

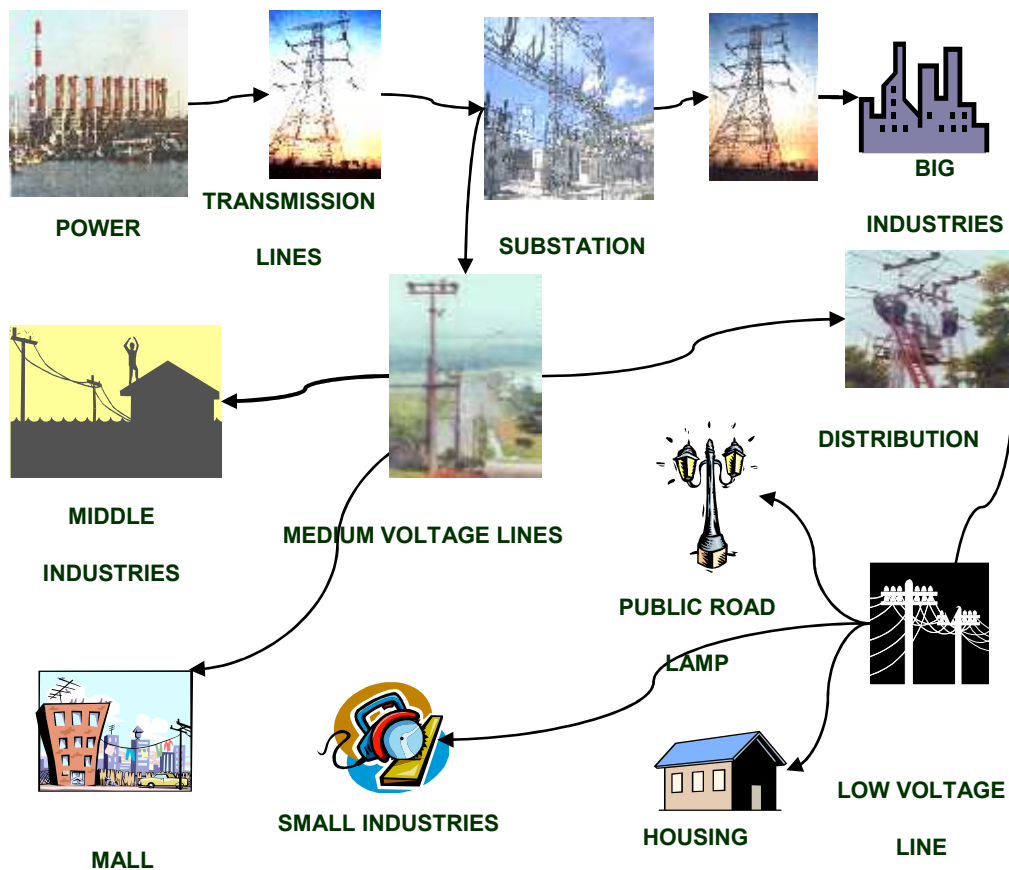


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Tenaga Listrik<sup>1</sup>

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.

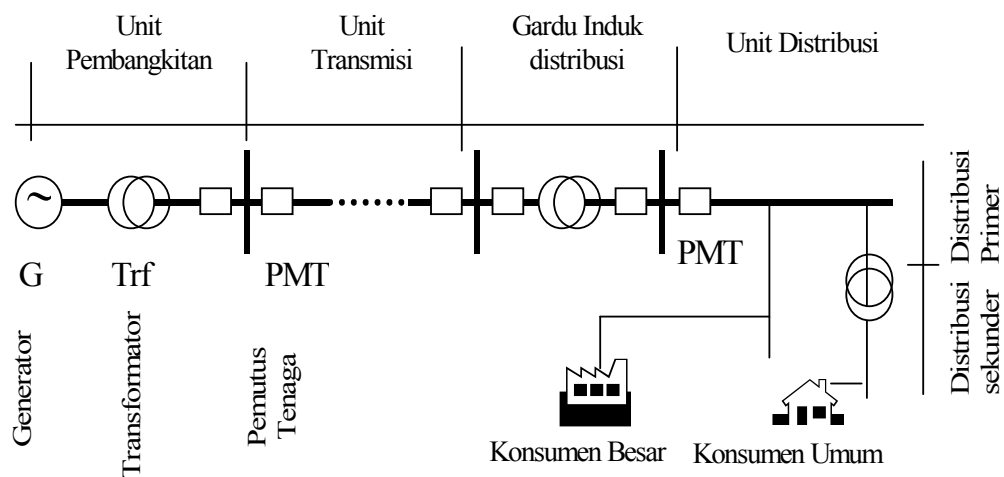


Gambar 2.1 Sistem Tenaga listrik

<sup>1</sup> PT.PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jasa Pendidikan Dan Pelatihan. Hal 1.



Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan-persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat, dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Dengan menggunakan Blok diagram sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram blok sistem tenaga listrik

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformer) yang ada di pusat listrik.

Pemberian nama PLTA PLTU PLTP dan sebagainya yang umum diberikan kepada unit pembangkit listrik di lingkungan PLN didasarkan atas nama tenaga penggerak mulanya. PLTA misalnya dimana mesin pembangkit listriknya (generator) yang ada di kawasan tersebut



digerakkan atau diputar oleh suatu turbin penggerak yang berputar karena digerakkan oleh pergerakan aliran air (turbin air) demikian juga halnya dengan PLTU mesin pembangkit listriknya digerakkan oleh turbin uap.

Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT. Dilingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 KV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 KV dimana SUTT 150 KV lebih banyak digunakan dari pada SUTT 70 KV. Khusus untuk tegangan 500 KV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. yang disingkat dengan nama SUTET.

Pada saat ini masih ada beberapa saluran transmisi dengan tegangan 70 KV namun tidak dikembangkan lagi oleh PLN. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan saluran kabel tanah adalah saluran udara mudah terganggu oleh gangguan yang ditimbulkan dari luar sistemnya, misalnya karena sambaran petir, terkena ranting pohon, binatang, layangan dan lain sebagainya

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV.



Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (step down transformer) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standar tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi dilingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR.

Sama halnya pada JTM jenis saluran yang dipergunakan pada JTR dapat menggunakan tiga jenis saluran yaitu SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka SKUTR untuk saluran kabel udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel udara yang dikenal dengan sebutan kabel twisted yang sering disebut dengan singkatan TIC singkatan dari Twisted Insulation Cable, SKTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel tanah.

Tenaga listrik dari jaringan tegangan rendah ini untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui suatu sarana yang disebut Sambungan Pelayanan atau Sambungan Rumah yang dapat dipisahkan menjadi dalam 2 bagian yaitu Sambungan Luar Pelayanan dan Sambungan Masuk Pelayanan.



Dalam proses bisnis PLN pelanggan-pelanggan yang mempunyai daya tersambung besar aturannya tidak disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melainkan disambung langsung pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan yang sangat besar disambung pada Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya tersambung.

Dari gambar diatas terlihat bahwa di Pusat Listrik maupun di GI selalu ada transformator Pemakaian Sendiri guna melayani keperluan-keperluan peralatan listrik yang digunakan didalam Pusat Listrik maupun GI, misalnya untuk keperluan penerangan, mengisi batere listrik dan menggerakkan berbagai motor listrik.

Dalam praktek karena luasnya jaringan distribusi sehingga diperlukan banyak sekali transformator distribusi, maka Gardu Distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang/Gardu Trafo Tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana dari pada yang digambarkan (lihat gambar dibawah)



Gambar 2.3. GTT. Type Portal

Setelah tenaga listrik melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah (SR) maka tenaga listrik selanjutnya dilewatkan alat pembatas daya dan KWH meter di sisi pelanggan.



Energi listrik yang dipakai oleh pelanggan tersebut di catat oleh petugas cater sesuai angka di register kWh meter tersebut selanjutnya dicatat di dalam rekening listrik. Rekening listrik pelanggan tergantung kepada daya tersambung serta pemakaian KWHnya, oleh karenanya PLN memasang pembatas daya dan KWH meter.

Setelah melalui KWH meter, tenaga listrik kemudian memasuki instalasi rumah yaitu instalasi milik pelanggan. Instalasi PLN pada umumnya hanya sampai dengan KWH meter dan sesudah KWH meter instalasi listrik pada umumnya adalah instalasi milik pelanggan. Dalam instalasi pelanggan tenaga listrik langsung memasuki alat-alat listrik milik pelanggan seperti lampu, setrika, lemari es, pesawat radio, pesawat televisi dan lain-lain.

## 2.2. Sistem Distribusi Tenaga Listrik<sup>2</sup>

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari PMT incoming di Gardu Induk sampai dengan Alat Penghitung dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk sebagai pusat beban ke pelanggan pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku. Dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dimana sistem adalah perangkat unsur-unsur yang saling ketergantungan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan menampilkan fungsi yang ditetapkan.

Dilihat dari tegangannya sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu

---

<sup>2</sup> PT.PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jasa Pendidikan Dan Pelatihan. Hal 10.



- a. Distribusi Primer, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV
- b. Distribusi Sekunder, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt

### **2.3. Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik<sup>3</sup>**

Secara umum, saluran tenaga Listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### **2.3.1. Menurut nilai tegangannya:**

##### **2.3.1.1. Saluran Distribusi Primer.**

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi.

##### **2.3.1.2. Saluran Distribusi Sekunder.**

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban.

#### **2.3.2. Menurut Bentuk Tegangannya.**

**2.3.2.1.** Saluran Distribusi DC (Direct Current) menggunakan sistem tegangan searah.

**2.3.2.2.** Saluran Distribusi AC (Alternating Current) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

#### **2.3.3. Menurut Jenis Konduktornya:**

**2.3.3.1.** Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:

---

<sup>3</sup> Suhadi, dkk. 2008. Teknik Distribusi Tenaga Listrik, Jilid1. Jakarta: Direktorat Pembina Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah, DEPARTEMEN Pendidikan Nasional. Hal 14.

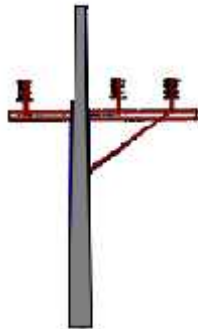


- Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
  - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- 2.3.3.2.** Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable).
- 2.3.3.3.** Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable).

### **2.3.4 Menurut Susunan (Konfigurasi) Salurannya:**

#### **2.3.4.1. Saluran Konfigurasi Horizontal:**

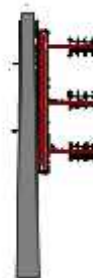
Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horizontal.



Gambar 2.4. Konfigurasi Horizontal

#### **2.3.4.2. Saluran Konfigurasi Vertikal:**

Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.



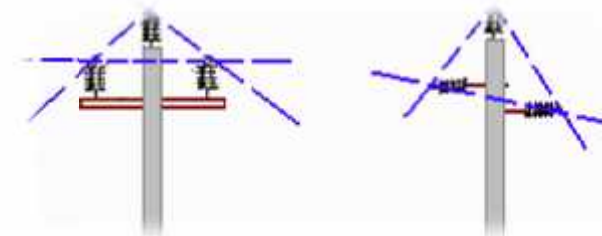
Gambar 2.5. Konfigurasi Vertikal





### 2.3.4.3. Saluran Konfigurasi Delta:

Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta).



Gambar 2.6. Konfigurasi Delta

### 2.3.5. Menurut Konfigurasi Sistem Distribusi<sup>4</sup>

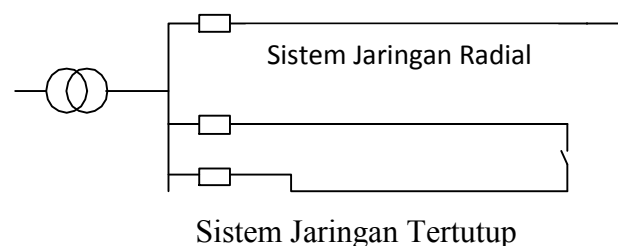
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

#### 1. Jaringan Radial

yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

#### 2. Jaringan bentuk tertutup

yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



Gambar 2.7 Pola Jaringan Distribusi Dasar.

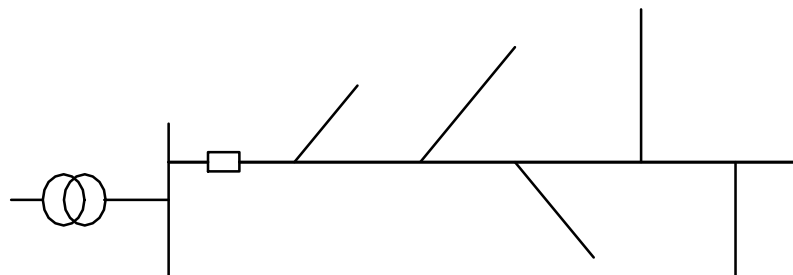
<sup>4</sup> PT. PLN(PERSERO). Buku 1 Kriteria Desain Enjinerig Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Jakarta: PT.PLN(PERSERO). 2010. Bab 4. Hal 3



Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut :

**a. Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)**

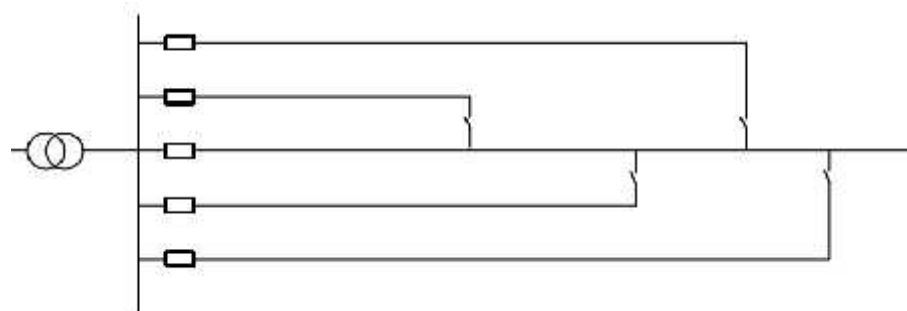
Konfigurasi fishbone ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan system SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.



Gambar 2.8 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fishbone*).

**b. Konfigurasi Kluster (*Cluster / Leap Frog*)**

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.

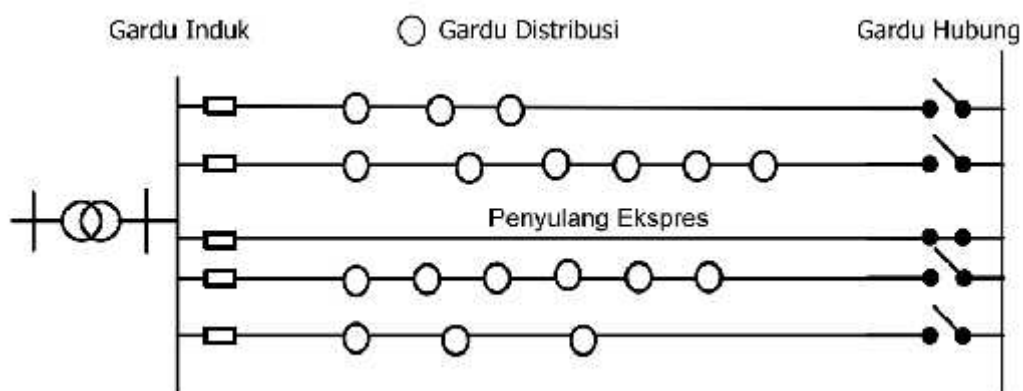


Gambar 2.9. Konfigurasi Kluster (*Leap Frog*).



### c. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi. Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *Spindel* jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



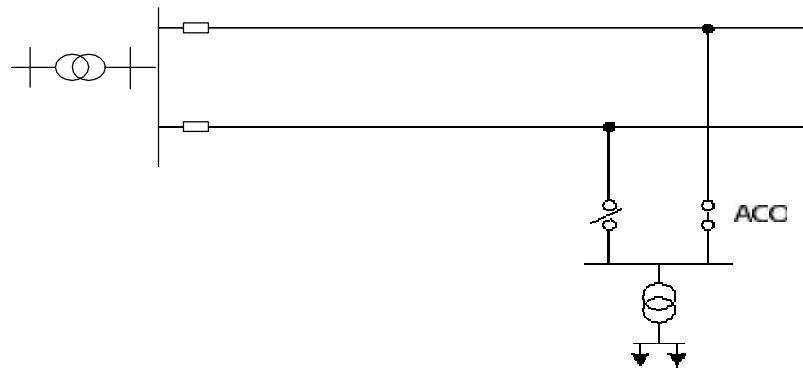
Gambar 2.10. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*).

### d. Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan 1(satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan



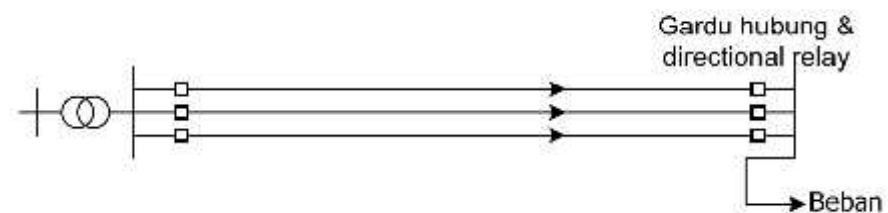
dengan sadapan *Tee- Off* (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.



Gambar 2.11 Konfigurasi Fork.

**e. Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)**

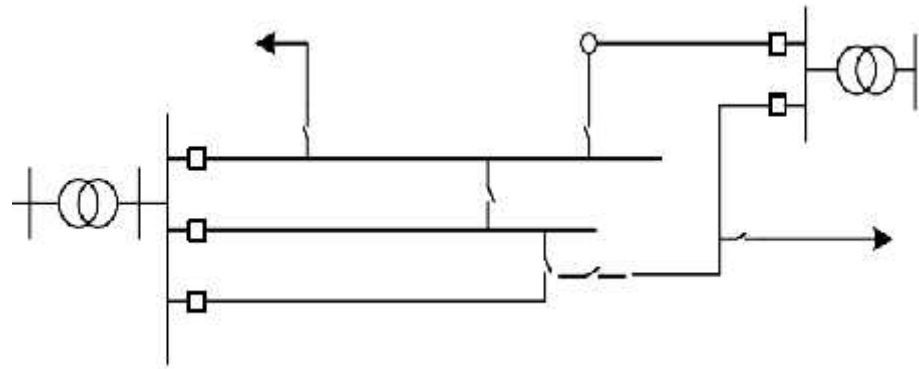
Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.12 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*).

**f. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)**

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.

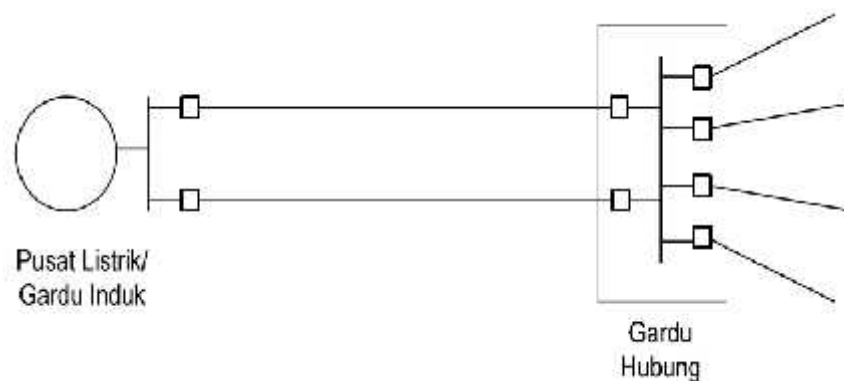
Gambar 2.13 Konfigurasi Jala-jala (*Grid, Mesh*).

### g. Konfigurasi lain-lain

Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan.

#### 1. Struktur Garpu dan Bunga

Struktur ini dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, sebagai pemutus tenaga, sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.



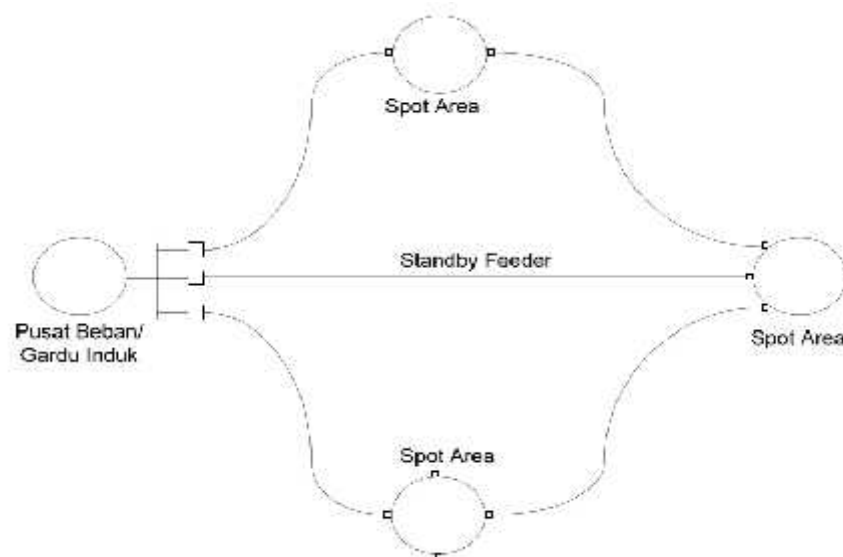
Gambar 2.14 Konfigurasi Struktur Garpu.



Gambar 2.15 Konfigurasi Struktur bunga.

## 2. Struktur Rantai

Struktur ini dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.16 Konfigurasi Struktur Rantai.

### 2.3.6. Menurut Tempat Peletakkannya<sup>5</sup>

Bentuk saluran distribusi berdasarkan tempat peletakkannya dapat dibedakan menjadi :

<sup>5</sup> Kadir, Abdul. 2000. Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia. Hal 35.



#### 2.3.6.1. Saluran Udara (*Over Head Line*)

Saluran udara baik digunakan pada daerah dengan kerapatan beban kecil. Saluran udara banyak digunakan karena harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara dan harga materialnya relatif murah. Kelebihan lain saluran udara ini antara lain adalah mudah melakukan perluasan pelayanan, mudah melakukan pemeriksaan apabila terjadi gangguan pada jaringan, mudah melakukan pemeriksaan, serta tiang – tiang jaringan distribusi primer dapat digunakan untuk jaringan distribusi dan keperluan pemasangan trafo atau gardu tiang. Dengan demikian dapat dikatakan biaya instalasinya relatif murah.

Kekurangan pada saluran udara antara lain adalah gangguan lebih mudah terjadi karena penyaluran daya dilakukan melalui kawat atau kabel yang tergantung pada tiang dengan perantara isolator. Selain itu, biaya pemeliharannya juga relatif tinggi dan mengurangi keindahan sekitarnya.

Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang (BCC), alumunium telanjang (AAC), serta bahan campuran yang berbasis alumunium (AAAC).

#### 2.3.6.2. Saluran Bawah Tanah (*Underground*)

Saluran bawah tanah baik digunakan untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi, misalnya di pusat kota/ pusat industri.

Saluran bawah tanah banyak digunakan dalam kawasan tersebut karena banyak terdapat bangunan – bangunan tinggi, sehingga pemasangan hantaran udara akan mengganggu, baik dari segi keindahan maupun dari keamanan. Pemasangan saluran udara dalam kawasan tersebut dapat membahayakan keselamatan manusia.

Bahan untuk kabel tanah pada umumnya terdiri atas



tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi digunakan bahan – bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Jenis tegangan menengah sering dipakai juga minyak sebagai isolasi. Jenis kabel demikian dinamakan GPLK (Gewapend Papier Load Cable) yang merupakan standar Belanda. Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC (Polivinyl Chloride) dan XLPE (Cross-linked Polyethylene) telah berkembang pesat dan merupakan bahan isolasi yang andal.

Beberapa keuntungan dari penggunaan saluran bawah tanah adalah bebas dari gangguan pohon, sambaran petir, dan tidak menyebabkan bahaya sentuh oleh manusia. Sedangkan beberapa kerugian dari penggunaan saluran bawah tanah adalah biaya pembangunan yang relatif mahal, sulit mengetahui letak gangguan jika terjadi gangguan, waktu dan biaya yang diperlukan untuk menanggulangi jika terjadi gangguan lebih lama dan lebih mahal.

#### **2.4. Parameter Saluran Distribusi**

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat - sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasitansi konduktansi kecil dan dapat diabaikan.

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.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini Penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam, analisis sistem tenaga.





### 2.4.1. Resistansi Saluran<sup>6</sup>

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:

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

Keterangan:

$\rho$  = resistivitas pengantar

A = luas penampang

l = panjang kawat

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan Tiga Serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika Suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan nol adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, 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%.

<sup>6</sup> Stevenson, WD. 1994. Analisa Penggunaan Sistem Tenaga Listrik, Edisi keempat. Jakarta: PT. Gelora aksara pratama Hal 39 Dan 40



### 2.4.2. Induktansi Saluran<sup>7</sup>

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4.

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

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor simetris maka  $D = D_{12} = D_{23} = D_{31}$ , Bila letak konduktor tidak simetris maka D diatas perlu diganti dengan :

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

Induktansi dihitung dengan konsep *Geometric Means Radius* (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar.

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

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

### 2.4.3. Reaktansi Saluran<sup>8</sup>

Jika induktansi dalam satuan Henry dikalikan dengan  $2 \cdot \pi \cdot f$  (frekuensi dalam satuan Hz), maka hasilnya dikenal sebagai reaktansi induktif yang diukur dalam satuan ohm. Jadi besarnya nilai satuan reaktansi induktif saluran :

$$XL = 2 \pi f L \dots\dots\dots (2.6)$$

$XL$  = Reaktansi induktif saluran (  $\Omega$  )

$L$  = Induktansi saluran ( H )

$f$  = Frekuensi ( Hz )

<sup>7</sup> Zuhail. 1995. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia. Hal 152.

<sup>8</sup> Suryatmo, F. 2005. Dasar-Dasar Teknik Listrik. Jakarta: PT. Asdi Mahasatya. Hal 220 Dan 231



#### 2.4.4. Impedansi Saluran<sup>9</sup>

Impedansi suatu saluran distribusi dapat kita tentukan dengan persamaan dasar sebagai berikut :

$$ZL = R + jXL \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$ZL$  = Impedansi saluran ( $\Omega$  / Km)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$  / Km)

$XL$  = Reaktansi Induktif ( $\Omega$  / Km)

### 2.5. Daya listrik<sup>10</sup>

Ada beberapa jenis daya listrik yang akan dibahas pada sub-bab ini, yaitu:

#### 2.5.1. Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi.

Dimana untuk daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

Untuk 1 fasa yaitu :

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk 3 fasa yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$S$  = Daya semu (VA)

$V$  = Tegangan yang ada (V)

$I$  = Besar arus yang mengalir (A)

#### 2.5.2. Daya Aktif

Daya aktif atau disebut juga dengan daya nyata adalah daya yang

<sup>9</sup> Hutaaruk, T.S. 1985. Transmisi Daya Listrik. Jakarta: P.T. Gelora Aksara Pratama. Hal 61

<sup>10</sup> Stevenson, WD 1994, Analisa Penggunaan Sistem Tenaga Listrik, Edisi keempat. Jakarta: PT. Gelora aksara pratama Hal 19 Dan 28



dipakai untuk menggerakkan berbagai macam peralatan mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 phasa :

$$P = V \times I \times \cos\varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk 3 phasa :

$$P = 3 \times V \times I \times \cos\varphi \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan yang ada (V)

I = Besar arus yang mengalir (A)

$\cos\varphi$  = Faktor daya

### 2.5.3. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang hilang atau selisih daya semu yang masuk pada saluran dengan daya aktif yang terpakai pada daya mekanis dan daya panas.

Untuk 1 phasa :

$$Q = V \times I \times \sin\theta \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk 3 phasa :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\varphi \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

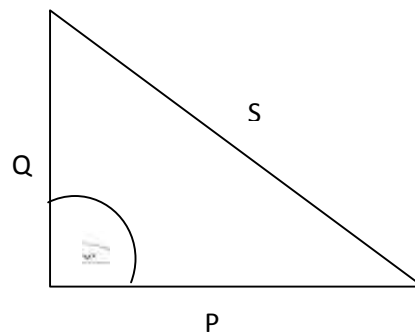
Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan yang ada (V)

I = Besar arus yang mengalir (A)

$\sin\varphi$  = Faktor daya

Maka, hubungan ketiga daya tersebut dapat digambarkan ke dalam sebuah segitiga daya :



Gambar 2.17. Segitiga Daya

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$P = S \cdot \cos\varphi \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Q = S \cdot \sin\varphi \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\varphi = \arctan \frac{Q}{P} \dots\dots\dots(2.17)$$

## 2.6. Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan<sup>11</sup>

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang.

Dari penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga fasa:

$$P_{loss} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l \cdot LLF \cdot LDF \dots\dots\dots(2.18)$$

Jika besar kerugian daya yang diperoleh, maka besar daya yang diterima:

$$P_r = P_s - P_{loss} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

$P_{loss}$  = Rugi daya pada saluran ( MW )

$P_r$  = Besar daya yang diterima ( MW )

$P_s$  = Besar daya yang disalurkan ( MW )

<sup>11</sup> Pusat Pendidikan Dan PELATIHAN, Penggunaan Sistem Distribusi Tenaga Listrik. PT. PLN (Persero).



- $R$  = Tahanan jaringan ( $\Omega / \text{Km}$ )  
 $l$  = Panjang jaringan ( $\text{Km}$ )  
 $I$  = Besar kuat arus pada beban (A)  
 $\text{LDF}$  = Load Density Factor (0,333)  
 $\text{LLF}$  = Loss Load Factor

LLF merupakan koefisien yang diperhitungkan dalam menghitung susut sebagai perbandingan antara rugi-rugi daya rata-rata terhadap rugi daya beban puncak.

Dimana :

$$\text{LLF} = 0,3 \text{LF} + 0,7 (\text{LF})^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

LF = Load Factor

## 2.7. Efisiensi Penyaluran<sup>12</sup>

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

$$\eta = \frac{Pr(3\phi)}{Ps(3\phi)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana,

$Pr$  = daya yang diterima (MW)

$Ps$  = daya yang disalurkan (MW)

<sup>12</sup> Cekdin, Cekmas dan Taufik Barlian. 2013. Transmisi Daya Listrik. Yogyakarta: CV.Andi Offset. Hal 115