



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

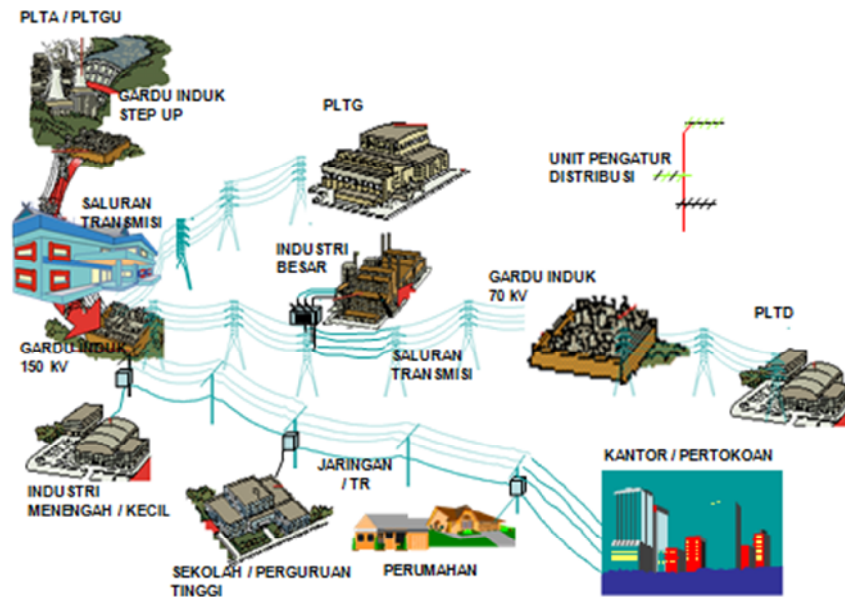
Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit dengan tegangan dari 12 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk menggunakan transformator *step-up* menjadi 70 kV , 154 kV, 220 kV atau 500 kV 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 menggunakan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi yang kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi menurunkan tegangannya menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220V/380V. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh digunakan tegangan setinggi mungkin dengan menggunakan trafo *step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain : berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain itu 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 *step-down*. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangan nya, maka mulai dari titik sumber hingga titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda.



Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. (Suhadi dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Hal 11)



Sumber : (Suhadi dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1. Hal 4)

Gambar 2.1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

2.2 Perbedaan Jaringan Distribusi Dengan Jaringan Transmisi

Untuk membedakan antara jaringan transmisi dan jaringan distribusi dapat dilihat pada tabel 2.1 yang dipandang dari berbagai segi sudut pandang.

Tabel 2.1. Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi

NO	Dari Segi	Distribusi	Transmisi
1	Letak lokasi Jaringan	Dalam Kota	Luar Kota
2	Tegangan Sistem	< 30 KV	>30 KV
3	Bentuk Jaringan	Radial, Loop, Pararel Interkoneksi	Radial dan Loop
4	Sistem Penyaluran	Saluran Udara dan Saluran Bawah Tanah	Saluran Udara dan Saluran Bawah Laut



5	Konstruksi Jaringan	Lebih Rumit dan Beragam	Lebih Sederhana
6	Analisis Jaringan	Lebih Kompleks	Lebih Sederhana
7	Komponen Rangkaian yang Diperhitungkan	Komponen R dan L	Komponen R,L, dan C
8	Penyangga Jaringan	Tiang Jaringan	Menara Jaringan
9	Tiang Penyangga Jaringan	Kurang dari 20 m	30-200 m
10	Kawat Penghantar	BCC,SAC,AAC,AAAC	ACSR DAN ACAR
11	Kawat Tarikan	Dengan Kawat Tarikan	Tanpa Kawat Tarikan
12	Isolator Jaringan	Jenis Pasak (Pin) Jenis post (batang) Jenis Gantung Jenis cincin	Jenis Gantung
13	Besarnya Andongan	0-1 m	2-5 m
14	Fungsinya	Menyalurkan Daya ke Konsumen	Menyalurkan Daya ke Gardu Induk
15	Bahan Penyangga	Baja,Besi, Kayu	Baja
16	Jarak Antar Tiang	40 -100 m	150-350 m



a. Jaringan distribusi



b. Jaringan transmisi

Sumber : (Daman Suswanto, 2010, hal 2-3)

Gambar 2.2 Konstruksi jaringan distribusi dan transmisi



2.3 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

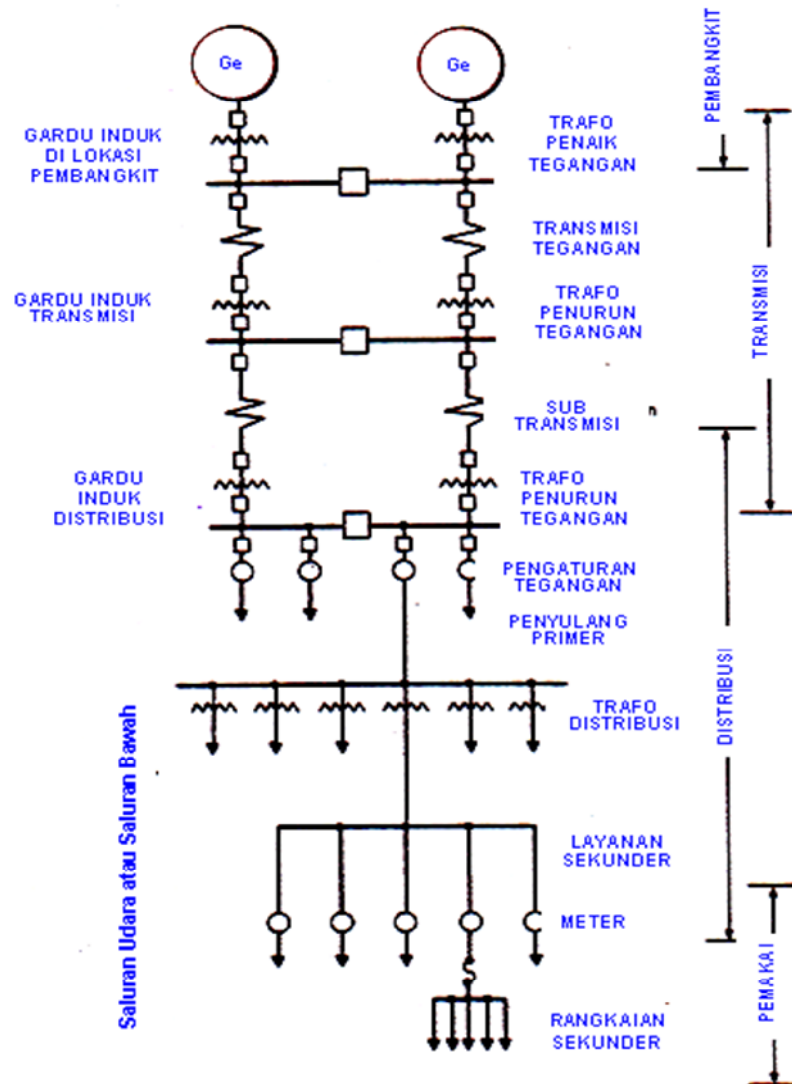
Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 3-2:

- 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 per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. **SKTM**, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir 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.



Sumber : (Suhadi dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Hal 13)

Gambar 2.3 Pengelompokan Sistem Tenaga Listrik

2.4 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (Power Station) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi. Sistem pendistribusian tenaga



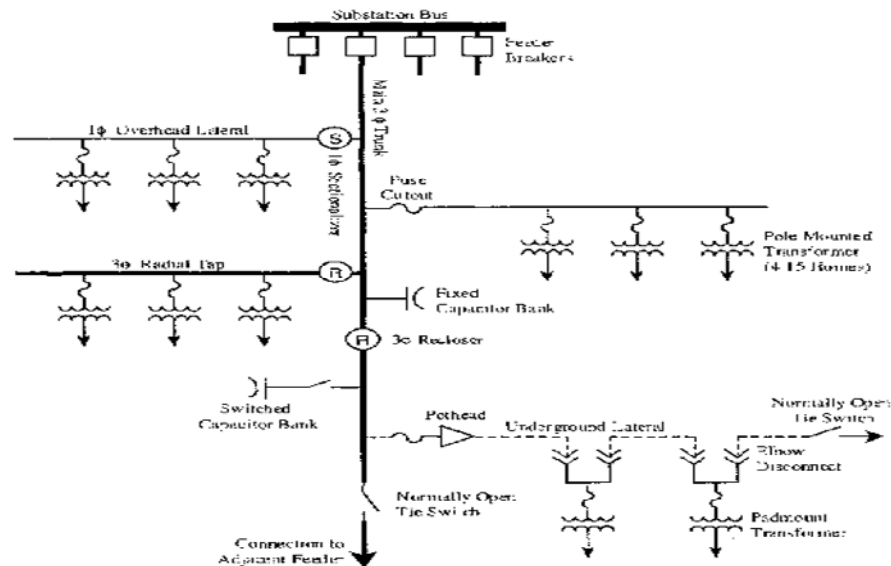
listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung.

2.4.1 Sistem pendistribusian langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau pinggiran kota.

2.4.2 Sistem pendistribusian tak langsung

Sistem pendistribusian tak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.



Sumber : (Daman Suswanto, 2010)

Gambar 2.4 Sistem pendistribusian langsung dan tak langsung



2.5 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

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

2.5.1 Menurut nilai tegangannya

1. Saluran Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation (G.I) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bias disebut jaringan distribusi.

2. Saluran Di Sekunder

Terletak pada sisi skunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2.3).

2.5.2 Menurut bentuk tegangannya

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

2.5.3 Menurut jenis / tipe konduktornya

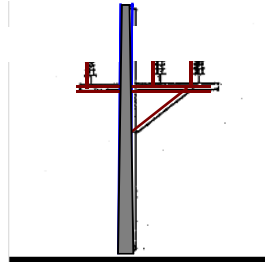
- a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas :
 - Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- b. Saluran bawah tanah, dipasang didalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable).
- c. Saluran bawah laut, dipasang didasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable).



2.5.4 Menurut susunan (Konfigurasi) salurannya

a. Saluran Konfigurasi Horizontal

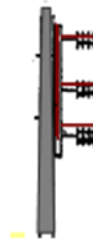
Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain / terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horizontal.



Gambar 2.5
Konfigurasi Horizontal

b. Saluran Konfigurasi Vertikal

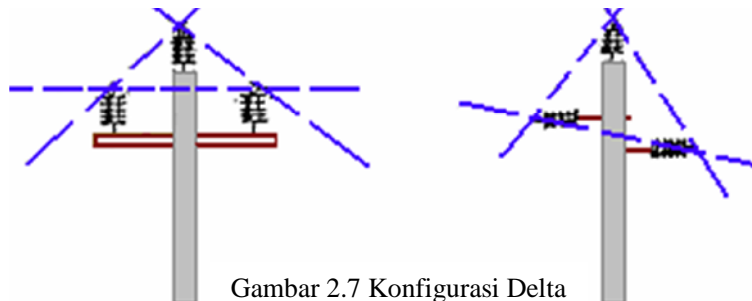
Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.



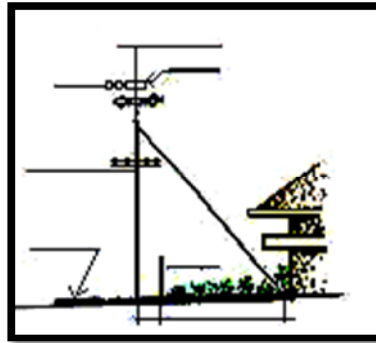
Gambar 2.6
Konfigurasi Vertikal

c. Saluran Konfigurasi Delta

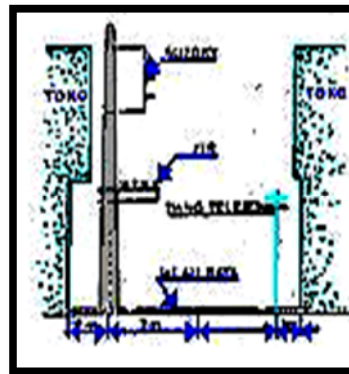
Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta).



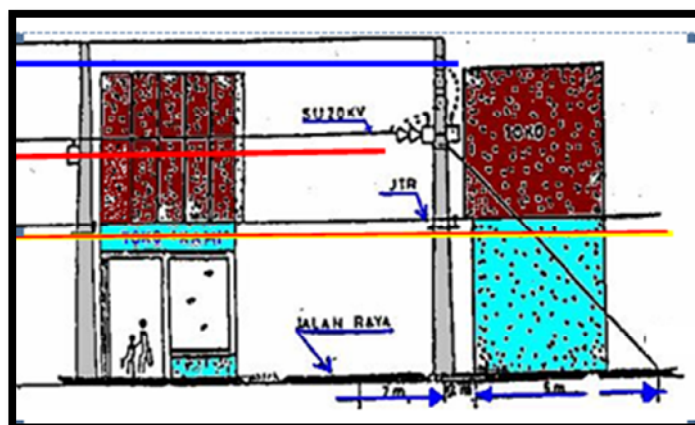
Gambar 2.7 Konfigurasi Delta



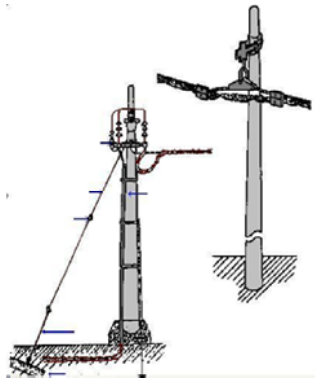
Gambar 2.8 Jaringan distribusi lintas bangunan (perhatikan pemasangan kawat dekat bangunan dan diatas jalan raya)



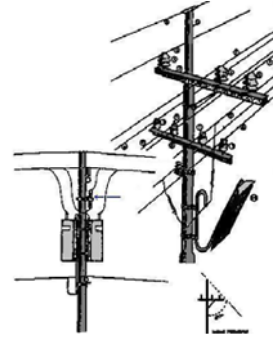
Gambar 2.9 Jaringan distribusi lintas bangunan (perhatikan tiang ujung)



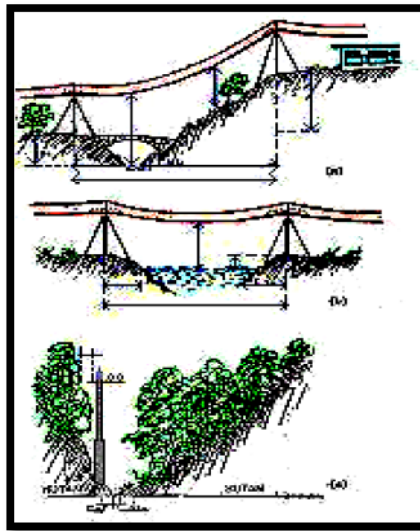
Gambar 2.10
Jaringan distribusi lintas bangunan (perhatikan tarikan tiang ujung disamping bangunan)



Gambar 2.11
Saluran udara dengan konduktor
kabel



Gambar 2.12
Saluran distribusi dimana saluran
primer dan skunder terletak pada satu
tiang



Gambar 2.13 Saluran udara lintas alam

2.5.5 Menurut susunan rangkaiannya

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

2.5.5.1 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 disuplai tenaga listrik sampai kepusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer.

A. Jaringan Distribusi Radial

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (line), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari satu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ketitik beban yang dilayani.

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar.

Oleh karena itu kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang salurantidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin keujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula.

Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

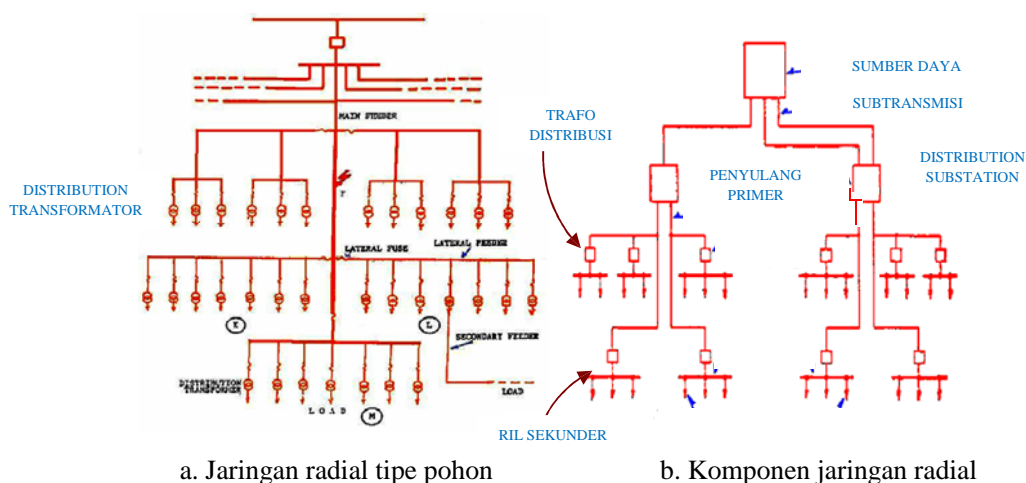
- Bentuknya sederhana (+)
- Biaya investasinya relatif murah (+)
- Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar (-)
- Kontinyuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "black out" secara total (-)



Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, sectionaliser, recloser, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah / dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. Jadi, misalkan gangguan terjadi dititik F, maka daerah beban K, L dan M akan mengalami pemadaman total (Gambar 2.14). jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain : radial tipe pohon, radial dengan tie dan switch pemisah, radial dengan pusat beban, radial dengan pembagian phase area.

1. Jaringan radial tipe pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (lateral penyulang) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan ukuran sub lateral adalah yang terkecil.

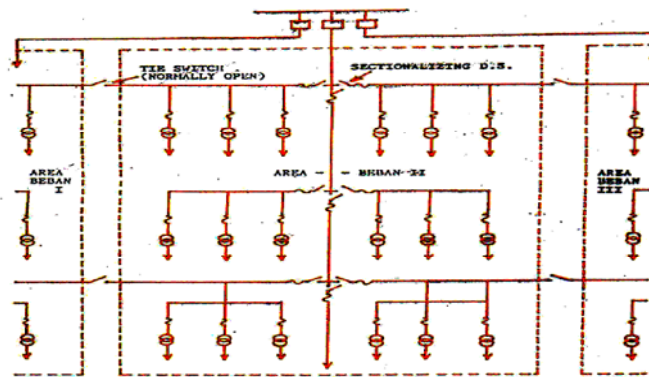


Gambar 2.14 Jaringan tipe radial



2. Jaringan radial dengan tie dan switch pemisah

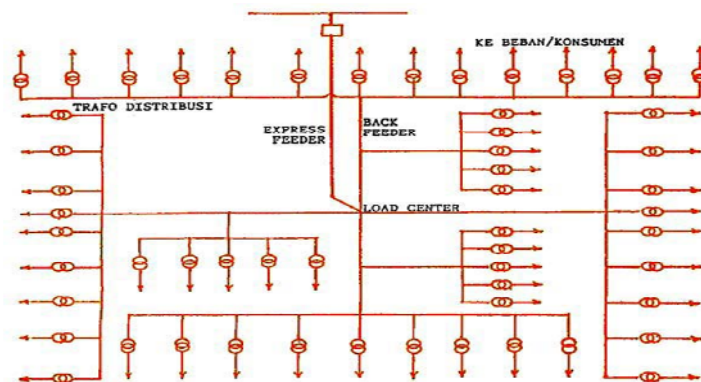
Bentuk ini merupakan modifikasi bentuk dasar dengan menambahkan tie dan switch pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang disekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang tergantung dilokalisir, dengan cara melepas switch yang terhubung ketitik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat kepenyulang disekitarnya.



Gambar 2.15 Jaringan radial dengan tie dan switch

3. Jaringan radial tipe pusat beban

Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (main feeder) yang disebut "express feeder" langsung kepusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan "back feeder" secara radial.

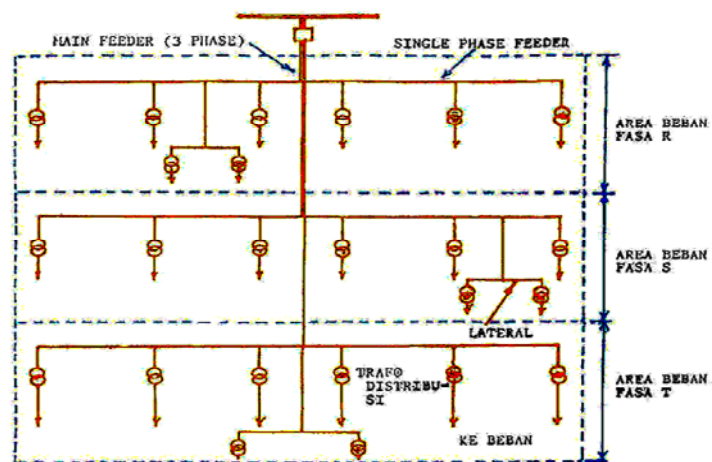


Gambar 2.16 Jaringan radial tipe pusat beban



4. Jaringan radial dengan phase area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 phase yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Karena hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap phasenya.



Gambar 2.17 Jaringan radial tipe phase area (kelompok phase)

B. Jaringan distribusi ring (Loop)

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan "loop". Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih tajam, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk loop ini ada 2 macam, yaitu :

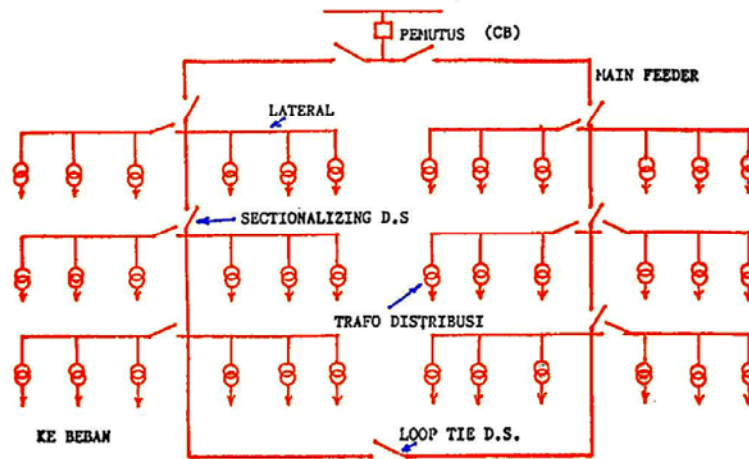
a) Bentuk open loop

Bila diperlengkapi dengan normaly-open switch, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

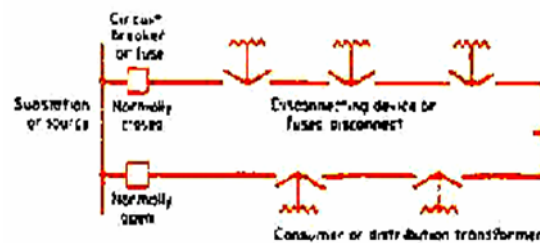


b) Bentuk close loop

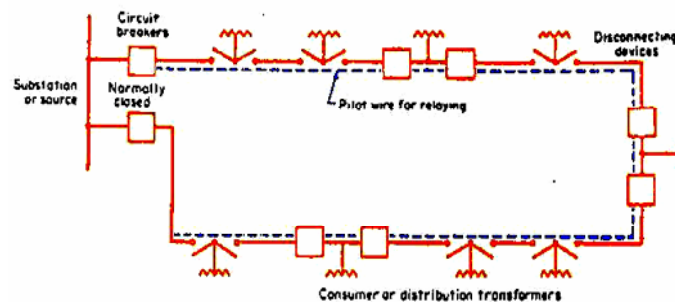
Bila dilengkapi dengan normally-close switch, yang dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.



Gambar 2.18 Jaringan distribusi tipe ring



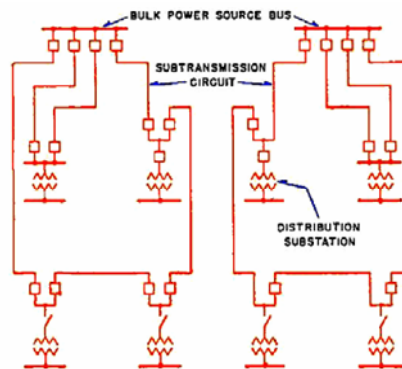
Gambar 2.19 Jaringan distribusi ring terbuka



Gambar 2.20 Jaringan distribusi ring tertutup



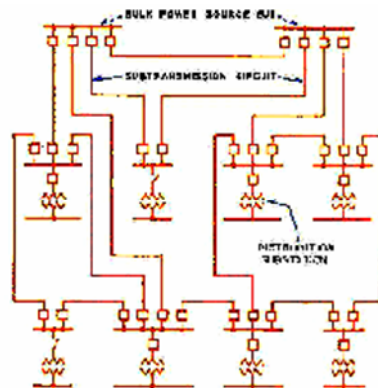
Pada tipe ini, kualitas dan kontinuitas pelayanan daya memang lebih baik, tetapi daya investasinya lebih mahal, karena memerlukan pemutus beban yang lebih banyak. Bila digunakan dengan pemutus beban yang otomatis (dilengkapi dengan recloser atau AVS), maka pengamanan dapat berlangsung cepat dan praktis, dengan cepat pula daerah gangguan segera beroperasi kembali bila gangguan telah teratasi. Dengan cara ini berarti dapat mengurangi tenaga operator. Bentuk ini cocok untuk digunakan pada daerah beban yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.



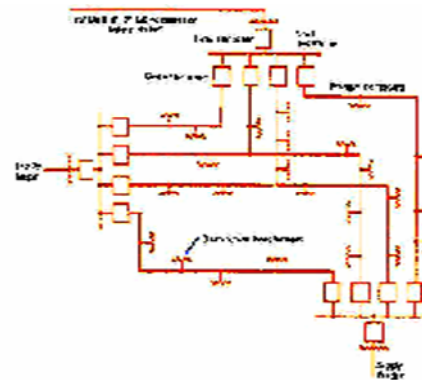
Gambar 2.21 Rangakaian gardu induk tipe ring

C. Jaringan distribusi jaringan-jaringan (NET)

Merupakan gabungan dari beberapa saluran mesh, dimana terdapat lebih satu sumber sehingga berbentuk saluran interkoneksi jaringan ini berbentuk jarring-jaring, kombinasi antara radial dan loop.



Gambar 2.22
Jaringan Distribusi NET



Gambar 2.23 Jaringan distribusi
NET dengan tiga penyulang
Gardu

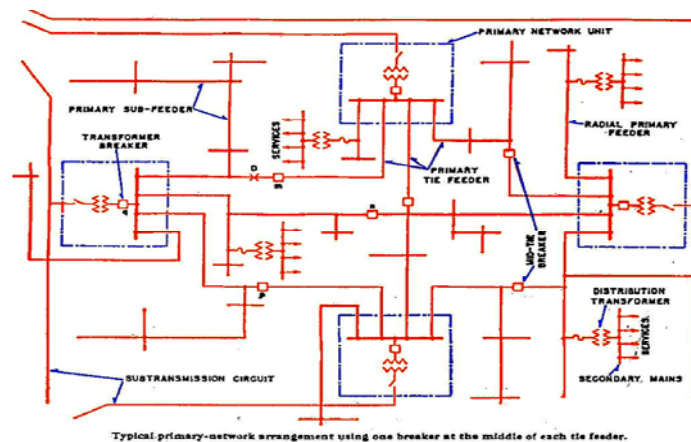


Titik beban memiliki lebih banyak alternatif saluran / penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu, dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin.

Spesifikasi Jaringan NET ini adalah :

1. Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin (+)
2. Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil (+)
3. Dibanding dengan bentuk lain, paling flexible (luwes) dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban (+)
4. Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit (-)
5. Memerlukan biaya investasi yang besar (mahal) (-)
6. Memerlukan tenaga-tenaga terampil dalam pengoperasiannya (-)

Dengan spesifikasi tersebut, bentuk ini hanya layak (feasible) untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan sebagainya. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan NET atau jarring-jaring disebut juga jaringan "interkoneksi".



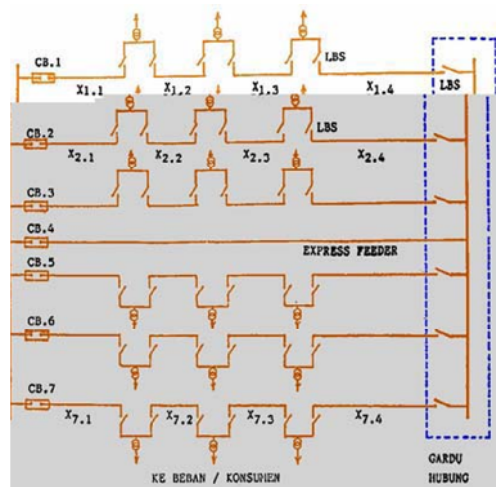
Gambar 2.24 Jaringan distribusi NET dilengkapi breaker pada bagian tengah masing-masing penyulang



D. Jaringan Distribusi Spindel

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang populer adalah bentuk spindle, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Perhatikan gambar 2.26 saluran penyulang 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan “*working feeder*” atau saluran kerja, dan saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan “*express feeder*”.

Fungsi “*express feeder*” dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu “*working feeder*”, juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya droop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal memang “*express feeder*” ini sengaja dioperasikan tanpa beban. Perlu diingat disini bahwa bentuk-bentuk jaringan beserta modifikasinya seperti yang telah diuraikan dimuka, terutama dikembangkan pada sistem jaringan arus bolak-balik (AC).



Gambar 2.25 Jaringan Distribusi Speindel

E. Saluran Radial Interkoneksi

Saluran Radial Interkoneksi yaitu terdiri dari satu saluran radial tunggal yang dilengkapi dengan LBS / AVS sebagai saklar interkoneksi. Masing-masing

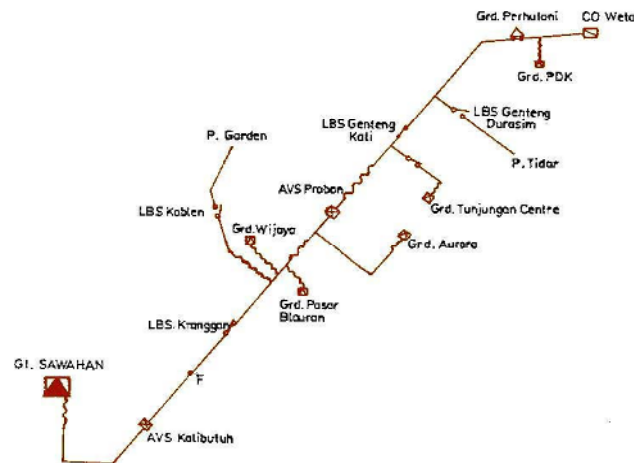


tipe saluran tersebut memiliki spesifikasi sendiri dan agar lebih jelas akan dibicarakan lebih lanjut pada bagian lain. Pada dasarnya semua beban yang memerlukan tenaga listrik menuntut kondisi pelayanan yang terbaik, misalnya dalam hal stabilitas tegangannya, sebab seperti telah dijelaskan, bila tegangan tidak nominal dan tidak stabil, maka alat listrik yang digunakan tidak dapat beroperasi secara normal, bahkan akan mengalami kerusakan. Tetapi dalam prakteknya seberapa besar tingkat pelayanan terbaik dapat dipenuhi, masih memerlukan beberapa pertimbangan, mengingat beberapa alasan.

Digunakan untuk daerah dengan :

- Kepadatan beban yang tertinggi
- Tidak menuntut keandalan yang terlalu tinggi

Contoh : Daerah pinggiran kota, kampung, perumahan sedang.



Gambar 2.26 Diagram satu garis penyalang radial interkoneksi

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari hal-hal berikut ini :

1. **Kontinuitas Pelayanan** yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun karena hal-hal yang direncanakan. Biasanya, kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman, misalnya : instalasi militer, pusat pelayanan komunikasi, rumah sakit, dan lain-lain.



2. Kualitas Daya yang baik, antara lain meliputi :

- Kapasitas daya yang memenuhi.
- Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
- Frekuensi yang selalu konstan (untuk sistem AC).

Catatan : Tegangan nominal disini dapat pula diartikan kerugian tegangan yang terjadi pada saluran relatif kecil sekali.

3. Perluasan dan Penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang. Khususnya untuk sistem tegangan AC 3 fasa, factor keseimbangan / kesimetrisan beban pada masing-masing fasa perlu diperhatikan. Bagaimana pengaruh pembebanan yang tidak simetris pada suatu sistem distribusi, akan dibicarakan lebih lanjut dalam bagian lain.

4. Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban. Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat, tetapi perlu diperhatikan pula secara teliti secara pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi juga dalam hal perluasan daerah beban yang harus dilayani.

5. Kondisi dan Situasi Lingkungan. Factor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk menentukan tipe-tipe atau macam sistem distribusi mana yang sesuai untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasinya, tata letaknya, dsb, termasuk pertimbangan segi estetika (keindahan) nya.

6. Pertimbangan Ekonomis. Faktor ini menyangkut perhitungan untung rugi ditinjau dari segi ekonomis, baik secara komersil maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

2.5.5.2 Jaringan sistem distribusi sekunder

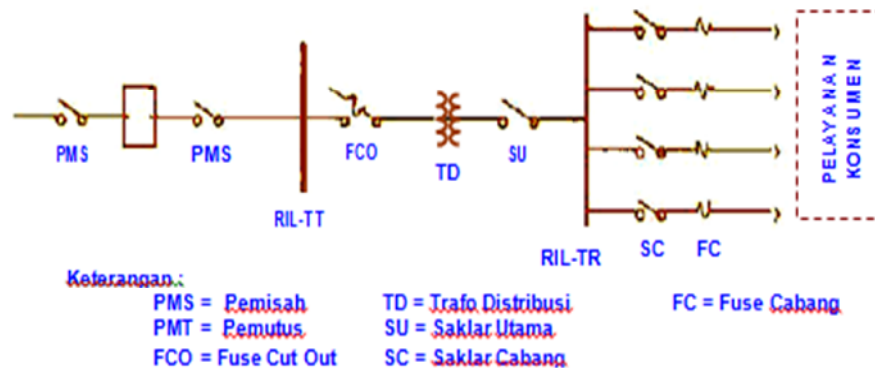
Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada dikonsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi.



Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen / pemakaian tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut :

1. Papan pembagi pada trafo distribusi.
2. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
3. Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (kekonsumen / pemakai).
4. Alat pembatas dan pengukur daya (kWH meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

Komponen saluran distribusi sekunder seperti ditunjukkan pada gambar 2.28 berikut ini.



Gambar 2.27 Komponen sistem distribusi

2.6 Parameter Saluran

Untuk saluran distribusi digunakan kawat udara ataupun kabel tanah sebagai penghantar untuk penyaluran daya listrik. Penghantar tersebut mempunyai impedansi yang terdiri dari tahanan. Untuk besarnya tahanan sangat tergantung dari jenis penghantar, panjang, dan luas penampang penghantar atau dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.1)$$



Dimana :

R = Resistansi kawat penghantar (Ohm)

A = Luas penampang kawat penghantar (Ohm)

P = Tahanan jenis kawat penghantar (Ohm.mm²/m)

l = Panjang kawat penghantar (Meter)

Sedangkan besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak balik yaitu :

$$Xl = 2.\pi.F.I \quad (2.2)$$

Dimana :

Xl = Reaktansi kawat penghantar (Ohm)

F = Frekuensi (Hz)

I = Induktansi kawat penghantar (Hendry)

2.6.1 Resistansi saluran

Besarnya suatu resistansi atau tahanan dari suatu penghantar dapat berubah untuk setiap perubahan temperatur dalam perhitungan teknis, tahanan dapat dianggap linier untuk perubahan temperatur tertentu. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada suhu mendatar.

Jika tahanan searah suatu penghantar pada suatu temperatur tertentu diketahui, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R2}{R1} = \frac{T+t1}{T+t2} \quad (2.3)$$

Dimana :

R1 = Tahanan searah penghantar pada temperatur t1

R2 = Tahanan searah penghantar pada temperatur t2

T = Konstanta untuk suatu penghantar yang ditentukan



Nilai-nilai konstanta T tersebut adalah sebagai berikut :

$$T = 234,5 \text{ untuk tembaga } 100\%$$

$$T = 241,0 \text{ untuk tembaga } 97,3\%$$

$$T = 228,0 \text{ untuk tembaga } 61\%$$

Untuk mendapatkan tahanan bolak balik pada suhu dan frekuensi tertentu dapat digunakan persamaan :

$$R_f = R_{ac} = K \cdot R_{dc} \quad (2.4)$$

Dimana :

R_f = Tahanan bolak balik pada suhu dan frekuensi tertentu (Ohm/mil).

R_{dc} = Tahanan dc pada suhu tertentu (Ohm/mil).

K = Konstanta yang tergantung dari harga X pada skin effect, dimana

$$K = 0,85726 \cdot X.$$

Sedangkan untuk harga X sendiri dapat dihitung dengan persamaan :

$$X = 0,063598 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot \mu}{R_{dc}}} \quad (2.5)$$

Dimana :

R_{dc} = Tahanan arus searah dari konduktor pada temperatur yang diketahui
(Ohm/mil).

F = Frekuensi bolak balik (Hz).

μ = Permeabilitas untuk bahan non magnetic sebesar 1.

Dalam perhitungan dalam frekuensi 50 Hz besar harga tahanan yang dikoreksi dengan skin effect diabaikan, karena pengaruh ini tidak terlalu besar.



2.7 Daya Listrik

Pengertian dari daya listrik adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus serta perhitungan faktor daya listrik tersebut.

2.7.1 Daya semu

Daya semu adalah daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi daya semu adalah tegangan dikali arus.

$$S = V \cdot I \quad (2.6)$$

Maka daya semu untuk 3 fasa :

$$S_3\Phi = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2.7)$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan fasa netral (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere) (Muhaimin. Hal 131)

2.7.2 Daya aktif

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali arus dikali $\cos\varphi$, dinyatakan dalam watt.

Daya aktif untuk satu fasa :

$$P_1\Phi = V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.8)$$

Daya aktif untuk tiga fasa :

$$P_3\Phi = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2.9)$$

Dimana :

$\cos\varphi$ = Faktor daya

P = Daya aktif (watt) (Abdul Kadir, 1998. Hal 6)



2.7.3 Daya reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk dalam saluran dengan daya aktif yang terpakai untuk daya mekanis panas.

Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q_1 \Phi = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.10)$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q_3 \Phi = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.11)$$

Dimana :

$$Q = \text{Daya reaktif (VAR)} \quad (\text{Abdul Kadir.1998.hal.8})$$

2.8 Rugi Daya

Daya listrik yang di kirim dari sumber pembangkit listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi, disamping rugi tegangan maka akan di dapat pula rugi daya yaitu :

$$P = 3 \times I^2 \times R_{\text{efektif}} \quad (2.12)$$

Dimana :

$$P = \text{Rugi-rugi daya (KW)}$$

$$I = \text{Arus yang mengalir (Ampere)}$$

$$R_{\text{efektif}} = \text{Resistansi saluran efektif (Ohm / Km)}$$

Jika kerugian daya telah diperoleh maka besar persentase kerugian daya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

(abdul, kadir 2000 Distribusi Tegangan Tinggi)

$$\%P_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{loss}}}{P} \times 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan :

$$P_{\text{loss}} = \text{Rugi – rugi daya (Watt)}$$

$$P = \text{Besar daya yang disalurkan (Watt, KW, MW)}$$

$$V = \text{Tegangan Kerja (Volt)}$$

$$S = \text{Daya Semu yang disalurkan (VA)}$$

$$= \text{Panjang Saluran (Km)}$$



2.9 Program ETAP

ETAP adalah suatu software analisa yang comprehensive untuk mendesain dan mensimulasikan suatu sistem rangkaian tenaga. Analisa yang ditawarkan oleh software ini adalah aliran daya, hubung singkat, rugi-rugi tegangan, power faktor dan loses jaringan. Untuk menganalisa suatu rangkaian, diperlukan data rangkaian yang lengkap dan akurat, ETAP mengintegrasikan data-data rangkaian tenaga seperti kapasitas pembangkit, panjang jaringan, resistansi jaringan per km, kapasitas busbar, rating trafo, impedansi urutan nol, positive, dan negative suatu peralatan listrik seperti trafo, generator dan penghantar.

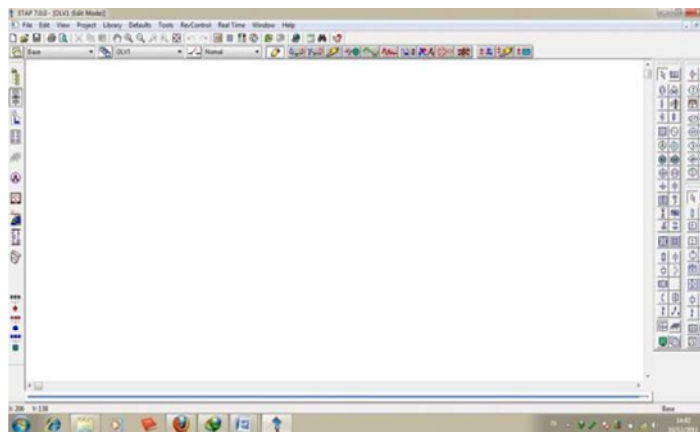
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja menggunakan ETAP antara lain :

- One Line Diagram, merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian.
- Library, merupakan informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi ataupun analisa.
- Study Case, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.
- Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC dan ANSI. Perbedaan antara standar IEC dan ANSI terletak pada standar frekuensi yang digunakan yang mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan. Jika pada standar IEC nilai frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, sedangkan pada standar ANSI nilai frekuensi yang digunakan adalah 60 Hz.



Gambar 2.28 Standar IEC dan ANSI

Dibawah ini merupakan gambar dari perangkat ETAP



Gambar 2.29 Tampilan ETAP



2.10 Langkah-langkah Dalam Pemrograman ETAP

Berikut merupakan langkah-langkah dalam menjalankan program ETAP :

1. Buka program ETAP pada layar desktop.
2. Pilih file (pada pojok kiri atas), lalu 'new project'.
3. Tampil 'project file' lalu isi nama file'.
4. Pilih unit sistemnya 'English / Metric', lalu Ok.
5. Akan keluar user information, isi user name, lalu Ok.
6. Lalu akan tampil layar untuk merangkai sistemnya.
7. Kemudian setting default untuk busbar, kabel, primer skunder pada trafo.
8. Rangkaian single line diagramnya.
9. Masukkan data-datanya.
10. Pengaturan Power Grid
11. Setelah selesai, pilih "Load Flow Analysis".
12. Lalu di "Run Load Flow".
13. Terakhir akan muncul data-data yang kita inginkan, seperti rugi tegangan dan daya.

Untuk lebih jelas langkah – langkah pengoperasiannya akan dibahas pada Bab IV.