



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jaringan 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. 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 sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang



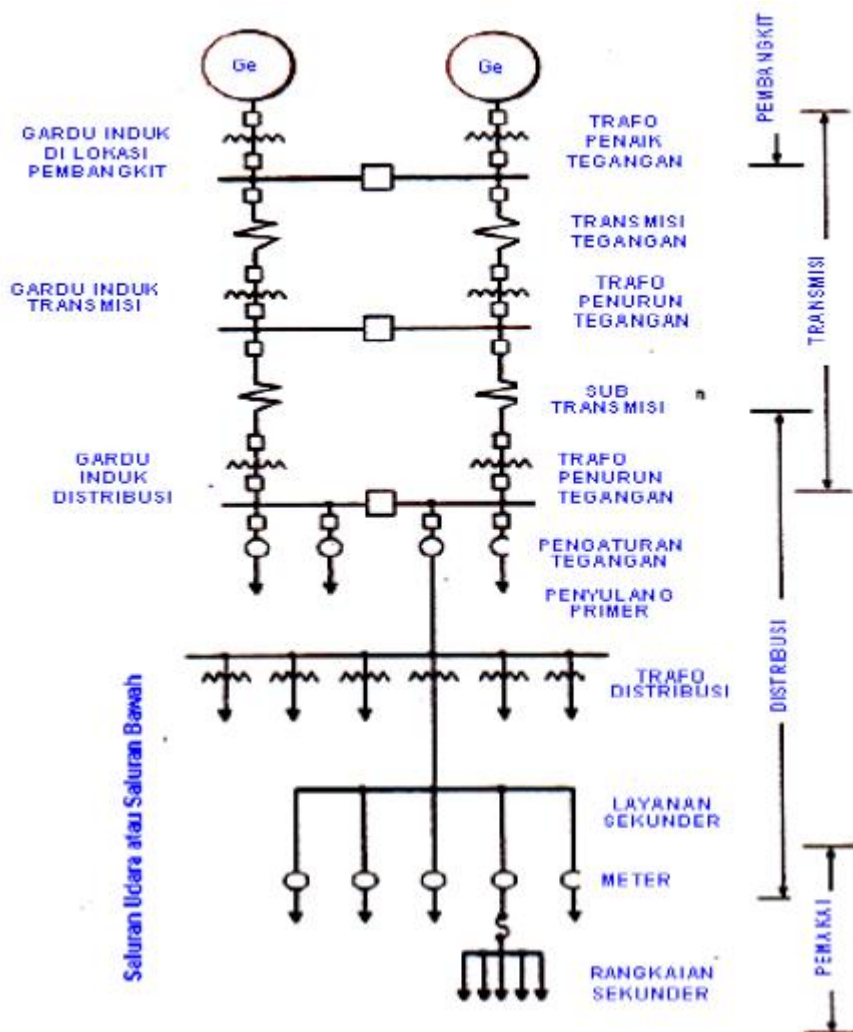
sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan - perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi 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 sistem 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.

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

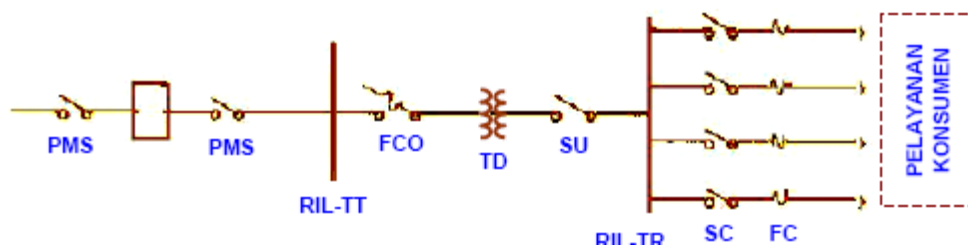
Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer. Biasanya, jaringan ini



menggunakan enam jenis jaringan yaitu sistem radial dan sistem tertutup atau *loop*, *ring*, *network spindle* dan *cluster*.<sup>[6]</sup>

#### 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.<sup>[6]</sup>



Gambar 2.2 Bagian – bagian jaringan distribusi

Keterangan :

PMS = Pemisah Sendiri

PMT = Pemutus Tenaga

FCO = Fuse Cut Out

FC = Fuse Cabang

TD = Trafo Distribusi

SU = Saklar Utama

SC = Saklar Cabang

### 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.

<sup>6</sup> Kadir, Abdul.2006.Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik.Depok : UI-Press.



### **2.1.3.1 Berdasarkan Tegangan Pengenal**

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

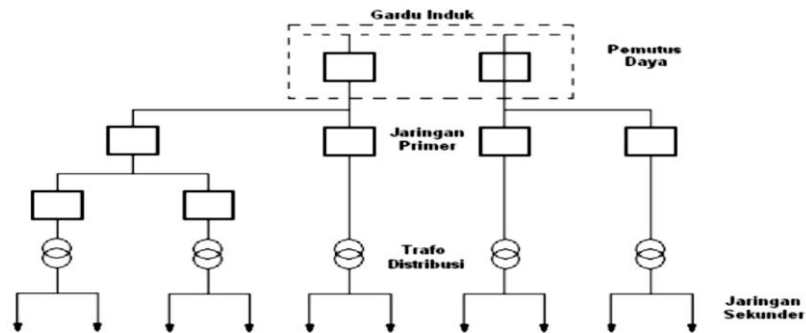
- a. Sistem jaringan tegangan primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini menghubungkan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk menuju ke Gardu Distribusi, besar tegangan yang disalurkan adalah 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.

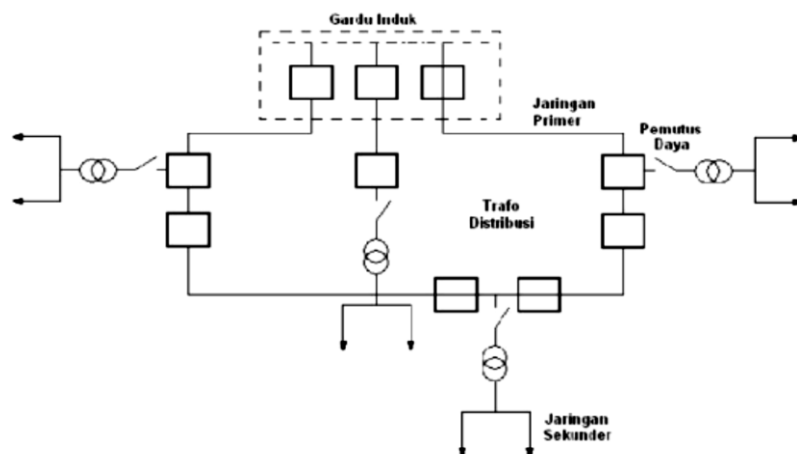
Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun 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).

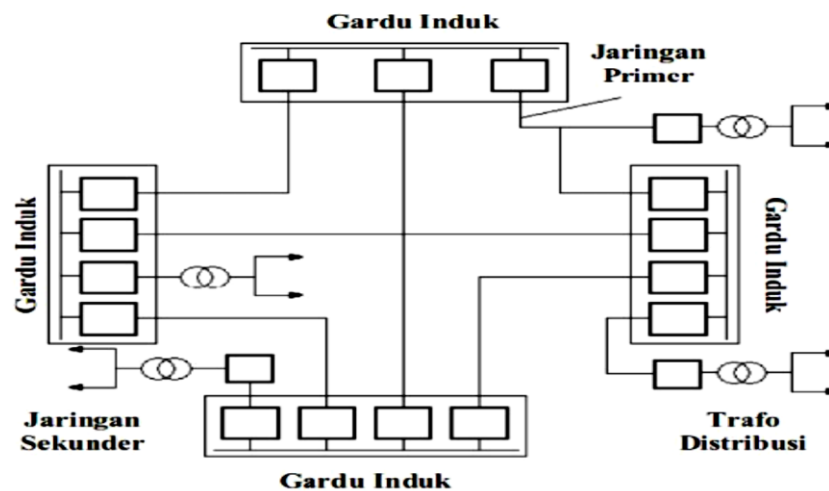


Gambar 2.4 Pola Jaringan Loop



### 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 diantaranya adalah:

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

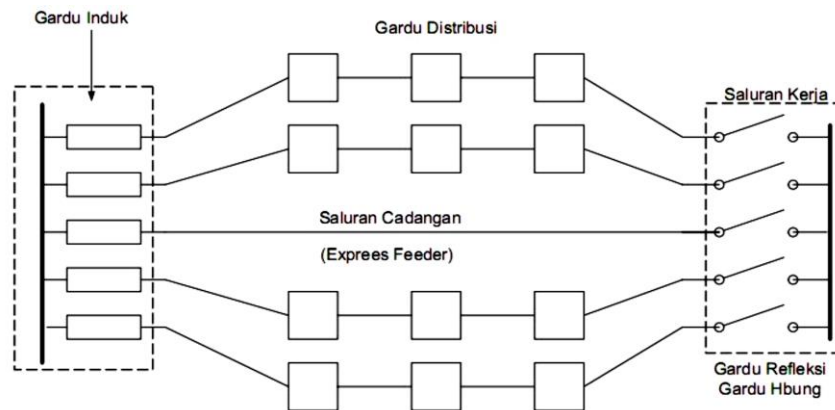
Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit dan mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

### 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*, pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola *grid*, penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dibandingkan dengan pola *grid*, 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 perlengkapannya, 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.<sup>[12]</sup>

### 2.1.5 Jenis – Jenis Penghantar<sup>[4]</sup>

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*) yaitu kawat penghantar dengan seluruh bagian inti kabel terbuat dari aluminium. Penghantar jenis ini bentuknya berurat banyak dengan ukurannya antara 16-100 mm<sup>2</sup>.
2. AAAC (*All Aluminium Alloyconductors*) yaitu kawat penghantar dengan seluruh bagian inti kabel terbuat dari campuran aluminium. Penghantar jenis ini mempunyai ukuran antara 16-500 mm<sup>2</sup> dan bentuk fisiknya berurat banyak.
3. ACSR (*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja. Penghantar jenis ini mempunyai ukuran antara 16 - 680 mm<sup>2</sup> dengan struktur bentuknya berupa serabut.
4. ACAR (*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*) yaitu kawat penghantar yang terbuat dari aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

<sup>12</sup> PT.PLN.2010.PLN Buku 5.

<sup>4</sup> Hutahuruk,T.S.1996.*Transmisi Daya Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.



5. BCC (*Bare Cooper Conductor*) Yaitu kawat penghantar tembaga, mempunyai bentuk padat dan berurat banyak dengan ukuran 6-500 mm<sup>2</sup>.

#### 6. Kabel Tanah *Single Core*

Jenis kabel dengan inti tunggal (*single core*) terbuat dari tembaga (N2XSY ..... Y) atau aluminium (NA2XSY ..... Y) dengan pelapis konduktor berupa campuran semikonduktif, Isolasi PVC, pelindung metal berupa pita tembaga yang saling berimpit, dibungkus dengan pita spiral *polyester* yang saling berimpit dan mempunyai selubung luar PVC. Tegangan maksimum kabel ini antara 7,2 – 36 kV.

#### 7. Kabel Tanah *Three Core*

Jenis kabel tiga inti (*Three Core*) terbuat dari tembaga (N2XSY & N2XSEY) atau aluminium (NA2XSY & NA2XSEY), isolasi XLPE, pelindung isolasi campuran semikonduktif, pelindung metal berupa pita tembaga yang saling berimpit, pelindung bagian dalam PVC yang dilapisi baja galvanis bundar dan pita dengan selubung luar PVC. Tegangan maksimum kabel ini antara 7,2 – 36 kV.

### 2.1.6 Jenis – Jenis Hantaran Jaringan

Dalam sistem 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 :

1. Mudah dilakukan perluasan pelayanan dengan menarik cabang yang diperlukan



2. Mudah diperiksa bila terjadi gangguan pada jaringan
3. Mudah dipelihara
4. Harganya relatif lebih murah
5. Pembangunannya tidak terlalu sulit
6. Tiang – tiang pada jaringan distribusi primer dapat pula digunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan pemasangan transformator.

## 2. Kerugian :

1. Mengurangi estetika tata kota
2. Mudah mengalami gangguan karena berinteraksi langsung dengan udara luar
3. Keandalannya kurang
4. 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.<sup>[6]</sup>

## 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

<sup>6</sup> Kadir, Abdul.2006.Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik.Depok : UI-Press.



tinggi, seperti pusat kota ataupun pusat industri, pemasangan jaringan hantaran udara akan mengganggu, baik ditinjau dari keindahan maupun dari segi keamanan. Adapun keuntungan dan kerugian dari jaringan ini diantaranya:

#### 1. Keuntungan:

1. Kabel yang dipasang bebas dari gangguan petir atau pun manusia
2. Tidak mengganggu estetika tata kota
3. Keandalannya lebih tinggi
4. Kemungkinan gangguan lebih kecil

#### 2. Kerugian :

1. Harganya relatif mahal
2. Sulit untuk mendeteksi dan memeriksa gangguan yang terjadi
3. Pemeliharaan tidak bersifat fleksibel
4. 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, sektor
3. Susunan (*arrangement*) : Sabuk, bertabir, berisi minyak, berisi gas
4. Dielektris : Kertas (PILCTA), *Polyvynil Chloride* (PVC), rantai silang *polyethylene* (XIPE), berisi gas (Nitrogen atau SF<sub>6</sub>).<sup>[8]</sup>

## 2.2 Jenis – Jenis Gardu Distribusi

### 2.2.1 Menurut Sistem Pemasangan<sup>[2]</sup>

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

#### a. Pemasangan luar

##### 1. *Pole Mounting*

<sup>8</sup> Pabla, AS.1991.*Sistem Distribusi Daya Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.

<sup>2</sup> Arismunandar, A. Kuwahara.1993.*Teknik Tenaga Listrik Jilid III*.Jakarta : PT. Prayana



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

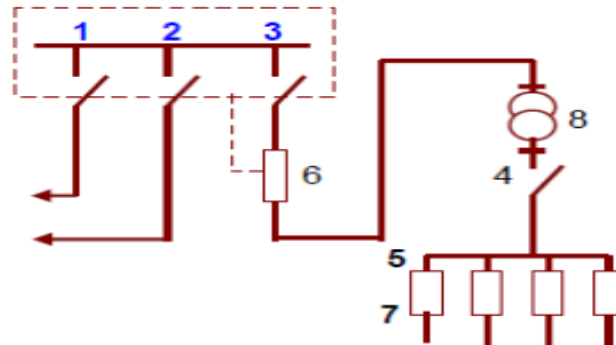
### 2.2.2 Menurut Bentuk Tampilan

Untuk mengoptimalkan fungsinya sebagai penyalur daya listrik, maka gardu distribusi dibentuk dalam beberapa tampilan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan beberapa faktor 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 :

1. Gardu Distribusi Beton



Gardu distribusi ini dikonstruksi dari beton dengan peralatan – peralatan listrik terdapat dalam gardu beton. Pada umumnya gardu ini dibangun untuk melayani beban yang besar dan diagram satu garis dari gardu distribusi tersebut dijelaskan pada gambar 2.7 dibawah ini.<sup>[11]</sup>



Gambar. 2.7 Diagram satu garis gardu beton

Keterangan :

1. Kabel masuk-pemisah atau sakelar beban (*load break*)
2. Kabel keluar-sakelar beban (*load break*)
3. Pengaman transformator-sakelar beban+pengaman lebur.
4. Sakelar beban sisi TR.
5. Rak TR dengan 4 sirkit.
6. Pengaman lebur TM (*HRC-Fuse*)
7. Pengaman lebur TR (*NH - Fuse*)
8. Transformator



Gambar 2.8 Bangunan Gardu Beton

<sup>11</sup> PT.PLN.2010.PLN Buku 4.



## 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 : <sup>[11]</sup>

### 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

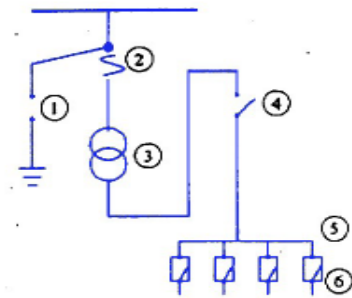
Perlengkapan peralatan terdiri atas :

- *Fuse Cut Out*

<sup>11</sup> PT.PLN.2010.PLN Buku 4.



- *Arrester Lighting*
- Transformer tipe 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

#### 1. Gardu Tiang tipe Cantol

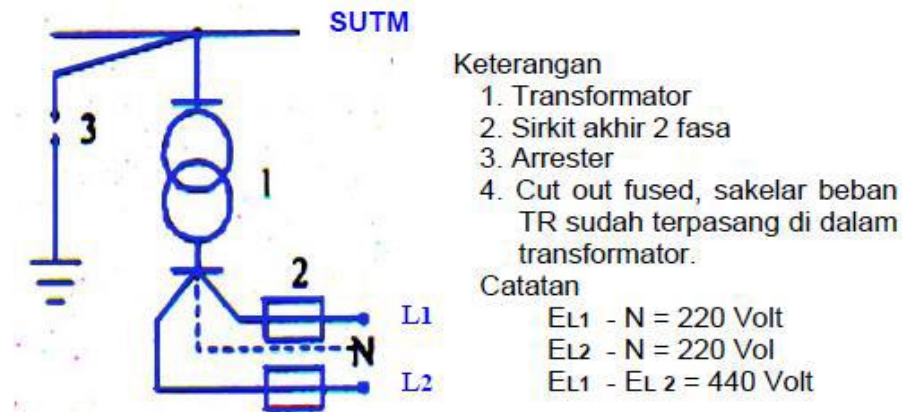
Gardu cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN. Instalasi gardu dapat berupa : 1 *Cut out fused*, 1 *lighting arrester*, 1 panel PHB tegangan rendah dengan 2 jurusan / transformator *completely self protected* (CSP - Transformer).<sup>[11]</sup>



Gambar 2.11 Gardu tiang tipe cantol

<sup>11</sup> PT.PLN.2010.PLN Buku 4.





Gambar 2.12 Bagan satu garis Gardu tiang tipe Cantol

## 2. 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.



Gambar 2.13 Gardu besi

## 3. 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 box) 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. <sup>[11]</sup>

### **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 sistem 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. <sup>[8]</sup>

#### **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 dilampau meskipun untuk waktu sesaat dalam keadaan darurat. <sup>[8]</sup>

---

<sup>11</sup> PT.PLN.2010.*PLN Buku 4*.

<sup>8</sup> Pabla, AS.1991.*Sistem Distribusi Daya Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.



### 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. <sup>[1]</sup>

### d. Tegangan Lebih

Diluar tegangan jatuh komponen-komponen harus mampu menghadapi loncatan tegangan yang ditimbulkan sistem sendiri atau sumber dari luar. <sup>[8]</sup>

## 2.4 Parameter Saluran

### 2.4.1 Resistansi Saluran

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:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \dots\dots\dots (2.1) \text{ [4]}$$

Dimana,

R = Resistansi kawat penghantar (Ohm/km)

$\rho$  = Resistivitas penghantar (ohm.  $mm^2/m$ )

$l$  = panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat ( $mm^2$ )

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

<sup>1</sup> Arismunandar, A. Kuwahara.1993.*Teknik Tenaga Listrik Jilid II*.Jakarta : PT. Prayana

<sup>8</sup> Pabla, AS.1991.*Sistem Distribusi Daya Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.

<sup>4</sup> Hutahuruk,T.S.1996.*Transmisi Daya Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots\dots\dots (2.2)^{[13]}$$

Dimana,

R1 = Resistansi penghantar pada suhu  $t_1$  (temperatur sebelum operasi konduktor)

R2 = 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 ( $XL$ ) dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan induktansi saluran terlebih dahulu. Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \left(\frac{D-r}{r}\right)\right) \cdot 10^{-7} H/m \dots\dots\dots (2.3)^{[15]}$$

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

$$D = \sqrt[3]{D_{12} + D_{23} + D_{31}} \dots\dots\dots (2.4)^{[14]}$$

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

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

$$XL = 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (2.6)^{[14]}$$

<sup>13</sup> Stevenson, William D.1994.*Analisis Sistem Tenaga Listrik*.Jakarta : Penerbit Erlangga.

<sup>15</sup> Zuhail.1995.*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*.Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

<sup>14</sup> Watkins, A.J.2004.*Perhitungan Instalasi Listrik*.Jakarta: Penerbit Erlangga.



Dimana,

$XL$  = Reaktansi induktif saluran (Ohm/km)

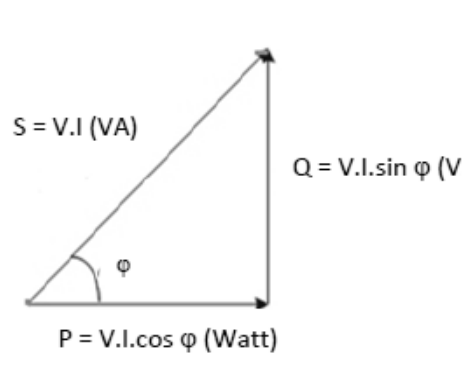
$2\pi$  = Sudut arus bolak balik

$f$  = Frekuensi sistem (50 Hz)

$L$  = Induktansi dari konduktor (H/km)

## 2.5 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 2.14 Segitiga Daya

Berdasarkan Gambar 2.14 dijelaskan jenis – jenis daya yang biasanya muncul dalam sistem penyaluran tenaga listrik.



### 2.5.1 Daya Nyata / Daya Aktif

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

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } P = V_{L-N} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.7)^{[3]}$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.8)^{[3]}$$

Dimana:

- $V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)
- $V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)
- $I$  = Arus yang melalui penghantar (A)
- $\cos \varphi$  = Faktor daya
- $P$  = Daya Nyata

### 2.5.2 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.

$$L - N / 1 \text{ fasa ; } S = V_{L-N} \times I \dots\dots\dots (2.9)^{[3]}$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } S_3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \dots\dots\dots (2.10)^{[3]}$$

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)

### 2.5.3 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.

<sup>3</sup> Cekdin, Cekmas. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.



$$L - N / 1 \text{ fasa ; } Q = V_{L-N} \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.11)^{[3]}$$

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } Q = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (2.12)^{[3]}$$

Dimana :

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

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

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

$\sin \varphi$  = Faktor daya

Q = Daya Reaktif (VAR)

## 2.6 Susut Daya Listrik

Susut daya atau hilang daya atau rugi daya listrik adalah berkurang atau hilangnya pasokan daya pada proses pengiriman daya listrik dari sumber (pembangkit) kepada beban (konsumen) pada penghantar. Susut daya listrik untuk saluran tiga fasa dinyatakan oleh persamaan :

$$P_L = 3 I^2 R \ell \dots\dots\dots (2.13)^{[1]}$$

Dimana :

$P_L$  = Susut Daya (Watt)

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

$\ell$  = Panjang saluran (Km)

I = Arus beban (A)

Susut daya atau hilang daya seperti yang dinyatakan diatas dihitung atas dasar I (arus) pada waktu tertentu. Berdasarkan SPLN 1:1978 sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria susut daya yang dapat diizinkan tidak boleh lebih dari 2%.

<sup>3</sup> Cekdin, Cekmas. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Penerbit Erlangga.

<sup>1</sup> Arismunandar, A. Kuwahara. 1993. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. Jakarta : PT. Prayana



## 2.7 Efisiensi / Daya Guna Saluran

Efisiensi atau daya guna saluran adalah perbandingan antara daya yang diterima dan daya yang disalurkan. Adapun efisiensi dinyatakan oleh persamaan :

$$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.14)^{[1]}$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_L} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.15)^{[1]}$$

Dimana :

$P_r$  = Daya yang diterima (kW)

$P_s$  = Daya yang dikirimkan (kW)

$\eta$  = Efisiensi daya (%)

$P_L$  = Rugi-rugi daya (kW)

## 2.8 ETAP

**ETAP** (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fasilitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *trancient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga

<sup>1</sup> Arismunandar, A. Kuwahara.1993.*Teknik Tenaga Listrik Jilid II*.Jakarta : PT. Prayana





listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

ETAP *Power Station* memungkinkan untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar single line diagram/diagram satu garis . Program ini dirancang sesuai dengan tiga konsep utama:

#### 1. *Virtual Reality Operasi*

Sistem operational yang ada pada program sangat mirip dengan sistem operasi pada kondisi *real* nya. Misalnya, ketika membuka atau menutup sebuah *circuit breaker*, menempatkan suatu elemen pada sistem, mengubah status operasi suatu motor, dan untuk kondisi *de-energized* pada suatu elemen dan sub-elemen sistem ditunjukkan pada gambar *single line diagram* dengan warna abu-abu.

#### 2. *Total Integration Data*

ETAP *Power Station* menggabungkan informasi sistem elektrikal, sistem logika, sistem mekanik, dan data fisik dari suatu elemen yang dimasukkan dalam sistem *database* yang sama. Misalnya, untuk elemen sebuah kabel, tidak hanya berisikan data kelistrikan dan tentang dimensi fisiknya, tapi juga memberikan informasi melalui *raceways* yang di lewati oleh kabel tersebut. Dengan demikian, data untuk satu kabel dapat digunakan untuk dalam menganalisa aliran beban (*load flow analysis*) dan analisa hubung singkat (*short-circuit analysis*) yang membutuhkan parameter listrik dan parameter koneksi serta perhitungan *ampacity derating* suatu kabel yang memerlukan data fisik *routing*.

#### 3. *Simplicity in Data Entry*

ETAP *Power Station* memiliki data yang detail untuk setiap elemen yang digunakan. Dengan menggunakan editor data, dapat mempercepat proses entri data suatu elemen. Data-data yang ada pada program ini telah di masukkan sesuai dengan data-data yang ada di lapangan untuk berbagai jenis analisa atau desain.

### 2.8.1 Elemen-elemen di ETAP

Suatu sistem tenaga terdiri atas sub-sub bagian, salah satunya adalah aliran daya dan hubung singkat. Untuk membuat simulasi aliran daya dan hubung



singkat, maka data-data yang dibutuhkan untuk menjalankan program simulasi antara lain:

1. Data Generator
2. Data Transformator
3. Data Kawat Penghantar
4. Data Beban
5. Data Bus

#### Elemen Aliran Daya

Program analisis aliran daya pada *software* ETAP dapat menghitung tegangan pada tiap-tiap cabang, aliran arus pada sistem tenaga listrik, dan aliran daya yang mengalir pada sistem tenaga listrik. Metode perhitungan aliran daya dapat dipilih untuk efisiensi perhitungan yang lebih baik. Metode perhitungan aliran daya pada *software* ETAP ada tiga, yaitu: *Newton Raphson*, *Fast-Decouple* dan *Gauss Seidel* seperti yang telah diuraikan sebelumnya.



Gambar 2.15 Toolbar *Load Flow* di ETAP

Gambar dari kiri ke kanan menunjukkan *tool* dan *toolbar* aliran daya, yaitu:

1. *Run Load Flow* adalah *icon toolbar* aliran daya yang menghasilkan atau menampilkan hasil perhitungan aliran daya sistem distribusi tenaga listrik dalam diagram satu garis.
2. *Update Cable Load Current* adalah *icon toolbar* untuk merubah kapasitas arus pada kabel sebelum load flow di running
3. *Display Option* adalah bagian tombol untuk menampilkan hasil aliran daya.
4. *Alert* adalah *icon* untuk menampilkan batas kritis dan marginal dari hasil keluaran aliran daya sistem distribusi tenaga listrik.
5. *Report Manager* adalah *icon* untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk report yang dapat dicetak.

#### Elemen Hubung Singkat



*Short-Circuit Analysis* pada *ETAP Power Station* menganalisa gangguan hubung singkat tiga fasa, satu fasa ke tanah, antar fasa dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik. Program *Short-Circuit Analysis ETAP Power Station* menghitung arus total hubung singkat yang terjadi. *ETAP Power Station* menggunakan standar ANSI/IEEE (seri C37) dan IEC (IEC 909 dan lainnya) dalam menganalisa gangguan hubung singkat yang bisa dipilih sesuai dengan keperluan. Untuk memulai *Short-Circuit Analysis* maka *Single Line Diagram* (SLD) sistem tenaga listrik digambarkan terlebih dahulu dengan memperhatikan komponen serta peralatan yang digunakan.