



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem tenaga listrik dan jaringan distribusi

Sekalipun tidak terdapat suatu sistem tenaga listrik yang "tipikal", namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu sistem yang lengkap mengandung empat unsur. Pertama, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TO), atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsure pemakaian utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sistem terinterkoneksi.

Kiranya jelas bahwa arah mengalirnya energi listrik berawal dari Pusat Tenaga Listrik melalui saluran-saluran transmisi dan distribusi sampai pada instalasi pemakai yang merupakan unsure utilisasi.

Energi listrik di bangkitkan pada tenaga listrik (PTL) yang dapat merupakan suatu pusat listrik tenaga uap (PLTU), pusat listrik tenaga air (PLTA), pusat listrik tenaga gas (PLTG), pusat listrik tenaga diesel (PLTD). Jenis PTL yang dipakai, pada umumnya tergantung pada bahan bakar atau energi primer yang tersedia. Pada sistem besar sering ditemukan beberapa PTL. Perlu pula dikemukakan bahwa PLTD sering di pakai pada sistem yang lebih kecil. PTL biasanya membangkitkan tenaga listrik tegangan menengah (TM), yaitu pada umumnya antara 6 dan 20 KV.⁵



Pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bila mana PTL terletak jauh dari pemakai, maka energi listrik itu perlu diangkut melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dan TM menjadi tegangan tinggi (TT). Pada jarak yang sangat jauh malah diperlukan tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan itu dilakukan di gardu induk (GI) dengan mempergunakan transformator penaik (*step-up transformer*). Tegangan tinggi di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV dan 275 kV.

Mendekati puncak pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau suatu kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan mempergunakan transformator penurun (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV. Saluran 20 kV ini menelusuri jalan - jalan diseluruh ibu kota, dan merupakan sistem distribusi primer. Bila mana transmisi tenaga listrik dilakukan dengan mempergunakan saluran - saluran udara dengan menara - menara transmisi, sistem distribusi primer di kota biasanya terdiri atas kabel - kabel tanah yang tertanam di tepi jalan, sehingga tidak terlihat.

Di tepi-tepi jalan, biasanya dekat dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi (GD), yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (TR) melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terlihat di tepi jalan, energi listrik dengan tegangan rendah disalurkan kepada para pemakai.

Energi listrik diterima pegawai dari tiang TR melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR) dan berakhir pada alat pengukur listrik yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN. Setelah titik ini, berawal unsur utilisasi pada instalasi pemakai tenaga listrik.⁵

2.2. Pengelompokan sistem tenaga listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan.



Daerah I : Bagian Pembangkit (*Generation*)

Daerah II : Bagian Penyaluran (*Transmission*)

Daerah III : Bagian Distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 KV)

Daerah IV : Didalam bangunan pada beban/konsumen

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan Daerah 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 dan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutusnyanya.
- 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 pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformator band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. **SUTR dan SKTR** terdiri dari : sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.⁶

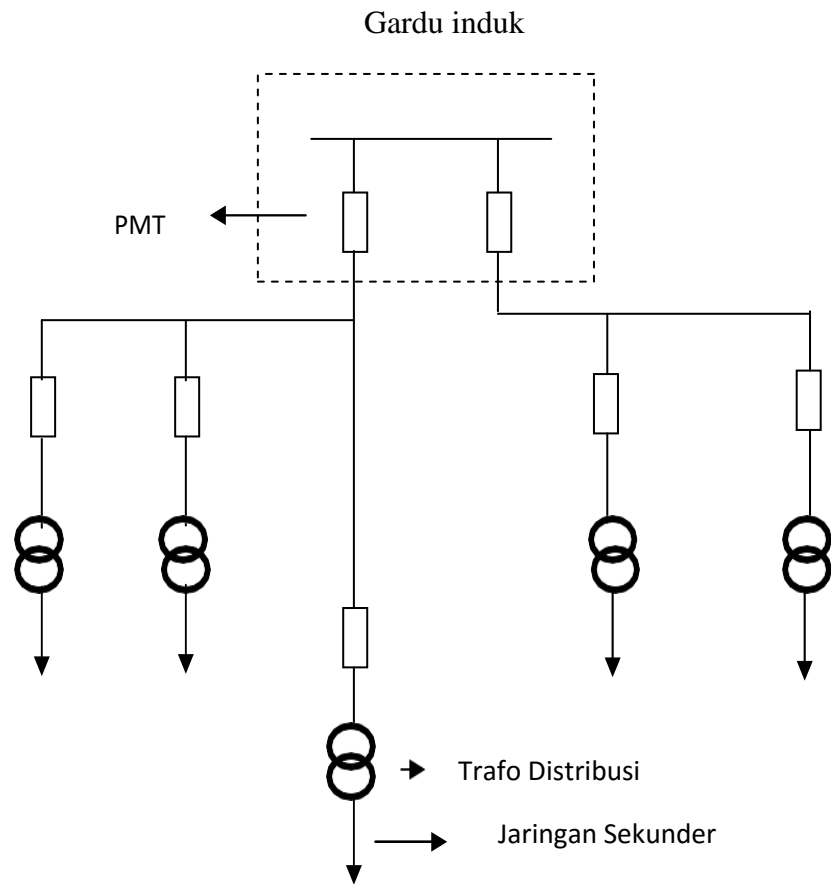
2.3 Tipe-tipe jaringan distribusi jaringan menengah 20 kV

Sistem jaringan distribusi ada beberapa macam :

1. Sistem Radial
2. Sistem Loop
3. Sistem tertutup/Ring
4. Sistem spindle
5. Sistem Cluster
6. Sistem Grid/Network



2.3.1 Jaringan Radial



Gambar 2.1 Jaringan Distribusi Sistem Radial

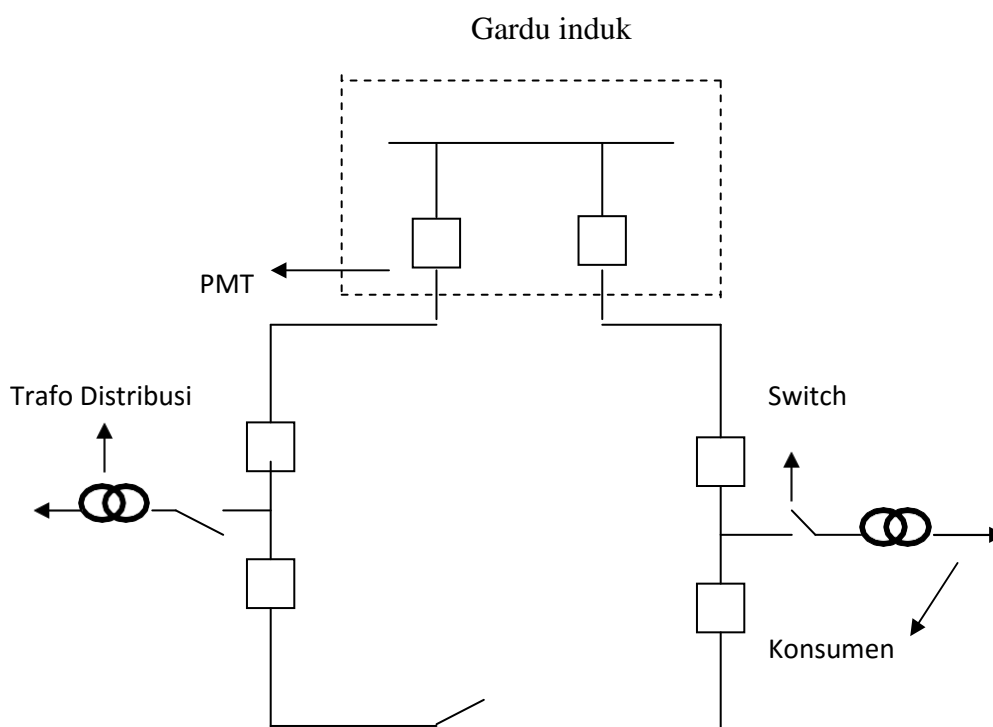
Sistem Radial ini merupakan sistem jaringan distribusi tegangan menengah yang paling sederhana, murah, banyak digunakan terutama untuk sistem yang kecil, kawasan pedesaan. Umumnya digunakan pada SUTM, proteksi yang digunakan tidak rumit dan keandalannya paling rendah.³



Keuntungan / kerugian :

- Mudah mengoprasikannya.
- Mudah mencari gangguan.
- Cocok untuk sistem yang sederhana.
- Tidak dapat dimanupulasi bila terjadi gangguan

2.3.2 Jaringan Lingkar (*Loop*)



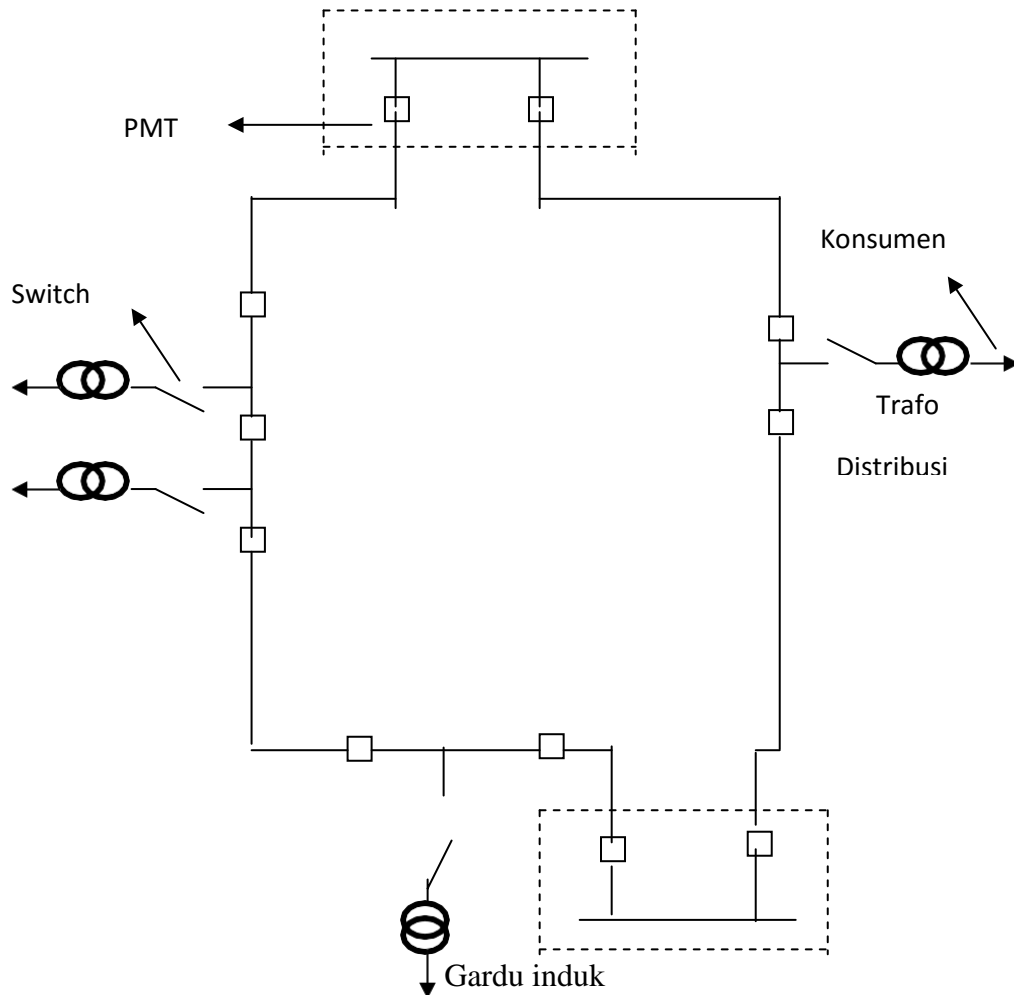
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Sistem Loop

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.



2.3.3 Jaringan tertutup/Ring



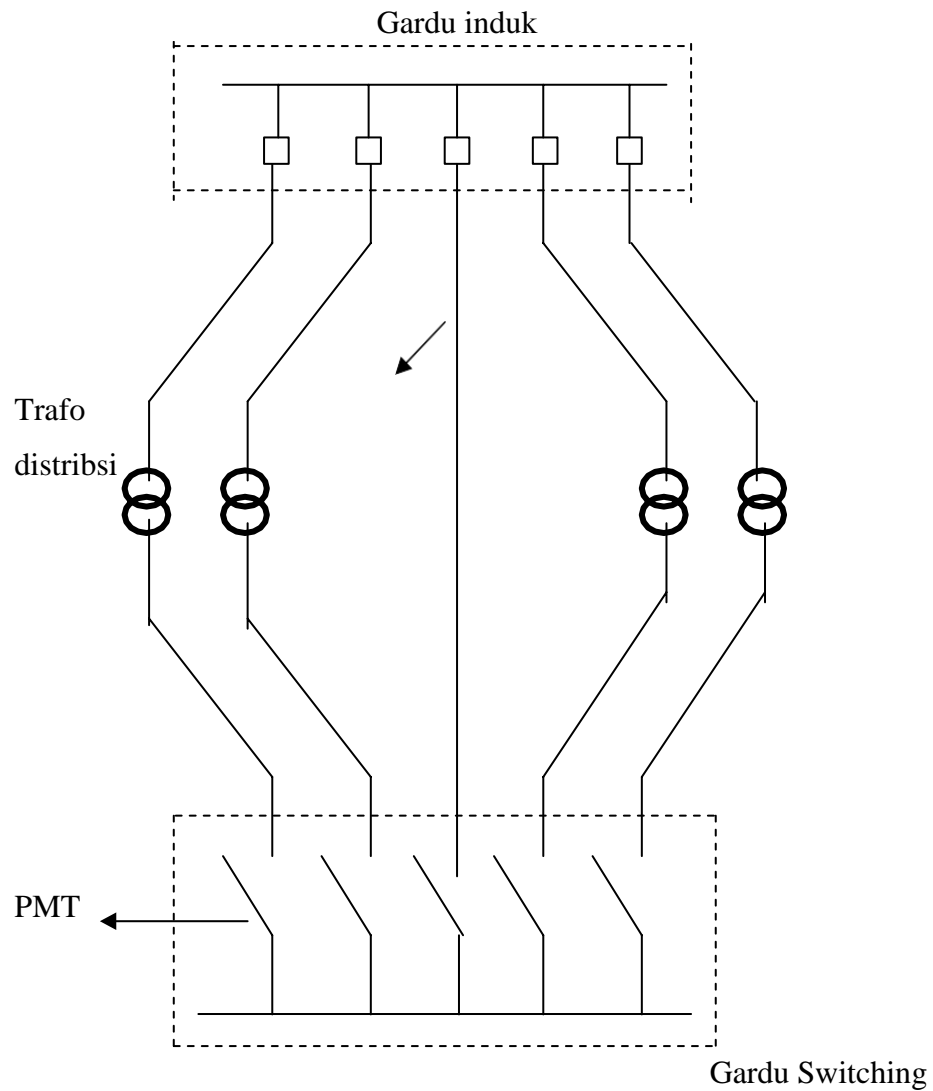
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Sistem Ring/Tertutup

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.³



2.3.4 Jaringan Spindel



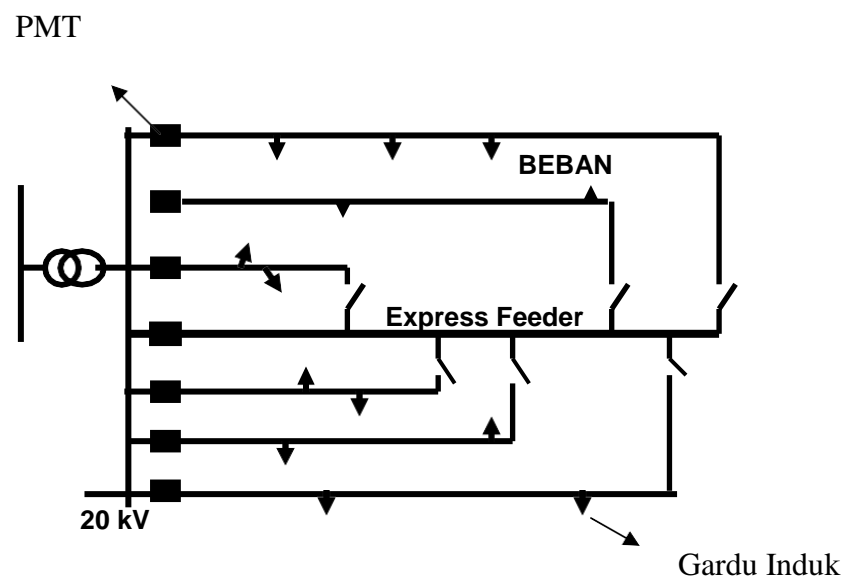
Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Sistem Spindle

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

2.3.5 Sistem Gugus atau Sistem Cluster



Gambar 2.5 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 manufer 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.²

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

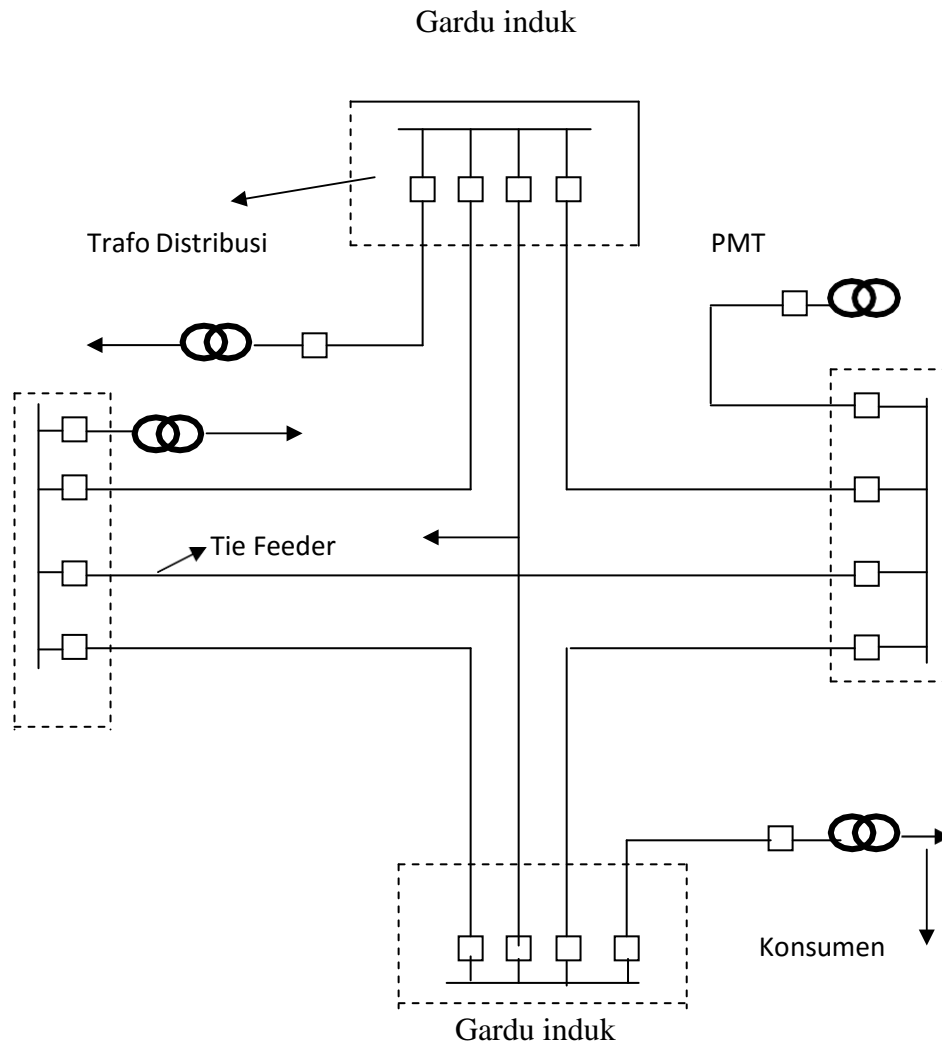
Keuntungan / kerugian :

- 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.

2.3.6 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.³



Gambar 2.6 Jaringan Distribusi Sistem Grid/Network

2.4 Distribusi Skunder

Distribusi sekunder mempergunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan - pertimbangan perihal keandalan dan regulasi tegangan. Sistem sekunder dapat terdiri atas 4 jenis umum:

- Sebuah transformator tersendiri untuk tiap pemakai.
- Penggunaan satu transformator dengan saluran tegangan rendah untuk sejumlah pemakai.
- Penggunaan satu saluran tegangan rendah yang tersambung pada beberapa transformator secara paralel. Sejumlah pemakai dilayani dari saluran tegangan



rendah ini. Transformator - transformator diisi dari satu sumber energi. Hal ini disebut "*Bangking Sekunder Transformator*".

- Suatu jaringan tegangan rendah yang agak besar diisi oleh beberapa transformator, yang pada gilirannya diisi oleh dua sumber energi atau lebih. Jaringan tegangan rendah ini melayani suatu jumlah pemakai yang cukup besar. Hal ini dikenal sebagai jaringan sekunder atau jaringan tegangan rendah.

2.5 Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edision Electric Institut, (2) NEMA (National Electrical Manufacturers 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 :

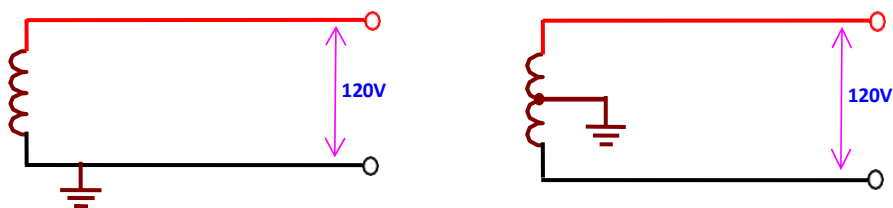
- 1) Sistem satu fasa dua kawat 120 volt
- 2) Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
- 3) Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt
- 4) Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt
- 5) Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
- 6) Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
- 7) Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 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 220/360 Volt. Sedangkan pemakaian listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem di atas sesuai dengan standar yang ada. Pemakaian 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 melalui menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt.⁶

2.5.1 Sistem distribusi satu fasa dengan dua kawat

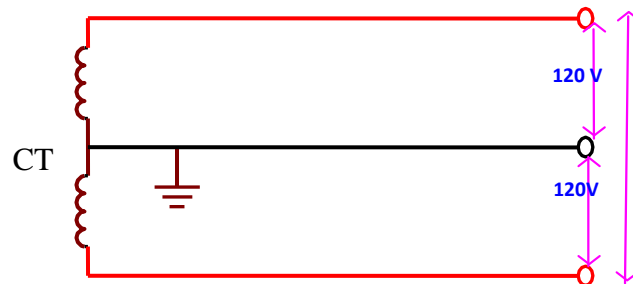


Gambar 2.8 Sistem Distribusi satu fasa dengan dua kawat⁶

Tipe ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana, biasanya digunakan untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan dan pedesaan. Ditinjau dari sisi sekunder trafo distribusinya, tipe ini ada 2(dua) macam, seperti ditunjukkan apada gambar 3-25.

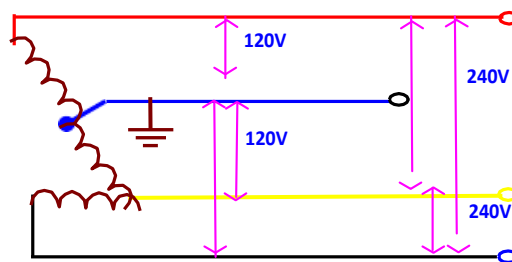
2.6.2 Sistem Distribusi satu fasa tiga kawat

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.

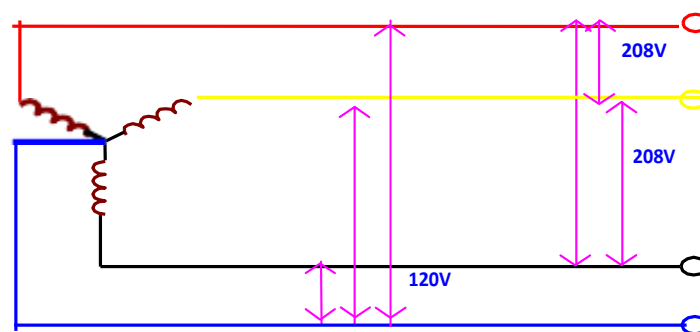
Gambar 2.9 satu fasa tiga kawat tegangan 120/240 Volt⁶

2.5.3 Sistem Distribusi satu fasa empat kawat tegangan 120/240 V

Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas sedang dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan pedesaan dan perdagangan ringan, dimana terdapat dengan beban 3 fasa.

Gambar 2.9 Sistem Distribusi satu fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt⁶

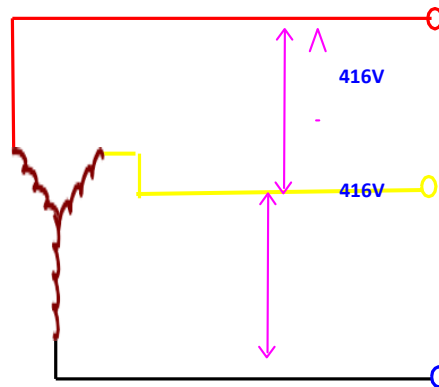
2.5.4 Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt

Gambar 2.10 Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt⁶



Untuk rangkaian seperti diatas terdapat pula sistem tegangan 240/416 Volt dan atau tegangan 265/460 Volt.

2.5.5 Sistem Distribusi tiga fasa tiga kawat

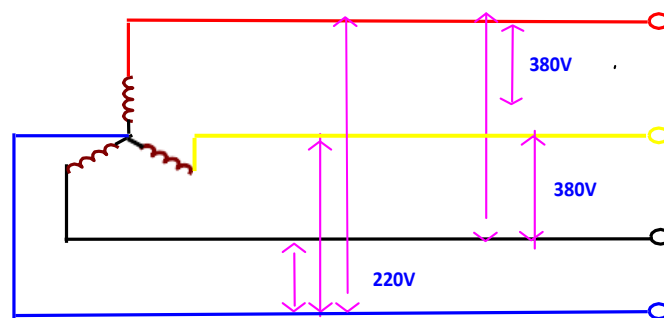


Gambar 2.11 Sistem Distribusi tiga fasa tiga kawat⁶

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.

2.5.6 Sistem Distribusi tiga fasa empat kawat



Gambar 2.12 Sistem distribusi tiga fasa tiga kawat⁶



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.⁶

2.6 Jenis Sistem Kelistrikan

2.6.1 Sistem Arus Searah

Arus searah (Direct Current atau DC) merupakan aliran beberapa elektron dari suatu titik yang energi potensialnya tinggi ke titik lainnya yang memiliki energi potensial lebih rendah. Sumber arus listrik searah ini biasanya baterai (termasuk Aki dan Elemen Volta) serta panel surya. Arus searah biasanya mengalir pada sebuah konduktor, walaupun mungkin saja arus searah mengalir pada semi konduktor, isolator, serta ruang hampa udara.

2.6.2 Sistem Arus Bolak Balik

Arus bolak-balik (Alternating Current atau AC) adalah arus listrik dimana besar dan arah arusnya berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan arus searah yang dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien. Namun dalam aplikasi-aplikasi spesifik yang lain, bentuk gelombang lain pun dapat digunakan.

Secara umum, arus bolak-balik berarti penyaluran listrik dari sumbernya (misalnya PLN) ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk. Namun ada pula contoh lain seperti sinyal-sinyal radio atau audio yang disalurkan melalui kabel, yang juga merupakan listrik arus bolak-balik. Di dalam aplikasi-aplikasi ini, tujuan utama yang paling penting adalah pengambilan informasi yang terkode di dalam sinyal arus bolak-balik tersebut.⁸

Suatu perbandingan relatif antara efisiensi beberapa sistem arus bolak balik, dengan menganggap memiliki beban yang sama dan seimbang, tegangan yang



sama antara kawat dan ukuran konduktor yang sama, terlihat pada table berikut, dengan mempergunakan rangkaian satu fasa dua kawat sebagai perbandingan.

Jumlah Arus Bolak Balik	Jumlah konduktor	Rugi –rugi daya	Turun tegangan
Satu Fase 2 Kawat	1.0	1.0	1.0
3 Kawat	1.5	0.25	0.25
Dua Fase 3 Kawat	1.5	0.50	0.50
4 Kawat	2.0	0.25	0.25
5 Kawat	2.5	0,25	0.25
Tiga Fase 3 Kawat	1.5	0.167	0.167
4 Kawat	2.0	0.167	0.167
Enam Fase 6 Kawat	3.0	0.042	0.042
7 Kawat	3.5	0.042	0.042

Tabel 2.1 Efisiensi Komparatif Beberapa Sistem Arus Bolak Balik

2.7 Gardu distribusi

Pengertian Gardu Distribusi tegangan listrik yang paling di kenal adalah sebuah bangunan Gardu Listrik yang berisi atau terdiri dari instalasi perlengkapan hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator distribusi, dan perlengkapan hubung bagi tegangan Rendah (PHBTR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan tegangan menengah (TM 20 KV) maupun tegangan rendah (TR 220/380 Volt).

Jenis-jenis gardu listrik atau gardu distribusi didesain berdasarkan maksud dan tujuan penggunaannya sesuai dengan peraturan pemda setempat. yaitu:

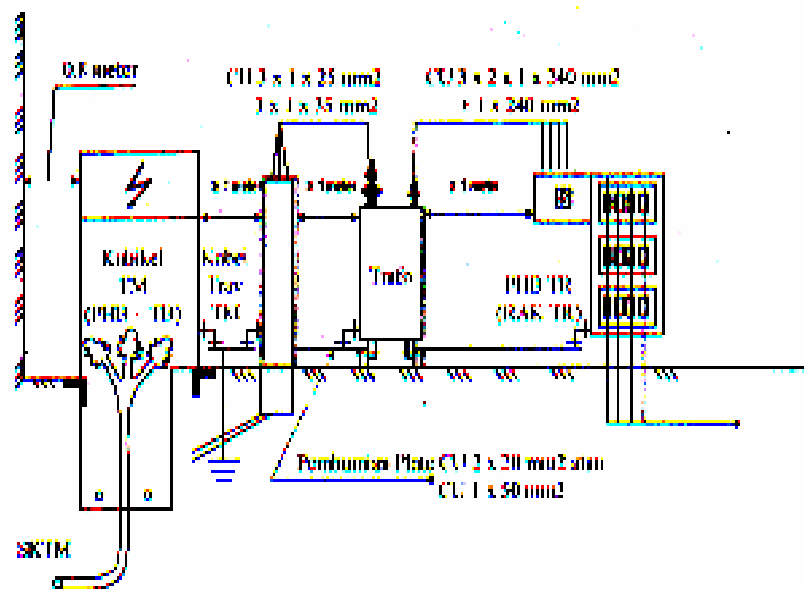


1. Gardu Distribusi konstruksi beton (Gardu Beton), 2. Gardu Distribusi konstruksi metal clad (Gardu besi), 3. Gardu Distribusi tipe tiang portal, 4. Distribusi tipe tiang cantol (Gardu Tiang).

Komponen-komponen gardu:

- a) PHB sisi tegangan rendah.
- b) PHB pemisah saklar daya).
- c) PHB pengaman transformator).
- d) PHB sisi tegangan rendah.
- e) Pengaman tegangan rendah.
- f) Sistem pembumian.
- g) alat-alat indikator

Gambar 2.13 Penampakan fisik Gardu Distribusi⁶



Prosedur uji layak instalasi gardu Sebelum dioperasikan instalasi gardu distribusi harus dilakukan uji baik yang meliputi:

- 1). Uji verifikasi rencana
 - Meneliti kesesuaian hasil pelaksanaan dengan rancangan bahan referensi adalah persyaratan teknis pada rancangan surat perintah kerja
 - Meneliti kesesuaian spesifikasi teknis dengan material yang terpasang



- 2). Uji fisik hasil pelaksanaan.
 - Meneliti apakah hasil persyaratan telah memenuhi persyaratan fisik hasil pekerjaan tekukan belokan kabel dan lain-lain.
 - Meneliti mekanisme kerja peralatan.
 - Meneliti kebenaran pengkabelan, pengawatan instalasi listrik.
 - Meneliti kekencangan ikat-ikatan mur, baut, kontaktor, dan lain-lain.
 - Meneliti kabel-kabel instalasi tidak menahan beban mekanik selain beban sendiri.
 - Meneliti pengkabelan instalasi kontrol.
- 3). Uji ketahanan isolasi
 - Melakukan uji ketahanan isolasi dengan megger pada setiap antar fasa dan fasa tanah (referensi PUIL 1 volt = 1 kilo ohm) pada sisi TM dan TR.
 - Uji dilakukan juga pada transformator.
- 4). Uji ketahanan impluse
 - Melakukan uji withstand 50 k J per 1 menit.
- 5). Uji power frekuensi
 - Melakukan uji tegangan 24 kV selama 15 menit
- 6). Uji alat proteksi
 - Uji fisik pengaman lebur dengan multi meter.
 - Uji rak proteksi (jika ada).
- 7). Uji alat-alat kontrol.
 - Setelah dioperasikan uji unjuk kerja alat-alat kontrol (lampu voltmeter, ampere meter): hasil uji lain didokumentasikan untuk izin operasional.
- 8). Instalasi untuk pelanggan tegangan menengah, hanya ditambah:
 - Satu set kubikel transformator tegangan
 - Satu set kubikel sambungan pelanggan dengan fasilitas
 - Circuit breaker yang bekerja atas dasar arus nominal.
 - Transformator arus.
 - Satu set kubikel untuk sambungan kabel milik pelanggan.
 - Satu set alat ukur (KWH meter, KVARH meter)



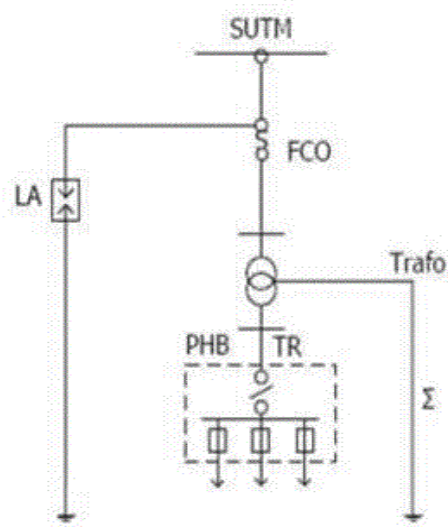
- Satu set relai pembatas beban.

10). Uji operasional dilaksanakan dengan tambahan, uji untuk circuit break dan relai pelanggan.⁶

2.7.1 Gardu tiang

Gardu tiang merupakan gardu distribusi yang dipasang ditiang pada jaringan distribusi, gardu tiang ada 2 macam, yaitu gardu cantol, dimana trafo dicantolkan di tiang dan gardu platform. Trafo pada gardu cantol dapat berupa trafo 1 fasa atau 3 fasa. Pada distribusi yang menggunakan trafo satu fasa, biasanya digunakan trafo jenis (*Completely Self Protecting*). Trafo jenis ini telah dilengkapi pengaman didalamnya, berupa pelebur (*fuse*) TM dan pemutus (*Circuit Breaker*) TR. Gardu tiang sangat cocok digunakan untuk beban-beban daerah yang sangat padat seperti perumahan-perumahan, pertokoan dan lain-lain. Kapasitasnya gardu tiang ini lebih kecil bila dibandingkan dengan gardu jenis beton ataupun gardu metal clad. Kapasitas gardu tiang biasanya dibatasi sampai 100 KV. Pembangunan gardu tiang lebih cepat, mudah dan biayanya lebih murah dibandingkan dengan gardu beton dan gardu MC.⁴

2.7.2 Gardu Portal



Gambar 2.14 Gardu Portal⁴



Umumnya konfigurasi gardu tiang yang dicatu dari SUTM adalah **T section** dengan peralatan pengaman, *Fuse Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur Link type expulsion) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Untuk gardu tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah **π section** dimana transformator distribusi dapat dicatu dari arah berbeda yaitu posisi *incoming-outgoing* atau dapat sebaliknya.

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada gardu portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terangkai sebagai Ring Main Unit (RMU). Peralatan *incoming-outgoing* berupa Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau Circuit Breaker (CB) yang bekerja secara manual atau digerakkan dengan *remote control*.

2.7.3 Gardu Cantol

Pada gardu distribusi tipe Cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA fase 3 atau fase 1. Transformator terpasang adalah jenis *Completely Self Protected Transformer (CSP)* yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



Gambar 2.15 Gardu Cantol⁴



- Gardu cantol adalah type gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN.
- Instalasi gardu dapat berupa :
 1. 1 cut out fused
 2. 1 lighting arrester.
 3. 1 panel PHB tegangan rendah dengan 2 jurusan atau transformator completely self protected (CSP-transformator)

2.7.4 Gardu Beton



Gambar 2.16 Gardu Beton⁴

Seluruh komponen instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/ proteksi terangkai didalam bangunan yang dirancang, dibangun, dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.⁴



2.7.5 Gardu Metal Clad (MC)

Gardu Metal Clad (MC) sebagian besar konstruksinya terbuat dari plat besi dengan bentuk menyerupai Kios, pembuatan Gardu Metal Clad lebih cepat dibandingkan Gardu Beton dan peralatannya merupakan satu set lengkap.⁵

Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan besi. Semua peralatan tersebut sudah di instalasi di dalam bangunan besi, sehingga dalam pembangunannya pelaksana pekerjaan tinggal menyiapkan pondasinya saja.⁴

2.8 Alat Pembatas

Penggunaan pembatas sebagai salah satu *interface* antara PLN dengan pelanggan, bila pelanggan memakai lebih pembatas akan bekerja, dan terjadi pemadaman. Dari sudut pandang pelanggan kejadian ini berarti berkurangnya keandalan suplai tenaga listrik.





Jenis-jenis alat pembatas yang paling banyak digunakan adalah jenis termis dan elektromagnet. Beberapa jenis pembatas tersebut terdiri dari pembatas satu kutub, dua kutub dan tiga kutub, seperti terlihat pada Gambar.⁶

Gambar 2.17 Miniature Circuit Breaker (MCB)⁶





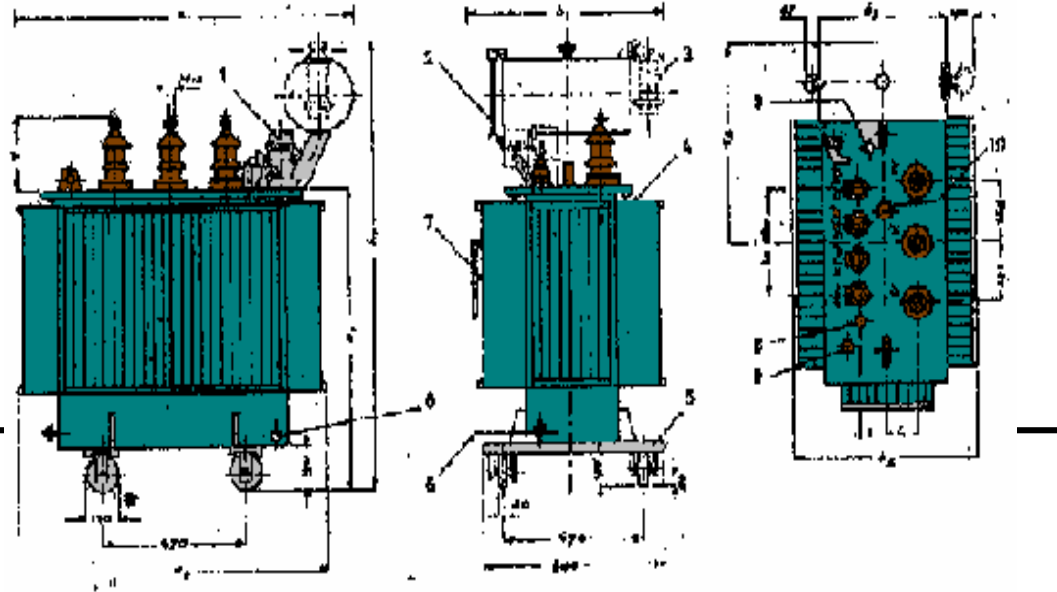
Beberapa contoh MCB sesuai dengan peruntukannya dapat dilihat pada Tabel 2.2, berikut ini:

Jenis Pengama	MC B	RC D	LT SURGE	SAKEL AR
Bentuk				
Fungsi/ Peggun	Mengamanka Kabel terhadap lebih dan hubung MCB range: NC45a/aD/N/NCIOOH/UL	Untuk yang hanya Membutuhk Pengamana Terhadap kontak dan tak serta bahaya api. RCD EKB DPNa Vigi Modul Vigi	Mengamank peralatan elektronik tegangan yang oleh petir industri, penyalaan besar. LT dari 2 jenis dan LTD Imax., LTM LTD 6,5 kA	Pembuka penutup saat

Tabel 2.2 Jenis Pembatas dan Penggunaanya⁶

2.9 Transformator Distribusi

Sebagaimana mana mesin-mesin listrik lainnya transformator sangatlah berperan penting dalam suatu sistem distribusi dimana sama seperti halnya generator distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah., rugi -rugi energi dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik yang mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.



Gambar 2.18 Trafo Distribusi kelas 20 kV⁶

Keterangan-keterangan gambar ,adalah :

1. Rele bucholz
2. Indikator permukaan minyak
3. Penapas pengering
4. Lubang untuk penarikan
5. Sumbat pengeluaran minyak
6. Pelat nama
7. Apitan untuk hubungan tanah
8. Kantong-thermometer
9. Kantong-thermometer
10. Alat untuk mengubah kedudukan tap

Trafo distribusi yang digunakan di indonesia saat ini pada umumnya adalah Trafo produksi dalam negeri. Ada lima pabrik trafo di indonesia yaitu: PT UNINDO, PT. TRAFINDO, dan PT. ASATA di Jakarta; PT. MURAWA di



Medan : PT. Bambang Djaja di Surabaya. Ditinjau dari jumlah fasanya trafo distribusi ada dua macam, yaitu trafo satu fasa dan trafo tiga fasa.

Trafo tiga fasa mempunyai dua tipe yaitu tipe tegangan sekunder ganda dan tipe tegangan sekunder tunggal. Sedangkan trafo satu fasa juga mempunyai dua tipe yaitu tipe satu kumparan sekunder dan tipe dua kumparan sekunder saling bergantung, yang dikenal dengan trafo tipe “NEW JEC”.

Gambar memperlihatkan sebuah trafo distribusi tiga fasa kelas 20 kV produksi PT. UNINDO Jakarta menurut standarisasi DIN Jerman Barat. Bak trafo dapat diisi dengan minyak Trafo biasa atau askarel (suatu bahan buatan) dan kelas ini untuk kapasitas daya lebih kecil dari 1000 kVA.⁶

2.10 Rugi-Rugi energi listrik

Karena tidak terdapat bagian-bagian yang bergerak atau berputar dari suatu transformator maka transformator tidak memiliki rugi-rugi gesekan. Akibatnya sebagian besar transformator memiliki efisiensi 90%. Meskipun demikian, terdapat juga rugi-rugi yang muncul pada transformator yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua rugi-rugi utama yaitu rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi besi

Rugi-rugi tanpa beban yang juga disebut rugi - rugi besi atau rugi - rugi inti, disebabkan arus magnetisasi yang mengalir pada kumparan primer yang tidak tergantung dari beban yang dipikul. Nilainya biasanya kira - kira 0.5 persen pada beban penuh nominal, tetapi akan berubah banyak pada perubahan tegangan. Sekalipun secara persentase kecil, namun rugi -rugi ini berjalan terus menerus sehingga besarnya cukup penting.

2.11 Pelayanan Konsumen

Di dalam melayani konsumen/pemakai listrik, yang perlu diperhatikan adalah:

2.11.1 Tegangan

Tegangan harus selalu di jaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-



alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik⁶

2.11.2 Frekuensi

Perubahan frekuensi akan sangat dirasakan oleh pemakai listrik yang orientasi kerjanya berkaitan/bergantung pada kestabilan frekuensi⁶

2.11.3 Kontinuitas pelayanan

Kelangsungan pelayanan listrik secara kontinyu merupakan dambakan setiap pelanggan/pemakai. Pemadaman listrik dapat mengakibatkan kerugian yang besar pada industri-industri yang operasionalnya sangat bergantung kepada tenaga listrik. Oleh karenanya jika pemadaman listrik tidak dapat dihindari, misalnya karena perbaikan jaringan yang sudah direncanakan atau karena gangguan dan sebab-sebab lain, maka pelaksanaan pemadaman harus didahului dengan pemberitahuan.⁶

2.12 Tarif Listrik

Tarif listrik ditetapkan berdasarkan Keputusan Direksi PLN, yang direkomendasikan oleh Pengumuman Menteri Pertamben dan Kepurusan Presiden. Isi Keputusan Direksi tersebut membagi beban listrik berdasarkan jenis pemakaiannya, yaitu untuk keperluan sosial, keperluan rumah tangga, untuk keperluan usaha, untuk keperluan industri dan lain lain yang masing-masing diklasifikasikan menurut besar kecilnya daya yang dibutuhkan dengan membedakan tarif pembayarannya.

Alasan untuk mempunyai susunan tarif yang berbeda adalah karena energi listrik di tinjau dari segi ekonomi bukan hasil yang seragam. Biaya untuk mencatu 1 kV pada jam 2 malam berbeda dengan jam 4 sore pada suatu hari di musim dingin. Sebagai contoh, pada saat turun dari beban puncak pada malam dimana saat itu pembangkit bekerja sangat efisien karena beban sesuai, biaya energy



hanya 15 paise per kWh. Tetapi pada jam-jam puncak di sore hari dimana generator paling tidak efisien harus bekerja, biaya tiap kWhnya menjadi 30 paise. Kemudian biaya catu tegangan tinggi berbeda dengan tegangan rendah. Factor beban tinggi atau rendah juga mempengaruhi pencatuan. Juga biaya catu dari pembangkit yang berbeda, seperti halnya hidro, nuklir, dan termal berbeda, tergantung dari sumber daya regional dan kebijaksanaan pemerintah. Biaya pembangkit dari pembangkit termal di Indonesia Rp. 100/kWh lebih tinggi dari pembangkit hidro tetapi lebih rendah dari pembangkit nuklir dan jauh lebih rendah dari pembangkit gas turbin dan diesel.¹

2.13 Perhitungan Energi Listrik

Untuk menghitung energi listrik dapat digunakan persamaan matematis yakni:

$$W = P \cdot t$$

Di mana:

W = Energi listrik

P = Daya Aktif

t = waktu

Sedangkan untuk mencari daya suatu listrik pada suatu rangkaian atau alat

Di mana daya listrik didefinisikan sebagai banyaknya energi listrik tiap satuan waktu. Daya Juga terbagi menjadi tiga bagian dimana ada daya aktif, daya reaktif, dan daya semu.

1. Daya aktif

Daya aktif adalah daya yang sesungguhnya dibutuhkan oleh beban. Satuan daya aktif adalah **W** (*Watt*) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter*.



Rumusnya :

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

2. Daya reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat *induktif*.

Satuan daya reaktif adalah **VAR** (*Volt.Amper Reaktif*). Untuk menghemat daya reaktif dapat dilakukan dengan memasang kapasitor pada rangkaian yang memiliki beban bersifat *induktif*. Hal serupa sering dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan motor banyak menggunakan beban berupa motor-motor listrik.

Rumusnya :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

3. Daya Semu

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik. Daya nyata merupakan daya yang diberikan oleh PLN kepada konsumen. Satuan daya nyata adalah **VA** (*Volt.Ampere*).

Beban yang bersifat daya semu adalah beban yang bersifat *resistansi* (**R**), contoh : lampu pijar, setrika listrik, kompor listrik dan lain sebagainya.

Rumusnya :

$$S = V \times I$$



2.14 Perhitungan rugi energy listrik (Kwh) pada jaringan tegangan rendah

Perhitungan rugi energi pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) Rayon sukarami menggunakan rumus sebagai berikut:

Rugi Energi Listrik = Energi listrik Siap Jual - Energi listrik terjual
Rumus persentasenya, yaitu:

$$\text{Persentase Rugi Energi Listrik} = \frac{\text{Rugi Energi}}{\text{Energi siap salur}} \times 100\%$$

Sebelum menghitung rugi energi listrik dengan menggunakan rumus diatas terlebih dahulu harus mencari :

Pertama, jumlah energi listrik yang diterima:

Rumusnya :

Jumlah Terima = Jumlah terima (a) + Jumlah terima (b) + Jumlah Terima (c) + Jumlah terima (d)

Jumlah Kirim = Jumlah Kirim (a) + Jumlah Kirim (b)

Menghitung Energi Siap Salur :

Energi Siap Salur = Jumlah Terima + Jumlah Kirim

Selanjutnya mengetahui PS Distribusi dengan cara:

$$\text{PS Distribusi} = 0.09\% \times \text{Energi siap salur}$$

Langkah terakhir adalah mencari Energi Siap Jual:

$$\text{Energi Siap Jual} = \text{Jumlah Terima} + \text{Jumlah Kirim} - \text{PS Distribusi}$$

Atau Energi Listrik Siap Jual = Energi Siap Salur - PS Distribusi

Setelah itu, perhitungan rugi energi listrik dan persentasenya pada JTR Rayon Sukarami dapat diketahui berdasarkan rumus (1) dan (2)