



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Distribusi

Sistem Distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan suatu sistem tenaga listrik. Sistem – sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik kepada para pemanfaat. Sistem distribusi terbagi menjadi 2 bagian, yaitu :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem Distribusi Tegangan Menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi – tingginya 35 kV. Dan Sistem Distribusi Tegangan Rendah mempunyai tegangan kerja setinggi – tingginya 1 kV.

#### 2.2 Bagian – Bagian Sistem Distribusi

Untuk jaringan distribusi pada umumnya terdiri dari dua bagian yaitu :

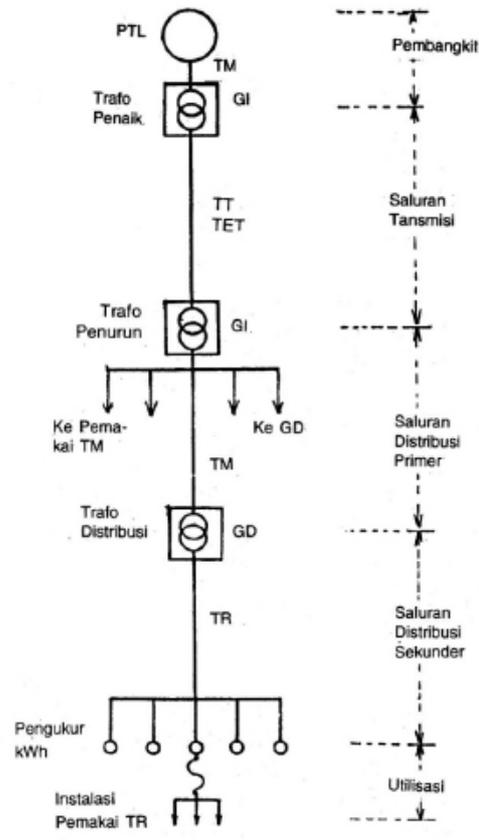
- a. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Jaringan distribusi tegangan menengah adalah jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk / Pusat Listrik pada sistem terpisah / isolated. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*). Jaringan ini merupakan suatu jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer.A



### b. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Jaringan distribusi tegangan rendah yaitu jaringan tegangan listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah berbentuk radial murni. Jaringan ini merupakan suatu jaringan tegangan rendah atau jaringan tegangan primer.<sup>1</sup>



**Gambar 2.1**

### Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Catatan :

PTL : Pembangkit Tenaga Listrik

GI : Gardu Induk

TT : Tegangan Tinggi

TET : Tegangan Ekstra Tinggi

<sup>1</sup> PT. PLN (Persero), 2010, Buku I Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, hal. 4.1.



- TM : Tegangan Menengah  
GD : Gardu Distribusi  
TR : Tegangan Rendah<sup>2</sup>

### **2.3 Gardu Distribusi**

Gardu Distribusi adalah bangunan gardu transformator yang memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pemanfaat baik dengan Tegangan Menengah maupun Tenaga Rendah

Gardu Distribusi merupakan kumpulan / gabungan dari perlengkapan hubung bagi baik Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah. Jenis perlengkapan hubung bagi Tegangan Menengah pada Gardu Distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya.

Jenis konstruksi gardu dibedakan atas 2 jenis :

- a. Gardu Distribusi konstruksi pasang luar. Umumnya disebut Gardu Portal (Konstruksi 2 tiang), Gardu Cantol (Konstruksi 1 tiang) dengan kapasitas transformator terbatas.
- b. Gardu Distribusi pasang dalam. Umumnya disebut gardu beton (Masonry Wall Distribution Substation) dengan kapasitas transformator besar.

#### **2.3.1 Gardu Distribusi Pasang Luar**

➤ **Konstruksi Gardu Distribusi Tipe Portal**

Konstruksi Gardu Distribusi pasang luar tipe Portal terdiri atas Fused Cut Out (FCO) sebagai pengaman hubungan singkat trafo dengan elemen

---

<sup>2</sup> Kadir, Abdul. 2000. Distribusi dan Utilitasi Tenaga Listrik. Jakarta : Universitas Indonesia, hal. 5.



pelebur / fuse link type expulsion dan Lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Elektroda pembumian dipasang pada masing – masing lightning arrester dan pembumian titik netral transformator sisi Tegangan Rendah. Kedua elektroda pembumian tersebut dihubungkan dengan penghantar yang berfungsi sebagai ikatan penyama potensial yang digelar dibawah tanah.

➤ **Konstruksi Gardu Distribusi Tipe Cantol**

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, yang terpasang adalah jenis Completely Self Protected Transformer (CSP). Perlengkapan pelindung transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubung langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

Nilai pengenal LA 5 kA untuk posisi di tengah jaringan dan 10 kA untuk posisi pada akhir jaringan. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.

### 2.3.2 Gardu Distribusi Pasang Dalam

➤ **Konstruksi Gardu Distribusi Beton**

Gardu Distribusi pasang dalam adalah gardu konstruksi beton dengan kapasitas transformator besar, dipakai untuk daerah padat beban tinggi dengan konstruksi instalasi yang berbeda dengan gardu pasang luar. Gardu Beton dipasang dari baik dari jaringan saluran udara ataupun saluran kabel tanah.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> PT. PLN (Persero), 2010, Buku I Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, hal. 4.23 – 4.25.



---

## 2.4 Fasilitas dan Peralatan Gardu Distribusi

Gardu Induk Distribusi diperlengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya, dan mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharannya, sebagai berikut :

1. Transformator Utama

Transformator Utama dipakai untuk menurunkan atau menaikkan tegangan, di Gardu Induk ia menurunkan tegangan, di pusat pembangkit ia menaikkan tegangan. Ada 2 jenis transformator : 1 fasa dan 3 fasa.

2. Alat Pengubah Fasa

Alat pengubah fasa dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran atau transformator dengan mengatur daya reaktif, atau untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya.

3. Peralatan Penghubung

Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan Gardu Induk. Jadi Gardu Induk ini merupakan tempat pemusatan dari tenaga yang dibangkitkan dan interkoneksi dari sistim transmisi dan distribusi kepada para langganan. Saluran transmisi dan distribusi ini dihubungkan dengan ril (*bus*) melalui transformator utama. Setiap saluran mempunyai pemutus beban (*circuit breaker*) dan pemisah (*disconnect switch*) pada sisi keluarannya. Pemutus beban dan pemisah dinamakan peralatan penghubung (*switchgear*).

4. Panel Hubung dan Trafo Ukur

Panel hubung (meja hubung, switchboard) merupakan pusat syaraf bagi suatu Gardu Induk. Pada panel hubung inilah operator dapat mengamati keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan serta pengukuran – pengukuran tegangan, arus dan daya dan sebagainya. Karena tegangan dan arus tidak dapat diukur langsung pada sisi tegangan tinggi, maka



transformator ukur (*instrument*) mengubahnya menjadi tegangan dan arus yang rendah, dan sekaligus memisahkan alat – alat ukur dari sisi tegangan tinggi. Ada tiga jenis transformator ukur, yaitu transformator tegangan, transformator arus, dan transformator tegangan dan arus.

#### 5. Alat Pelindung

Alat – alat pelindung (*protective device*) dalam arti yang luas, di samping pemutus beban dan rele pengaman, adalah sebagai berikut :

Arester mengamankan peralatan gardu induk terhadap tegangan lebih abnormal yang bersifat kejutan (*surja, surge*), misalnya kejutan petir dan surja hubung (*switching surge*).

#### 6. Peralatan lain – lain

Diamping peralatan tersebut di atas ada peralatan pembantu (*auxiliary*), seperti alat pendingin, alat pencuci isolator , batere, pengisi batere, kompresor, sumber tenaga, alat penerangan, dan sebagainya.

#### 7. Bangunan (Gedung) Gardu Induk

Gedung Gardu Induk berbeda – beda tergantung pada skala dan jenis Gardu Induk. Pada Gardu Induk pasangan luar, disamping panel hubung dan sumber tenaga untuk kontrol, hanyalah peralatan komunikasi dan kantor yang harus ada di dalam gedung.<sup>4</sup>

## 2.5 Konstruksi Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Di dalam menentukan desain sistem distribusi tenaga listrik, tiga hal utama yang perlu mendapat pertimbangan, yaitu :

<sup>4</sup> Arismunandar Artono. DR, Kuhuwara Susumu. DR, 1997, Teknik Tenaga Listrik Jilid III : Saluran Transmisi, Pradnya Paramita, jakarta, hal. 1-4.



- a. Jenis sistem kelistrikan : arus searah (as) atau arus bolak – balik (abb).  
Bila abb, perlu pula dipertimbangkan, satu fase atau multiphase.
- b. Jenis sistem penyediaan : radial, lup (loop) atau jaringan.
- c. Jenis konstruksi : saluran udara atau kabel tanah.

### **2.5.1 Jenis Sistem Kelistrikan**

#### a. Sistem Arus Searah

Sistem arus searah (as) biasanya terdiri atas dua atau tiga kawat. Kini sistem as tidak lagi dipergunakan, kecuali untuk penggunaan khusus. Adapun sistem as pada dasarnya berbentuk sama dengan sistem abb dua atau tiga kawat.

#### b. Sistem Arus Bolak – Balik

Pada umumnya sistem arus bolak – balik (abb) yang paling banyak digunakan yang terdiri atas beberapa jenis :

- Sistem satu fase satu kawat
- Sistem satu fase dua kawat
- Sistem satu fase tiga kawat
- Sistem dua fase tiga kawat
- Sistem dua fase empat kawat
- Sistem dua fase lima kawat
- Sistem tiga fase tiga kawat
- Sistem tiga fase empat kawat

### **2.5.2 Jenis Sistem Penyediaan**

Sebagaimana diketahui, pada sistem distribusi terdapat dua bagian ; yaitu distribusi primer, yang mempergunakan tegangan menengah, dan distribusi sekunder, yang mempergunakan tegangan rendah.

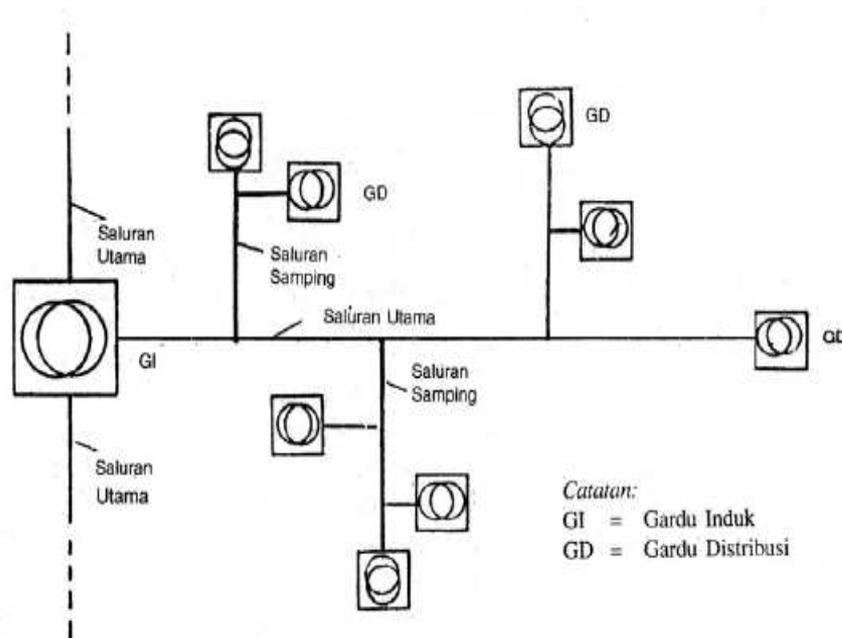


## 1. Jenis Sistem Penyediaan Pada Distribusi Primer

Pada distribusi primer terdapat tiga jenis dasar, yaitu :

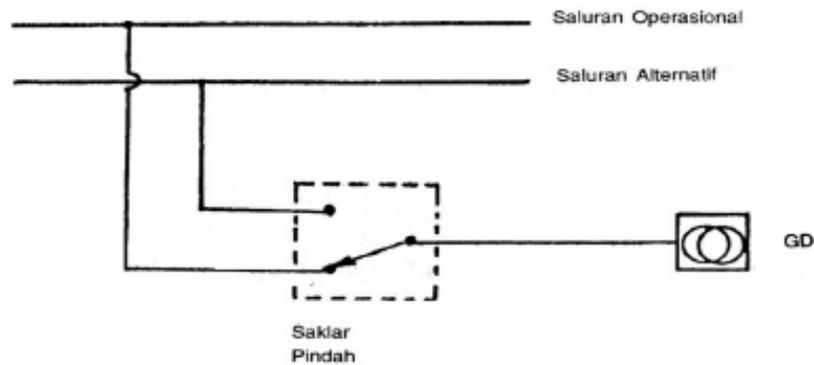
### a. Sistem radial

Sistem radial, adalah yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas fider (*feeders*) atau rangkaian tersendiri, yang seolah – olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. Fider itu dapat juga dianggap terdiri atas suatu bagian utama darimana saluran samping atau lateral lain bersumber dan dihubungkan dengan transformator distribusi. Saluran samping sering disambung pada fider dengan sekering (*fuse*). Dengan demikian gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu seluruh fider. Bilamana sekering itu tidak bekerja atau terdapat gangguan pada fider, proteksi pada saklar daya di gardu induk akan bekerja, dan seluruh fider akan kehilangan energi. Dalam keadaan tertentu satu fider tambahan disediakan yang menyediakan suatu sumber penyediaan energi alternatif. Hal ini dilakukan dengan suatu saklar pindah.



**Gambar 2.2**

**Skema Saluran Sistem Radial**



**Gambar 2.3**

**Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah**

b. Sistem Lup ( Loop)

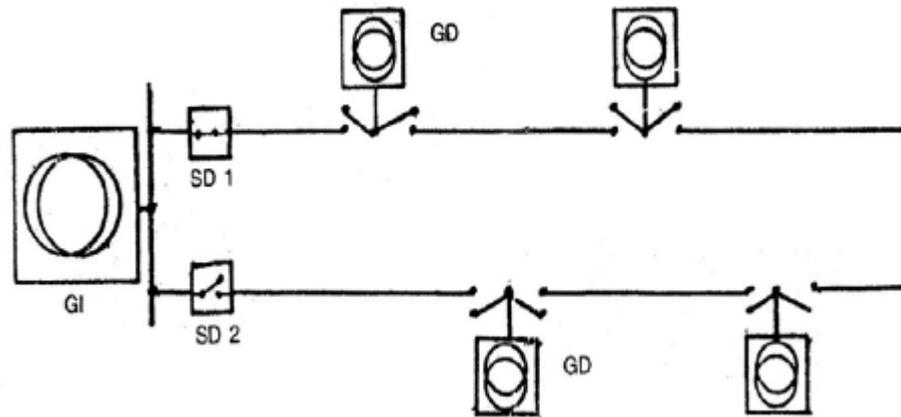
Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain fider sebagai lup (loop) dengan menyambung kedua ujung saluran. Hal ini mengakibatkan bahwa suatu pemakai dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bila mana pasokan dari salah satu arah terganggu, pemakai itu akan disambung pada pasokan arah lainnya. Kapasitas cadangan yang cukup besar harus tersedia pada tiap fider. Sistem lup dapat dioperasikan secara terbuka, ataupun secara tertutup.

➤ Sistem Lup Terbuka

Pada sistem lup terbuka, bagian – bagian fider tersambung melalui alat pemisah (*disconnectors*), dan kedua ujung fider tersambung pada sumber energi. Pada suatu tempat tertentu pada fider, alat pemisah sengaja dibiarkan dalam keadaan terbuka. Pada dasarnya system ini terdiri atas dua fider yang dipisahkan oleh suatu pemisah, yang dapat berupa sekering, alat pemisah, atas daya. Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari fider yang terganggu dapat dilepas dan



menyambungnya pada fider yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan – jaringan yang relatif kecil.



**Gambar 2.4**

**Skema Rangkaian Lup Terbuka**

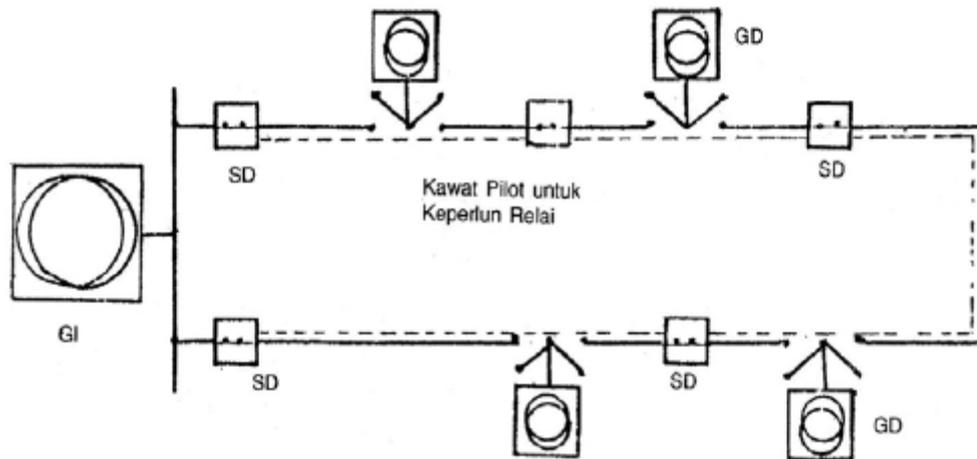
Catatan :

SD 1 = Saklar Daya, biasanya tertutup.

SD 2 = Saklar Daya, biasanya terbuka.

➤ **Sistem Lup Tertutup**

Pada sistem lup terbuka diperoleh suatu tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat – alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar – saklar daya itu digerakan oleh relai yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian fider yang tersisa tetap berada dalam keadaan berenergi. Pengoperasian relai yang baik dioperasikan dengan mempergunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya. Kawat pilot ini cukup mahal untuk dipasang dan dioperasikan.



**Gambar 2.5**

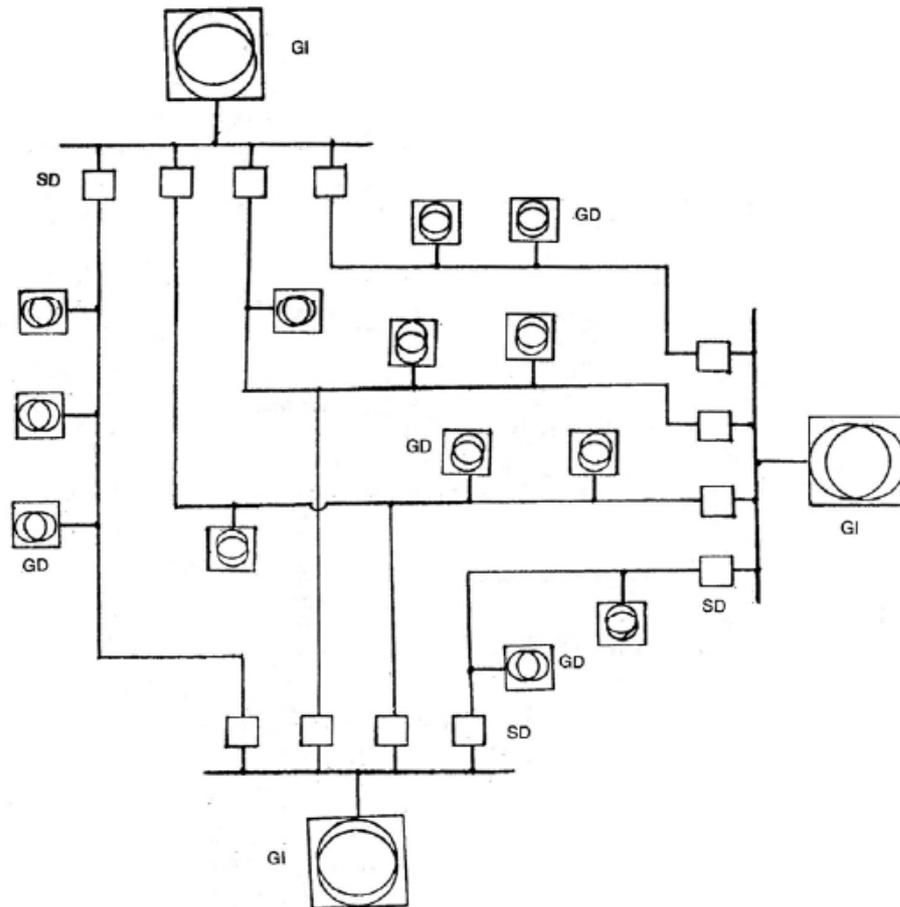
**Skema Rangkaian Lup Tertutup**

Catatan :

SD = Saklar Daya, biasanya tertutup, dikendalikan melalui kawat pilot.

c. Sistem Jaringan Primer

Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran – saluran utama atau fider yang terdapat pada sistem radial sehingga merupakan suatu kisi – kisi atau jaringan (Gambar 2.6). kisi – kisi ini diisi dari beberapa sumber atau gardu induk. Sebuah saklar daya transformator dan jaringan yang dikendalikan oleh relai arus balik (*reverse currents*) dan relai – relai penutupan kembali otomatis (*automatic reclosing relays*), melindungi jaringan terhadap terjadinya arus – arus gangguan bila hal ini terjadipada sisi pengisian dari gardu induk. Bagian – bagian jaringan yang terganggu akan dipisahkan oleh saklar daya dan sekring.



Gambar 2.6

### Skema Sistem Jaringan Primer

Catatan :

GI = Gardu Induk.

GD = Gardu Distribusi.

SD = Saklar Daya.

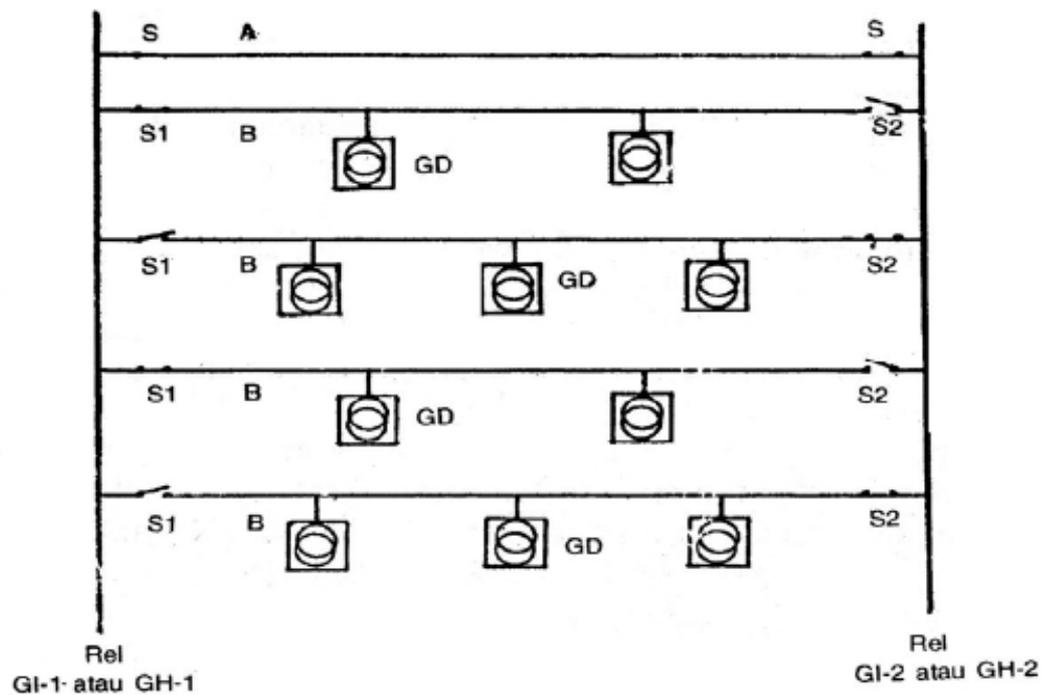
Alat untuk pemisahkan pada fider tidak diperlihatkan

#### d. Sistem Spindel

Menurut skema prinsip dari sistem spindle yaitu dengan mengubungi rel dari satu GI (atau GH) dengan rel dari GI (atau GH) lain. Keistimewaannya adalah bahwa selain kabel – kabel, atau fider, yang mengisi beberapa buah GD, terdapat satu kabel



(kabel selalu menghubungkan rel kedua GI (atau GH) itu). Sedangkan kabel – kabel B memperoleh pengisian hanya dari salah satu GI (atau GH). Bilamana salah satu kabel B atau salah satu GD terganggu, maka pengisian dapat diatur sedemikian rupa, dari sisi I dan atau sisi II hingga dapat dihindari terjadinya suatu pemadaman, ataupun pemadaman terjadi secara minimal. Sistem ini member keandalan operasi yang cukup tinggi dengan investasi tambahan berupa kabel A yang relatif rendah. Bilamana kabel A terganggu maka saklar S akan bekerja, dan system spindle ini sementara akan bekerja sebagai suatu sistem “biasa”.



**Gambar 2.7**

**Skema Prinsip Sistem Spindel**

Catatan :

GI = Gardu Induk.

GH = Gardu Hubung.

GD = Gardu Distribusi.



- S = Saklar.  
 A = Pengisi khusu tanpa beban GD.  
 B = Pengisian biasa dengan beban GD.

## 2. Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder mempergunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan – pertimbangan perihal keandalan pelayanan dan regulasi tegangan.

Sistem sekunder dapat terdiri atas empat jenis umum :

- Sebuah transformator tersendiri untuk tiap pemakai.
- Penggunaan satu transformator dengan saluran tegangan rendah untuk sejumlah pemakai.
- Penggunaan satu saluran tegangan rendah yang tersambung pada beberapa transformator yang terpasang secara paralel.
- Suatu jaringan tegangan rendah yang agak besar diisi oleh beberapa transformator, yang pada gilirannya diisi oleh dua sumber energi atau lebih. Jaringan tegangan rendah ini melayani suatu jumlah pemakai yang cukup besar. Hal ini dikenal sebagai jaringan sekunder atau jaringan tegangan rendah.<sup>5</sup>

## 2.6 Kawat Penghantar

Konduktansi atau kawat penghantar yang biasa digunakan pada transmisi maupun distribusi adalah tembaga dengan konduktivitas 100 % (Cu = 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (Cu = 97,5 %) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambang sebagai berikut :

<sup>5</sup> Kadir, Abdul. 2000. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik Jakarta : Universitas Indonesia, hal. 8-29.



AAC = “All-Aluminium Conductor”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.

AAAC = “All-Aluminium Alloy Conductor”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

ACSR = “Aluminium Conductor, Steel-Reinforced”, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.

ACAR = “Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced”, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.<sup>6</sup>

## 2.7 Jenis – Jenis Hantaran Pada Jaringan

### 2.7.1 Jaringan Hantaran Udara (*Over Head Line*)

Jaringan hantar udara 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 dari jenis tembaga atau dari penghantar jenis aluminium. Tiang – tiang jaringan primer atau ekunder biasanya dapat berupa tiang kayu, besi, atau dari beton tetapi biasanya untuk tiap jaringan distribusi yang paling banyak digunakan adalah tiang dari jenis besi. Hantar udara sering juga disebut saluran udara merupakan penghantar energi listrik, tegangan menengah ataupun tegang rendah, yang dipasang diatas tiang listrik diluar bangunan. Terutama hantaran udara telanjang digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator – isolator di antara tiang – tiang yang disediakan secara khusus untuk maksud itu. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas jenis BCC, AAC, ACSR, AAAC dan sebagainya.

<sup>6</sup> Hutahuruk. T. S. 1993. *Tranmisi Daya Listrik* Erlangga : Jakarta, hal. 4.



Beberapa pertimbangan untuk saluran udara dapat disebut sebagai berikut.

Keuntungan – keuntungan pada jaringan hantar udara yaitu :

- Mudah melakukan perluasan pelayanan dengan menarik cabang yang diperlukan.
- Mudah melakukan pemeriksaan bila terjadi gangguan pada jaringan.
- Mudah melakukan pemeliharaan jaringan.
- Harga relatif murah.

Kerugian pada jaringan hantar udara yaitu :

- Tidak merupakan keindahan
- Mudah terjadi gangguan
- Medan elektromagnetik dari saluran berbahaya bagi manusia dan sekitarnya.

### **2.7.2 Kabel Tanah (*Underground Cable*)**

Bahan untuk kabel dan kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga atau aluminium. Sebagai isolasi digunakan bahan – bahan berupa kertas serta pelindung mekanikal berupa timah hitam. Untuk tegangan menengah sering dipakai juga minyak sebagai isolasi. Jenis kabel demikian dinamakan GPLK (*Gewapend Papier Lood Cabel*) yang merupakan standar Belanda, atau NKBA (*Normalkabel mit Bleimantel Aussenumheullung*), standar Jerman.

Beberapa pertimbangan bagi kabel tanah dapat dikemukakan hal – hal berikut.

Keuntungan atau kelebihan berupa :

- Tidak mengganggu penglihatan maupun lingkungan
- Pengoperasian lebih mudah karena tidak terganggu oleh petir atau angin ribut



Sedangkan kekurangannya adalah :

- Harganya yang tinggi
- Sulit menemukan letak gangguan dan melakukan perbaikan <sup>7</sup>

## **2.8 Pembatas – Pembatas Dari Sistem Distribusi**

Pembatas – pembatas yang harus diperhitungkan agar sistem distribusi daya bekerja benar dan dapat diandalkan diberikan di bawah ini.

### **2.8.1 Suhu**

Suhu membatasi besarnya arus beban. Ini berarti bahwa batas beban untuk tipe sistem elemen lebih ditentukan oleh suhu daripada 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.

### **2.8.2 Ekonomis**

Sebagai biaya dipakai pula disipasi panas dalam sistem komponen, dalam hal ini merupakan kerugian. Tingkat ekonomis pembebanan dicapai bila biaya untuk membayar kerugian sama dengan biaya untuk mengurangi kerugian (berdasarkan biaya tahunan).

Meskipun pada kota yang padat beban, pembebanan yang normal pada komponen di bawah batas ekonomis. Ini dipakai untuk menjaga agar batas tidak dilampaui meskipun untuk waktu sesaat dalam keadaan darurat

---

<sup>7</sup> Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik Jakarta* : Universitas Indonesia, hal. 34-38.



---

### **2.8.3 Tegangan Jatuh**

Batas suhu dan ekonomi langsung berhubungan dengan besarnya beban dalam hal ini “menentukan jumlah catu.” Batas tidak langsung juga ditentukan oleh tegangan jatuh yang diizinkan. Batas tegangan dilihat dari konsumen yang ditentukan oleh tegangan jatuh yang diizinkan. Batas tegangan dilihat dari konsumen yang ditentukan, dan kemudian menentukan dalam disain komponen sistem. Biasanya ada penyediaan tegangan jatuh yang diperbolehkan pada tiap komponen yang akhirnya membatasi aliran beban.

Batas – batas catu tegangan rendah tidak seimbang ditentukan untuk menghindari panas lebih dan kerugian dalam sistem dan tidak bekerjanya motor – motor.

### **2.8.4 Kemampuan Menghadapi Kesalahan Arus**

Tingkat kesalahan masa datang di daerah perkotaan menjadi sangat besar dengan adanya penambahan yang terus – menerus pada sistem transmisi dan distribusi. Tergantung pada cara penyusunan sistem, switch harus mampu menghubungkan dan melepaskan tingkat kesalahan yang ada. Dari segi saluran catu, lamanya kesalahan berlangsung sama pentingnya dan ditentukan oleh kemampuan switch dan persyaratan mutu relai. Ini sering menimbulkan persoalan – persoalan di daerah perkotaan yang sedang berkembang, di mana dibutuhkan mutu relatif beban lebih yang lebih baik pada saluran – saluran catu tertentu yang menggabungkan beban – beban kecil atau sambungan T. Demikian juga penutupan kembali secara otomatis dapat mendukung alasan – alasan keterandalan yang sangat menentukan kemampuan kawat penghantar dalam mengatasi kesalahan.



### 2.8.5 Tegangan – Tegangan Lebih

Di luar tegangan jatuh, komponen – komponen harus mampu menghadapi loncatan tegangan yang ditimbulkan sistem sendiri atau oleh sumber dari luar.

### 2.8.6 Kedipan dan Penurunan Tajam Tegangan

Besar dan frekuensi fluktuasi yang dapat menimbulkan gangguan yang mengganggu dicatat betul – betul. Bila peralatan yang dipakai di bawah tingkat yang dapat diterima, dibutuhkan susunan pencatutan yang khusus dan staf operasi harus waspada bahwa tidak ada switch yang ditoleransi untuk dipakai paralel dengan konsumen biasa. Misalnya, untuk beban pengelasan perlu dipasang distribusi tegangan rendah tersendiri dan kadang – kadang juga transformator tersendiri. Catu ke beban dapur peleburan biasanya dari transformator yang terpisah dan saluran catu terpisah mulai dari titik catu utama. Peraturan pelayanan menyatakan perlunya melindungi konsumen dari gangguan yang disebabkan oleh alat – alat seperti misalnya thyristor . penyebab lain yang sudah diketahui mengenai gangguan tegangan dan penurunan tegangan adalah kesalahan – kesalahan sistem dan pengujian arus yang besar.<sup>8</sup>

## 2.9 Parameter Saluran

Pada saluran distribusi dipergunakan kawat udara atau kabel tanah sebagai penghantar untuk penyaluran daya listrik. Penghantar tersebut mempunyai impedansi yang terdiri dari resistansi. Besarnya resistansi sangat bergantung pada jenis penghantar, panjang dan luas penampang penghantar atau yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$= \rho - \dots\dots\dots 2.1$$

<sup>8</sup> Pabla, A. S, Ir. Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik Erlangga : Jakarta, hal. 112 – 113.

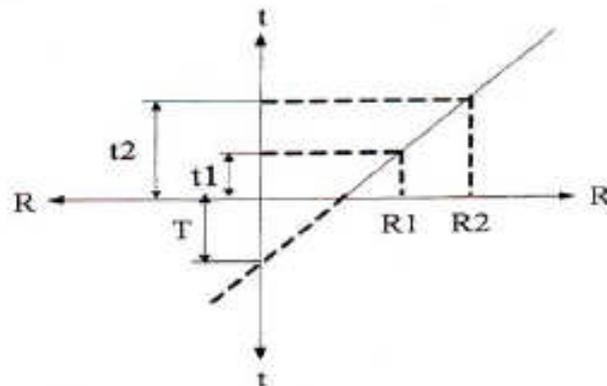


Dimana :

- R = Resistansi kawat penghantar ( $\Omega$ ),
- l = Panjang konduktansi / kawat penghantar ( $\text{mm}^2/\text{m}$ ),
- A = Penampang konduktor ( $\text{mm}^2$ ), dan
- = Resistivitas / tahanan jenis kawat ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )<sup>9</sup>

### 2.9.1 Resistansi Saluran

Resistansi (tahanan) dari suatu penghantar berubah untuk setiap perubahan temperatur, untuk perhitungan-perhitungan teknis, tahanan dapat dianggap linier untuk perubahan temperatur tertentu. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar seperti pada gambar 2.8 dibawah ini :



**Gambar 2.8**

#### **Resistansi Suatu Penghantar Logam Sebagai Fungsi Dari Suhu**

Jika tahanan searah suatu penghantar pada suatu temperatur tertentu diketahui, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$R_2 = R_1 \left[ \frac{1 + \alpha (t_2 - t_0)}{1 + \alpha (t_1 - t_0)} \right] \dots\dots\dots 2.2$$

<sup>9</sup> Stevenson, William D. 1993. Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi keempat. Jakarta : Erlangga, hal. 39.



Dimana :

= resistansi penghantar pada temperature dalam derajat Celsius.

= resistansi penghantar pada temperature dalam derajat Celsius.

T = konstanta untuk suatu penghantar tertentu yang ditentukan dari grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut :

T = 234,5 untuk tembaga “annealed” dengan konditukvitas 100 %

T = 241 untuk tembaga “hard draw” dengan konduktivitas 97,3 %

T = 228 untuk alumunium “hard draw” dengan konduktifitas 61 %<sup>10</sup>

Untuk mendapatkan tahanan bolak – balik pada temperatur dan frekuensi tertentu dapat dipergunakan persamaan sebagai berikut :

$$= = \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

= Tahanan bolak –balik pada temperature dan frekuensi tertentu ( $\Omega$  / mile)

= tahana dc pada temperature tertentu ( $\Omega$  / mile)

K = kontanta yang tergantung dari harga I pada efek kulit (skin effect)

dimana K = 0,85726.1

Sedangkan untuk harga X sendiri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$= 0,063598 \cdot \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

= tahanan arus searah dari kunduktor pada temperature yang sudah diketahui ( $\Omega$  / mile)

F = frekuensi bolak balik ( Hz )

= permabeilitas konduktor untuk beban non magnetic sebesar = 1

<sup>10</sup> Stevenson, William D. 1993. Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi keempat. Jakarta : Erlangga, hal. 40.

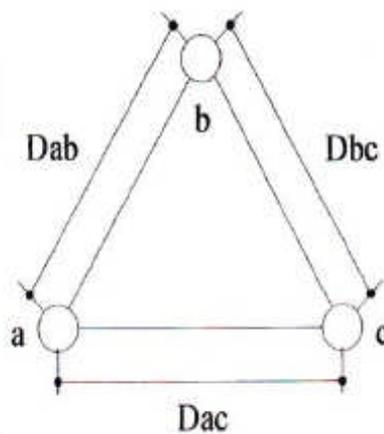


**2.9.2 Induktansi**

Induk tansi kawat tiga fasa pada umumnya berlainan untuk masing-masing kawat.namun karna perbedaannya kecil, nilai induktansi dari penghantar yang ditranposisikan yang di ambil, bila ketidak keseimbangannya tidak terlampau besar.

Besar induktansi saluran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$= + 0,461 . \quad - .10 \quad \dots\dots\dots 2.5^{11}$$



**Gambar 2.9**

**Penampang Penghantar Yang Berjarak Sama Pada Suatu Saluran Tiga Fasa**

Besarnya GMD ( geometri mean distance) dapat dihitung berdasarkan konfigurasi saluran pada tiang dan spesifikasi penghantar yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$= \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots}$$

Dimana :

L = Induktansi saluran ( Hanry / Km)

I = Induktansi karena fluxs magnet dalam kawat sebesar 0,05 untuk kawat penampang bulat ( = 1)

<sup>11</sup> Cekdin, Cekmas dan Barlian Taufik.2013. Transmisi Daya Listrik. Yogyakarta : Andi



- $r$  = Radius masing-masing penghantar (mm)  
 $D$  = Jarak antara masing-masing penghantar (cm)  
 $S$  = Geometri Mean Distance (GMD)

Untuk menentukan besarnya nilai reaktansi induktif dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$= 2\pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

- $\omega$  = reaktansi kawat penghantar (  $\Omega$  )  
 $\pi$  = sudut arus bolak balik  
 $f$  = frekuensi arus bolak-balik ( Hz )  
 $L$  = induktansi kawat penghantar ( Henry )<sup>12</sup>

## 2.10 Daya Listrik

Pengertian dari pada daya listrik adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus serta diperhitungkan juga factor kerjanya, daya listrik tersebut antara lain:

1. Daya semu
2. Daya aktif
3. Daya reaktif

### 2.10.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran transmisi atau saluran distribusi, dengan arti lain daya semu adalah perkalian antara tegangan dan arus.

<sup>12</sup> Stevenson, William D. 1993. Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi keempat. Jakarta : Erlangga, hal. 54 - 57.



Daya semu untuk satu fasa

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots 2.7$$

Daya semu untuk tiga fasa

$$S = \sqrt{3} V \cdot I \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

V = tegangan kerja ( Volt )

I = arus yang mengalir ( Ampere )

S = daya semu ( VA, KVA, MVA )

### 2.10.2 Daya Aktif ( Daya Nyata)

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan-keperluan seperti untuk mengerjakan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan factor dayanya.

Daya aktif untuk satu fasa

$$P = V \cdot I \cos \theta \dots\dots\dots 2.9$$

Daya aktif untuk tiga fasa

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \theta \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

P = daya Aktif ( W, KW, MW )

V = tegangan kerja ( Volt)

I = arus yang mengalir ( Ampere )

$\cos \theta$  = factor daya



### 2.10.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada saluran daya aktif yang terpakai untuk daya mekanis panas.

Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \theta \dots\dots\dots 2.11$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

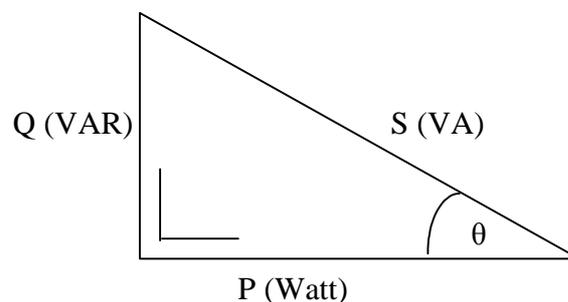
$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \theta \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

- Q = daya reaktif (VAR, KVAR, MVAR)
- V = besarnya tegangan kerja (V, KV, MV)
- I = besarnya kuat arus (Ampere)
- Sin  $\theta$  = factor daya

### 2.10.4 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah hubungan antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif . sehingga dapat digambarkan dalam suatu segitiga daya seperti berikut :



**Gambar 2.10 Segitiga Daya**

Dimana :

$$S = P + Q$$



$$= .$$

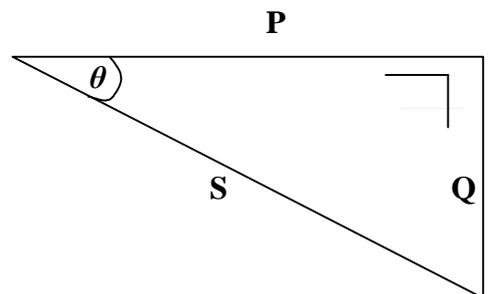
$$= .$$

$Q$  = Daya reaktif yang terdiri dari :

$Q$  = Daya reaktif induktif

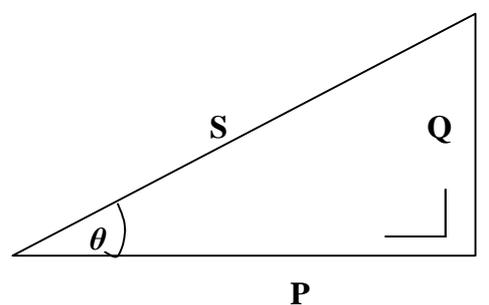
$Q$  = Daya reaktif kapasitif<sup>13</sup>

Bila  $Q$  tegak dibawah maka arah  $Q$  tegak keatas



Beban Induktif :

- I Lagging dari V
- $\cos \theta =$  Positif
- $\sin \theta =$  Negatif



Beban Kapasitif

- I Leading dari V
- $\cos \theta =$  Positif
- $\sin \theta =$  Negatif

**Gambar 2.11**

**Beban Induktif dan Beban Kapasitif**

## 2.11 Model Saluran Distribusi

Saluran distribusi digambarkan melalui suatu model ekuivalen dengan mengambil parameter rangkaian pada suatu basis per fasa. Tegangan terminal digambarkan dari satu saluran ke netral, arus dari satu fasa saluran sehingga

<sup>13</sup> Stevenson, William D. 1993. Analisa Sistem Tenaga Listrik edisi keempat. Jakarta : Erlangga, hal. 16 - 19.



sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi berkurang menjadi ekivalen sistem distribusi fasa tunggal.

Model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan, arus dan aliran daya yang dipengaruhi oleh panjang saluran. Model saluran distribusi diperoleh dengan mengalihkan impedansi saluran persatuan panjang dengan panjang saluran.

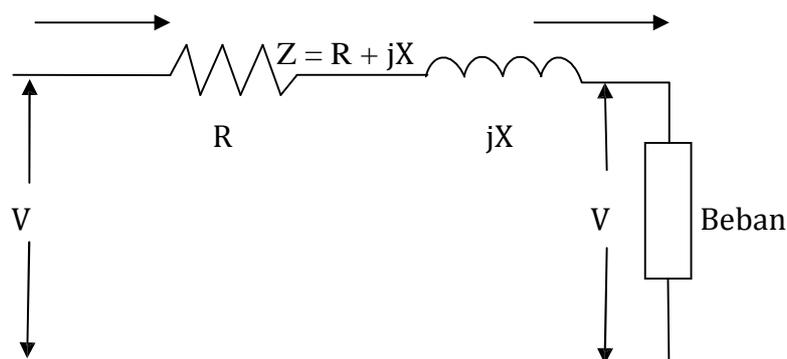
$$Z = (r + j\omega L)l$$

$$Z = R + jX^{14} \dots\dots\dots 2.13$$

## 2.12 Rugi - Rugi Tegangan Dalam Jaringan

Setiap penyaluran energi listrik dari sumber tegangan ke konsumen yang letaknya berjauhan dan pasti akan mengalami kerugian-kerugian. Adapun salah satu kerugian-kerugian tersebut adalah kerugian tegangan, hal ini disebabkan karena setiap saluran distribusi mengalami hambatan, induktansi, dan kapasitansi. Untuk nilai kapasitansi saluran distribusi biasanya relative kecil sehingga diabaikan.

Dengan demikian berdasarkan dari penjelasan diatas maka dapat dibuat ekivalen seperti gambar 2.12.



**Gambar 2.12**

### **Rangkaian Ekuivalen Saluran Distribusi**

<sup>14</sup> Cekdin, Cekmas dan Barlian Taufik.2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta : Andi. Hal 43



Berdasarkan gambar rangkaian equivalent diatas, jika ada arus yang mengalir melalui saluran distribusi maka akan terjadi penurunan tegangan sepanjang saluran. Dengan demikian tegangan pada pusat beban tidak sama besar dengan tegangan pengiriman.

Penurunan tegangan terjadi dari dua komponen :

- $I \cdot R$  yaitu rugi – rugi tegangan akibat tahanan saluran
- $I \cdot X$  yaitu rugi – rugi tegangan akibat tahanan saluran

Sehingga kerugian tegangan pada saluran distribusi sapat dinyatakan :

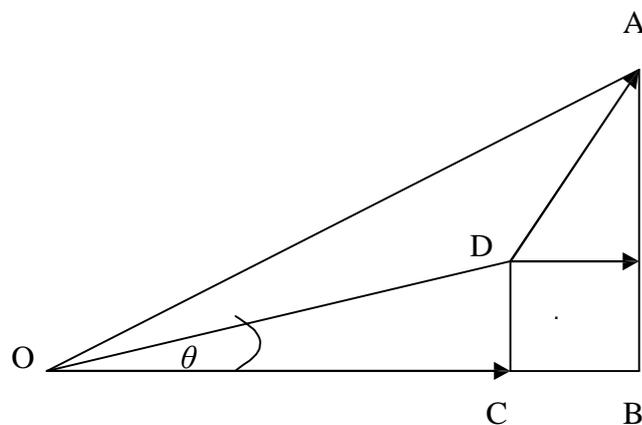
$$\begin{aligned} \Delta V &= V_s - V_r \\ &= I R + I X \\ &= (I R + I X) \dots\dots\dots 2.14 \end{aligned}$$

Dimana :

$\Delta V$  = rugi tegangan (V, KV, MV)

= besarnya tegangan pangkal pengiriman (V, KV, MV)

= besarnya tegangan pangkal penerima (V, KV, MV)



**Gambar 2.13**

### **Diagram Phasor Tegangan**

Untuk menentukan rugi-rugi tegangan pada jaringan distribusi primer dapat menggunakan dengan sistem pendekatan seperti pada diagram phasor diatas yaitu dengan mengkonsumsikan bahwa sudut antara  $V_s$  dengan  $V_r$  tersebut berhimpit maka di dapat lah persamaan sebagai berikut :



Berdasarkan segitiga COD diatas, maka

$$OA =$$

$$OC = OD \cdot \cos \theta$$

$$= \dots \cdot \cos \theta$$

$$CD = OD \cdot \sin \theta$$

$$= \dots \cdot \sin \theta$$

$$= \sqrt{(\dots)^2 + (\dots)^2}$$

$$= \sqrt{(\dots \cdot \dots + \dots \cdot \dots)^2 + (\dots \cdot \dots + \dots \cdot \dots)^2}$$

$$OD = V_r$$

$$= \dots - (\dots \cdot \dots \cdot \cos \theta + \dots \cdot \dots \cdot \sin \theta)$$

$$\dots - \dots = \dots \cdot (\dots \cdot \cos \theta + \dots \cdot \sin \theta)$$

$$\Delta V = \dots \cdot (\dots \cdot \cos \theta + \dots \cdot \sin \theta) \dots \dots \dots 2.15$$

Dimana :

$$\Delta V = \text{Rugi tegangan (V, KV, MV)}$$

$$V = \text{Besarnya tegangan pengiriman (V, KV, MV)}$$

$$V = \text{Besarnya tegangan beban (V, KV, MV)}$$

$$R = \text{Nilai resistansi pada saluran } (\Omega)$$

$$X = \text{Nilai reaktansi pada saluran } (\Omega)$$

$$I = \text{Besarnya arus pada beban (A)}$$

$$\cos \theta = \text{Besarnya faktor daya}$$

$$\sin \theta = \text{Faktor kerja}$$

Dimana besarnya tegangan yang diterima :

$$\Delta = \dots - \Delta$$



Maka besar nilai persentase ( % ) rugi tegangan adalah :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta}{\Delta} \times 100\% \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana :

$\Delta$  = Tegangan kerja sistem (Volt)

$\Delta V$  = Rugi-rugi tegangan (Volt)

$\% \Delta V$  = Persentase rugi-rugi tegangan (%)<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> <http://modalholong.wordpress.com/2012/12/21/tegangan-jatuh-drop-tegangan/> diakses tanggal 4 Agustus 2014, jam 14.00 WIB