



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan energi listrik dari Gardu induk bertegangan menengah ke konsumen. Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya ke konsumen, sumber daya tersebut dapat berupa :

- a. Pusat pembangkit tenaga listrik
- b. Gardu Induk yaitu gardu yang disuplai oleh pusat pembangkit.

Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari beberapa faktor, yaitu :

- a. Regulasi tegangan
- b. Kontinuitas pelayanan
- c. Efisiensi
- d. Harga sistem

Suatu sistem distribusi harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- a. Regulasi tegangan tidak terlalu besar
- b. Gangguan terhadap pelayanan tidak boleh terlalu sering atau terlalu lama.
- c. Biaya sistem tidak terlalu mahal.

Bagian-bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yaitu :

- a. Sistem distribusi primer, yaitu sistem tenaga listrik dari gardu induk transmisi ke gardu induk subtransmisi. Jaringan ini merupakan tegangan menengah (TM).
- b. Sistem distribusi sekunder, yaitu sistem tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk subtransmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan tegangan rendah (TR).



Pada umumnya daya yang sampai ke titik-titik beban pada sistem distribusi primer lebih kecil dibandingkan daya yang dibangkitkan . Hal ini disebabkan karena adanya rugi-rugi daya sepanjang jaringan yang disebabkan pemakaian beban oleh konsumen, panjang saluran yang dipakai dan luas penampang penghantar. Rugi-rugi daya ini akan berbeda-beda pada setiap penyulang, tergantung dari besarnya pemakaian beban dan luasnya daerah pelayanan dari masing-masing penyulang. Dari rugi-rugi daya inilah yang akan mempengaruhi berapa nilai efisiensi penyaluran untuk menentukan seberapa besar energi itu sampai kepada konsumen.

2.2 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

a. Transformator Daya

Berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.

b. Pemutus Tegangan

Berfungsi sebagai pengaman yaitu sebagai pemutus daya.

c. Penghantar

Berfungsi sebagai penghubung daya.

d. Gardu hubung

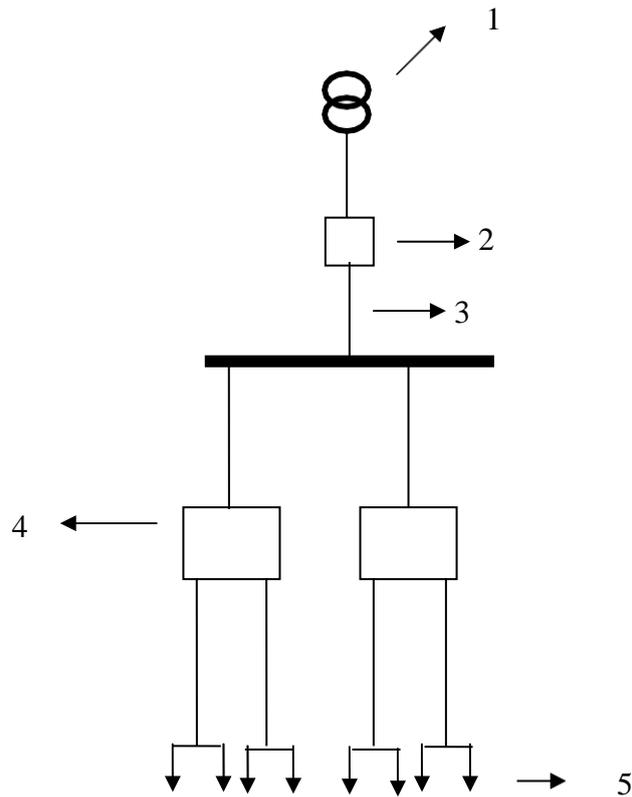
Berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.

e. Gardu distribusi

Berfungsi menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.



Berikut ini adalah gambar bagian-bagian sistem distribusi primer secara umum.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer

Keterangan :

- a. Trafo Daya
- b. Pemutus Tenaga
- c. Penghantar
- d. Gardu Hubung
- e. Gardu Distribusi

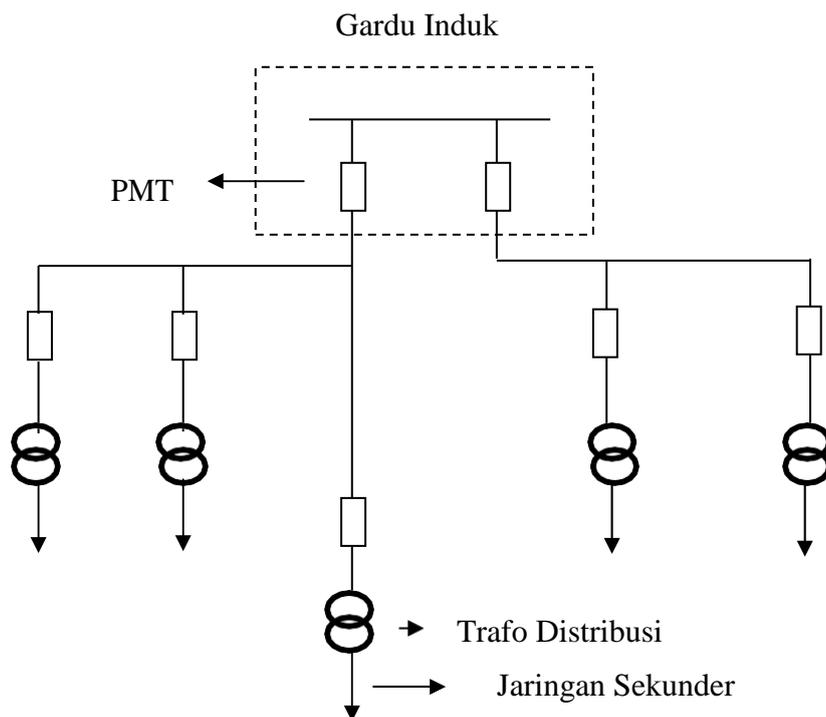


2.3 Jenis-jenis Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Sistem jaringan distribusi ada beberapa macam :

- a. Sistem Radial
- b. Sistem Loop
- c. Sistem tertutup/Ring
- d. Sistem spindle
- e. Sistem Cluster
- f. Sistem Grid/Network

a. Sistem Radial



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Sistem Radial

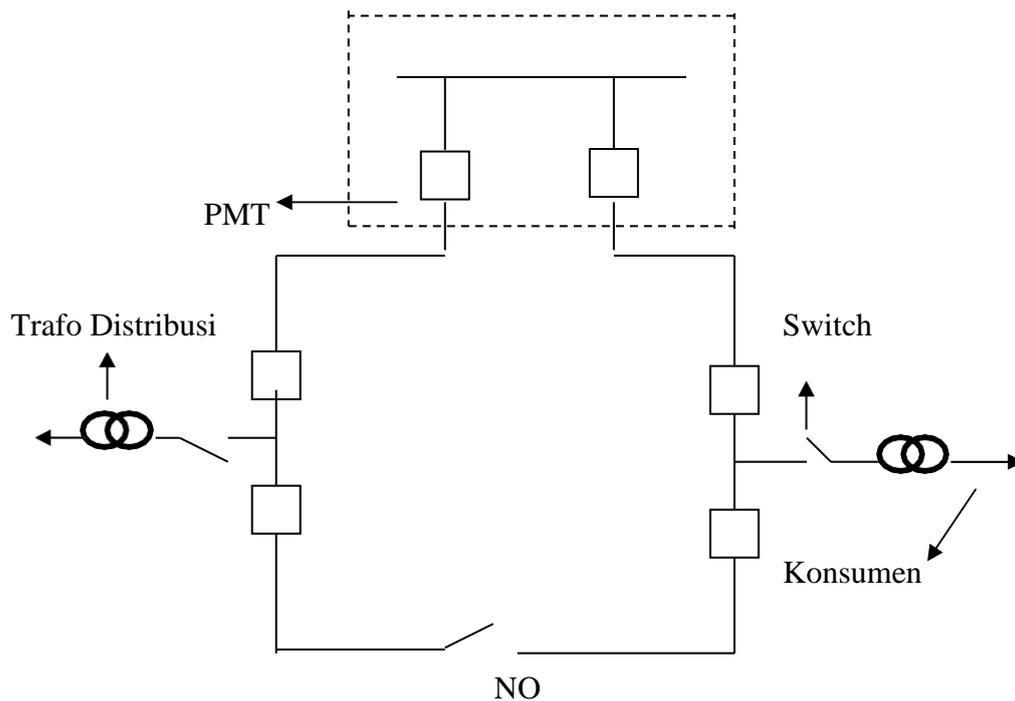


Sistem Radial ini merupakan sistem jaringan distribusi tegangan menengah yang paling sederhana, murah, banyak digunakan terutama untuk sistem yang kecil, kawasan pedesaan. Umumnya digunakan pada SUTM, proteksi yang digunakan tidak rumit dan keandalannya paling rendah.

Keuntungan / kerugian :

- i. Mudah mengoprasikannya.
- ii. Mudah mencari gangguan.
- iii. Cocok untuk sistem yang sederhana.
- iv. Tidak dapat di manipulasi bila terjadi gangguan.

b. Sistem Loop Gardu Induk



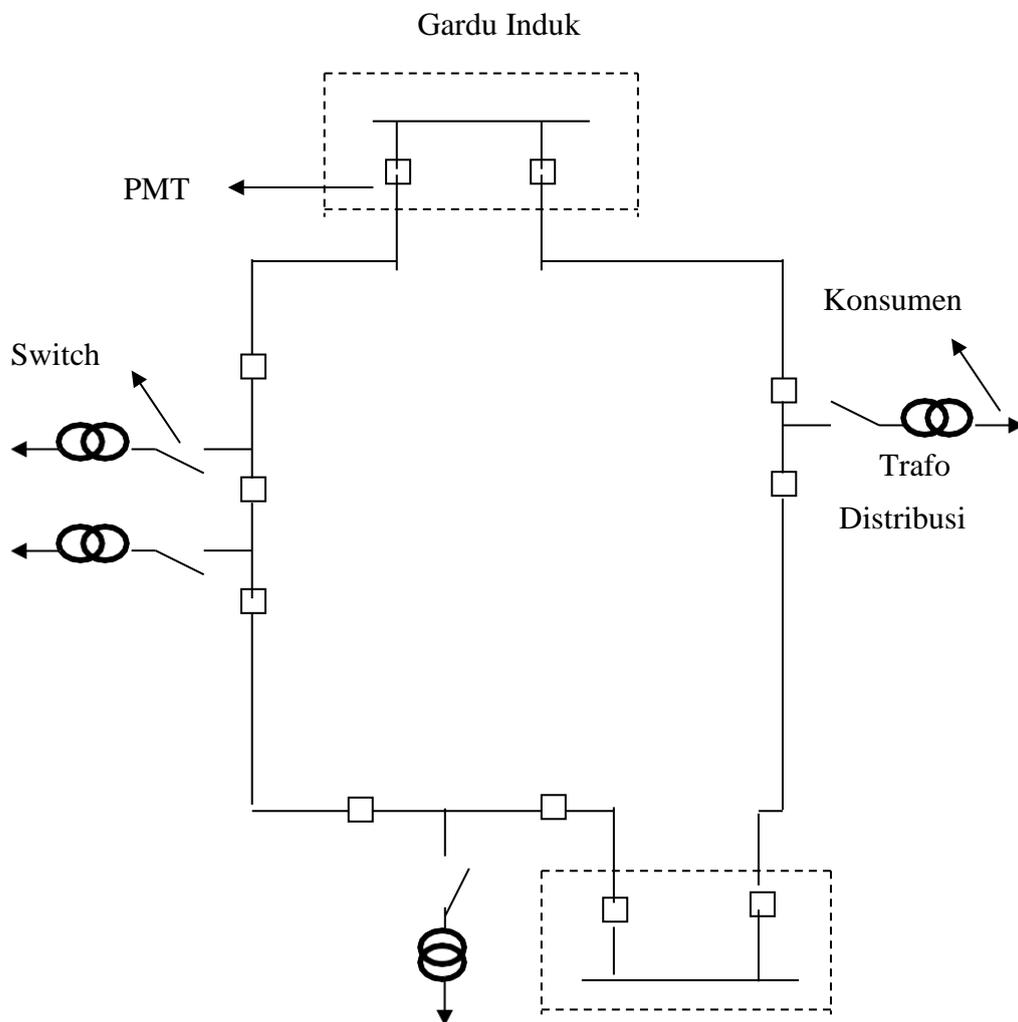
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Sistem Loop



Keuntungan / kerugian :

- Secara teknis lebih baik dari pada sistem radial terbuka.
- Biaya sedikit lebih mahal karena harus dibangun dua feeder pada jalur yang sama.
- Bisa dimanipulasi bila terjadi gangguan.

c. Sistem Tertutup / Ring



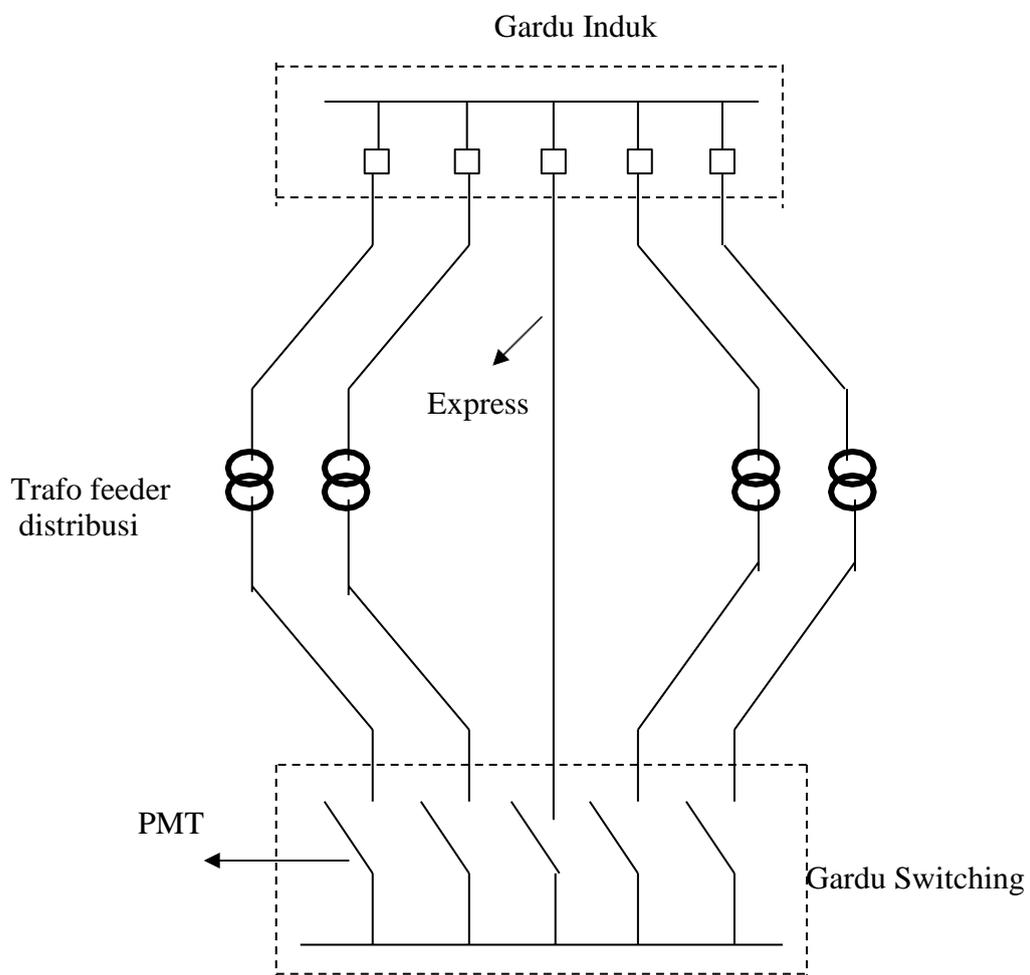
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Sistem Ring/Tertutup



Keuntungan / kerugian .

- Jumlah konsumen yang besar bisa dijangkau.
- Gangguan salah satu sisi penghantar harus sanggup menampung seluruh beban yang terpasang pada sistem ,disini erat hubungannya dengan rugi tegangan.
- Mudah dioperasi.

d. Sistem Spindle

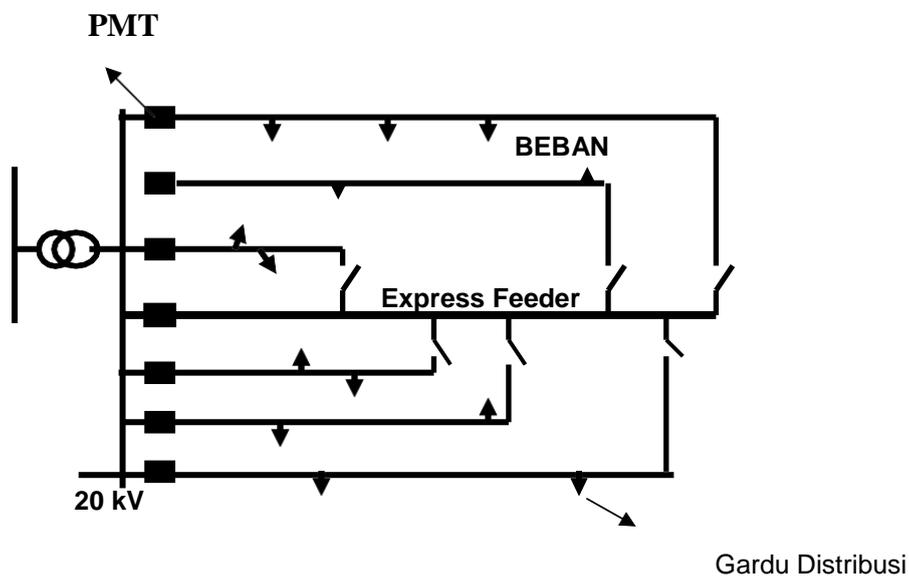


Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Sistem Spindle



Sistem spindle merupakan sistem yang relatif handal karena disediakan satu buah express feeder yang merupakan feeder/ penyulang tanpa beban dari gardu induk sampai Gardu Hubung / GH refleksi, banyak digunakan pada jaringan SKTM. Sistem ini relatif mahal karena biasanya dalam pembangunannya sekaligus untuk mengatasi perkembangan beban di masa yang akan datang, Proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem Open Loop. Biasanya di tiap-tiap feeder dalam sistem spindle disediakan gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

e. Sistem Cluster



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Sistem Cluster



Sistem Cluster ini merupakan hampir mirip dengan sistem spindle. Dalam sistem Cluster tersedia satu express feeder yang merupakan feeder atau penyulang tanpa beban yang digunakan sebagai titik menufer beban oleh feeder atau penyulang lain dalam sistem Cluster tersebut. Proteksi yang diperlukan untuk sistem ini relatif sama dengan sistem Open Loop atau sistem Spindle

Dalam beberapa wilayah sistem jaringan distribusi tersebut juga dikontrol dari jarak jauh (remote control) oleh Unit Pengatur Distribusi (UPD).

Dengan membuat topologi jaringan yang baik akan didapat performance jaringan yang handal dan optimal dalam arti akan diperoleh kerugian energi jaringan yang lebih kecil dan pelayanan ke pelanggan lebih baik.

Dalam membuat menentukan topologi jaringan perlu dilakukan perhitungan-perhitungan analisa teknis pada jaringan yang meliputi :

- Analisa Aliran Daya
- Analisa Hubung singkat
- Analisa drop tegangan
- pengaturan beban agar optimal

Keuntungan / kerugian :

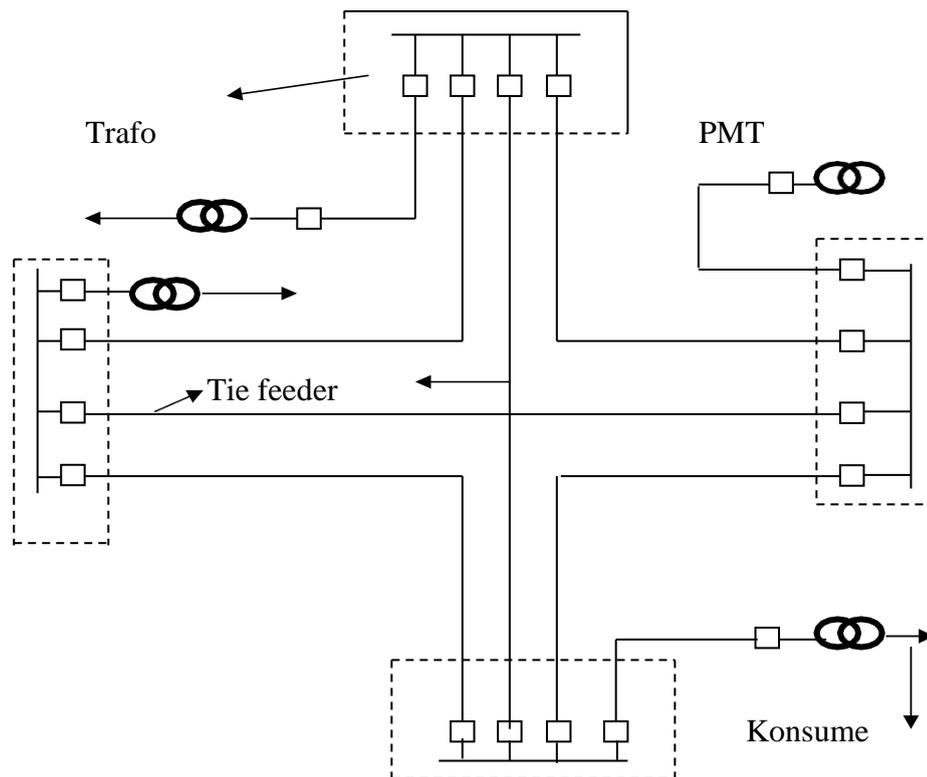
- Sistem operasi lebih mudah dibandingkan dengan sistem spindle
- Tidak diperlukan tempat swiching (GH) dalam satu tempat.
- Panjang jaringan bias lebih pendek untuk kawasan yang sama.
- Switching bisa dilakukan disepanjang ekspress feeder.



f. Sistem Grid/Network

Konfigurasi jaringan distribusi Grid terlihat pada gambar 2.7 Sistem ini mempunyai mutu pelayanan dan keandalan yang jauh lebih baik dari sistem- sistem yang telah dibicarakan terdahulu. Setiap gardu distribusi dapat dipasok dari dua sumber atau lebih sehingga kontinuitas pelayanannya lebih terjamin, mutu tegangannya juga lebih baik karena bebas dipikul oleh beberapa buah penyulang yang paralel.

Namun demikian sistim ini membutuhkan biaya dan peralatan yang jauh lebih mahal dibandingkan dengan sistim yang telah dibicarakan terdahulu. Sistim ini biasanya digunakan pada kota metropolitan yang kepadatan bebannya sangat tinggi



Gambar 2.7 Jaringan Distribusi Sistem Grid/Network



2.4 Jenis-jenis Gardu Distribusi

a. Gardu Distribusi Menurut Pemasangannya

Gardu distribusi menurut pemasangannya dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

Gardu distribusi pasangan luar

Peralatan gardu induk pasangn luar dipasang di udara terbuka. Berdasarkan cara pemasangannya gardu distribusi pasangan luar dibagi menjadi empat bagian, yaitu :

a. Pole Mounting

Gardu distribusi dan peralatannya dipasang langsung pada tiang, cara pemasangan ini cukup baik untuk trafo kecil sampai kapasitas 50 KVA.

b. H-Pole mounting

Gardu distribusi ini dipasang pada lengan antara dua tiang, cara pemasangan ini cocok untuk gardu berkapasitas sampai 200 KVA.

c. Plat Form Mounting

Gardu distribusi ini dipasang pada konstruksi tersendiri dari empat tiang untuk penempatan trafo, cara ini cocok untuk tempat dimana diperlukan peralatan yang membahayakan. Pemasangan ini sesuai dengan gardu berkapasitas 200 KVA.

d. Pemasangan di Lantai

Gardu distribusi ini cocok untuk semua ukuran gardu, tetapi biasanya untuk kapasitas besar dari 250 KVA.

e. Gardu Distribusi Pasangan Didalam

Gardu distribusi pasangan didalam memiliki jarak minimum yang harus dipenuhi sebagai persyaratan bangunan rumah trafo, yaitu:

- a. Jarak dari sisi dinding pada satu sisi minimum 1,25 m.
- b. Jarak dari sisi dinding pada dua sisi minimum 0,75 m.
- c. Jarak dari sisi dinding pada tiga sisi minimum 100 m.
- d. Jarak untuk sisi minimum 1,25 m.

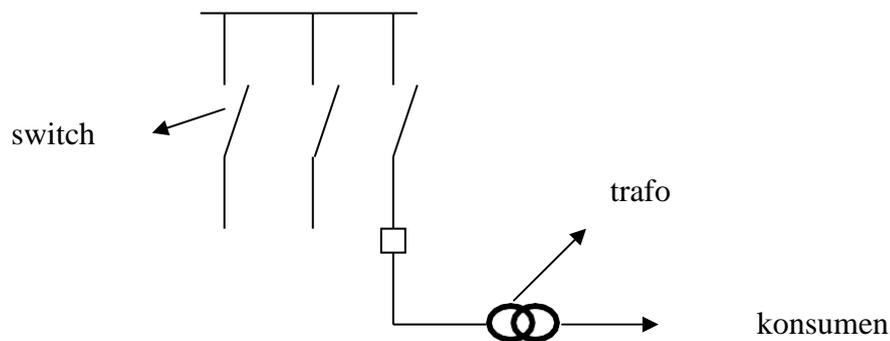


2.4.2 Gardu Distribusi Menurut Penampilannya

Gardu distribusi menurut penampilannya dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Gardu Distribusi Beton

Gardu distribusi beton yaitu gardu yang konstruksinya dari beton dengan peralatan-peralatan listrik terdapat dalam gardu beton. Umumnya gardu ini dibangun untuk melayani beban yang cukup besar. Berikut ini contoh diagram satu garis dalam gardu distribusi beton untuk konsumen umum



Gambar 2.8 Diagram Satu Garis Gardu Distribusi Beton

3. Gardu Distribusi Tiang

Gardu ini termasuk jenis pasangan luar dan dilengkapi dengan alat-alat pengaman, seperti : pengaman arus tegangan menengah Arrester, pemutus tegangan rendah. Pada umumnya gardu tiang ini dipasang pada saluran udara tegangan menengah dengan jenis trafo pasangan luar.

4. Gardu Distribusi Metal Cland (MC)

Gardu distribusi ini merupakan gardu distribusi yang terbuat dari bahan metal, yaitu campuran dari besi dan plat. Peralatan-peralatan yang terdapat didalam gardu ini antara lain : trafo distribusi, Disconnecting Switch, Fuse, Sakelar , Isolator, Kabel dan peralatan lainnya.



2.4 Jenis-jenis Hantaran pada jaringan

2.4.3 Jaringan Hantaran Udara (Over Head Line)

Jaringan hantaran udara menyalurkan daya listrik melalui kawat terbuka atau kabel yang digantung pada tiang-tiang dengan peralatan isolator. Penghantar untuk jaringan deistribusi primer yang biasa digunakan adalah dari jenis Tembaga atau dari penghantar jenis aluminium. Tiang-tiang jaringan primer atau sekunder biasanya dapat berupa tiang kayu, besi, atau dari beton, tetapi biasanya untuk tiap jaringan distribusi yang paling banyak digunakan adalah tiang dari jenis besi.

Keuntungan-keuntungan pada jaringan hantaran udara yaitu :

- a. Mudah melakukan perluasan pelayanan dengan menarik cabang yang diperlukan.
- b. Mudah melakukan pemeriksaan bila terjadi gangguan pada jaringan.
- c. Mudah melakukan pemeliharaan jaringan.
- d. Harga relatif murah.

Kerugian pada jaringan hantaran udara yaitu :

- a. Tidak merupakan keindahan
- b. Mudah terjadi gangguan

2.4.4 Jaringan Hantaran Bawah Tanah (Under Ground Cable)

Keuntungan-keuntungan jaringan hantaran bawah tanah yaitu :

- a. Bebasnya kabel dari gangguan petir ataupun dari manusia
- b. Tidak mengganggu keindahan kota

Kerugian-kerugian jaringan hantaran bawah tanah yaitu :

- a. Harga relatif mahal.
- b. Sulit mendeteksi gangguan



2.5 Gardu Hubung

Gardu hubung merupakan gardu yang terdiri dari peralatan-peralatan penghubung serta alat-alat kontrol dan terdapat pula trafo distribusi yang berdaya kecil untuk pemakaian sendiri. Fungsi gardu hubung yaitu untuk pembagian penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi primer dan juga untuk memudahkan manipulasi beban pada saluran primer bila terjadi gangguan atau pekerjaan pemeliharaan. Peralatan-peralatan yang terdapat pada gardu hubung yaitu : Load Breaker Switch (LBS), Oil Circuit Breaker (OCB), dan peralatan lainnya.

2.6 Penyulang

Penyulang merupakan penyalur daya listrik yang akan menyalurkan langsung daya listrik kepada konsumen melalui jaringan tegangan menengah. Pada mulanya saluran transmisi bertegangan 70 KV dan 150 KV diubah menjadi daya listrik bertegangan menengah melalui trafo daya pada gardu induk. Dari gardu induk tersebut daya listrik bertegangan menengah disalurkan pada jaringan distribusi sekunder ke gardu hubung, atau langsung menuju gardu distribusi. Pada gardu distribusi tersebut tegangannya diturunkan melalui transformator distribusi menjadi tegangan rendah yaitu 380/220 volt atau 220/110 volt dan langsung disalurkan pada konsumen melalui jaringan tegangan rendah. Adapun peralatan- peralatan yang ada pada penyulang yaitu : Pemutus Tenaga (PMT), Sakelar Pemisah (PMS), dan Transformator arus (CT).



2.7 Klasifikasi Tegangan Listrik

Adapun penggolongan tegangan yang berlaku di Indonesia adalah sebagai berikut :

- a. Tegangan Extra Rendah (TER) dibawah 50 V.
- b. Tegangan Rendah (TR) 50 V hingga 1 KV.
- c. Tegangan Menengah (TM) 1 KV hingga 30 KV.
- d. Tegangan Tinggi (TT) 30 KV hingga 500 KV.
- e. Tegangan Extra Tinggi (TET) diatas 500 KV

2.8 Daya Listrik

Pengertian daya listrik adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus serta diperhitungkan juga faktor kerja. Adapun daya listrik tersebut antara lain :

2.8.1 Daya Semu

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

Daya semu untuk satu phasa

$$S = V.I \dots \dots \dots (2.1)$$

Daya semu untuk tiga phasa

$$S = \sqrt{3} \cdot V.I \dots \dots \dots (2.2)$$

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir (A)

S = Daya semu satu phasa (VA, KVA, MVA)

S = Daya semu tiga phasa (VA, KVA, MVA)



2.8.2 Daya Aktif (Daya Nyata)

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tagangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Daya aktif untuk satu phasa :

$$P_{1\phi} = V.I.Cos \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Daya aktif untuk tiga phasa :

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} V.I.Cos \phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$P_{1\phi}$ = Daya aktif satu phasa (W,KW,MW)

$P_{3\phi}$ = Daya aktif tiga phasa (W,KW,MW)

V = Tegangan yang ada (V,KV)

I = Besar arus yang mengalir (A)

$Cos \phi$ = Faktor daya

2.8.2 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 phasa :

$$Q_{1\phi} = V.I.Sin \phi \dots\dots\dots (2.5)$$



Daya reaktif untuk tiga phasa :

$$Q_{1\phi} = \sqrt{3}V.I \sin \phi \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$Q_{1\phi}$ = Daya reaktif satu phasa (VAR,KVAR,MVAR)

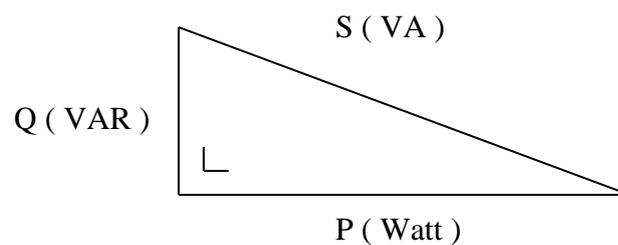
$Q_{3\phi}$ = Daya reaktif tiga phasa (VAR,KVAR,MVAR)

V = Tegangan yang ada (V,KV)

I = Besar arus yang mengalir (A)

$\sin \phi$ = Faktor daya

Dari ketiga jenis daya diatas yaitu daya semu, daya aktif, dan daya reaktif, maka untuk hubungan daya-daya tersebut dapat digambarkan dalam bentuk hubungan segitiga daya yang dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Segitiga Daya

Gambar diatas merupakan gambar segitiga daya, yang artinya merupakan hubungan dari ketiga jenis daya yaitu : daya semu, daya aktif, dan daya reaktif.



2.9 Rugi-rugi daya dalam jaringan

Untuk menentukan rugi-rugi daya dalam sistem distribusi primer, maka digunakan rumus berikut ini :

- a. Nilai Faktor Beban (L_{FD}) dan Losses Factor (L_{FS}).

$$L_{FS} = 0,3 L_{FD} + 0,7 L_{FD}^2 \dots\dots\dots(2.7)^1$$

Dimana :

$$L_{FD} = \frac{I_{avg}}{I_{max}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$I_{avg} \text{ (arus rata-rata harian)} = \frac{I_1 + I_2 + \dots\dots\dots + I_n}{n} \dots\dots\dots(2.9)$$

- b. Nilai resistansi (R_T).

$$\frac{Rt_2}{Rt_1} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots(2.15)^3$$

- c. Rugi daya rata-rata (P_H).

$$P_H = 3 \times I^2 \times R_T \times L_{FS} \dots\dots\dots(2.16)^2$$

Untuk menentukan rugi-rugi daya dalam % persamaannya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_H \cdot 100}{P} \% \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

L_{FS} = Losses Factor

P_H = Rugi-rugi daya (KW)

L_{FD} = Faktor Beban

P = Daya yang disalurkan (KW)

R_T = Resistansi (Ω /km)



2.11. Efisiensi Penyaluran

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan antara daya nyata yang diterima dengan daya nyata yang disalurkan atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini berguna untuk mengetahui seberapa besar energi listrik tersebut diterima, setelah didalam penyalurannya terdapat rugi-rugi.

Adapun untuk mendapatkan nilai efisiensi itu adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_H} \times 100\% \dots\dots\dots (2.18)$$

atau

$$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

$$P_r = P - P_H \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

P_r = Daya yang diterima (W, KW, MW)

P_s = Daya yang disalurkan (W, KW, MW)

P_H = Daya yang hilang (W, KW, MW)