

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik**

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2.R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam system tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan-

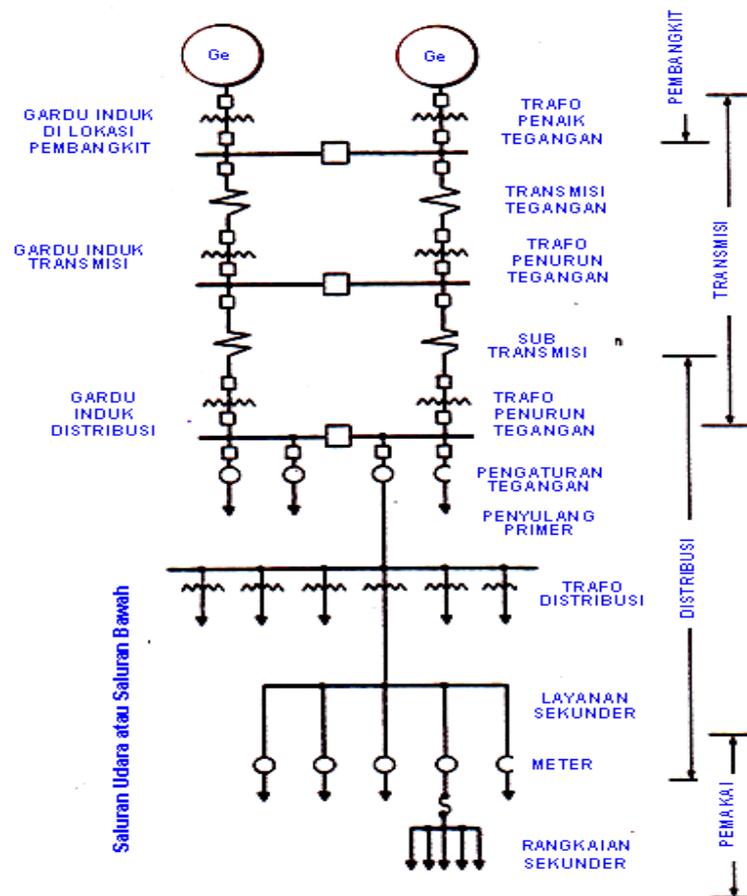
perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Sistem distribusi terdiri atas system distribusi primer dan sekunder.

### **2.1.1 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik**

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

1. Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
2. Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
3. Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
4. Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah. ([www.dunialistrik.com](http://www.dunialistrik.com))

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Pembagian dari jaringan diatas dapat dijelaskan lebih detil melalui gambar 2.1 berikut ini:



Gambar. 2.1 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

### 2.1.2 Bagian – bagian jaringan distribusi

Untuk jaringan didistribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu sebagai berikut :

#### a. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer. Biasanya, jaringan ini menggunakan enam jenis jaringan yaitu system radial dan system tertutup atau loop, ring, network spindle dan cluster (Abdul Kadir, 2006)

#### b. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan ini menggunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan perihal keadaan pelayanan dan regulasi tegangan, distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini sering jaringan tegangan rendah. (Abdul Kadir, 2006)

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

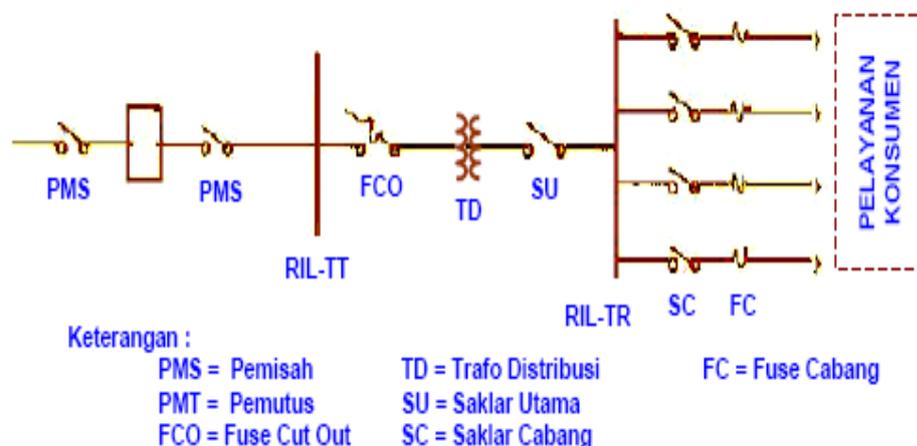
- Panel Hubung Bagi (PHB) pada trafo distribusi,
- Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

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

1. Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt
2. Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
3. Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt

4. Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt
5. Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
6. Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
7. Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 Volt
8. Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 Volt
9. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Sedang pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem diatas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada Negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (*generator set*) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) di suplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota, IEC (*International Electrotechnical Commission*), Indonesia telah mulai menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt. (*IEC Standard Voltage* pada Publikasi nomor 38 tahun 1967 halaman 7 seri 1 tabel 1). Berdasarkan penjelasan diatas, bagian – bagian dari jaringan distribusi dapat dijelaskan secara sistematis oleh gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Bagian – bagian jaringan distribusi

### **2.1.3 Klasifikasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah**

Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk/pusat pembangkit listrik dengan konsumen. Sedangkan jaringan distribusi adalah sarana dari sistem distribusi tenaga listrik di dalam menyalurkan energi ke konsumen.

Dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya.

#### **2.1.3.1 Berdasarkan Tegangan Pengenal**

Berdasarkan tegangan pengenalnya sistem jaringan distribusi dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 6 kV, 12 kV atau 20 kV.
- b. Jaringan tegangan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah (JTR), salurannya bisa berupa SKTM atau SUTM yang menghubungkan Gardu Distribusi/sisi sekunder trafo distribusi ke konsumen. Tegangan sistem yang digunakan adalah 220 Volt dan 380 Volt.

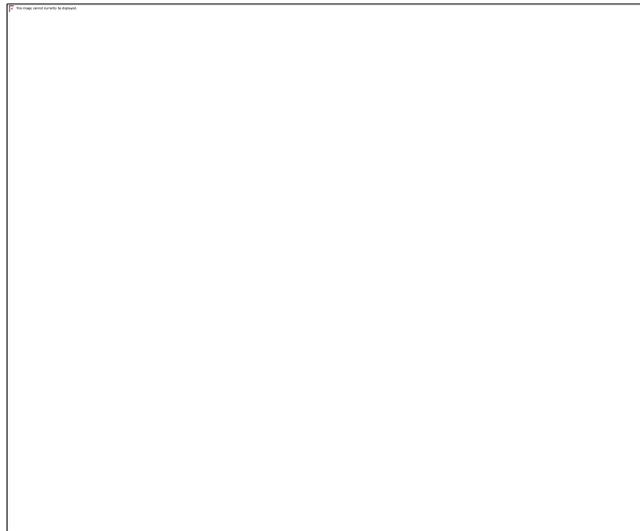
#### **2.1.3.2 Berdasarkan Konfigurasi Jaringan Primer**

Konfigurasi jaringan distribusi primer pada suatu sistem jaringan distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang akan diperoleh khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya. Adapun jenis jaringan primer yang biasa digunakan adalah:

- a. Jaringan distribusi pola radial
- b. Jaringan distribusi pola loop
- c. Jaringan distribusi pola grid
- d. Jaringan distribusi pola spindle

a. Jaringan Distribusi Pola Radial.

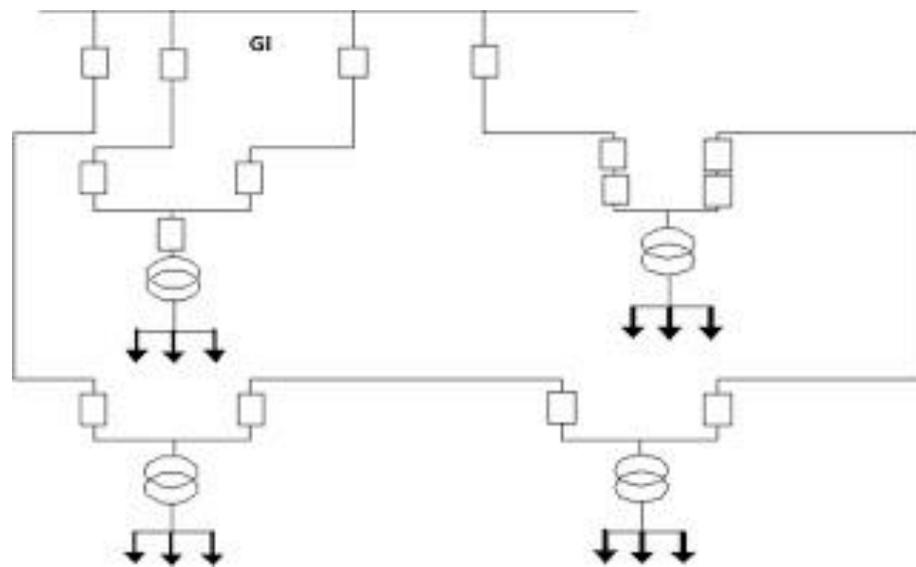
Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.



Gambar 2.3 Pola jaringan radial

b. Jaringan Distribusi Pola Loop

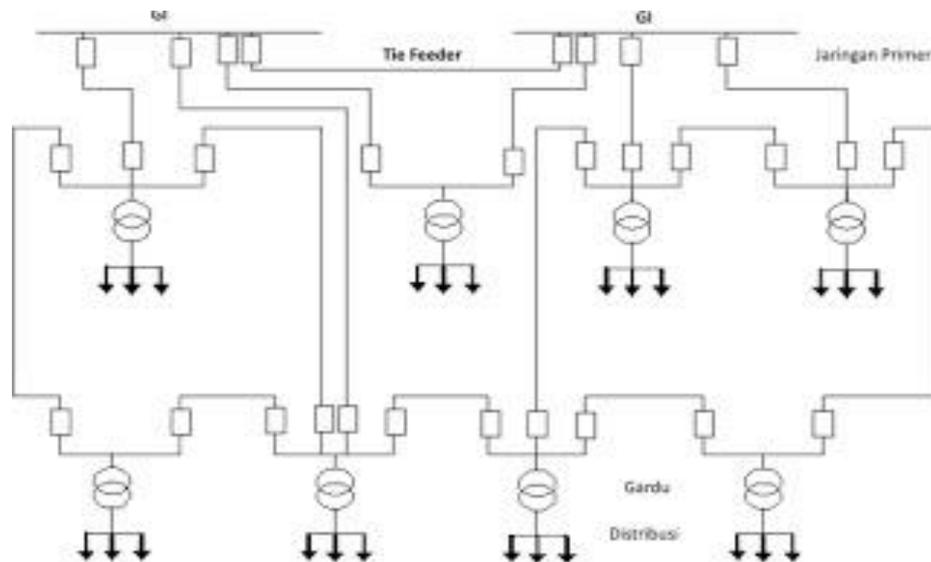
Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial).



Gambar 2.4 Pola Jaringan Loop

### c. Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



Gambar 2.5 Pola Jaringan Grid

Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

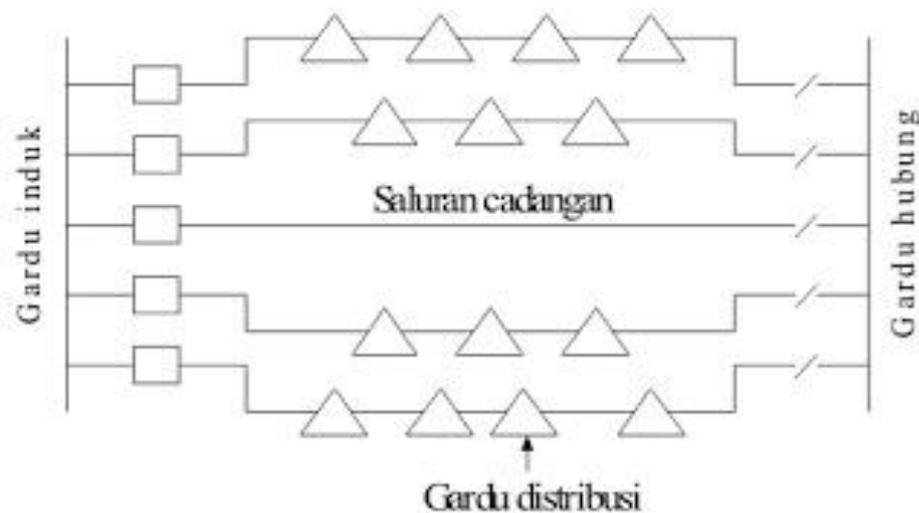
- Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.
- Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

#### d. Jaringan Distribusi Pola Spindel

Jaringan primer pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial dan loop terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder.

Sistem gardu distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah saklar beban. Jadi sistem ini dalam keadaan normal bekerja secara radial dan dalam keadaan darurat bekerja secara loop melalui saluran cadangan dan GH. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sistem Jaringan Spindel

Keuntungan pola jaringan ini adalah :

Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial.

Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop.

- a. Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola grid.
- b. Penentuan bagian jaringan yang tegang akan lebih mudah dibandingkan dengan pola grid. Dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- c. Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

#### **2.1.4 Ruang Lingkup Jaringan Distribusi**

Berdasarkan penjelasan yang telah dijelaskan sebelumnya, ruang lingkup dari jaringan distribusi adalah sebagai berikut:

1. SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
2. SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah), terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
3. Gardu trafo, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, *Arrester*, kabel-kabel, *transformer band*, peralatan grounding, dan lain-lain.
4. SUTR (Saluran Udara Tegangan Rendah) dan SKTR (Saluran Kabel Tegangan Rendah), terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM yang membedakan hanya dimensinya. (PLN Buku 5)

#### **2.1.5 Jenis – Jenis Penghantar**

Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik, penghantar memiliki fungsi yang sangat krusial karena menentukan jumlah dan kualitas dari tenaga listrik yang disalurkan tersebut. Terdapat bermacam – macam bahan yang biasa digunakan sebagai bahan penghantar, seperti aluminium dan tembaga. Namun, dalam aplikasinya, penghantar yang terbuat dari aluminium lebih sering

digunakan karena lebih murah dan lebih ringan daripada tembaga dengan besar resistansi yang tidak jauh berbeda.

1. AAC (all aluminium conductors) : seluruh bagian inti kabel terbuat dari aluminium.
2. AAAC (all aluminium alloy conductors) : seluruh bagian inti kabel terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (aluminium conductor, steel-reinforced) : terbuat dari aluminium yang diperkuat dengan baja
4. ACAR (aluminium conductor, alloy-reinforced) ; terbuat dari aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

### **2.1.6 Jenis – jenis Hantaran Jaringan**

Dalam system instalasi listrik, terdapat dua tipe pemasangan hantaran jaringan yaitu sebagai berikut :

#### a. Jaringan hantaran udara

Jaringan ini menyalurkan daya listrik melalui kawat terbuka atau kabel yang digantung pada tiang – tiang dengan peralatan isolator. Penghantar untuk jaringan distribusi primer yang biasa digunakan adalah tembaga atau aluminium. Tiang – tiang primer ataupun sekunder dapat berupa besi atau beton, tetapi biasanya untuk tiap jaringan distribusi yang paling banyak digunakan adalah tiang besi.

Berikut merupakan keuntungan dan kerugian dari jaringan hantaran udara:

#### 1. Keuntungan :

- Mudah dilakukan perluasan pelayanan dengan menarik cabang yang diperlukan
- Mudah diperiksa bila terjadi gangguan pada jaringan
- Mudah dipelihara
- Harganya relatif lebih murah
- Pembangunannya tidak terlalu sulit

- Tiang – tiang pada jaringan distribusi primer dapat pula digunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan pemasangan transformator.

## 2. Kerugian :

- Mengurangi estetika tata kota
- Mudah mengalami gangguan karena berinteraksi langsung dengan udara luar
- Keandalannya kurang
- Biaya pemeliharannya besar

Jaringan hantaran udara menyalurkan daya listrik menggunakan kawat telanjang atau kabel yang digantung pada tiang – tiang dengan menggunakan peralatan isolator, sehingga dengan demikian gangguan lebih mudah terjadi, samping itu mengurangi keindahan di sekitarnya karena saluran kabel tersebut terkadang terpasang tidak teratur. Jenis penghantar yang sering digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara biasanya menggunakan jenis kabel atau kawat belitan dengan jenis tembaga atau dari jenis aluminium.

Tiang – tiang jaringan distribusi primer dan sekunder biasanya dapat berupa tiang kayu, besi ataupun beton. Tetapi untuk tiang jaringan distribusi ini yang paling banyak digunakan adalah tiang dari jenis beton dan besi. (Abdul Kadir, 2006)

### b. Jaringan hantaran Bawah Tanah

Jaringan ini merupakan jaringan kabel yang dipasang dibawah tanah dengan beberapa ketentuan pengamanan seperti batas kedalaman dan persyaratan material kabel. Jaringan ini biasanya dipasang pada daerah kerapatan beban tinggi, seperti pusat kota ataupun pusat industry, pemasangan jaringan hantaran udara akan mengganggu, baik ditinjau dari keindahan maupun dari segi keamanan. Adapun keuntungan dan kerugian dari jaringan ini adalah sebagai berikut:

### 1. Keuntungan:

- Kabel yang dipasang bebas dari gangguan petir atau pun manusia
- Tidak mengganggu estetika tata kota
- Keandalannya lebih tinggi
- Kemungkinan gangguan lebih kecil

### 2. Kerugian :

- Harganya relatif mahal
- Sulit untuk mendeteksi dan memeriksa gangguan yang terjadi
- Pemeliharaan tidak bersifat fleksibel
- Sulit dilakukan perluasan dan percabangan

Secara umum kabel – kabel yang digunakan pada kedua system penyaluran daya diatas sesuai dengan konsep sebagai berikut:

1. Inti / teras (core) :tunggal, ganda, tiga dan setengah
2. Bentuk (shape) :bulat, sector
3. Susunan (arrangement) :Sabuk, bertabir, berisi minyak, berisi gas diperkuat dan tidak diperkuat
4. Dielektris :kertas (PILCTA), polyvynil chloride (PVC), rantai silang polyethylene (XIPE), berisi gas (Nitrogen atau SF6). (A.S Pabla, 1991)

## 2.2 Jenis – Jenis Gardu Distribusi

### 2.2.1 Menurut system pemasangannya

Menurut system pemasangannya, gardu distribusi dibagi menjadi pemasangan luar dan pemasangan dalam. Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai masing jenis gardu distribusi menurut system pemasangannya :

- a. Pemasangan luar
  1. Pole Mounting

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

#### 2. H-Pole Mounting

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

#### 3. Plat Form Mounting

Gardu distribusi ini dipasang pada konstruksi tersendiri dari empat tiang untuk penempatan trafo, cara ini baik untuk tempat dimana diperlukan peralatan yang membahayakan. Kapasitas maksimal dari gardu ini adalah 200 kVA.

#### 4. Pemasangan di Lantai

Gardu distribusi ini baik untuk semua ukuran gardu, tetapi biasanya untuk kapasitas daya lebih besar dari 250 kVA.

#### b. Pemasangan Dalam

Gardu distribusi pemasangan dalam memiliki jarak minimum sebagai persyaratan bangunan rumah trafo, yaitu sebagai berikut:

1. Jarak dari sisi dinding pada satu sisi minimum 1,25 m
2. Jarak dari sisi dinding pada dua sisi minimum 0,75 m
3. Jarak dari sisi dinding pada tiga sisi minimum 100 m
4. Jarak dari sisi minimum 1,25 m

### **2.2.2 Menurut Bentuk Tampilan**

Untuk mengoptimalkan fungsinya sebagai penyalur daya listrik, maka gardu distribusi dibentuk dalam beberapa tampilan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan beberapa factor penyesuaian, seperti luas wilayah pemasangan, besarnya daya yang dibutuhkan atau pun kondisi alam dari daerah dimana gardu tersebut akan dipasang. Berdasarkan faktor – faktor tersebut, maka tampilan gardu distribusi terbagi dalam beberapa tampilan sebagai berikut :





Gambar 2.8 Bangunan Gardu Beton

## 2. Gardu Distribusi Tiang

Gardu ini merupakan gardu distrinusi pasang luar karena perlengkapannya terdapat diluar yang dilengkapi dengan peralatan pengaman seperti arrester. Biasanya gardu tiang dipasang pada saluran udara tegangan menengah dengan jenis trafo pasangan luar. Berikut dua tipe gardu tiang yang biasa digunakan dalam system distribusi tenaga listrik : (PLN buku 4, 2010)

### 1. Gardu Tiang tipe Portal

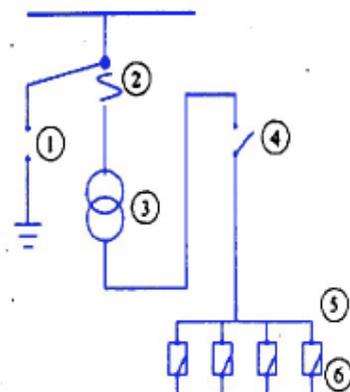
Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya/ penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak pada bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi, sehingga tidak mungkin menempatkan trafo berkapasitas besar di bagian atas tiang ( $\pm 5$  meter di atas tanah). Untuk gardu tiang dengan trafo satu fasa kapasitas yang ada maksimum 50 KVA, sedang gardu tiang dengan trafo tiga fasa kapasitas maksimum 160 KVA (200 kVA). Trafo tiga fasa untuk gradu tiang ada dua macam, yaitu trafo 1x3 fasa dan trafo 3x1fasa. Gambar 3-22 memperlihatkan sebuah gardu distribusi tiang tipe portal lengkap dengan perlengkapan proteksinya dan panel distribusi tegangan rendah yang terletak di bagian bawah tiang (tengah).



Gambar 2.9 Gardu Tiang Tipe Portal dan Midel Panel

Perlengkapan peralatan terdiri atas :

- Fuse cut out
- Arrester lighting
- Transformer type 250, 315, 400 WA
- Satu lemari PHB tegangan rendah maksimal 4 jurusan
- Isolator tumpu atau gantung



Keterangan Gambar 2-38:

1. Arrester.
2. Proteksi cut out fused
3. Trafo Distribusi
4. Sakelar beban tegangan rendah
5. PHB tegangan rendah
6. Sirkuit keluar dilengkapi pengaman lebur (NH. Fuse)

Gambar 2.10 Bagan satu garis Gardu tiang tipe portal

## 2. Gardu Tiang tipe Cantol

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

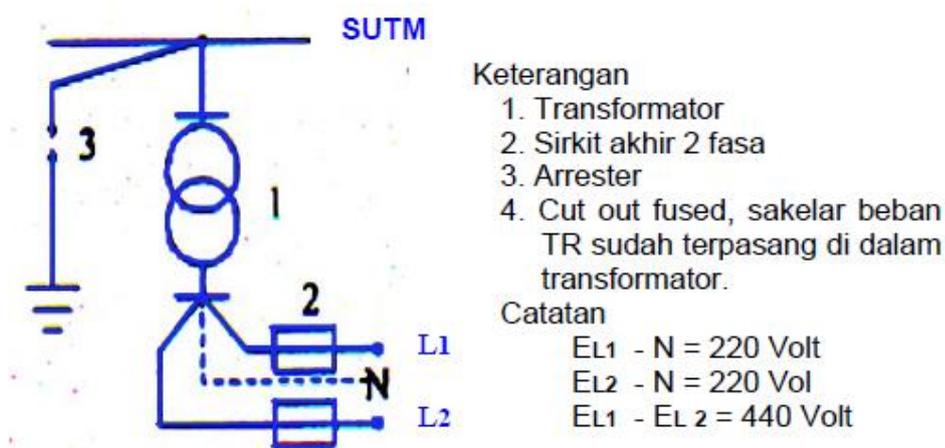
- Instalasi gardu dapat berupa :

- 1 Cut out fused

- 1 lighting arrester.
- 1 panel PHB tegangan rendah dengan 2 jurusan atau transformator completely self protected (CSP - Transformator). ( PLN buku 4, 2010 )



Gambar 2.11 Gardu tiang tipe cantol



Gambar 2.12 Bagan satu garis Gardu tiang tipe Cantol

### 3. Gardu distribusi Metal Clad

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. 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. ( PLN buku 4, 2010 )

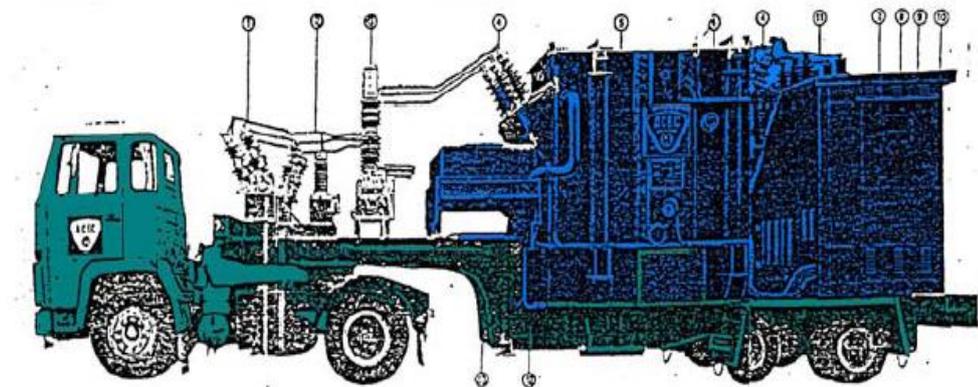


Gambar 2.13 Gardu besi

#### 4. Gardu Mobil

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan diatas mobil), sehingga bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karenanya gardu mobil ini pada umumnya untuk pemakaian sementara (darurat), yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang sifatnya temporer. Secara umum ada dua jenis gardu mobil, yaitu pertama gardu mobil jenis pasangan dalam (mobil boks) dimana semua peralatan gardu berada di dalam bangunan besi yang mirip dengan gardu besi.

Kedua, gardu mobil jenis pasangan luar, yaitu gardu yang berada diatas mobil trailer, sehingga bentuk pisiknya lebih panjang dan semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi tampak dari luar. Gardu distribusi jenis trailer ini umumnya berkapasitas lebih besar daripada yang jenis mobil. Hal ini bias dilihat dari konstruksi peralatan penghubung yang digunakan. Pada setiap gardu distribusi umumnya terdiri dari empat ruang (bagian) yaitu, bagian penyambungan/pemutusan sisi tegangan tinggi, bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah. ( PLN buku 4, 2010 )



Gambar 2.14 Gardu Mobil

Keterangan gambar:

- |                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1. Saklar pemisah | 6. Pengubah tap   | 11. Saklar Pemisah   |
| 2. Penyalur Petir | 7. Pemutus        | 12. Poros berganda   |
| 3. Pemutus        | 8. Kotak kontrol  | 13. Gudang peralatan |
| 4. Isolator       | 9. Trafo bantu    |                      |
| 5. Transformator  | 10. Baterai Nikad |                      |

### 2.3 Faktor – faktor yang mempengaruhi Keandalan Sistem Distribusi

Beberapa faktor yang harus diperhitungkan untuk menjaga keandalan kerja system distribusi adalah sebagai berikut :

#### a. Suhu

Suhu membatasi besarnya arus beban, ini berarti bahwa beban untuk tipe system elemen lebih ditentukan oleh suhu dari pada mekanis dan batas – batas tersebut berubah untuk susunan beban dan keadaan cuaca yang berbeda, jadi daerah yang membatasi akan didapatkan untuk mengatur beban dalam berbagai keadaan. (As Pabla, Abdul hadi, 1991)

#### b. Ekonomis

Tingkat ekonomi pembebanan dicapai bila hanya untuk membayar kerugian sama dengan hanya mengurangi kerugian (berdasarkan biaya tahunan), meskipun pada kota yang padat beban, pembebanan yang normal pada komponen di bawah batas ekonomi, ini dipakai untuk menjaga agar batas tidak dilampaui meskipun untuk waktu sesaat dalam keadaan darurat. (As Pabla, Abdul Hadi, 1991)

c. Tegangan Jatuh

Jatuh tegangan pada saluran adalah selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (sending) dan tegangan pada ujung penerimaan (receiving) tenaga listrik. Pada saluran arus bolak balik, besar tegangan tergantung dari impedansi dan admitansi saluran serta pada beban dan faktor kerja. (Kumawahara, arismunandar, 1993)

d. Tegangan Lebih (As Pabla, Abdulhadi, 1991)

Diluar tegangan jatuh komponen-komponen harus mampu menghadapi loncatan tegangan yang ditimbulkan system sendiri atau sumber dari luar.

## 2.4 Parameter Saluran

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu system tenaga listrik memiliki sifat – sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran. Resistansi saluran sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktansi timbul dari efek medan disekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir, parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa system sedangkan besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak – balik yaitu:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

(Hutauruk, 1996)

Dimana :

R = Resistansi kawat penghantar ( $\Omega$ )

A = Luas penampang kawat penghantar ( $\text{mm}^2$ )

$\rho$  = Tahanan jenis kawat penghantar ( $\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$ )

$\rho = 0,01724 \Omega\text{m}$  untuk Cu

$\rho = 0,03333 \Omega\text{m}$  untuk Al

$\ell$  = panjang kawat (m)

#### 2.4.1 Resistansi Saluran (Willian D. Stevenson,1994 )

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Nilai tahanan suatu penghantar dapat ditentukan dari persamaan:

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

Dimana,  $R$  = Resistansi kawat penghantar (Ohm/km)

$\rho$  = Resistivitas penghantar (ohm.mm<sup>2</sup>/m)

$l$  = panjang kawat (m)

$A$  = luas penampang kawat (mm<sup>2</sup>)

Besarnya suatu resistansi atau tahanan dari suatu penghantar dapat berubah untuk setiap perubahan temperature dalam perhitungan teknis, tahanan dapat dianggap linier untuk perubahan temperature tertentu. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada suhu mendatar. Jika tahanan searah suatu penghantar pada suatu temperature tertentu diketahui, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,  $R_1$  = Resistansi penghantar pada suhu  $t_1$  (temperatur sebelum operasi konduktor)

$R_2$  = Resistansi penghantar pada suhu  $t_2$  (temperatur operasi konduktor)

$t_1$  = Temperatur awal ( °C )

$t_2$  = Temperatur akhir ( °C )

T = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

**2.4.2 Reaktansi Saluran**

Reaktansi saluran ( $X_L$ ) dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan induktansi saluran terlebih dahulu. Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = \left( 0,5 + 4,6 \cdot \log \left( \frac{D-r}{r} \right) \right) \cdot 10^{-7} H/m \dots\dots\dots(2.3)$$

( Zuhail,1995 )

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut.

$$D = \sqrt[3]{D_{12} + D_{23} + D_{31}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dari persamaan 2.3 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.6 di bawah ini :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.6)$$

( B.L. Theraja,1983)

Dimana,  $X_L$  = Reaktansi induktif saluran (Ohm/km)

$2\pi$  = Sudut arus bolak balik

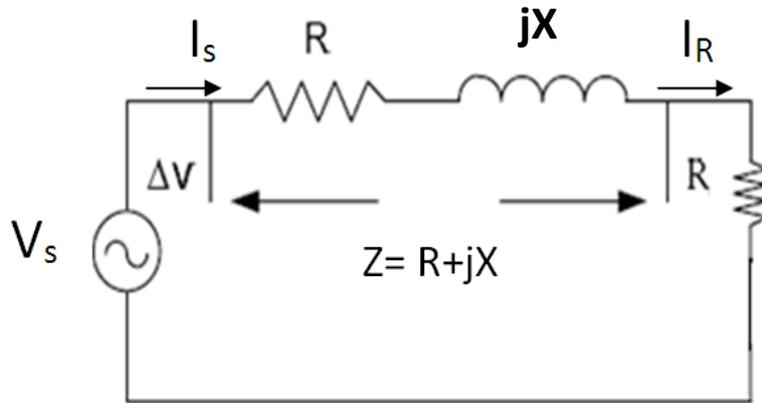
f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

**2.5 Pengertian Susut Daya Listrik**

Susut daya atau rugi daya listrik adalah berkurangnya pasokan daya yang dikirimkan oleh sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) yang disebabkan oleh adanya tahanan jenis penghantar yang dipengaruhi oleh arus dan tegangan

saat penyaluran energi listrik dilakukan sehingga menghasilkan nilai tahanan yang mengakibatkan munculnya nilai jatuh tegangan. Susut daya jaringan listrik dinyatakan dengan persamaan dan gambar 2.15 berikut ini:



Gambar 2.15 Rangkaian Ekivalen

Berdasarkan gambar diatas, didapat persamaan sebagai berikut:

$$I_s = I_r \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R+jX = Z \dots\dots\dots (2.8)$$

$$V_z = I (R + jX) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$V_s = V_r + V_z \dots\dots\dots (2.10)$$

$$P_L = 3 I^2 R \ell \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

$P_L$  = Rugi-rugi Daya (watt)

$R$  = Tahanan kawat per fasa ( $\Omega/ Km$ )

$\ell$  = Panjang saluran (Km)

$\text{Cos } \phi_r$  = Faktor - daya beban / ujung penerima

$I$  = Arus per fasa (A)

Persamaan :

$$P_L = P_S - P_R \dots\dots\dots (2.12)$$

Persentase antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan dinyatakan

dengan persamaan :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

$P_R$  = Daya yang dipakai (KW)

$P_S$  = Daya yang dikirimkan (KW)

H = Effisiensi daya trafo (%)

$P_L$  = Rugi-rugi daya (KW)

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial yang dewasa ini dihadapi oleh PLN dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (*totally black out*). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang diantaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik. Persoalan ini meliputi profil tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan. Ketika kontinuitas pasokan masih merupakan persoalan, hal-hal yang berkaitan dengan persoalan kualitas daya untuk sementara dapat "diabaikan" yang kemudian mengherankan adalah ketika data di lapangan menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit yang tersedia lebih dari cukup untuk memikul beban yang ada. Kesimpulan yang sementara bisa ditarik adalah bahwa terjadi susut daya yang cukup besar di jaringan. Kesimpulan ini diperkuat dengan data di lapangan bahwa susut daya di jaringan cukup besar melebihi estimasi yang ditetapkan. Kerugian finansial akibat susut daya ini merupakan hal yang tidak bisa dihindarkan.

## 2.6 Rugi Tegangan

Rugi tegangan (*drop voltage*) adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria rugi tegangan yang dapat diijinkan tidak boleh lebih dari 5% dan minimum -10% ( $\Delta V \geq 5\%$ ).

Adapun penyebab jatuh tegangan (drop tegangan) adalah :

1. Jauhnya jaringan, jauhnya transformator dari gardu induk.

2. Rendahnya tegangan yang diberikan GI atau rendahnya tegangan transformator distribusi.
3. Sambungan penghantar yang tidak baik , penjumlahan saluran distribusi tidak tepat sehingga bermasalah di sisi TM dan TR.
4. Jenis penghantar dan konektor yang digunakan.
5. Arus yang dihasilkan terlalu besar.

Rugi tegangan saluran merupakan tegangan jatuh (*drop voltage*) sepanjang saluran dan dapat ditentukan,

$$V_Z = I_S \cdot Z_L \dots\dots\dots (2.15)$$

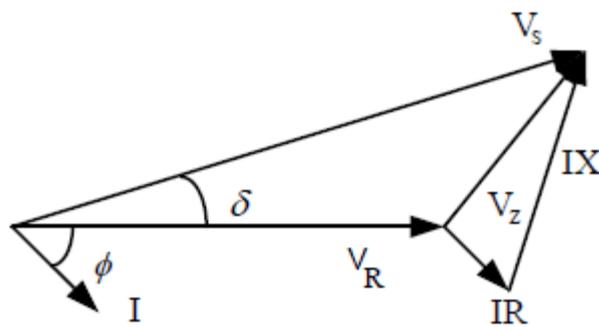
dimana :

$$Z_L = \text{impedansi saluran } (\Omega).$$

Tegangan sisi penerima atau tegangan yang sampai ke beban merupakan tegangan sisi pengirim dikurang tegangan jatuh saluran,

$$V_R = V_S - V_Z \dots\dots\dots (2.16)$$

Berdasarkan rangkaian ekuivalen saluran yang ditunjukkan pada gambar (2.15) dan uraian dari persamaan (2.8) sampai (2.10) dapat digambarkan diagram fasor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (*lagging*) seperti ditunjukkan pada gambar (2.16).



Gambar 2.16 Diagram Fasor Saluran Distribusi

Untuk mendapatkan susut tegangan distribusi primer dengan sistem pendekatan seperti pada diagram phasor diatas yaitu dengan mengamsusikan bahwa dan berhimpitan seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vektor tersebut adalah :

Untuk sistem tiga phasa dan panjang saluran maka persamaan menjadi,

$$V_Z = I \ell ( R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi ) \dots\dots\dots (2.17)$$

karena,

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}X \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.18)$$

dimana,

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \dots\dots\dots (2.19)$$

maka,

$$V_Z = \frac{S X \ell}{V} X ( R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi ) \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

P = Daya Nyata (W)

I = Arus (A)

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan Kerja (V)

$V_Z$  = Tegangan Drop (V)

R = Resistansi Saluran (  $\Omega$  )

X = Reaktansi Saluran (  $\Omega$  )

$\varphi$  = Sudut Phasa

$\ell$  = Panjang Saluran (m)

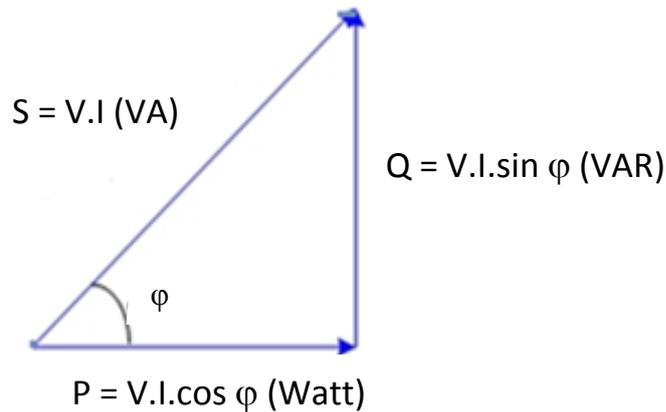
Besar presentase susut tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\%V_Z = \frac{\Delta V}{V_S} 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

## 2.7 Daya Listrik

Daya listrik adalah hasil kali antara tegangan dan arus listrik. Dalam implementasinya, terdapat beberapa jenis daya yang digambarkan dalam sebuah grafik fungsi yang biasa disebut sebagai segitiga daya. Segitiga daya merupakan grafik hubungan yang terbentuk oleh tiga jenis daya yang diawali dari besaran listrik yang terjadi saat proses penyaluran, seperti tegangan dan arus listrik karena saat proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen, akan

terdapat arus yang mengalir pada penghantar yang menghasilkan medan magnet dan terbentuklah nilai induktansi (L) selanjutnya pada penghantar tersebut juga terdapat tegangan yang menyebabkan terjadinya medan magnet sehingga timbulah nilai kapasitansi (C).



Gambar 2.17 Segitiga Daya

Berdasarkan gambar 2.17 dijelaskan jenis – jenis daya yang biasanya muncul dalam sistem penyaluran tenaga listrik.

### 2.7.1 Daya Nyata

Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } P = V_{L-N} \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.22)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

$I$  = Arus yang melalui penghantar (A)

$\cos \phi$  = Faktor daya

$P$  = Daya Nyata

### 2.7.2 Daya Semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } S = V_{L-N} \times I \dots\dots\dots (2.24)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } S_3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana:

S = Daya Semu (VA)

I = Arus yang melalui penghantar (A)

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

### 2.7.3 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } Q = V_{L-N} \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.26)$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

$\sin \phi$  = Faktor daya

Q = Daya Reaktif (VAR)