

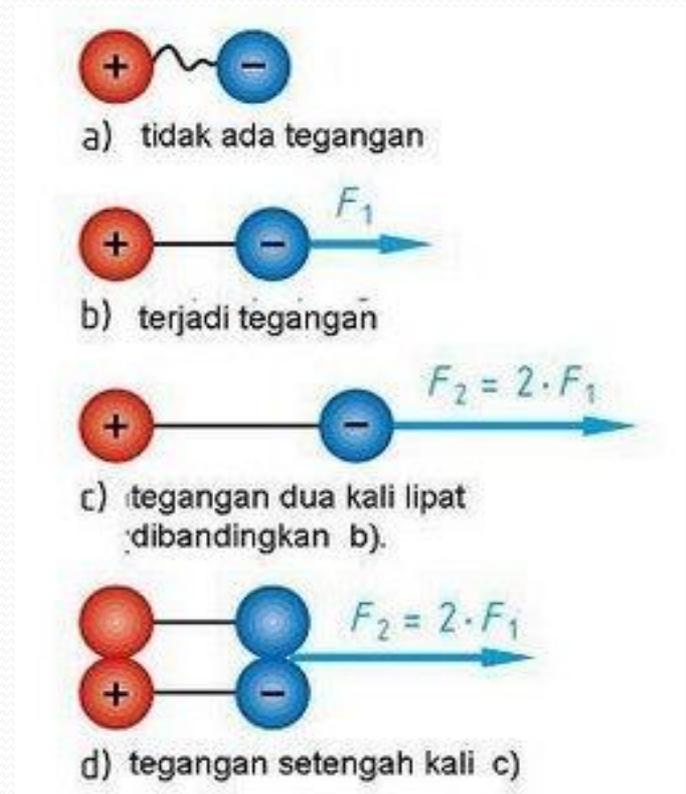
DASAR TEKNIK TEGANGAN TINGGI



- HASBULLAH, MT
 - Teknik Elektro FPTK UPI
- 2009

Tegangan listrik

- *Tegangan* atau beda potensial antara dua titik, adalah usaha yang dibutuhkan untuk membawa muatan satu *coulomb* dari satu titik ke titik lainnya.



- 1. Dua bola yang bermuatan positif dan bermuatan negatif, karena muatan keduanya sangat lemah dimana beda potensial antara keduanya mendekati nol, maka kedua bola tidak terjadi interaksi, kedua bola hanya diam saja
- 2. Dua buah bola yang masing-masing bermuatan positif, dan negatif. Dengan muatan berbeda kedua bola akan saling tarik menarik. Untuk memisahkan kedua bola, diperlukan usaha F_1
- 3. Kejadian dua buah bola bermuatan positif dan negatif, dipisahkan jaraknya dua kali jarak pada contoh no.2, untuk itu diperlukan usaha F_2 sebesar $2.F_1$
- 4. Ada empat bola, satu bola visual tegangan bermuatan positif dan satu bola bermuatan negatif, dua bola lainnya tidak bermuatan. Jika dipisahkan seperti contoh no.3, diperlukan usaha F_2 sebesar $2.F_1$

PERSAMAAN TEGANGAN



$$U = W/Q \text{ [U]} = \text{Nm/C} = \text{VAs/As} = \text{V}$$

dimana;

$U = \text{Tegangan (V)}$

$W = \text{Usaha (Nm, Joule)}$

$Q = \text{Muatan (C)}$

Satu Volt adalah beda potensial antara dua titik pada saat melakukan usaha sebesar satu joule untuk memindahkan muatan listrik sebesar satu coulomb.

TEGANGAN TINGGI

- Semua tegangan yang dianggap cukup tinggi oleh pakar ketenagalistrikan
- Diperlukan pengujian dan pengukuran dengan tegangan tinggi yang bersifat khusus dan teknik-teknik tertentu
- Memiliki batas-batas yang berbeda di setiap negara

KLASIFIKASI TEG. TINGGI

- Tegangan Tinggi (HV) : 30, 66, 70, 150, 138 kV
- Teg. Ekstra Tinggi (EHV) : 220, 500, 765 kV
- Teg. Ultra Tinggi (UHV) : > 765 kV

Sistem tenaga listrik

- STL adalah rangkaian instalasi tenaga listrik dari pembangkitan, transmisi dan distribusi yang dioperasikan serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik

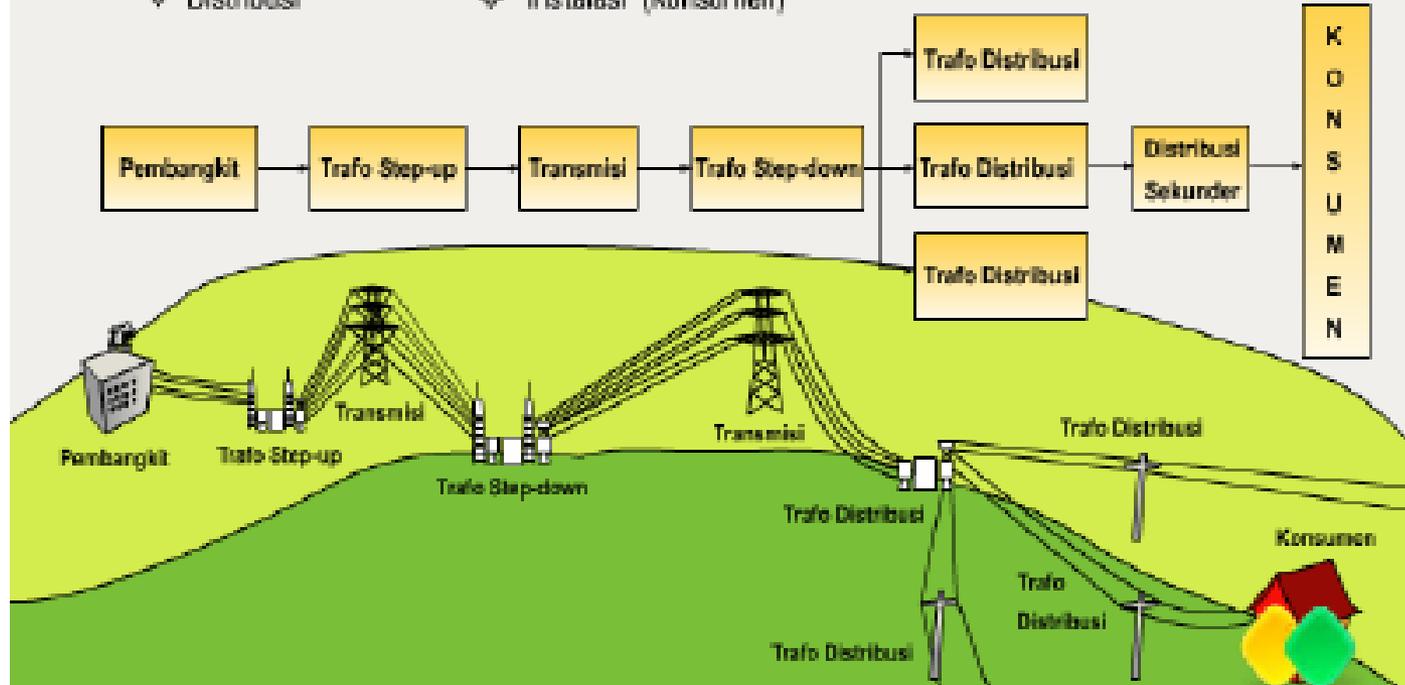
Sistem Tenaga listrik meliputi :

- Pembangkitan
- Transmisi
- Distribusi dan
- Konsumen

Sistem tenaga listrik

Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

- ❖ Pembangkit
- ❖ Distribusi
- ❖ Transmisi
- ❖ Instalasi (Konsumen)



a. Pusat pembangkit tenaga listrik

- Yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (prime mover) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk (GI)
- Peralatan utama pada gardu induk antara lain: Transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi / tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur.
- Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain: PLTA (Pusat Listrik Tenaga Air), PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir).

b. Saluran transmisi (transmission line)

- Berupa kawat-kawat yang di pasang pada menara atau tiang dan bisa juga melalui kabel yang di pendam di bawah permukaan tanah, saluran transmisi berfungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit, yang umumnya terletak jauh dari pusat beban, ke gardu induk penurun tegangan yang memiliki transformer penurun tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan distribusi (menengah).
- Saluran transmisi ini mempunyai tegangan yang tinggi agar dapat meminimalkan rugi-rugi daya (*power losses*) disalurkan. Contoh dari saluran transmisi di Indonesia adalah : SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi, dengan tegangan kerja 70-150 kV), SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dengan tegangan kerja 500 kV).

c. Sistem distribusi (distribution system)

- Yang merupakan sub-sistem tersendiri yang terdiri dari: Pusat Pengatur Distribusi (Distribution Control Centre, DCC) , Saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, biasa juga disebut tegangan distribusi primer) yang merupakan saluran udara atau kabel tanah, Gardu Distribusi (GD) tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah (380 V, 220 V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen perumahan.

d.konsumen

- Adalah setiap orang atau badan usaha yang membeli tenaga listrik dari Pemegang Usaha Penyedia tenaga Listrik untuk digunakan sebagai pemanfaatan akhir dan tidak untuk diperdagangkan.

Saluran transmisi

- **Kategori saluran transmisi berdasarkan pemasangan**

1. *saluran udara (overhead lines)*; saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antar menara atau tiang transmisi

Keuntungan dari saluran transmisi udara adalah

- lebih murah,
- mudah dalam perawatan,
- mudah dalam mengetahui letak gangguan,
- mudah dalam perbaikan, dan lainnya.

- Kerugian saluran udara, antara lain: karena berada di ruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan, seperti gangguan hubung singkat, gangguan tegangan lebih karena tersambar petir, dan gangguan-gangguan lainnya.
- Dari segi estetika/keindahan juga kurang, sehingga saluran transmisi bukan pilihan yang ideal untuk suatu saluran transmisi didalam kota.

- 2. *saluran kabel tanah (underground cable)*; saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam didalam tanah.
- Kategori saluran transmisi seperti ini adalah yang favorite untuk pemasangan di dalam kota, karena berada didalam tanah, maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun juga memiliki kekurangan. Seperti: mahalnya biaya investasi dan sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya

- **Kategori saluran transmisi berdasarkan arus listrik**

Dalam dunia kelistrikan, dikenal dua kategori arus listrik, yaitu arus bolak-balik (Alternating Current/AC) dan arus searah (Direct Current/DC). Oleh karena itu , berdasarkan jenis arus listrik yang mengalir di saluran transmisi, maka saluran transmisi terdiri dari:

- Saluran Transmisi AC
- Saluran Transmisi DC

- *Saluran transmisi AC;*
- Dalam system AC, kenaikan dan penurunan tegangannya sangat mudah dilakukan dengan bantuan transformator dan juga memiliki 2 sistem, sistem fasa tunggal dan sistem fasa tiga sehingga saluran transmisi AC memiliki keuntungan lainnya, antara lain:
 - a. daya yang disalurkan lebih besar
 - b. nilai sesaat (instantaneous value)nya konstan, dan
 - c. mempunyai medan magnet putar

- Selain keuntungan-keuntungan yang disebutkan diatas, saluran transmisi AC juga memilik kerugian, yaitu:
- tidak stabil dan
- isolasi yang rumit dan mahal (mahal disini dalam artian untuk menyediakan suatu isolasi yang memang aman dan kuat).

Saluran transmisi dc

- Dalam saluran transmisi DC, daya guna atau efesiansinya tinggi karena mempunyai factor daya = 1, tidak memiliki masalah terhadap stabilitas terhadap system, sehingga dimungkinkan untuk penyaluran jarak jauh dan memiliki isolasi yang lebih sederhana.

Berhubungan dengan keuntungan dan kerugiannya, dewasa ini saluran transmisi di dunia sebagian besar menggunakan saluran transmisi AC.

- Saluran transmisi DC baru dapat dianggap ekonomis jika jarak saluran udaranya antara 400km sampai 600km, atau untuk saluran bawah tanah dengan panjang 50km. hal itu disebabkan karena biaya peralatan pengubah dari AC ke DC dan sebaliknya (converter & inverter) masih sangat mahal, sehingga dari segi ekonomisnya saluran AC akan tetap menjadi primadona dari saluran transmisi.

Tegangan transmisi

- Apabila tegangan transmisi dinaikkan, maka daya guna penyaluran akan naik oleh karena rugi-rugi transmisi turun, pada besaran daya yang disalurkan sama. Namun, kenaikan tegangan transmisi berarti juga kenaikan isolasi dan biaya peralatan juga biaya gardu induk.
- Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (reliability), biaya peralatan untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang akan di rencanakan.
- Penentuan tegangan juga harus dilihat dari segi standarisasi peralatan yang ada. Penentuan tegangan transmisi merupakan bagian dari perancangan system tenaga listrik secara keseluruhan.

Pembagian Tegangan Transmisi

- Meskipun tidak jelas menyebutkan keperluannya sebagai tegangan transmisi, di Indonesia, pemerintah telah menyeragamkan deretan tegangan tinggi sebagai berikut:
 - a. *Tegangan Nominal (kV):* (30) - 66 - 150 - 220 - 380 - 500.
 - b. *Tegangan tertinggi untuk perlengkapan (kV):* (36) - 72,5 - 170 - 245 - 420 - 525.

Tegangan nominal 30 kV hanya diperkenankan untuk daerah yang tegangan distribusi primer 20 kV tidak dipergunakan. Penentuan deret tegangan diatas, disesuaikan dengan rekomendasi dari International Electrotechnical Commission (IEC).

KOMPONEN UTAMA SAL. TRANSMISI

- **A.MENARA TRANSMISI** atau **tiang transmisi**, beserta pondasinya.
- **B. ISOLATOR**
- **C. KAWAT PENGHANTAR (KONDUKTOR)**
- **D. KAWAT TANAH**

MENARA TRANSMISI

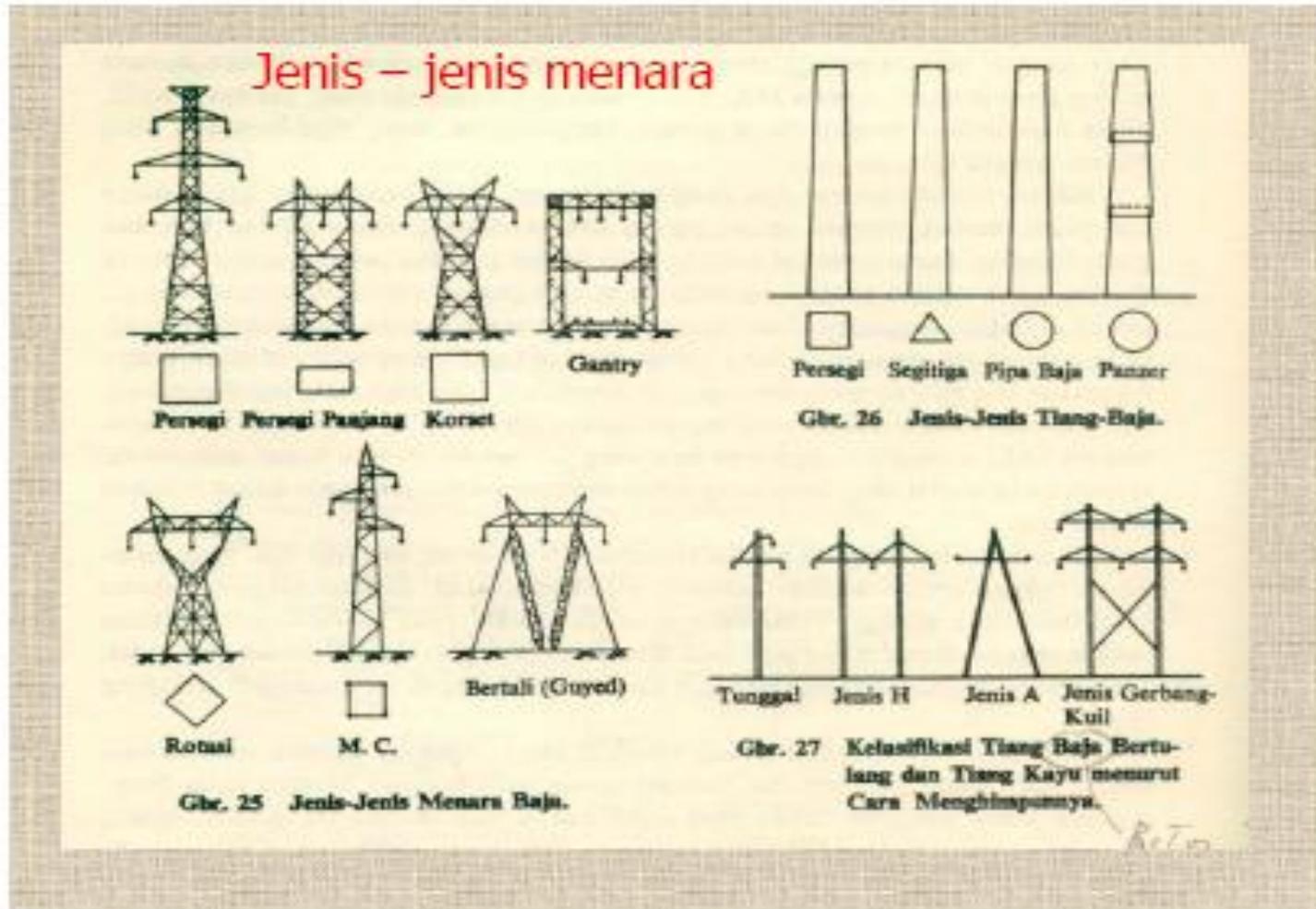
- Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. menurut penggunaannya diklasifikasikan menjadi:
 - a. Tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu, umumnya digunakan untuk saluran-saluran transmisi dengan tegangan kerja yang relatif rendah (dibawah 70 kV).
 - b. Menara baja, digunakan untuk saluran transmisi yang tegangan kerjanya tinggi (SUTT) dan tegangan ekstra tinggi (SUTET).

Menara baja itu sendiri diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, menjadi:

- a. menara dukung.
- b. menara sudut.
- c. menara ujung.
- d. menara percabangan.
- e. menara transposisi.

- 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
- Suatu menara atau tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya, antara lain yaitu:
 - Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan).
 - Gaya tarik akibat rentangan kawat.
 - Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

JENIS-JENIS MENARA



JENIS-JENIS MENARA

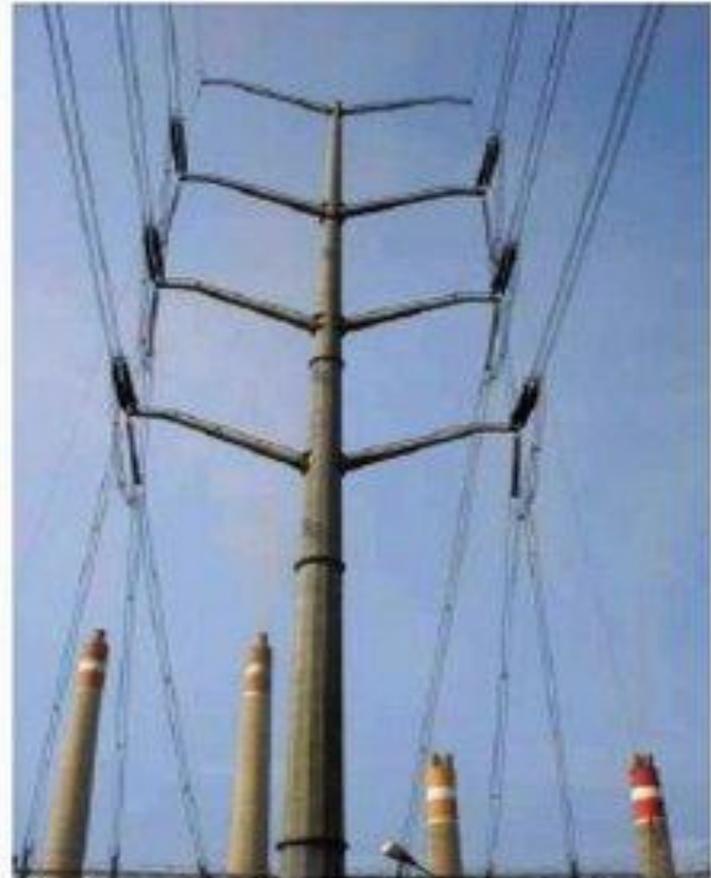
- Menurut bentuk konstruksinya, jenis-jenis menara / tower listrik dibagi atas 4 macam, yaitu:
 1. Lattice tower
 2. Tubular steel pole
 3. Concrete pole
 4. Wooden pole

MENARA TRANSMISI

Lattice tower



Tubular steel pole



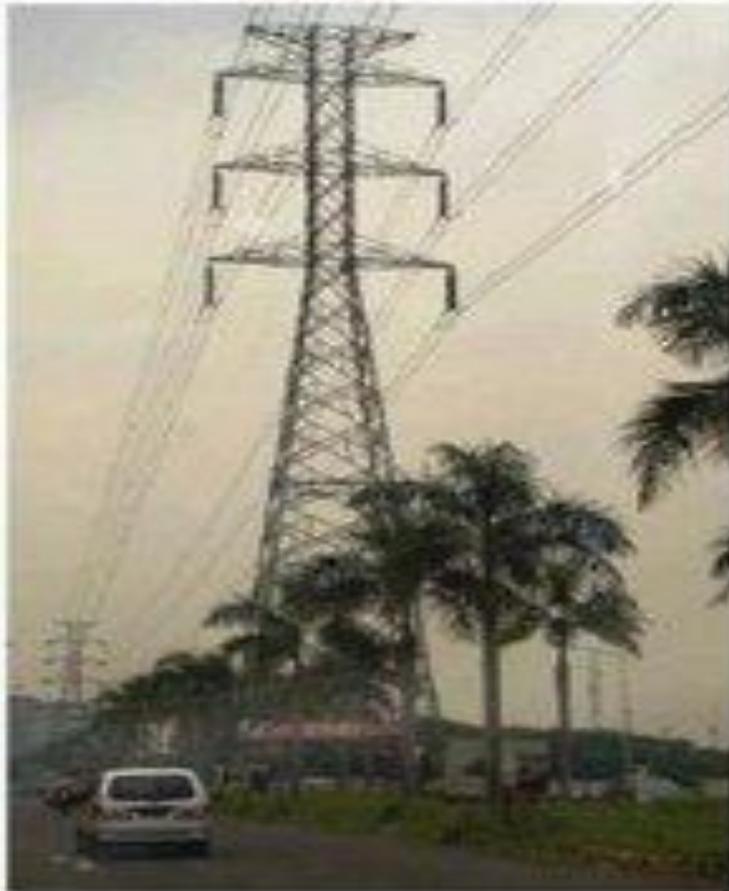
Menurut fungsinya

- 1. *Dead end tower*, yaitu tiang akhir yang berlokasi di dekat Gardu induk, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya tarik.
- 2. *Section tower*, yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.
- 3. *Suspension tower*, yaitu tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan.
- 4. *Tension tower*, yaitu tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar daripada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan.

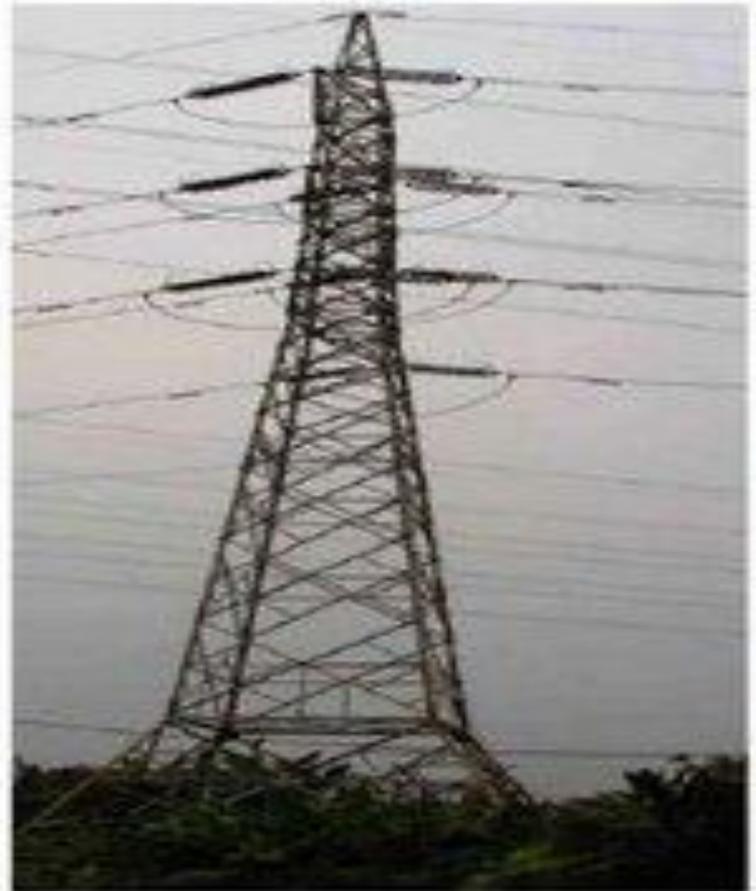
- 5. *Transposition tower*, yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impedansi transmisi.
- 6. *Gantry tower*, yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua Saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah Saluran transmisi existing.
- 7. *Combined tower*, yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.

Tipe Menara

Tower 2 sirkit tipe suspensi



Tower 2 sirkit tipe tension



Tipe Menara

Tower 4 sirkit tipe suspensi **Tower 4 sirkit tipe suspensi**



Menara Menurut Konfigurasi

- *Menurut susunan / konfigurasi kawat fasa, menara / tower listrik dikelompokkan atas:*
 1. Jenis delta, digunakan pada konfigurasi horizontal / mendatar.
 2. Jenis piramida, digunakan pada konfigurasi vertikal / tegak.
 3. Jenis Zig-zag, yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan tower.

Komponen-komponen Menara / Tower listrik

- Secara umum suatu menara / tower listrik terdiri dari:
 - *Pondasi*, yaitu suatu konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub) dengan bumi.
 - *Stub*, bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi.
 - *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.
 - *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.
 - *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.

- *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.
- “*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.
- *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 piramida.
- *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.

pihak

- *Rambu identifikasi tower dan penghantar / jalur*, berfungsi untuk memberitahukan identitas tower seperti: Nomor tower, Urutan fasa, Penghantar / Jalur dan Nilai tahanan pentanahan kaki tower.
- *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.
- *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.
- *Halaman tower*, daerRencana pemerintah untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat melalui industrialisasi tampaknya merupakan suatu rencana yang patut didukung oleh semua