

A. SALURAN TRANSMISI

Kategori saluran transmisi berdasarkan pemasangan

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 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. Namun juga memiliki kerugian, 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. Kedua cara penyaluran memiliki keuntungan dan kerugian masing-masing.

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:

1. *saluran transmisi AC*; didalam system AC, penaikan 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 memiliki kerugian, yaitu: tidak stabil, isolasi yang rumit dan mahal (mahal disini dalam artian untuk menyediakan suatu isolasi yang memang aman dan kuat).

2. *saluran transmisi DC*; dalam saluran transmisi DC, daya guna atau efesiensinya 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, penaikan tegangan transmisi berarti juga penaikan 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.

Tingkat tegangan yang lebih tinggi, selain untuk memperbesar daya hantar dari saluran transmisi yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran transmisi. Jelas sudah, dengan mempertinggi tegangan maka tingkat isolasi pun harus lebih tinggi, dengan demikian biaya peralatan juga akan tinggi.

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).

B. SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

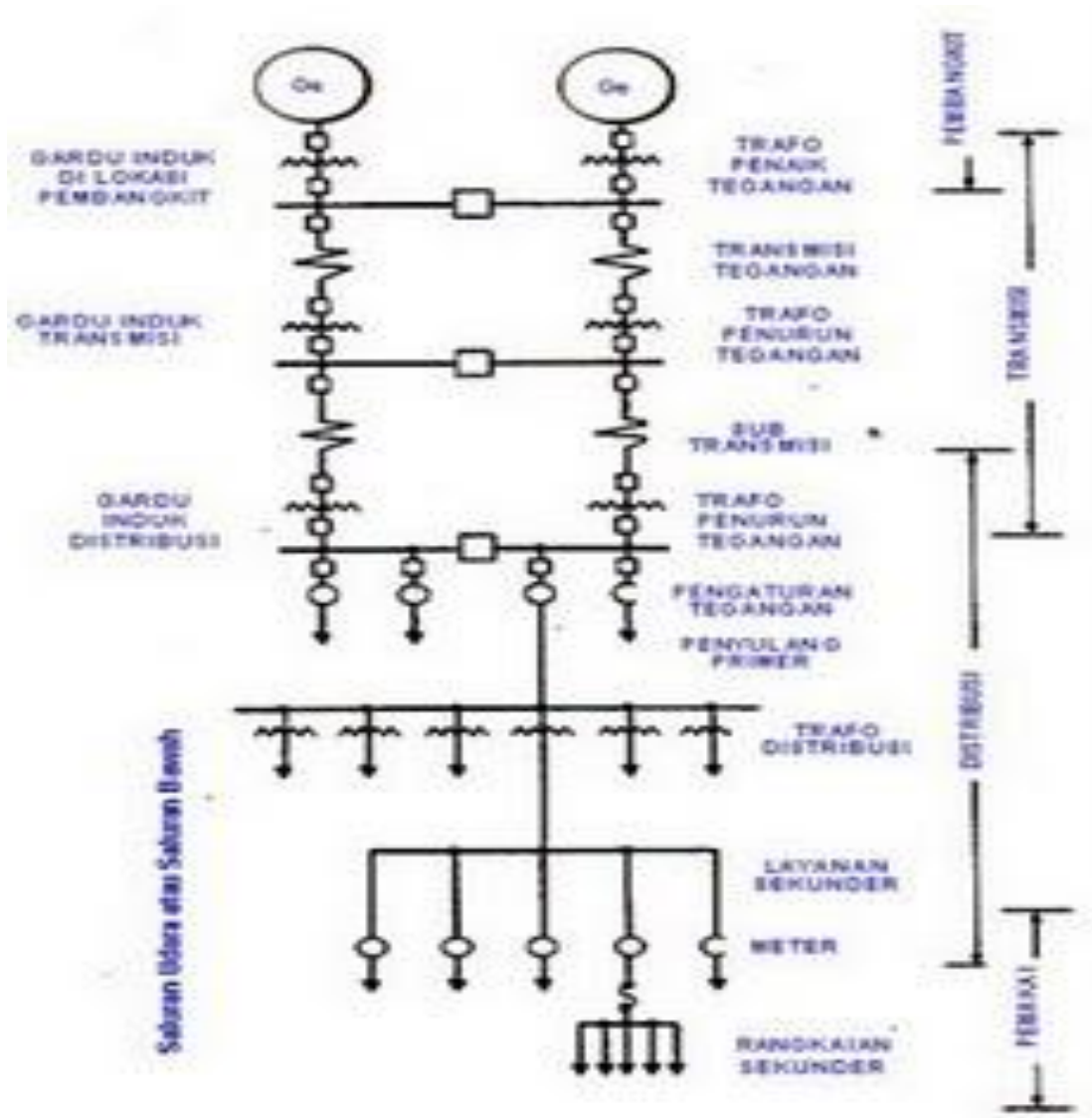
Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen, seperti dijelaskan pada artikel sebelumnya di [sini](#). Jadi fungsi *distribusi tenaga listrik* adalah:

- 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan
- 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik.

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar diatas:

Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)

Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)

Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).

Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- a. *SUTM*, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. *SKTM*, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination dan lain-lain.
- c. *Gardu trafo*, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. *SUTR dan SKTR*, terdiri dari: sama dengan perlengkapan/material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.

Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, saluran tenaga Listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Menurut nilai tegangannya:

- a. Saluran distribusi Primer, Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (Gardu Induk) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi.
- b. Saluran Distribusi Sekunder, Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar -2)

2. Menurut bentuk tegangannya:

- a. *Saluran Distribusi DC (Direct Current)* menggunakan sistem tegangan searah.
- b. *Saluran Distribusi AC (Alternating Current)* menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

3. Menurut jenis/tipe konduktornya:

a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan penyangga (tiang) dan perlengkapannya, dan dibedakan atas:

- Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
- Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.

b. Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable).

c. Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable)

4. Menurut susunan (konfigurasi) salurannya:

a. Saluran Konfigurasi horizontal, bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horisontal.

b. Saluran Konfigurasi Vertikal, bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal .

c. Saluran konfigurasi Delta, bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta).

5. Menurut Susunan Rangkaiannya

Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi di bedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

a. Jaringan Sistem Distribusi Primer,

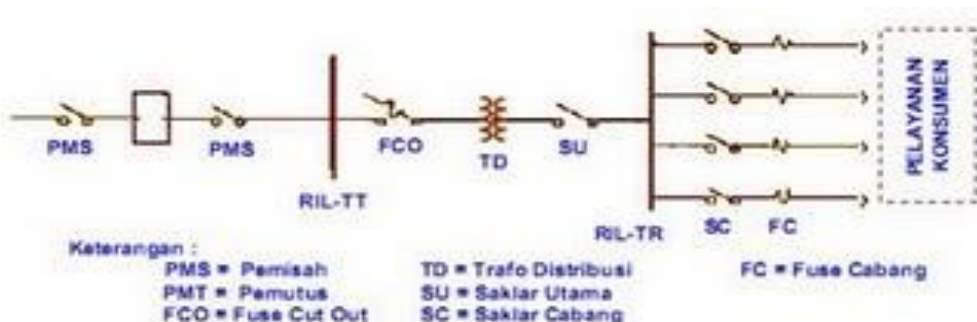
Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

- Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, yaitu:
- Jaringan Distribusi Radial, dengan model: Radial tipe pohon, Radial dengan tie dan switch pemisah, Radial dengan pusat beban dan Radial dengan pembagian phase area.
 - Jaringan distribusi ring (loop), dengan model: Bentuk open loop dan bentuk Close loop.
 - Jaringan distribusi Jaring-jaring (NET)
 - Jaringan distribusi spindle
 - Saluran Radial Interkoneksi

b. Jaringan Sistem Distribusi Sekunder,

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sbb:

- Papan pembagi pada trafo distribusi,
- Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- Alat Pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.



gambar 2. Komponen Sistem Distribusi Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edison Electric Institut, (2) NEMA (National Electrical Manufactures Association). Pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem distribusi DC, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat dioperasikan secara optimal. Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapa macam tipe dan cara pengawatan, ini bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu:

1. *Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt*
2. *Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt*
3. *Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt*
4. *Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt*
5. *Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt*
6. *Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt*
7. *Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 Volt*
8. *Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 Volt*
9. *Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt*

Di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Sedang pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem diatas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (generator set) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) di suplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota, IEC (International Electrotechnical Commission), Indonesia telah mulai menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt. (IEC Standard Voltage pada Publikasi nomor 38 tahun 1967 halaman 7 seri 1 tabel 1).

Diagram rangkaian sisi sekunder trafo distribusi terdiri dari:

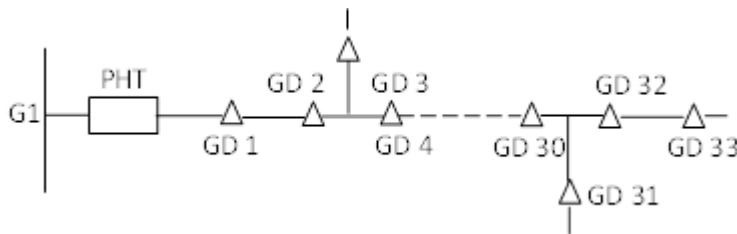
1. *Sistem distribusi satu fasa dengan dua kawat*, Tipe ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana, biasanya digunakan untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan dan pedesaan.
2. *Sistem distribusi satu fasa dengan tiga kawat*, Pada tipe ini, prinsipnya sama dengan sistem distribusi DC dengan tiga kawat, yang dalam hal ini terdapat dua alternatif besar tegangan. Sebagai saluran “netral” disini dihubungkan pada tengah belitan (center-tap) sisi sekunder trafo, dan diketanahkan, untuk tujuan pengamanan personil. Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan dan pedesaan.
3. *Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt*, Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas sedang dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan pedesaan dan perdagangan ringan, dimana terdapat dengan beban 3 fasa.
4. *Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt*.
5. *Sistem distribusi tiga fasa dengan tiga kawat*, Tipe ini banyak dikembangkan secara ekstensif. Dalam hal ini rangkaian tiga fasa sisi sekunder trafo dapat diperoleh dalam bentuk rangkaian delta (segitiga) ataupun rangkaian wye (star/bintang). Diperoleh dua alternatif besar tegangan, yang dalam pelaksanaannya perlu diperhatikan adanya pembagian seimbang antara ketiga fasanya. Untuk rangkaian delta tegangannya bervariasi yaitu 240 Volt, dan 480 Volt. Tipe ini dipakai untuk melayani beban-beban industri atau perdagangan.
6. *Sistem distribusi tiga fasa dengan empat kawat*, Pada tipe ini, sisi sekunder (output) trafo distribusi terhubung star, dimana saluran netral diambil dari titik bintangnya. Seperti halnya pada sistem tiga fasa yang lain, di sini perlu diperhatikan keseimbangan beban antara ketiga fasanya, dan disini terdapat dua alternatif besar tegangan.

C. KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI SISTEM TENAGA LISTRIK

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, *loop* dan *spindel*.

Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada gambar. 1



Gambar 1 Jaringan distribusi radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin keujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

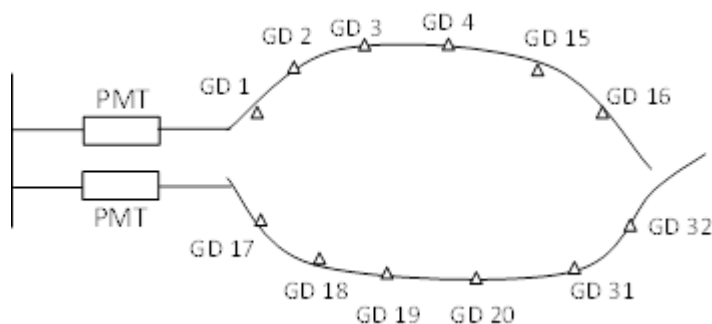
1. Bentuknya sederhana.
2. Biaya investasinya murah.

3. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
4. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami “*black out*” secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Sistem Jaringan Distribusi *Loop*

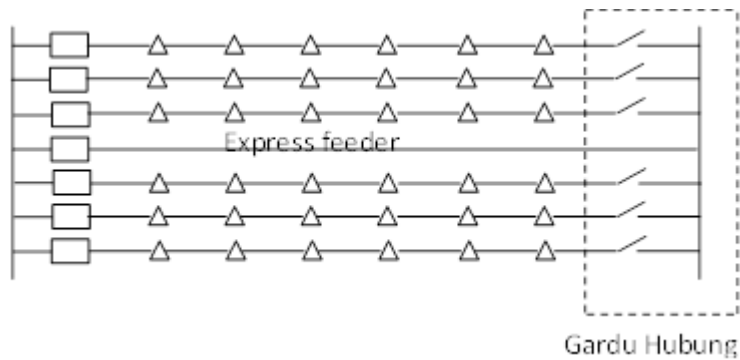
Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena *drop* tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2 Jaringan Distribusi Loop

Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel (seperti gambar 3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota-kota besar.



Gambar 3 Jaringan Distribusi Spindel

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menurunkan atau menekan rugi-rugi akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan.
5. Sistem ini cocok untuk melayani kota-kota besar dimana beban tersebar dimana-mana.