggi (UHV), Tegangan Ekstra Tinggi (EHV), Tegangan Tinggi (HV), Tegangan Menengah (MHV), dan Tegangan Rendah (LV). Sedangkan Transmisi Tegangan Tinggi adalah berfungsi menyalurkan energi listrik dari satu substation (gardu) induk ke gardu induk lainnya. Terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang (tower) melalui isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah 30 kV, 70 kV dan 150 kV.

Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagi menjadi :

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV- 500 kV

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar *drop* tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV-150 kV

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya

single atau doble sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing *phasa* terdiri dari dua atau empat kawat (*Double* atau *Qudrapole*) dan Berkas konduktor disebut *Bundle Conductor*. Jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi ini ialah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (*drop voltage*) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.

3. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 30 kV-150 kV

Saluran transmisi ini menggunakan kabel bawah tanah, dengan alasan beberapa pertimbangan :

- a. Ditengah kota besar tidak memungkinkan dipasang SUTT, karena sangat sulit mendapatkan tanah untuk tapak tower.
- b. Untuk ruang bebas juga sangat sulit dan pasti timbul protes dari masyarakat, karena padat bangunan dan banyak gedung-gedung tinggi.
- c. Pertimbangan keamanan dan estetika.
- d. Adanya permintaan dan pertumbuhan beban yang sangat tinggi.

2.2.6. Komponen Saluran Transmisi

Transmisi saluran udara, seperti telah dikenal secara luas, merupakan perangkat keras yang terintegrasi dan terdiri dari beberapa komponen utama. Komponen utama tersebut adalah :

1. Konduktor

Kawat dengan bahan konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi selalu tanpa pelindung/isolasi kawat. Ini hanya kawat berbahan tembaga atau alumunium dengan inti baja (*steel-reinforced alumunium cable/ACSR*) telanjang besar yang terbentang untuk mengalirkan arus listrik.

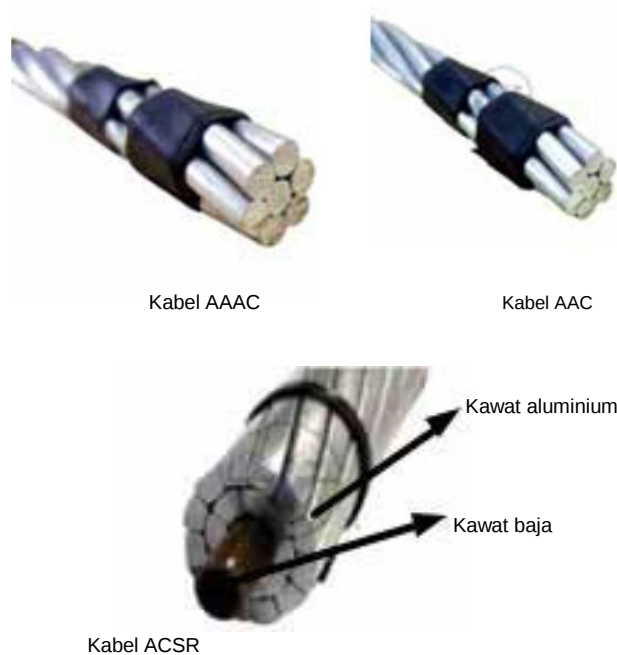
Jenis-jenis kawat penghantar yang digunakan antara lain :

- a. Tembaga dengan konduktivitas 100% (cu 100%)
- b. Tembaga dengan konduktivitas 97,5% (cu 97,5%)
- c. Alumunium dengan konduktivitas 61% (Al 61%)

Kawat tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar alumunium, karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Akan tetapi juga mempunyai kelemahan yaitu untuk besaran tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari alumunium. Oleh karena itu kawat penghantar alumunium telah mulai menggantikan kedudukan kawat tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat alumunium, digunakan campuran alumunium (*alumunium alloy*). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, oleh karena itu digunakan kawat penghantar ACSR.

Kawat penghantar alumunium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut :

1. AAC (*All-Alumunium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
2. AAAC (*All-Alumunium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium.
3. ACSR (*Alumunium Conductor, Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
4. ACAR (*Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.



Gambar 2.7. Jenis-jenis Kawat Transmisi Listrik

2. Isolator

Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik disini berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap *ground*. Isolator disini bisanya terbuat dari bahan *porcelaine*, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan disini. Bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk melindungi kebocoran arus dan memiliki ketebalan yang secukupnya (sesuai standar) untuk mencegah *breakdown* pada tekanan listrik tegangan tinggi sebagai pertahanan fungsi isolasi tersebut. Kondisi nya harus kuat terhadap goncangan apapun dan beban konduktor.

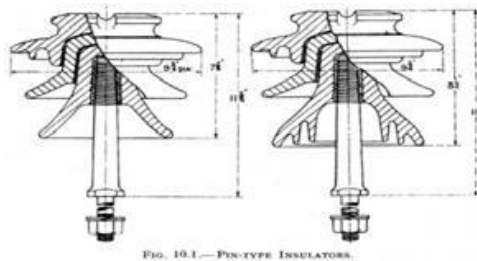
Jenis isolator yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi :

- a. Isolator jenis pasak
- b. Isolator jenis pos-saluran
- c. Isolator jenis gantung

Suspension -Type Insulators



Pin -Type Insulator



Insulator Tonggak Saluran



Gambar 2.8. Jenis-jenis Isolator Pada Saluran Transmisi

Isolator jenis pasak dan isolator jenis pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tagangan kerja relatif rendah (kurang dari 22-33kV), sedangkan isolator jenis gantung dapat digandeng menjadi rentengan/rangkaian isolator yang jumlahnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan. contoh penggunaanya yaitu jika satu piring isolator untuk isolasi sebesar 15 kV, jika tegangan yang digunakan adalah 150 kV, maka jumlah piring isolatornya adalah 10 pringan.

3. Konstruksi Tiang Penyangga

Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antar kawat penghantar, dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antar menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET yang paling banyak digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif, karena besi-besinya rawan terhadap pencurian, dimana pencurian besi-besi baja pada menara/tower listrik mengakibatkan menara/tower listrik tersebut roboh sehingga penyaluran listrik ke konsumen pun terganggu.

Suatu menara/ tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja, antara lain

- a. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan)
- b. Gaya tarik akibat rentangan kawat
- c. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

Jenis-jenis Menara/Tower Listrik

Menurut konstruksinya, jenis-jenis menara/tower listrik dibagi menjadi 4 macam, yaitu :

1. Lattice tower



Gambar 2.9. Tiang Saluran Jenis *Lattice*

2. Tubular Steel Pole



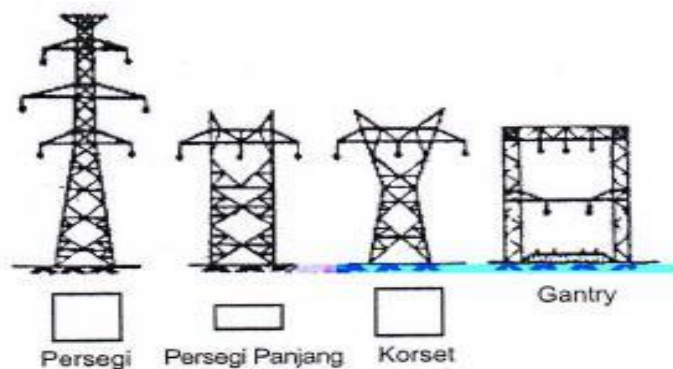
Gambar 2.10. Tiang Saluran Tubular Steel Pole

3. Concrete pole

4. Wooden pole

Menurut fungsinya, menara/tower listrik dibagi 7 macam, yaitu :

1. *Dead end tower*, yaitu tiang akhir yang berlokasi didekat gardu induk, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik.
2. *Section tower*, yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga.
3. *Suspension tower*, yaitu tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung daya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan.
4. *Tension tower*, yaitu tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar dari pada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan.
5. *Transposition tower*, yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impendansi transmisi.
6. *Gantry tower*, yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua Saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah Saluran transmisi *existing*.
7. *Combined tower*, yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.



Gambar 2.11. Macam-macam Bentuk Tiang Saluran/Tower

Menurut susunan/konfigurasi kawat fasa, menara/tower listrik dikelompokkan menjadi :

- a. Jenis delta, digunakan pada konfigurasi horizontal / mendatar.
- b. Jenis piramida, digunakan pada konfigurasi vertikal / tegak.

c. Jenis Zig-zag, yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan tower.

Dilihat dari tipe tower, dibagi atas beberapa tipe yaitu :

Tabel 2.1 Tipe tower Saluran Udara Tegangan Tinggi

Type Tower	Fungsi	Sudut
Aa	Suspension	0 ° -3 °
Bb	Tension/section	3 ° - 20 °
Dd	Tension	20 ° - 60 °
Ee	Tension	60 ° - 90 °
Ff	Tension	> 90 °
Gg	Transposisi	> 90 °

Komponen-komponen Menara/tower Listrik

Secara umum suatu menara/tower listrik terdiri dari :

1. Pondasi, yaitu suatu konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (*stub*) dengan bumi.

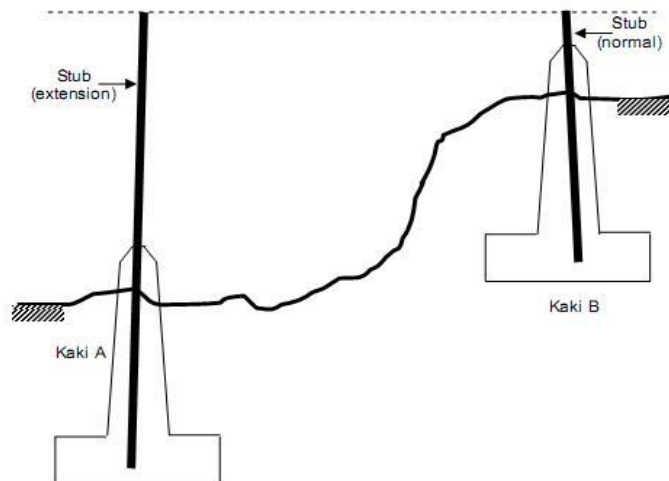


Gambar 2.12. Pondasi tower (*lattice*) SUTT 500 kV



Gambar 2.13. Pondasi *Steel* 150 kV

2. *Stub*, bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi.
3. *Leg*, kaki tower yang terhubung antara *stub* dengan *body* tower. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi leg, sedangkan *body* harus tetap sama tinggi permukaannya.



Gambar 2.14. Kabel Pentanahan Tower Transmisi

4. *Common Body*, badan tower bagian bawah yang terhubung antara *leg* dengan badan tower bagian atas (*super structure*). Kebutuhan tinggi tower dapat dilakukan dengan pengaturan

tinggi *common body* dengan cara penambahan atau pengurangan.

5. *Super structure*, badan tower bagian atas yang terhubung dengan *common body* dan *cross arm* kawat fasa maupun kawat petir. Pada tower jenis delta tidak dikenal istilah *super structure* namun digantikan dengan “K” *frame* dan *bridge*.
6. *Cross arm*, bagian tower yang berfungsi untuk tempat menggantungkan atau mengaitkan isolator kawat fasa serta *clamp* kawat petir. Pada umumnya *cross arm* berbentuk segitiga kecuali tower jenis *tension* yang mempunyai sudut belokan besar berbentuk segi empat.
7. “K” *frame*, bagian tower yang terhubung antara *common body* dengan *bridge* maupun *cross arm*. “K” *frame* terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri. “K” *frame* tidak dikenal di tower jenis *pyramid*.
8. “K” *frame*, bagian tower yang terhubung antara *common body* dengan *bridge* maupun *cross arm*. “K” *frame* terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri. “K” *frame* tidak dikenal di tower jenis *pyramid*.
9. *Bridge*, penghubung antara *cross arm* kiri dan *cross arm* tengah. Pada tengah-tengah *bridge* terdapat kawat penghantar fasa tengah. *Bridge* tidak dikenal di tower jenis *pyramida*.
10. Rambu tanda bahaya, berfungsi untuk memberi peringatan bahwa instalasi SUTT/SUTET mempunyai resiko bahaya. Rambu ini bergambar petir dan tulisan “**AWAS BERBAHAYA TEGANGAN TINGGI**”. Rambu ini dipasang di kaki tower lebih kurang 5 meter diatas tanah sebanyak dua buah, dipasang disisi yang menghadap tower nomor kecil dan sisi yang menghadap nomor besar.



Gambar 2.15. Rambu Tanda Bahaya Tower

11. Rambu identifikasi tower dan penghantar / jalur, berfungsi untuk memberitahukan identitas tower seperti : Nomor tower, urutan fasa, Penghantar / Jalur dan Nilai tahanan pentanahan kaki tower.



Gambar 2.16. Rambu Identifikasi Tower

12. *Anti Climbing Device (ACD)*, berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan untuk naik ke tower. ACD dibuat runcing, berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah rambu tanda bahaya.



Gambar 2.17. *Anti Climbing Device (ACD)*

13. *Step bolt*, baut panjang yang dipasang dari atas ACD ke sepanjang badan tower hingga *super structure* dan *arm* kawat petir. Berfungsi untuk pijakan petugas sewaktu naik maupun turun dari tower.



Gambar 2.18. *Step bolt* pada Tower

2.3. Kerangka Pemikiran

