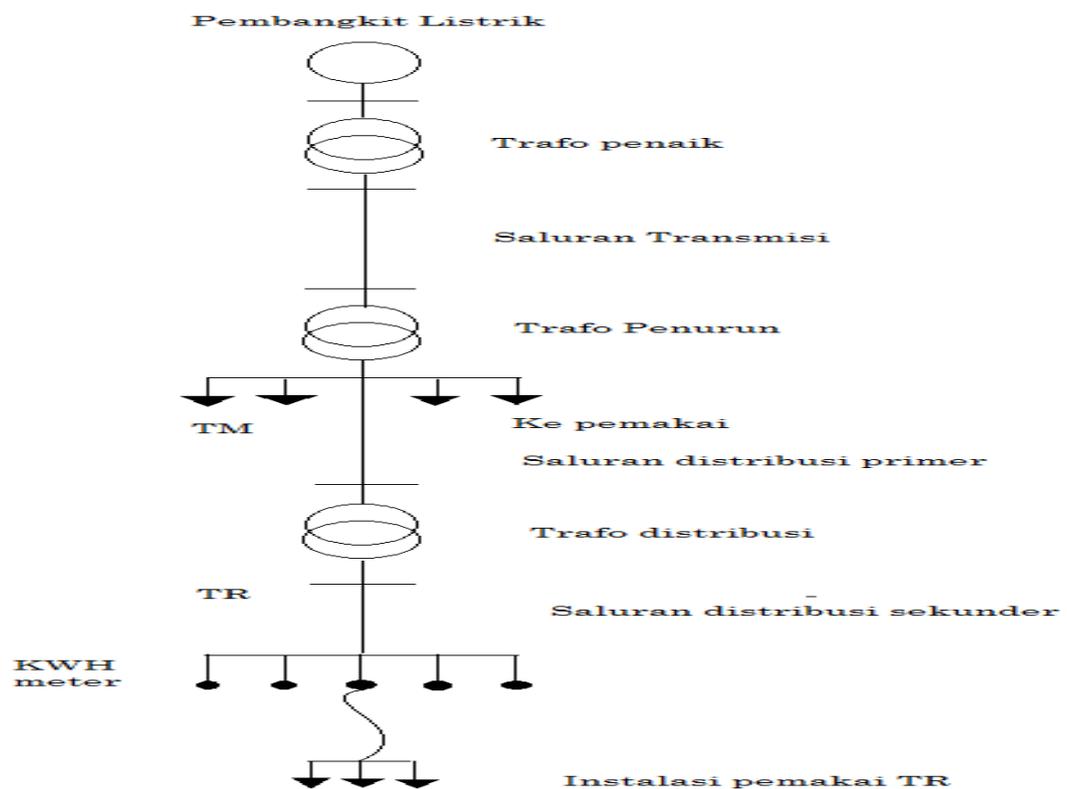


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat digambarkan secara skematis seperti pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik¹

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Fungsi dari masing-masing sistem dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut :

- Sistem pembangkit, berperan sebagai sumber daya listrik. Sistem pembangkit terdiri dari atas sejumlah unit-unit pembangkit yang umumnya tersebar pada daerah pelayanan jaringan sistem tenaga listrik

¹ Studi Kinerja Gardu Distribusi Terhadap Pengaruh Ketidakseimbangan beban Oleh Rosy Pentawan TS,2010



- Sistem transmisi, berfungsi sebagai penyalur daya listrik dari pembangkit ke bagian sistem distribusi atau konsumen. Dilihat dari sistem transmisi, sistem distribusi dapat dianggap sebagai beban sistem transmisi.
- Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan (beban). Sistem distribusi berperan sebagai distributor energi ke konsumen-konsumen yang membutuhkan energi tersebut.

Awalnya tenaga listrik dihasilkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTD, PLTG, dan lainnya. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

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. Jadi Sistem distribusi daya listrik meliputi semua Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 KV dan semua Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt hingga ke meter-meter pelanggan. Pendistribusian daya listrik dilakukan dengan menarik kawat-kawat distribusi melalui penghantar udara maupun penghantar bawah tanah dari mulai gardu induk hingga ke pusat-pusat beban.



2.2 Pengertian Gardu Induk

Gardu induk adalah suatu instalasi listrik mulai dari TET (Tegangan Ekstra Tinggi), TT (Tegangan Tinggi) dan TM (Tegangan Menengah) yang terdiri dari bangunan dan peralatan listrik.

Fungsi Gardu Induk adalah untuk menyalurkan tenaga listrik (KVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari Pembangkit atau gardu induk lain.

2.3 Jenis Gardu Induk

Jenis Gardu Induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu :

2.3.1 Berdasarkan Besaran Tegangannya

Gardu Induk Berdasarkan Besaran Tegangannya, terdiri dari :

1. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV.
2. Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 KV, 70 KV.

2.3.2 Menurut Pelayanannya

Gardu Induk menurut pelayanannya dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Gardu Transmisi, yaitu gardu induk yang melayani untuk TET dan TT
2. Gardu Distribusi, yaitu gardu induk yang melayani untuk TM

2.3.3 Menurut Penempatannya

Gardu Induk menurut penempatannya, terdiri dari :

1. Gardu Induk pasangan dalam (Indoor Substation)
2. Gardu Induk pasangan luar (Outdoor Substation)
3. Gardu Induk sebagian pasangan luar (Combine Outdoor Substation)
4. Gardu Induk pasangan bawah tanah (Underground Substation)
5. Gardu Induk pasangan sebagian bawah tanah (Semi Underground Substation)

2.3.4 Menurut Rel

Gardu Induk menurut relnya, terdiri dari :

1. Gardu Induk dengan satu rel (single busbar)
2. Gardu Induk dengan dua rel (double busbar)
3. Gardu Induk dengan dua rel sistem 1,5 PMT (one and half circuit breaker).

2.4 Peralatan Utama Gardu Induk

Gardu Induk dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya, dan mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharaannya, antara lain sebagai berikut :

2.4.1 Transformator Daya ²

Transformator Daya (Transformator tenaga) berfungsi mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi untuk pengaturan tegangan. Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik neutral dari trafo daya.

2



Gambar 2.2 Transformator Daya

² PT PLN (Persero) PUSDIKLAT 2009 Pengoperasian Peralatan Gardu Induk Hal :1-4



2.5 Sistem Jaringan Distribusi

Sistem distribusi adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik antara sumber daya besar (Bulk Power Source) dan rangkaian pelayanan konsumen. Sumber daya besar tersebut tidak terletak pada daerah yang dilayani oleh sistem distribusi ataupun terletak didekatnya. Sumber daya besar tersebut dapat berupa suatu pembangkit atau berupa suatu gardu induk yang dilayani oleh pusat pembangkit tenaga listrik yang terletak jauh dari konsumen melalui suatu jaringan transmisi.

Sumber daya besar tersebut dapat berupa suatu stasiun pembangkit atau berupa suatu gardu induk yang dilayani oleh pembangkitan tenaga listrik yang jauh letaknya dari konsumen melalui suatu jaringan transmisi. 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, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah 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. Tegangan menengah dari GI ini melalui saluran distribusi primer, untuk disalurkan ke gardu-gardu distribusi (GD) atau pemakai TM. Dari saluran distribusi primer, tegangan menengah (TM) diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) 220/380 V melalui gardu distribusi (GD). Tegangan rendah dari gardu distribusi disalurkan melalui saluran tegangan rendah ke konsumen tegangan rendah.³

2.6 Komponen-komponen Utama Pada Sistem Distribusi³

Sistem distribusi terdiri dari beberapa komponen sistem yang bekerja sesuai dengan fungsinya. Komponen-komponen utama dari sistem distribusi pada umumnya berupa :

- Gardu Induk

³ PT PLN (Persero) PUSDIKLAT 2009 Bab II Manajemen Inspeksi, K3 dan SOP hal 48-49



-
- Saluran Distribusi Primer
 - Gardu Hubung
 - Gardu Distribusi
 - Saluran Distribusi Sekunder

Berikut penjelasan singkat mengenai fungsi dari komponen-komponen utama sistem distribusi tersebut :

1. Gardu Induk

Gardu induk pada jaringan distribusi berfungsi untuk menerima tenaga listrik dari pusat pembangkit tegangan tinggi melalui jaringan transmisi dan menurunkan tegangan tersebut menjadi tegangan menengah (tegangan jaringan distribusi primer).

2. Saluran Distribusi Primer

Saluran distribusi primer berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik tegangan menengah dari gardu induk distribusi melalui beberapa bagian ke beberapa gardu distribusi yang ada pada jalur tersebut.

3. Gardu Hubung

Gardu hubung berfungsi menerima daya listrik yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkannya menuju gardu gardu distribusi tanpa melakukan perubahan tegangan melalui jaringan distribusi primer. Tidak semua sistem yang ada menggunakan gardu hubung. Ada kalanya Gardu hubung tidak diperlukan, sehingga daya listrik dari gardu induk langsung disalurkan menuju gardu distribusi.

4. Gardu Distribusi

Gardu distribusi berfungsi untuk menerima tenaga listrik tegangan menengah melalui saluran distribusi primer dan menurunkan tegangan tersebut menjadi tegangan rendah (tegangan jaringan distribusi sekunder)



5. Saluran Distribusi Sekunder

Saluran distribusi sekunder berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik tegangan rendah dari gardu distribusi melalui beberapa bagian menuju ke beban listrik atau konsumen. Jaringan ini dimulai dari sisi tegangan rendah transformator pada gardu distribusi sampai meteran listrik padan pelanggan (konsumen).³

2.7 Jaringan Sistem Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer atau disebut jaringan distribusi tegangan menengah adalah jaringan tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplai tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Jaringan distribusi primer berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (umumnya 20 kV). Hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo distribusi).

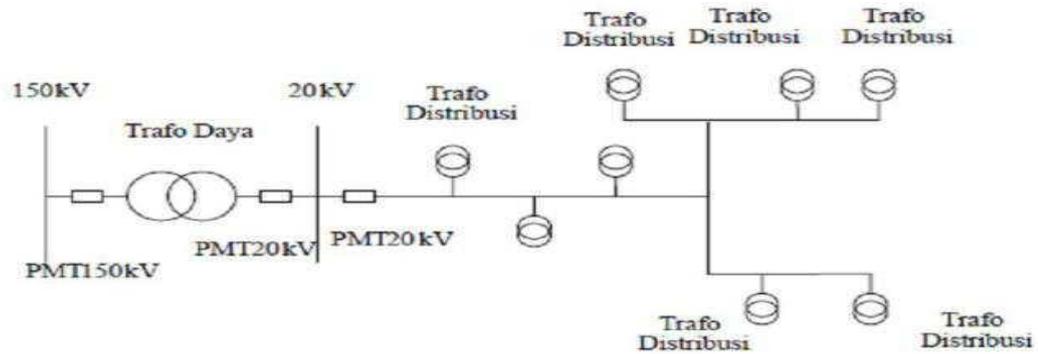
Terdapat bermacam-macam bentuk rangkain jaringan distribusi primer. Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (Tie Line), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

2.7.1 Jaringan Distribusi Radial⁴

Bila antara titik sumber dan titik bebanya hanya terdapat satu saluran (line), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling paling banyak digunakan. Selain itu, sistem distribusi dengan pola Radial seperti gambar di bawah ini adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

³ Studi Kinerja Gardu Distribusi Terhadap Pengaruh Ketidakseimbangan beban Oleh Rosy Pentawan TS,2010

⁴ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30823/3/Chapter%20II.pdf>



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial

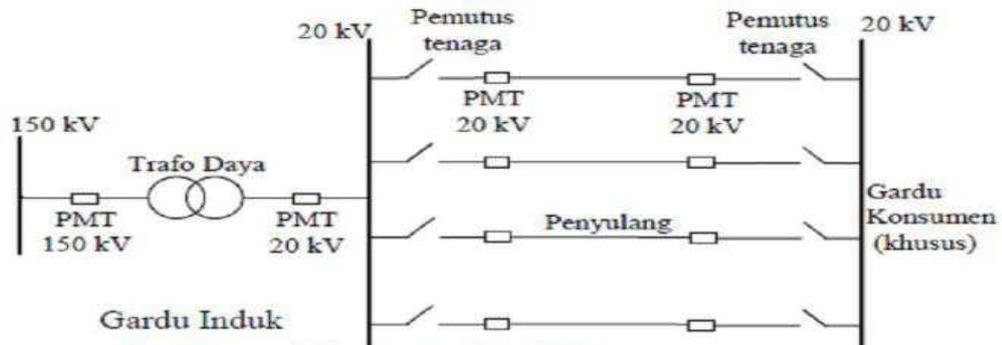
Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

2.7.2 Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line) ⁴

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar di bawah ini digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lainlain). Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

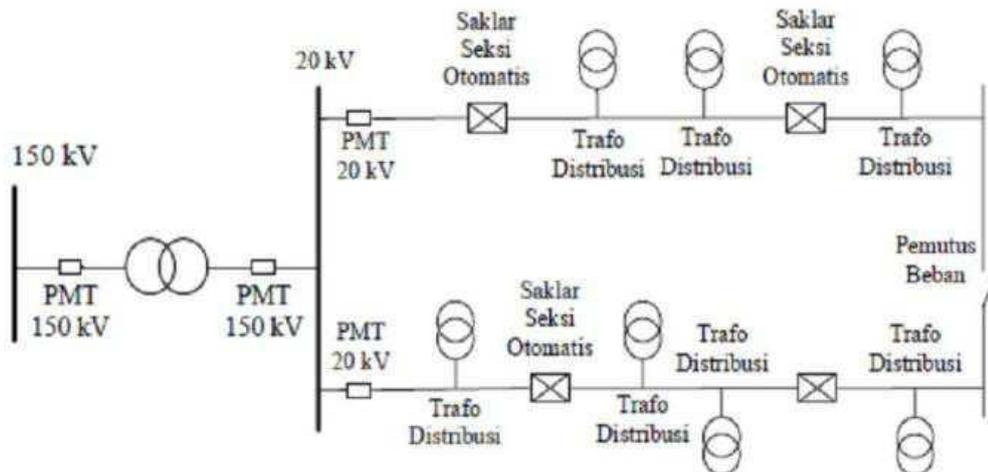
⁴ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30823/3/Chapter%20II.pdf>



Gambar 2.4 Konfigurasi Hantaran Penghubung (Tie Line)

2.7.3 Jaringan Lingkar (Loop)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar di bawah ini dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian.

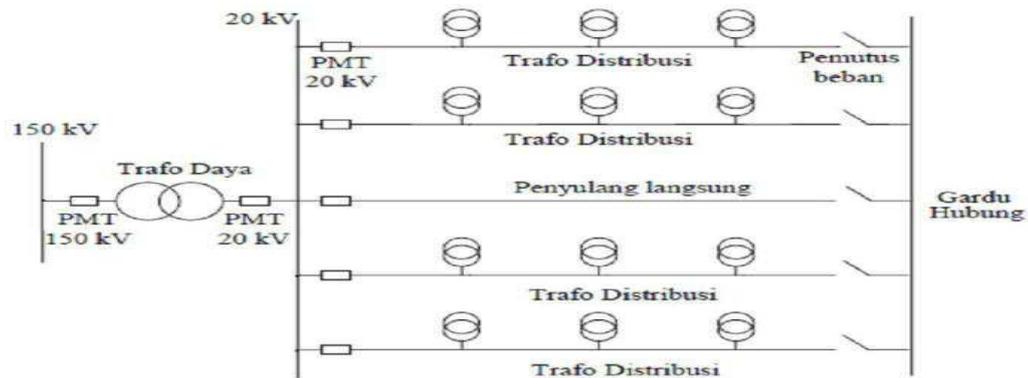


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Loop⁴

2.7.4 Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar di bawah ini adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).

⁴ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30823/3/Chapter%20II.pdf>

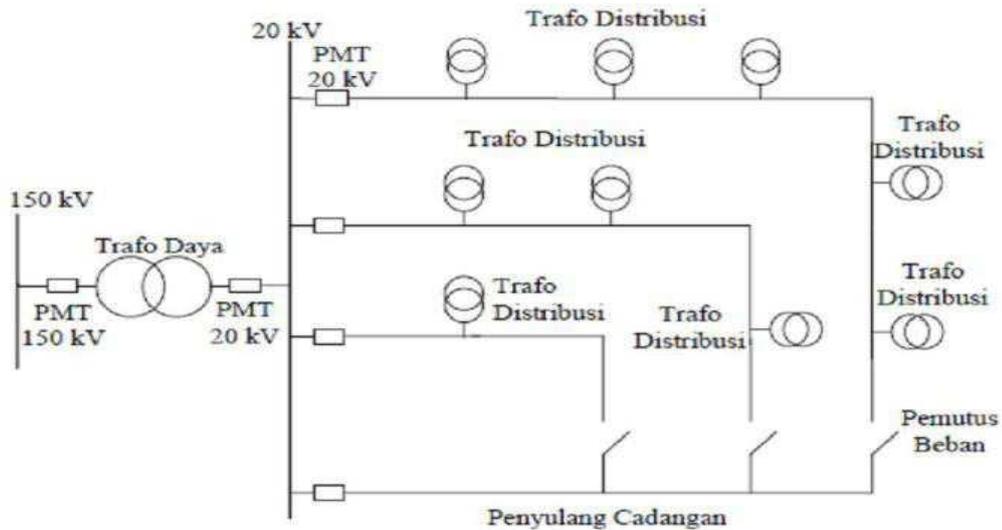


Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Spindel

Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.7.5 Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar di bawah ini banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan.



Gambar 2.7 Konfigurasi Jaringan Kluster⁴

Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

2.8 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 adalah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : *Edison Electric Institut*, (2) NEMA (*National Electrical Manufactures Association*). Factor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima oleh beban apakah 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 juga bergantung pada jumlah fasanya, yaitu:

⁴ <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/30823/3/Chapter%20II.pdf>



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

Berdasarkan penempatan jaringan, jaringan tegangan rendah dibedakan menjadi dua yaitu :

2.8.1 Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Saluran ini merupakan penghantar yang ditempatkan di atas tiang (di udara). Ada dua jenis penghantar yang digunakan, yaitu penghantar tak berisolasi (kawat) dan penghantar berisolasi (kabel).

Beberapa keuntungan dan kerugian sistem hantaran udara :

- a. Keuntungan
 - Pemasangan lebih mudah dibandingkan dengan sistem hantaran kabel bawah tanah.
 - Pemeliharaan jaringan lebih mudah dibandingkan dengan sistem kabel bawah tanah.
 - Biaya pemasangan jauh lebih murah.
 - Lokasi gangguan langsung dapat dideteksi.
 - Mudah untuk perluasan jaringan
- b. Kerugian
 - Mudah mendapat gangguan



- Pencurian melalui jaringan mudah dilakukan
- Kabel yang berseliweran dapat mengurangi keindahan lingkungan.

2.8.2 Saluran Kabel Tegangan Rendah

Saluran ini menempatkan kabel di bawah tanah. Tujuan utama penempatan di bawah tanah pada umumnya adalah kompleks perumahan dan daerah perindustrian. Keuntungan penggunaan kabel ini adalah estetika yang lebih indah, tidak terganggu oleh pengaruh-pengaruh cuaca. Kelemahan kabel ini adalah jika terjadi gangguan sulit menemukan lokasinya.

Beberapa keuntungan dan kerugian sistem hantaran bawah tanah :

- a. Keuntungan
 - Tidak mudah mengalami gangguan
 - Faktor keindahan lingkungan tidak terganggu
 - Tidak mudah dipengaruhi cuaca, seperti cuaca buruk, angin topan, hujan angin, bahaya petir dan sebagainya
 - Faktor keselamatan jiwa terjamin
- b. Kerugian
 - Biaya pembuatan mahal
 - Gangguan biasanya bersifat permanen
 - Pencarian lokasi gangguan jauh lebih sulit dibandingkan menggunakan sistem hantaran udara

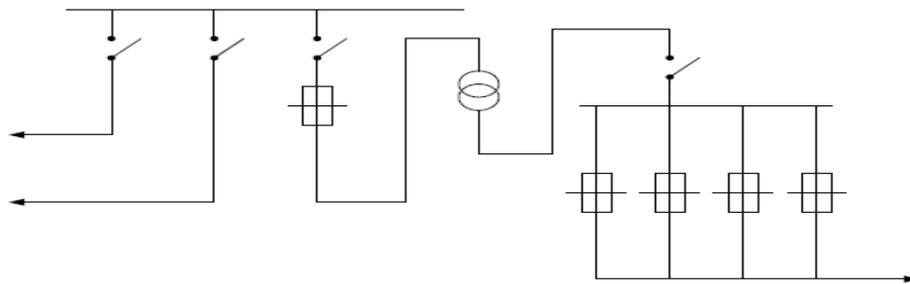
2.9 Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah gardu yang menurunkan tegangan menengah (primer) menjadi tegangan rendah (sekunder). Gardu distribusi pada dasarnya suatu tempat bangunan instalasi listrik yang didalamnya terdapat alat-alat : Pemutus, penghubung, pengaman dan trafo.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut :

1. Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.

2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan ke konsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.



Gambar 2.8 Monogram Gardu Distribusi

2.9.1 Jenis-jenis Gardu Distribusi

Jenis-jenis gardu listrik atau gardu distribusi di desain berdasarkan maksud dan tujuan penggunaannya sesuai dengan Peraturan Pemda setempat, yaitu :

1. Gardu Distribusi konstruksi beton (Gardu Beton)

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari beton. Gardu beton termasuk gardu jenis pasangan dalam karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan transformator distribusi terletak di dalam bangunan beton. Dalam pembangunannya semua peralatan tersebut didisain dan diinstalasi di lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu.

2. Gardu Distribusi konstruksi Metal Clad (Gardu Besi)

Gardu metal adalah gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan transformator 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.

3. Gardu Tiang Tipe Portal.

Merupakan salah satu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari tiang. Transformator distribusi terletak dibagian atas tiang, oleh sebab itu gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas karena transformatornya cukup berat sehingga tidak mungkin menempatkan transformator berkapasitas besar di bagian atas tiang (± 5 meter di atas tanah).



Gambar 2.9 Gardu Tiang Tipe Portal dan Midel Panel

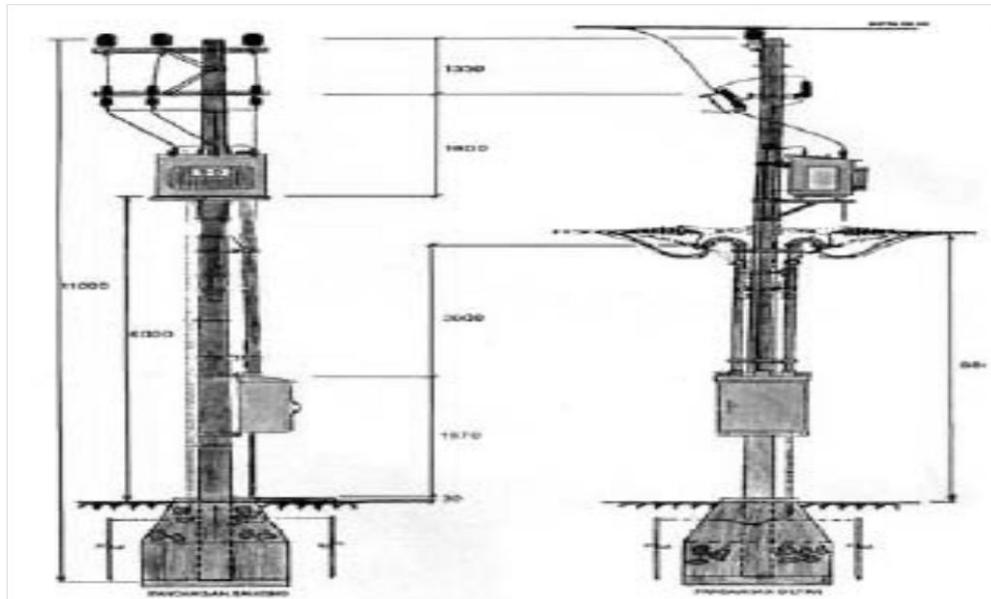
Gardu portal adalah gardu listrik tipe terbuka (outdoor) dengan konstruksi tiang/menara kedudukan transformator minimal 3 meter diatas platform. Umumnya memakai tiang beton ukuran 2x500 daN.

4. Gardu Tiang Tipe Cantol

Gardu Cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN.

A. Sambungan Gardu Tiang Tipe Cantol

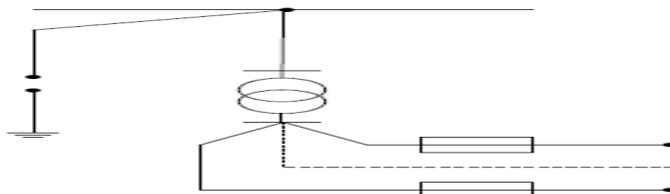
- Gardu cantol 1 fasa dengan transformator CSP (completely self protected) untuk pelayanan satu fasa.
- Untuk pelayanan sistem 3 fasa memakai 3 buah transformator 1 fasa dengan titik netral digabungkan dari tiap-tiap transformator menjadi satu.



Gambar 2.10 Gardu Tiang Tiga Fasa Tipe Cantol

Instalasi dalam PHB terbagi atas 6 bagian utama.

- Instalasi switch gear tegangan menengah
- Instalasi switch gear tegangan rendah
- Instalasi transformator
- Instalasi kabel tenaga dan kabel kontrol
- Instalasi pembumian
- Bangunan fisik gardu.



Gambar 2.11 Bagan Satu Garis Gardu Tiang Tipe Cantol.

Keterangan:

1. Transformator
2. Sirkuit akhir 2 fasa
3. Arrester
4. Cut out fused, sakelar beban TR sudah terpasang di dalam transformator.



Catatan :

EL1 - N = 220 Volt

EL2 - N = 220 Vol

5. Gardu Mobil

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan di atas mobil) sehingga dapat dipindah-pindahkan sesuai dengan tempat yang memerlukan. Karena itu gardu mobil umumnya hanya untuk pemakaian sementara (darurat) yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang sifatnya temporer.

Secara umum ada dua jenis gardu mobil yaitu gardu mobil jenis pasangan dalam dimana semua peralatan gardu berada di dalam bangunan besi yang mirip gardu besi. Kedua, gardu mobil jenis pasangan luar yaitu gardu yang berada di atas mobil trailer sehingga bentuk fisiknya lebih panjang dan semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan transformator distribusi tampak dari luar. Gardu distribusi jenis trailer ini umumnya berkapasitas lebih besar daripada yang jenis mobil.

Kebanyakan sistem distribusi jaringan tegangan rendah pada PT PLN(Persero) Wilayah Palembang menggunakan gardu distribusi tipe tiang portal.

2.9.2 Peralatan yang digunakan pada Gardu dan Jaringan Distribusi

➤ Transformator Distribusi

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet. Konstruksi utama dari trafo terdiri dari kumparan primer, kumparan sekunder dan inti.

Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo step down 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi drop tegangan maka tegangan pada rak TR dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt.



- Transformator 3 fasa

Kumparan pada transformator dapat dihubungkan secara dua macam yaitu :

- a. Hubungan bintang (Y)

Dalam hubungan bintang, arus jala-jala sama dengan arus fasa, dan tegangan jala-jala sama dengan $\sqrt{3}$ x tegangan fasa

- b. Hubungan delta (Δ)

Dalam hubungan delta, arus jala-jala sama dengan $\sqrt{3}$ x arus fasa, dan tegangan jala-jala sama dengan tegangan fasa.

- Pemutus Beban (Cut Out)

Cut Out berfungsi sebagai pengaman lebur, jika terjadi gangguan arus lebih yang melebihi kapasitas hantaran Cut Out maka hantaran tersebut akan melebur dan beban trafo distribusi akan terlepas dari sistem yang bertegangan dari saluran pengirim daya.

Berbeda halnya dengan pemutus tenaga yang terdapat pada GI, ada terdapat banyak macam pemutus beban yang dikenal, antara lain :

1. Pemutus beban minyak volume kecil, yaitu jenis pemutus tenaga minyak kontak-kontak pemutusannya ada di dalam tabung isolator porselin.
2. Pemutus beban udara dan pemutus beban semburan udara, yaitu sejenis pemutus ketika busur api terjadi dipadamkan dengan menghembuskan udara kepadanya dan mendorongnya ke ruang pemadam busur. Berbeda dengan pemutus minyak, pemutus semburan udara (air blast) tidak membutuhkan penggantian minyak yang biasanya cukup merepotkan.
3. Pemutus gas SF₆ yaitu sejenis pemutus yang menggunakan gas SF₆ (Sulfur Hexafluoride) sebagai bahan pemadam busur api yang menggunakan udara tekan. Pemutus ini memiliki keuntungan tidak terpengaruh oleh keadaan cuaca, tidak membahayakan manusia, hampir tidak memerlukan pemeliharaan dan mudah di pasang. Dalam perkembangan teknologinya memberikan harapan yang menggembirakan dalam pemutusan tegangan tinggi.



➤ Lightning Arrester (LA)

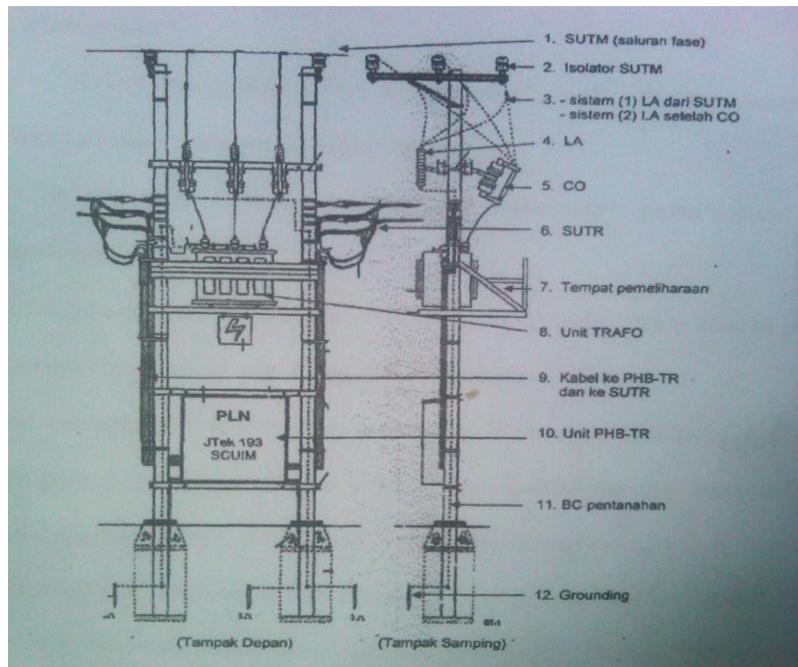
Lightning Arrester merupakan alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir dari suatu penyambungan atau pemutusan rangkaian tanpa gangguan sistem.

Bila terjadi tegangan lebih akibat petir pada jaringan, maka arrester bekerja dengan mengalirkan arus surja ke tanah, kemudian setelah itu tegangan akan normal kembali.

Pada tegangan operasi normal, arrester harus mempunyai impedansi sabgat tinggi. Bila mendapat tegangan transien abnormal di atas harga tegangan tembusnya, maka harus menembus dengan cepat. Arus pelepasan selama waktu tembus tidak boleh melebihi arus pelepasan nominal supaya tidak merusak. Arus dengan frekuensi normal harus diputuskan dengan segera apabila tegangan transien telah turun di bawah tegangan tembusnya.

➤ Rak TR

Rak TR merupakan Perangkat Hubung Bagi (PHB) tegangan rendah gardu distribusi. Rak TR terpasang pada gardu distribusi pada sisi tegangan rendah atau sisi hulu dari instalasi tenaga listrik. Fungsinya adalah sebagai alat penghubung sekaligus sebagai pembagi tenaga listrik ke instalasi pengguna tenaga listrik (konsumen). Rak TR terdiri dari beberapa jurusan yang akan dibagi-bagi ke pelanggan. Dan terhubung dengan trafo pada sisi sekunder.



Gambar 2.12 Bagian-bagian dari Gardu Distribusi Tipe Tiang Portal¹

➤ **Kawat Penghantar (Konduktor)**

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran distribusi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis lambang sebagai berikut :

1. AAC = “All-Aluminium Conductor”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC = “All-Aluminium-Alloy Conductor”, yaitu kawat penghantar seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR = “Aluminium Conductor, Steel-Reinforced”, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

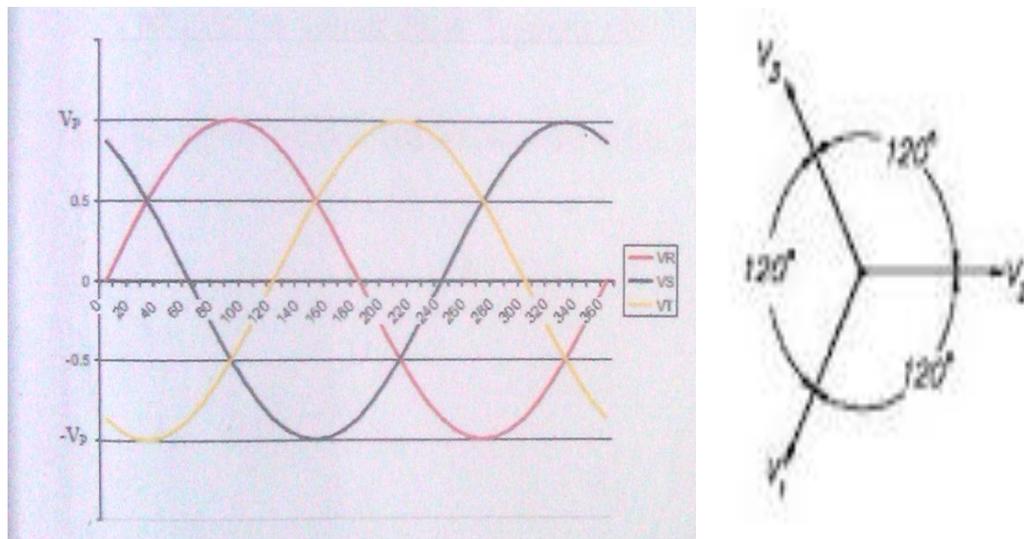
¹ Studi Kinerja Gardu Distribusi Terhadap Pengaruh Ketidakseimbangan beban Oleh Rosy Pentawan TS,2010

4. ACAR = “Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced”, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya adalah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu, kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (aluminium alloy).

2.10 Sistem 3 fasa ⁵

Pada dasarnya pasokan listrik AC dibagi kedalam siskuit satu fase dan tiga fase. Tidak seperti sirkuit DC yang arah arus listriknya tidak berubah, maka dalam sirkuit AC arah arus berubah berkali-kali tiap detiknya tergantung frekuensi pasokan.



Gambar 2.13 Bentuk Gelombang Dan Fasa 3 Fasa

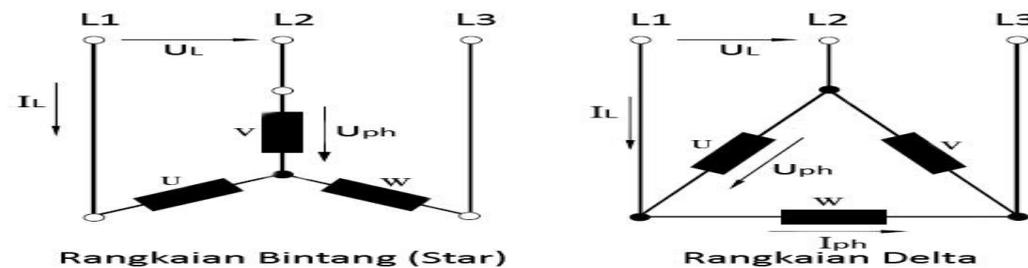
⁵ Tegangan, Arus dan Daya 3 fasa hal 569-570, Mesin-mesin Listrik, Edisi Keempat, A.E Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Stephen D. Umans, Ir. Djoko Achyanto, M.Sc.E.E

Pada gambar nampak bahwa antara tegangan fase satu dengan yang lainnya mempunyai perbedaan fase sebesar 120° . Pada umumnya fase dengan sudut fase 0° disebut dengan fase R, fase dengan sudut fase 120° disebut fase S dan fase dengan sudut 240° disebut dengan fase T. Perbedaan sudut fase tersebut pada pembangkit dimulai dari adanya dengan kumparan yang masing-masing tersebar secara terpisah dengan jarak 120° .

2.10.1 Sistem Y dan Delta

Sistem Y merupakan sistem sambungan pada sistem tiga fase yang menggunakan empat kawat, yaitu R,S,T, dan N. Sistem sambungan tersebut akan menyerupai huruf Y, yang memiliki empat titik sambungan yaitu pada titik pertemuan antara tiga garis pembentuk huruf. Sistem Y dan delta dapat digambarkan dengan skema berikut.

Sistem hubungan Δ atau sambungan Y, sering juga disebut sebagai hubungan bintang. Sedangkan pada sistem yang lain yang disebut sebagai sistem Delta, hanya fase R,S,T untuk hubungan dari sumber dari beban, sebagaimana gambar diatas. Tegangan efektif antar fase umumnya adalah 380 V dan tegangan efektif fase dengan netral adalah 220 V.



Gambar 2.14 Sistem Y Dan Delta

2.10.2 Beban Seimbang Terhubung Y dan Delta

Dari rumus daya dalam rangkaian satu fasa, daya dalam setiap fasa (phasa atau ph) baik hubungan delta maupun delta adalah :

$$P_{ph} = V_{ph} I_{ph} \cos \varphi \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana sudut φ adalah sudut antara arus fasa tegangan dengan tegangan fasa maka daya yang dihasilkan dalam ketiga dari hubungan tiga fasa seimbang adalah :

$$P = 3 P_{ph} = 3 V_{ph} I_{ph} \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Tetapi dalam hubungan bintang (Y)

$$I_{ph} = I_{Line} \text{ dan}$$

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Maka daya tiga fasa dalam sistem hubungan bintang (Y) yang dinyatakan dalam tegangan dan arus saluran adalah :⁵

$$P = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Begitu juga dalam hubungan Delta

$$V_{ph} = V_{Line} \text{ dan}$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

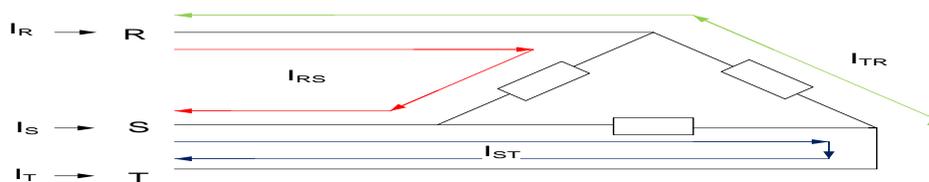
$$P = 3 \cdot V_L \cdot \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

2.10.3 Beban Tak Seimbang Terhubung Y dan Delta¹

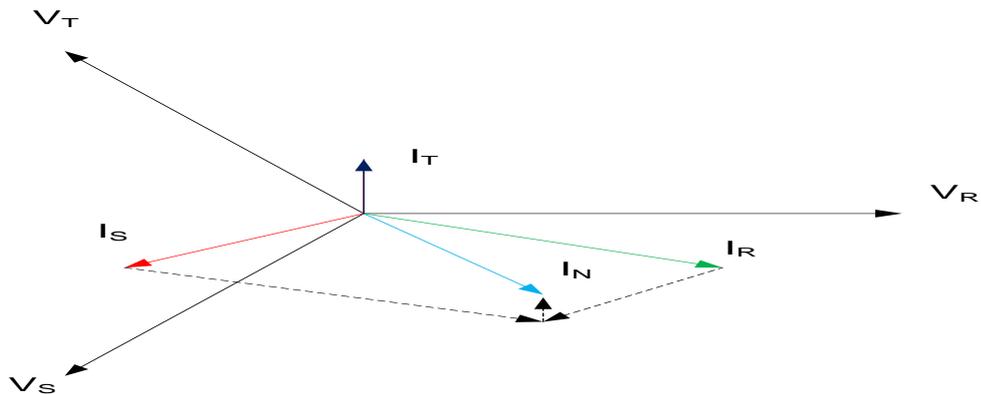
Penyelesaian beban tak seimbang tidaklah dapat disamakan dengan beban yang seimbang sebagaimana dijelaskan diatas. Penyelesaiannya akan menyangkut perhitungan arus-arus fase dan selanjutnya dengan hukum arus Kirchoff akan didapatkan arus-arus saluran pada masing-masing fase.

1 Beban Tak seimbang Terhubung Delta



Gambar 2.15 Beban Tak Seimbang Terhubung Delta

¹ Studi Kinerja Gardu Distribusi Terhadap Pengaruh Ketidakeimbangan beban Oleh Rosy Pentawan TS,2010



Gambar 2.17 Diagram fasor Beban Tak Seimbang¹

2.10.4 Komponen Simetris

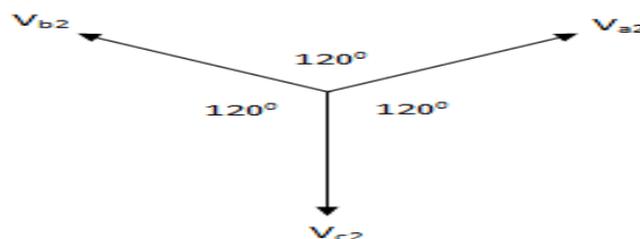
Dikenal pada tahun 1918 oleh C.L Fortesque, menurutnya tiga fasor yang tidak simetris dari suatu sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga komponen simetris, yaitu :

1. Komponen urutan positif (Positive Sequence Component)
2. Komponen urutan negatif (Negative Sequence Component)
3. Komponen urutan nol (Zero Sequence Component)

1. Komponen urutan positif (Positive Sequence Component)

Komponen urutan positif terdiri dari tiga fasor seimbang yang memiliki magnitude sama besar, namun berbeda fasa sebesar 120° , dengan urutan fasa a,b,c sebagaimana fasor aslinya, seperti diperlihatkan dalam gambar dibawah ini :

3



Gambar 2.18 Fasor Arus Urutan Positif

¹ Studi Kinerja Gardu Distribusi Terhadap Pengaruh Ketidakeimbangan beban Oleh Rosy Pentawan TS,2010

Dalam gambar diperlihatkan komponen arus urutan positif yang berputar berlawanan arah jarum jam. Untuk menggambarkan pergeseran fasa sebesar 120° lebih mudah apabila digunakan operator a dimana :

$$a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j 0,866$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 + j 0,866$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 + j 0,866$$

Jadi ketiga besaran urutan positif dapat dinyatakan dengan :

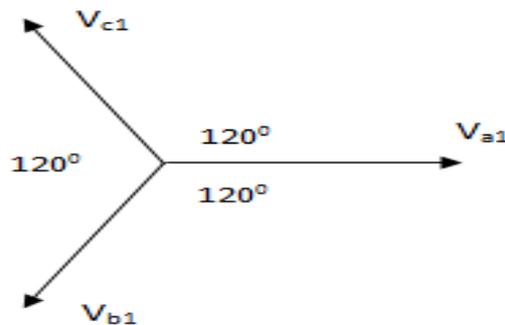
$$I_{a1} = I_1 \qquad V_{a1} = V_1 \qquad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$I_{b1} = a^2 I_{a1} \qquad V_{b1} = a^2 V_{a1} \qquad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$I_{c1} = a I_{a1} \qquad V_{c1} = a V_{a1} \qquad \dots\dots\dots (2.18)$$

2. Komponen Urutan Negatif

Sama seperti urutan positif, komponen urutan negatif juga terdiri dari tiga fasor seimbang yang memiliki magnitude sama besar namun berbeda fasa sebesar 120° , namun urutannya menjadi a,c,b.



Gambar 2.19 Fasor Arus Urutan Negatif

$$I_{a2} = I_2 \qquad V_{a2} = V_1 \qquad \dots\dots\dots (2.19)$$

$$I_{b2} = a I_{a2} \qquad V_{b2} = a V_{a2} \qquad \dots\dots\dots (2.20)$$

$$I_{c2} = a^2 I_{a2} \qquad V_{c2} = a^2 V_{a2} \qquad \dots\dots\dots (2.21)$$

3. Komponen Urutan Nol

Komponen urutan nol terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan memiliki arah yang sama seperti terlihat di gambar.



Gambar 2.20 Fasor Arus Urutan Nol

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} = I_0 \quad V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0 \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

2.10.5 Ketidakseimbangan Beban⁶

Dalam kondisi ideal dimana beban benar-benar terbagi rata (simetris) pada ketiga fasanya, maka arus yang lewat pada saluran netral adalah benar-benar “netral” (nol), yang artinya saluran netral ini tidak dilalui arus.

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- Ketiga vektor arus/tegangan sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

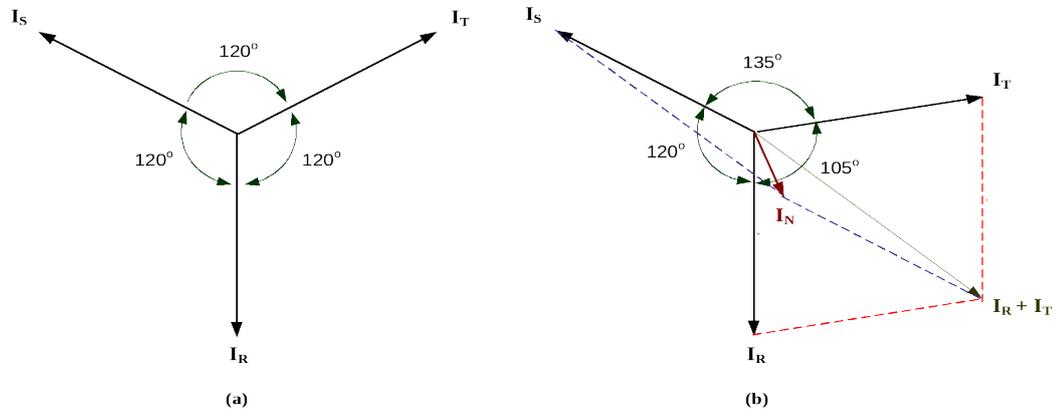
Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu ⁵ :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.

⁶ Dahlan, Moh. 2012. Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi (online) diakses pada 30 April 2012

- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.21 Vektor Diagram Seimbang dan Tidak Seimbang

Gambar (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada gambar (b) menunjukkan vektor diagram arus tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.11 Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo menyebabkan rugi-rugi. Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PN = I_N^2 \cdot RN \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

PN : rugi-rugi pada penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)

RN : tahanan penghantar netral trafo (Ω)



Sedangkan rugi-rugi yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana :

P_G : rugi-rugi akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G : arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.12 Penyaluran Dan Susut Daya⁷

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut⁶ :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan :

P : daya pada ujung kirim

V : tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$: faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut :

$$[I_R] = [a \cdot I]$$

$$[I_S] = [b \cdot I] \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

$$[I_T] = [c \cdot I]$$

dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

⁷ <http://digilib.petra.ac.id/viewer.php?page=1&submit.x=0&submit.y=0&qual=high&fna>



$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Apabila persamaan (2.26) dan persamaan (2.27) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

2.13 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan (*Resistance Grounding*)

Pentanahan titik netral melalui tahanan (*Resistance Grounding*) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (*Resistor*).

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistempada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya besar arus gangguan fasa ke tanah pertama-tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri.

Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan fasa ke tanah. Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral adalah ⁸ :

$$R = \frac{E_f}{I} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

dimana :

R = Tahanan (Ohm)

E_f = Tegangan fasa ke netral

I = Arus beban penuh dalam Ampere dari transformator.

Idealnya suatu grounding (pentanahan) besar tahananannya nol ohm. Menurut badan NFPA dan IEEE telah merekomendasikan nilai tahanan grounding (pentanahan) lebih kecil atau sama dengan 5 Ohm.⁹

⁸ <http://teaiman.blogspot.com/2010/09/sistem-pentanahan-pembumian-titik.html>

⁹ <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/nilai-resistansi-grounding-yang-baik/>