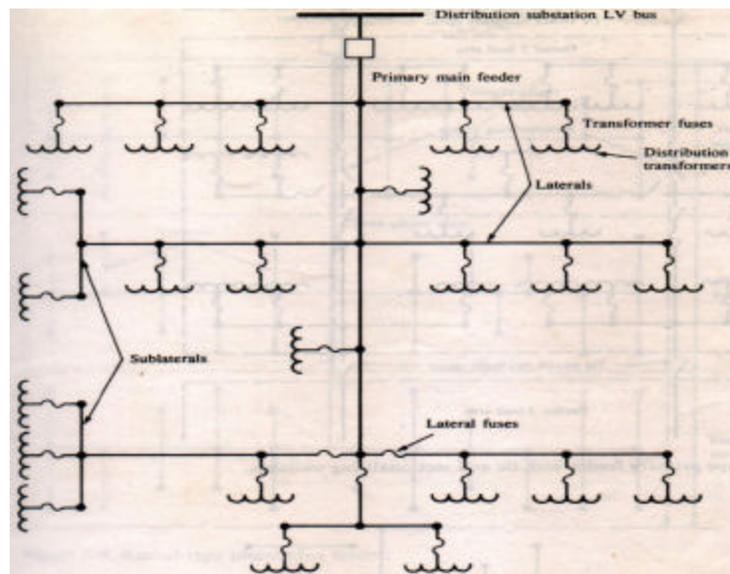


## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi saluran daya dapat dikelompokkan :

- a. Saluran daya menurut konstruksi konduktornya dibedakan atas :
  - Konstruksi kawat, yaitu saluran yang konduktornya tidak dilapisi isolasi sebagai pelindung luar (telanjang).
  - Konstruksi kabel, yaitu saluran yang konduktornya dilapisi oleh isolasi.
- b. Saluran daya menurut tempat peletakkannya dibedakan atas :
  - Saluran Udara (Overhead line), yaitu saluran yang dipasang di udara bebas dengan bantuan tiang-tiang penyangga.
  - Saluran bawah tanah (Underground cable), yaitu saluran yang dipasang di dalam tanah.
  - Saluran bawah laut (Submarine cable), yaitu saluran yang dipasang di dasar laut untuk keperluan supply antar pulau.
- c. Saluran daya menurut susunanrangkaia n secara Radial

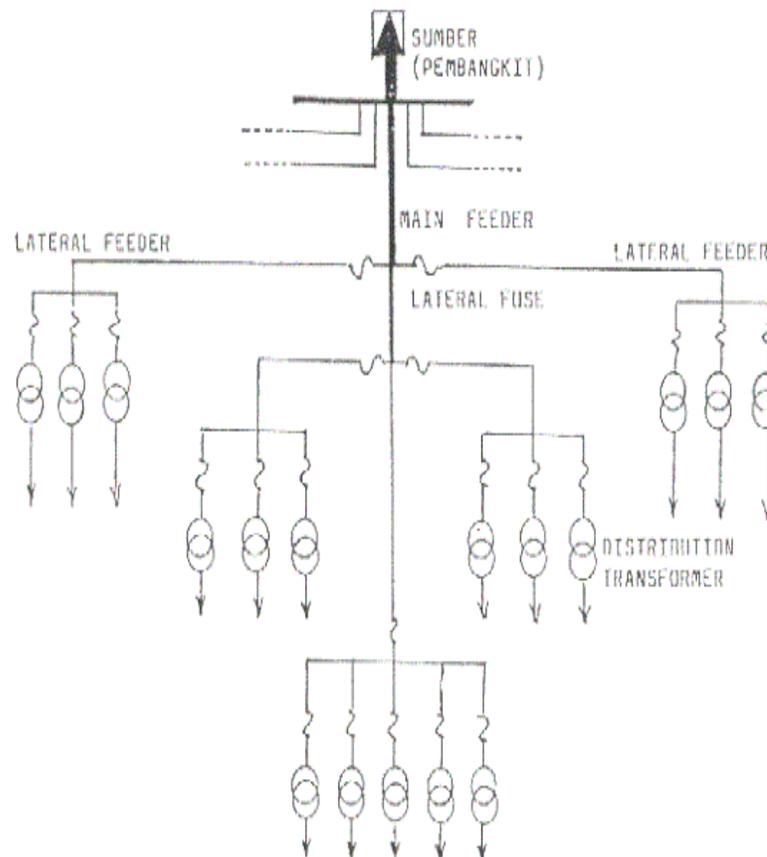


Gambar 2.1<sup>1</sup> Bentuk Umum Sistem Radial

<sup>1</sup> Turan Gonen, Electre Power Distribution System Engineering, (California: California State University), p.227

Sistem Radial terdiri dari beberapa bentuk modifikasi, yaitu :

- Radial Pohon.

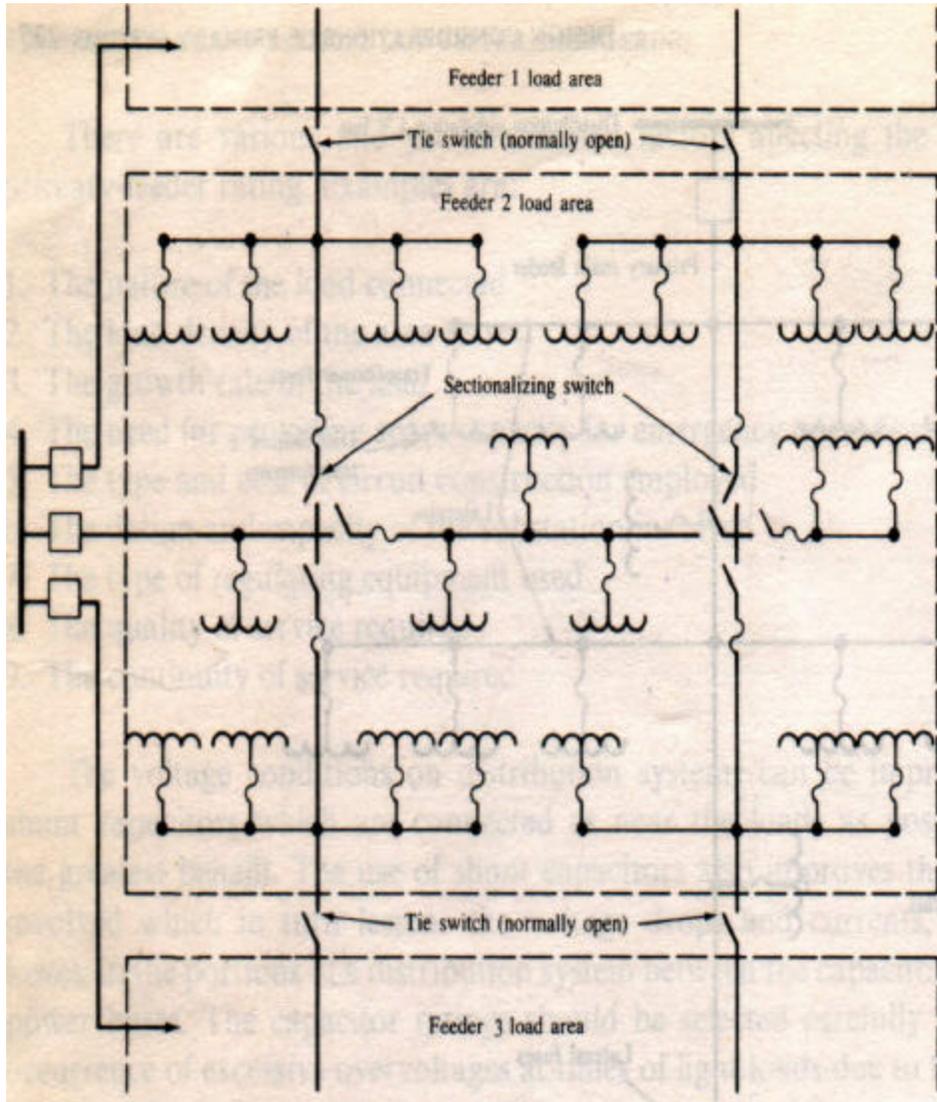


Gambar 2.2<sup>2</sup> Sistem Radial Pohon

Sistem radial pohon hanya satu saluran utama (*main feeder*) keluar dari penyulang di gardu induk, yang bercabang-cabang (*sub-lateral feeder*) hingga ke beban. Maka main feeder mempunyai kapasitas beban total dari *lateral feeder* dan *sub-lateral feeder*.

<sup>2</sup> Nono Mulyono W. Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik, (Surabaya : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS, 1999). P.114

- Radial Dengan Tie dan Switch Pemisah (Radial Interkoneksi).

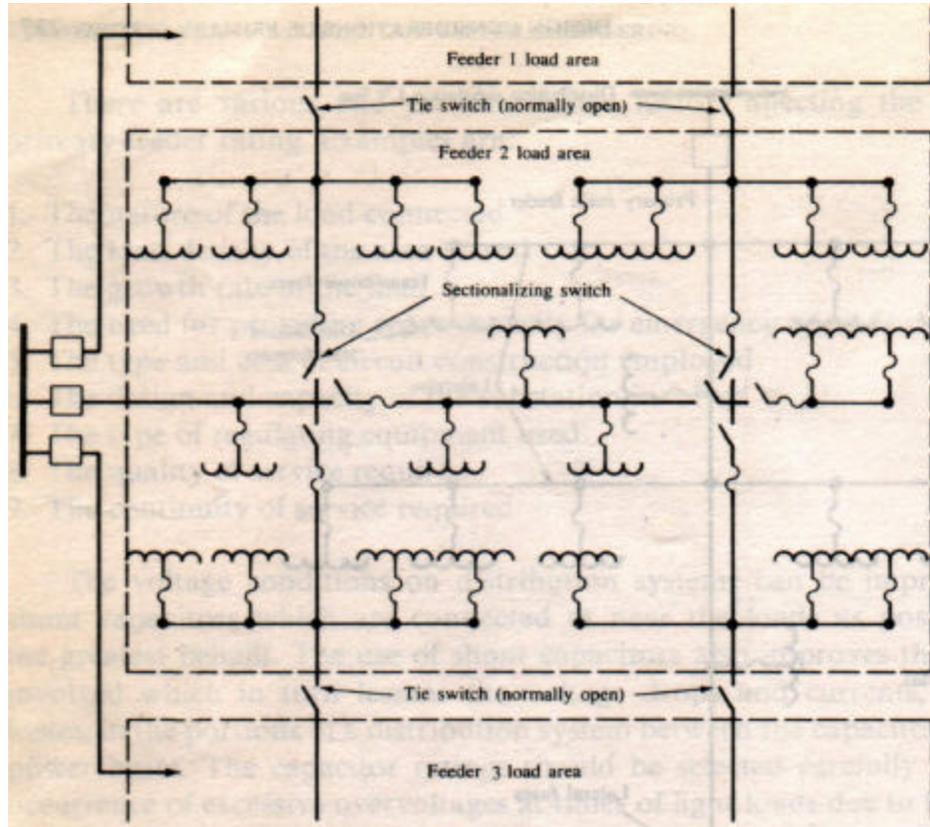


Gambar 2.3<sup>3</sup> Sistem Radial Dengan Tie dan Switch Pemisah

Tipe ini merupakan modifikasi yang lebih menguntungkan, terutama dalam hal kontinuitas tenaga listrik yang disalurkan ke konsumen. Antara sistem penyulangan radial yang satu dengan yang lainnya dipasang *tie* atau *switch* pemisah (LBS), yang fungsinya sebagai penghubung ketika suatu misal penyulang radial B atau C.

<sup>3</sup> Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, (California: California State University), p. 228

- Sistem Ring (Loop).



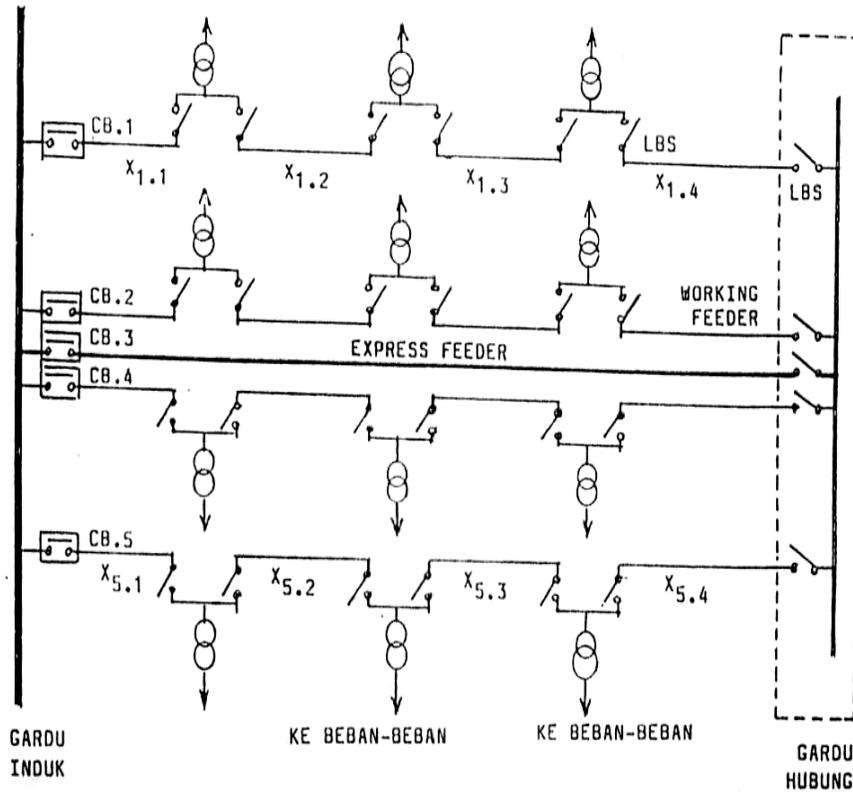
Gambar 2<sup>4</sup> Sistim Ring (Loop)

Bentuk jaringan dari sistim ring ( *Loop* ) merupakan rangkaian tertutup dan seperti cincin ( *Ring* ). Dengan menggunakan sistim ini, beban bisa disuplai dari dua penyulang jika salah satu saluran terjadi gangguan. Sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik lebih baik dari Sistem radial dan panjang jaringan yang ditanggung oleh dua penyulang tersebut bisa lebih pendek, sehingga voltage drop-nya semakin kecil.

Sistim ini terdiri atas dua jenis, yaitu Sistim Open Loop dan Sistim Close Loop.

<sup>4</sup> Ibid. p.229

- Sistem Spindle



Gambar 2.5<sup>5</sup> Susunan Saluran Distribusi Spindle

Type ini memanfaatkan dua komponen pendukung utama, yaitu gardu induk dan gardu hubung. Gardu induk merupakan sumber daya, dan gardu hubung merupakan tempat hubungan ujung-ujung *feeder* penyaluran daya ke beban-beban yang bersumber pada gardu induk.

## 2.2 Komponen Jaringan Distribusi

Secara sederhana “ Sistem Jaringan Distribusi “ dapat diartikan sebagai sistem sarana penyampaian tenaga listrik dari sumber (titik) ke pusat beban atau konsumen (titik). Adapun komponen system jaringan distribusi sebagai berikut:

<sup>5</sup> Nono Mulyono W. Pengantar Sistem Distribusi Tenaga Listrik, (Surabaya : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS, 1999). P. 120

### 2.2.1 Gardu induk

Gardu induk (GI) diklasifikasikan menurut jenis pemasangan luar, jenis pemasangan dalam, jenis pemasangan setengah luar, jenis bawah tanah, jenis mobil, dan sebagainya sesuai dengan konstruksinya.

### 2.2.2 Circuit Breaker (PMT/VCB)

Circuit Breaker adalah suatu alat pengaman yang dapat menghubungkan atau memutuskan rangkaian listrik dalam keadaan normal maupun abnormal, dilengkapi dengan alat pemutus busur api.

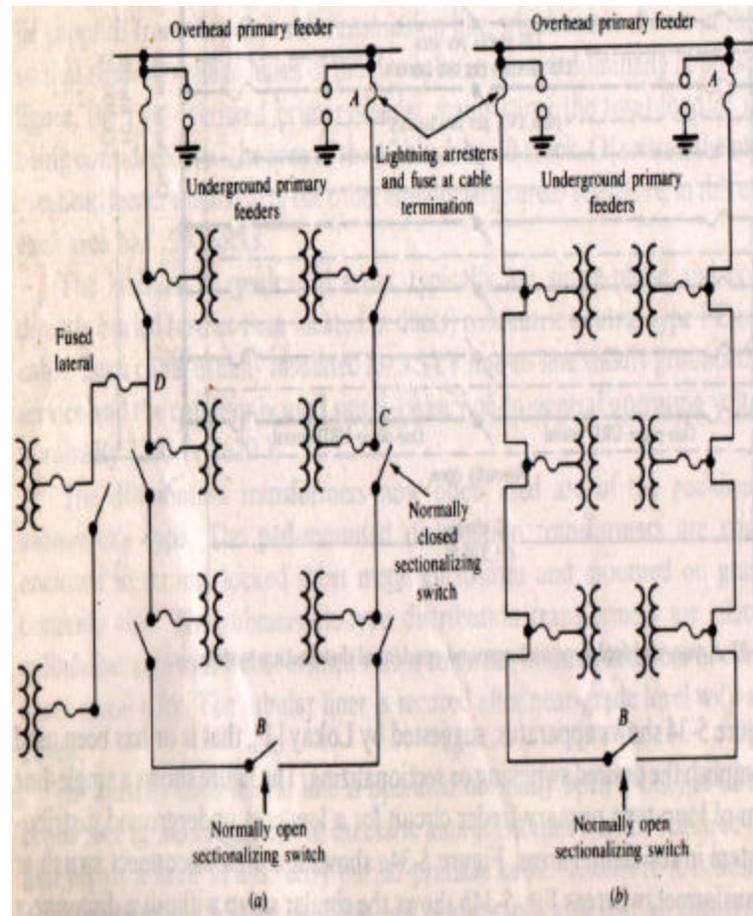
Dalam keadaan abnormal, CB merupakan saklar otomatis yang dapat memutuskan arus gangguan, pada umumnya digunakan suatu rangkaian pemutus ( trip ) dengan bantuan sinyal dari rele pengaman. Rele pengaman adalah alat yang berfungsi untuk menentukan dengan segera pemutusan penyaluran setiap elemen listrik bila terjadi gangguan.

Macam – macam CB yang dipakai berdasarkan media pemadaman busur apinya dibedakan menjadi :

- a. Air Break Circuit Breaker
- b. Oil CB
- c. Vacuum Circuit Breakers
- d. SF6 CB

### 2.2.3 Disconnect Switch (DS)

Disconnecting switch ini adalah yaitu peralatan tambahan yang biasanya terpasang pada sisi pemasok CB yang fungsinya untuk meyakinkan terisolasinya CB dari bagian – bagian yang bertegangan pada waktu pemeliharaan. Dalam operasi pemeliharaan, urutan kerjanya adalah : CB dibuka terlebih dahulu, kemudian DS yang dibuka.



Gambar 2.6<sup>6</sup> Single diagram pada tipe loop a) dengan disconnect switch; b) tanpa disconnect switch

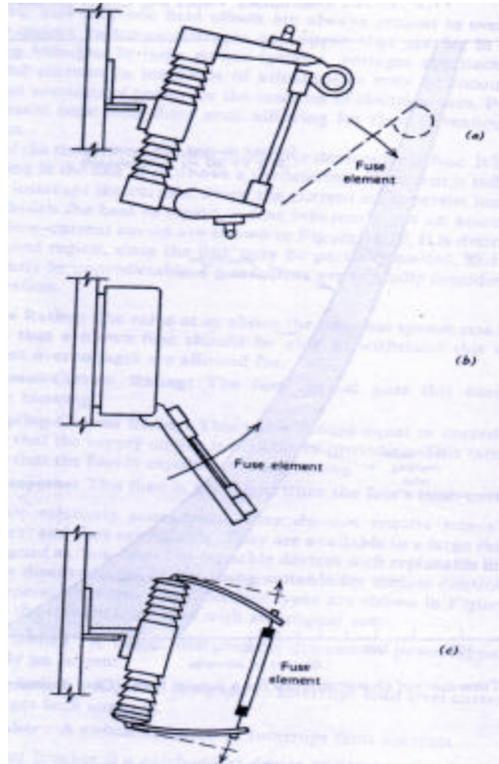
#### 2.2.4 Load breaker switch (LBS)

Load breaker switch merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memisahkan dan menghubungkan suatu jaringan tegangan menengah atau antar feeder satu dengan yang lain. Dan bisa juga dipasang beberapa LBS dalam satu feeder pada jarak tertentu.

#### 2.2.5 Fuse Cut Out (CO)

Fuse cut out adalah alat yang berfungsi sebagai fuse (sekring tegangan menengah) juga sebagai alat pemutusan (switch) tegangan/ arus.

<sup>6</sup> Ravindranath B, Chandler M, Power System Protection and Switchgear, (Singapore, John Wiley & Sons PTE LTD, 1987), p.377



Gambar 2.7<sup>7</sup> Fuses: a)Open type b)Enclosed type c)Spring type

### 2.2.6 Lighting Arrester (LA)

Arrester adalah suatu alat yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik terhadap gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir (lightning) tidak langsung atau surja hubung (switching surge).

Tipe-tipe Lighting Arrester:

- a. Lightning Arrester tipe ekspulsi (Expulsion Type)
- b. Lightning Arrester type katup (Valve Type)

### 2.2.7 Tiang

Tiang listrik yang masih digunakan sekarang pada umumnya terbuat dari beton bertulang dan tiang besi. Sedangkan tiang kayu sudah jarang digunakan karena daya tahannya (umurnya) relatif pendek dan memerlukan pemeliharaan yang khusus.

Dilihat dari fungsinya, tiang listrik dibedakan menjadi dua yaitu :

<sup>7</sup> Gross A. Charles, Power System Analysis, (Canada, John Wiley & Sons, 1986) p.432

- Sebagai tiang penyangga, yang fungsinya menyangga konduktor, isolator dan peralatan lainnya agar memiliki jarak tertentu dari tanah.

- Sebagai tiang tarik, yang fungsinya untuk menarik konduktor.

Dalam pemasangan tiang, sudah ada standar kedalaman tiang ditanam dibawah permukaan tanah yaitu **1/6 dari panjang tiang.**<sup>8</sup>

### 2.2.8 Konduktor

Konduktor atau yang sering disebut penghantar berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari satu titik yang mempunyai potensial lebih tinggi ke titik lainnya yang mempunyai potensial yang lebih rendah.

Penghantar yang lebih banyak digunakan untuk saluran distribusi adalah penghantar berlilit ( stranded conductor ) yang terdiri dari kawat – kawat penghantar padat antara 7 – 61 kawat yang dililit menjadi satu lapis yang konsentris.

Tiap – tiap kawat padat merupakan komponen dari penghantar berlilit. Penghantar jenis ini memberikan keluwesan walaupun dibuat untuk penampang yang besar.

Penghantar berlilit yang banyak digunakan untuk saluran distribusi udara adalah :

- AAC ( All-Aluminium Conductor)

Kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.

- AAAC (All -Aluminium-Alloy Conductor)

Kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium.

- ACSR (All Conductor, Stell-Reinforced)

Kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

- ACAR (Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced)

Kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Impedansi suatu saluran dapat dituliskan,

$$Z = R + jX \quad (2.1)^9$$

dimana :

<sup>8</sup> Arismunandar.A.DR, Kuwahara.S.DR, Teknik Tenaga Listrik jld 2, (Jakarta, PT.Prandy Paramita,1993), p.50

<sup>9</sup> William D. Stevenson,Jr, Analisa System Tenaga Listrik edisi keempat. ( Jakarta : Penerbit Erlangga,1983),p.137.

Z = Impedansi

R = Resistansi

X = Reaktansi

### 2.2.9 Isolator

Fungsi isolator adalah untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan tiang penyangga dan bagian lain yang tidak bertegangan. Isolator harus memiliki sifat :

- Ketahanan dielektrik yang tinggi.
- Tahanan jenis yang tinggi.
- Dapat bekerja pada temperatur tinggi maupun rendah.
- Tidak bersifat menyerap air ataupun uap air.
- Sanggup menahan tegangan impuls yang tinggi.
- Bersifat fleksibel.

Berdasarkan bentuknya, isolator dapat dibedakan menjadi :

- a. Post Isolator
- b. Pin Isolator
- c. Suspension or Strain isolator

### 2.2.10 Ground wire (Kawat tanah)

Tujuan pentanahan di gardu induk adalah supaya aman bagi manusia atau ternak, dan untuk mencegah gangguan pada alat akibat kenaikan potensial tanah ketika ada arus gangguan arus petir ke tanah. Gangguan ini disebabkan adanya gradient potensial tanah yang ditimbulkan oleh arus gangguan atau arus sambaran petir dan oleh kenaikan tegangan kontak.

Cara pentanahan dapat dibagi berdasarkan:

- Menurut fungsinya sebagai berikut:

Cara pengentahanan terpisah, untuk arus yang sangat besar dari sambaran petir di arrester dan sebagainya

- a. Cara dengan ril pentanahan, untuk menentahkan peralatan untuk pemeliharaan dan menentahkan titik netral trafo.
- b. Cara pentanahan gabungan, untuk tanah yang tinggi.

- Menurut jenis elektroda pengetanannya, sebagai berikut:
  - a. Batang (rod), untuk tegangan di atas 66 kv
  - b. Pelat (plate) atau jaringan (ground mat), untuk tegangan di bawah 66 kV<sup>2</sup> <sup>10</sup>

### 2.3 Transformator

Prinsip kerja transformator:

- Sumber arus AC diberikan pada kumparan primer sehingga terjadi flux yang berubah sesuai arus yang masuk.
- Perubahan flux mengalir pada inti besi dan menginduksi kumparan sekunder.
- Kumparan sekunder terinduksi flux akan menimbulkan tegangan induksi, dan jika dibebani akan mengalir arus induksi.

Trafo tiga fasa dapat dibuat / dibentuk dengan dua cara, yaitu:

1. Tiga buah trafo satu fasa
2. Satu buah trafo tiga fasa dengan bentuk inti tertentu.

Penggunaan trafo tiga fasa secara ekonomis lebih hemat daripada trafo satu fasa terutama pada inti besinya.

Standar hubungan belitan trafo tiga fasa pada umumnya ada empat macam, yaitu:

1. Hubungan wye-wye ( Y-Y )
2. Hubungan delta-delta (  $\Delta - \Delta$  )
3. Hubungan delta-wye (  $\Delta - Y$  )
4. Hubungan wye-delta ( Y -  $\Delta$  )

#### 2.3.1 Transformator Daya

Dalam kaitannya dengan sistim distribusi, klasifikasi trafo berdasarkan frekuensi kerjanya hanya dibicarakan tentang transformator daya (frekuensi 50-60 Hz). Transformator daya adalah komponen paling utama dalam sebuah gardu induk, fungsinya untuk mentransformasikan harga arus dan tegangan pada harga daya dan frekuensi yang tetap, yaitu menerima tegangan tinggi / ekstra tinggi pada

---

<sup>10</sup> Arismunandar.A.DR, Kuwahara.S.DR, Teknik Tenaga Listrik jld 3, (Jakarta, PT.Prandya Paramita,1979), p.69

sisi primernya lalu merubahnya menjadi tegangan menengah dan menyalurkannya ke beban.

### 2.3.2 Transformator Distribusi

Secara umum, transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan sistem tegangan primer dari 6-20kV ke tegangan pemakaian 110/220 V, 220/380 V (di Indonesia). Untuk menekan biaya instalasi sekecil mungkin, trafo distribusi berkapasitas kecil banyak diproduksi untuk pasangan tiang (pole mounted), dan digunakan pada jaringan/saluran udara.

### 2.4 Analisa Gangguan<sup>11</sup>

Gangguan pada sistem distribusi listrik disebabkan oleh berbagai macam hal, misalnya gangguan yang berasal dari dalam antara lain kesalahan dalam pemasangan peralatan, tegangan dan arus yang abnormal, beban yang berlebihan dan lain-lain. Selain itu ada gangguan yang berasal dari luar yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam antara lain petir, pohon tumbang, angin dan binatang. Tetapi gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan yang disebabkan oleh hubung singkat.

- a. Gangguan satu fasa ke tanah.
- b. Gangguan Antar Fasa
- c. Gangguan Dua Fasa ke Tanah
- d. Gangguan Tiga Fasa.

### 2.5 Proteksi

Pada sistem distribusi tenaga listrik, tujuan yang ingin dicapai adalah penyaluran tenaga listrik dengan keandalan yang cukup tinggi dan aman, baik untuk lingkungan maupun untuk peralatan itu sendiri, sehingga diperlukan suatu pengamanan (*protection*) yang memadai dan baik

Fungsi Sistem Pengamanan adalah:

- Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.

---

<sup>11</sup>Turan Gonen, Electric Power Transmission System Engineering , (California: California State University), p.206

- Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.

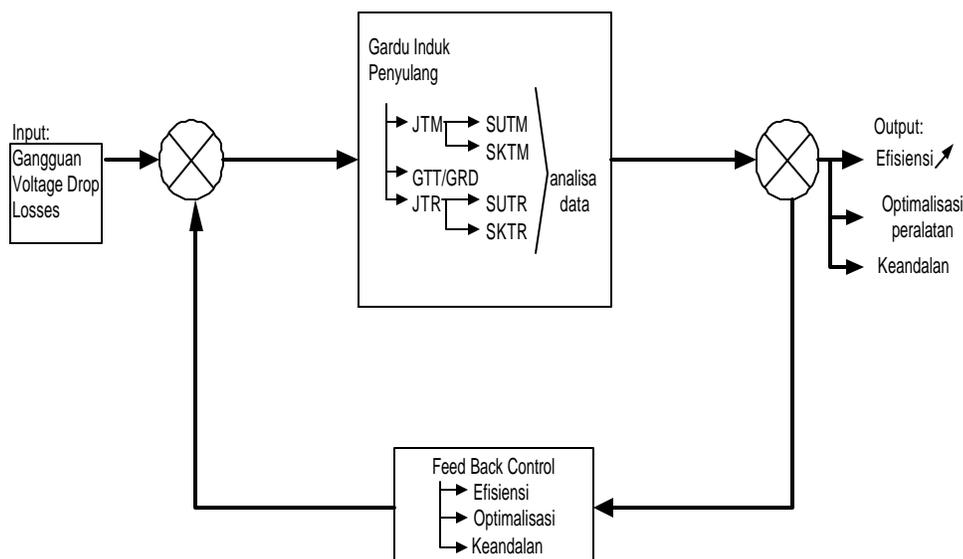
Tujuan dari rele pengaman adalah untuk menjalankan *circuit breaker* secepat mungkin terhadap gangguan yang terjadi, sehingga bisa mencegah / meminimalisasikan kerusakan pada peralatan yang terjadi akibat gangguan.

Aspek terpenting dalam pengamanan.

- Dapat diandalkan ( reliability )
- Selektif ( selectivity )
- Bekerja cepat ( Fastnes of operation )
- Peka ( sensitivity )

## 2.6 Distribution Management System (DMS)

Distribution Management System (atau biasa disingkat DMS) merupakan suatu bentuk upaya pengelolaan suatu jaringan distribusi. Adapun bentuk upaya itu adalah dengan mengecek dan mengatur secara sistem penggunaan optimal peralatan distribusi yang ada, sehingga terjadinya losses dalam suatu jaringan distribusi, khususnya penyulang kebomas dapat dikurangi.



Gambar 2.8 Skema Proses DMS pada sebuah Jaringan Distribusi

Langkah-langkah proses Distribusi Management Sistem dapat ditulis sebagai berikut:

1. Menginputkan Gangguan, Voltage Drop, dan Losses yang terjadi pada jaringan distribusi, dengan pengumpulan data dari suatu jaringan (seperti: Panjang jaringan, Kabel Penghantar, Jenis Trafo, dan lain-lain).
2. Menganalisa data tentang Gangguan, Voltage Drop dan Losses, yang kemudian dibandingkan dengan standard tentang Gangguan, Voltage Drop dan Losses.
3. Menemukan solusi untuk meningkatkan efisiensi (Losses turun), Optimalisasi peralatan (Gangguan dan Voltage Drop turun) dan Keandalan (Saidi dan Saifi baik) jaringan distribusi

Dengan demikian DMS ditujukan guna pencapaian efisiensi (losses) dalam sebuah jaringan distribusi dan juga pengoptimalan (mutu dan keandalan) peralatan khususnya pada penyulang kebomas. Adapun dengan penerapan DMS pada jaringan distribusi maka utilisasi jaringan distribusi tersebut akan meningkat sedemikian rupa sehingga selalu bekerja mendekati kapasitas optimum jaringan distribusi

## 2.7 Losses

Daya guna (efisiensi) saluran transmisi adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan.

$$efisiensi = \frac{Pr}{Pr + Ph} \times 100\% \quad (2.2)^{12}$$

dimana Pr = daya yang diterima

Ph = hilang daya/losses

Adapun rumus Losses sebagai berikut:

---

<sup>12</sup> Arismunandar.A.DR, Kuwahara.S.DR, Teknik Tenaga Listrik jld 2, (Jakarta, PT.Prandya Paramita,1993), p.5

$$losses = \frac{kwh_{produksi} - kwh_{jual}}{kwh_{produksi}} \times 100\% \quad (2.3)^{13}$$

dimana  $kwh_{produksi}$  = Daya yang diproduksi atau dihasilkan  
 $kwh_{jual}$  = Daya yang dijual  
 Losses = Daya yang hilang selama pendistribusian

## 2.8 Voltage Drop

Voltage drop atau rugi tegangan diakibatkan oleh sifat resistif suatu bahan konduktor dan besarnya arus yang mengalir pada konduktor tersebut. Sedangkan resistansi total saluran itu sendiri selain tergantung dari jenis bahan saluran, tergantung juga pada jarak (panjang) dan ukuran (luas penampang) saluran tersebut.

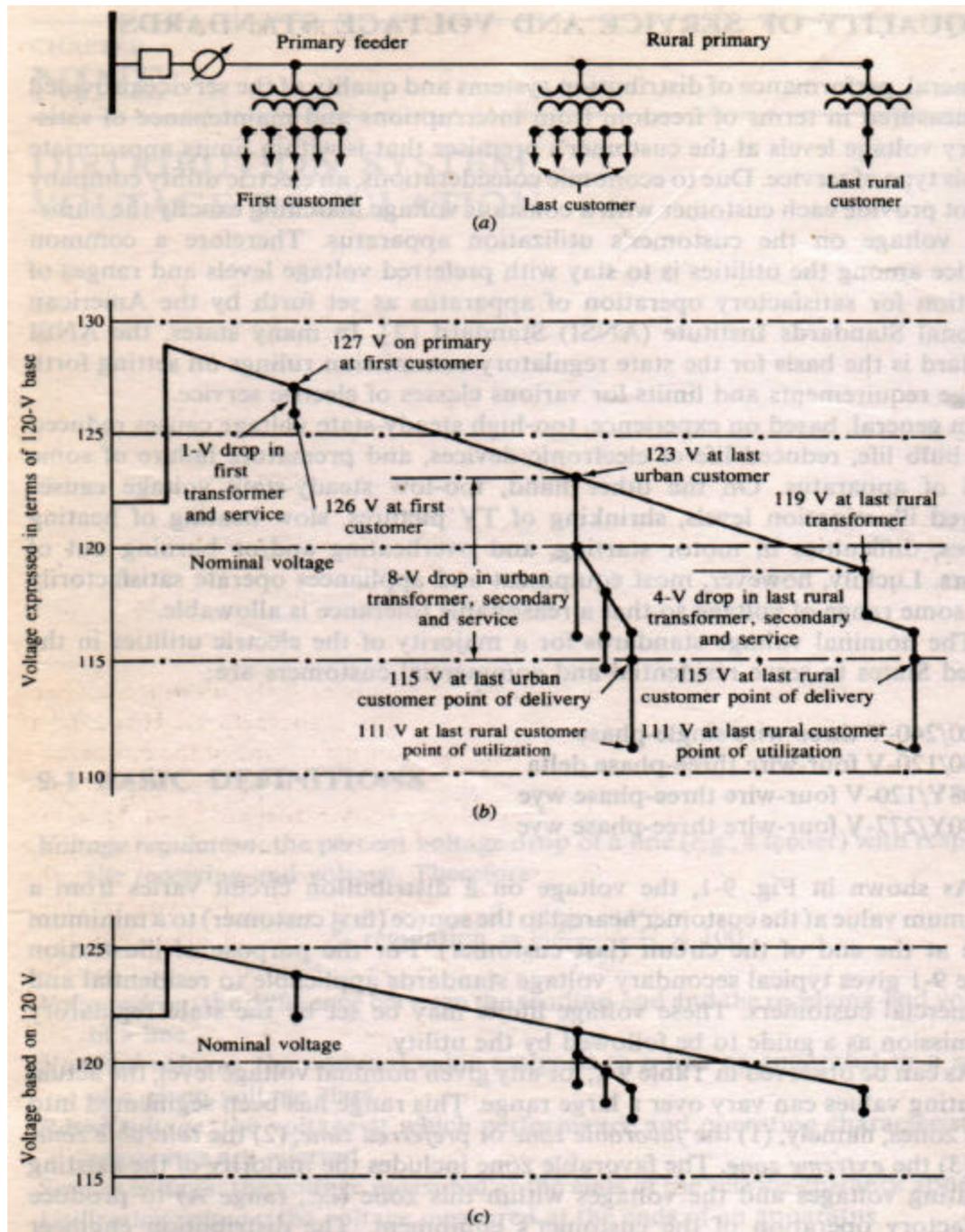
Rumus Voltage Drop sebagai berikut:

$$VD = \sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (2.4)^{14}$$

Dimana  $VD$  = Voltage Drop (Volt)  
 $I$  = Arus (Ampere/A)  
 $l$  = Panjang Jaringan (kms)  
 $Z$  = Impendansi  
 =  $R + jX$   
 $f$  = Power Faktor

<sup>13</sup> Perhitungan Susut Teknis Jaringan Distribusi, Kerjasama PT.PLN (Persero) dengan ITB

<sup>14</sup> Burke J.James, Power Distribution Engineering, (New York, 1994) p.79



Gambar 2.9<sup>15</sup> a)diagram satu saluran feeder;  
 b)kondisi beban puncak voltage;  
 c)kondisi beban terendah voltage

<sup>15</sup>Turan Gonen, *Electric Power Distribution System Engineering*, (California: California State University), p.454

## 2.9 Saidi dan Saifi<sup>16</sup>

Untuk mengetahui banyak dan lamanya suatu gangguan pada daerah dapat digunakan persamaan SAIDI (System Average Interruption Duration Index/ Lama Jam Padam Rata-rata) dan SAIFI (System Average Interruption Frequency/ Kali Padam Rata-rata). SAIDI digunakan untuk mengetahui lamanya (duration) gangguan yang terjadi dan SAIFI digunakan untuk mengetahui banyaknya (frequency) gangguan yang terjadi. Perhitungan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui index perbulan atau pertahun. Persamaannya sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum Customer Interruption Durations}{Total No. Customers}$$

$$= \frac{\sum (Duration Outage) * (No. of Customers Affected)}{Total No. Customers}$$

$$SAIDI = \frac{\sum (Jam * Pelanggan Padam)}{Jumlah Pelanggan Area}$$

$$SAIFI = \frac{Total No. Customers Interrupted}{Total No. Customers}$$

$$= \frac{(No. Customers Interrupted) * (No. of Interruptions)}{Total No. Customers}$$

$$SAIFI = \frac{Jumlah Pelanggan Padam}{Jumlah Pelanggan Area}$$

---

<sup>16</sup>Turan Gonen, Electric Power Distribution System Engineering, (California: California State University), p.463