



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan semua bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan sumber daya besar (*big power source*) dengan rangkaian pelayanan pada konsumen. Fungsi utama dari sistem distribusi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari sumber daya ke pemakai atau konsumen. Baik buruknya suatu sistem distribusi dinilai dari bermacam-macam faktor, diantaranya menyangkut hal-hal sebagai berikut :

- a. kontinuitas pelayanan
- b. efisiensi
- c. fleksibilitas
- d. regulasi tegangan
- e. harga sistem

Dari 5 hal-hal diatas, masalah-masalah yang dihadapi dalam suatu sistem jaringan distribusi adalah bagaimana menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dengan cara sebaik-baiknya untuk saat tertentu dan juga untuk masa yang akan datang. Pada sistem distribusi, harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut :

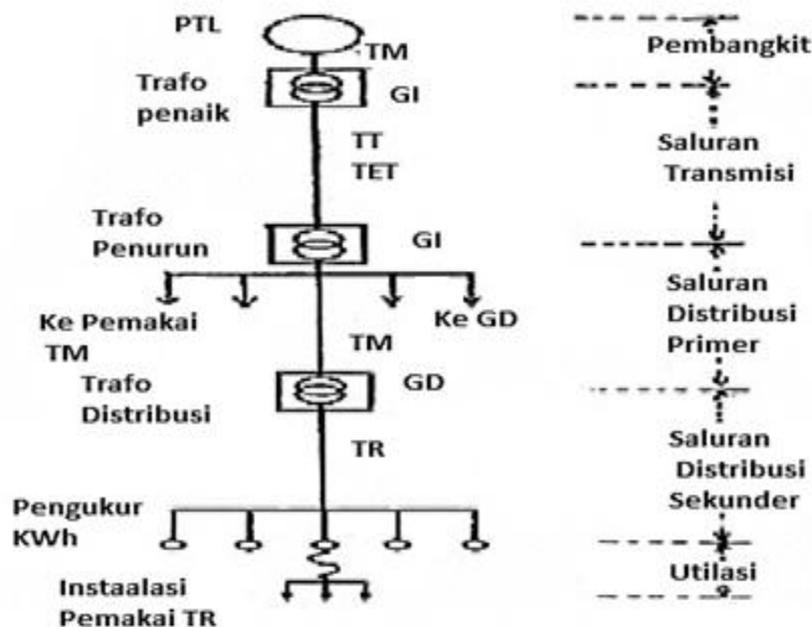
- a. Gangguan terhadap pelayanan (*interruption*) tidak boleh terlalu sering
- b. Gangguan terhadap pelayanan pada suatu daerah tidak boleh terlalu lama
- c. Regulasi tegangan tidak terlampau besar
- d. Biaya sistem operasional harus serendah mungkin
- e. Harus fleksibel (mudah menyesuaikan diri dengan keadaan yang terjadi, seperti perubahan-perubahan pada sistem perubahan beban yang tidak menelan biaya yang tinggi).

Sekalipun tidak terdapat suatu sistem tenaga listrik yang “tipikal”, namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu sistem yang lengkap mendapat empat unsur :



1. Adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM).
2. Suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT).
3. Adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM), dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR).
4. Adanya unsur pemakaian atas utilisasi, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri menggunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi¹.

Adapun dibawah ini gambar line diagram sederhana dari sistem tenaga listrik beserta gambar dan penjelasannya :



Gambar 2.1

Sistem Tenaga Listrik

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 5)

¹ (Abdul Kadir. 2000. Sistem Distribusi dan Utilasi Listrik tahun : hal 3-5).



Keterangan :

PTL	= Pembangkit Tenaga Listrik
GI	= Gardu Induk
TR	= Tegangan Rendah
TT	= Tegangan Tinggi
TET	= Tegangan Ekstra Tinggi
TM	= Tegangan Menengah
GD	= Gardu Distribusi

Berdasarkan gambar di atas, maka dapat dikelompokkan dalam beberapa pembagian sebagai berikut:

1. Daerah I :Bagian pembangkitan (*generation*).
2. Daerah II :Bagian penyaluran (*transmission*) bertegangan tinggi (HV, UHV, dan EHV).
3. Daerah III :Bagian distribusi primer bertegangan menengah (6, 12, atau 20 kV).
4. Daerah IV :Bagian distribusi sekunder bertegangan rendah.

2.2 Sistem Distribusi

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.
2. Merupakan Sub Sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Secara singkat fungsi dari bagian-bagian sistem distribusi adalah sebagai berikut :



a. gardu induk transmisi

Merupakan gardu induk yang mensuplai sumber daya listrik besar.

b. saluran sub transmisi

Saluran subtransmisi adalah saluran yang berfungsi menyalurkan listrik dari sumber daya besar menuju gardu induk pada suatu tegangan subtransmisi yang terletak didaerah beban.

c. gardu induk sub transmisi

Gardu induk berfungsi menerima daya listrik dari saluran subtransmisi dan menurunkan tegangannya menjadi tegangan saluran distribusi primer.

d. gardu hubung

Gardu hubung berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk dan menyalurkan tegangan primernya menuju gardu induk.

e. gardu distribusi

Gardu distribusi berfungsi mengubah tegangan primer menjadi tegangan sekunder, kemudian membaginya ke setiap titik langganan.

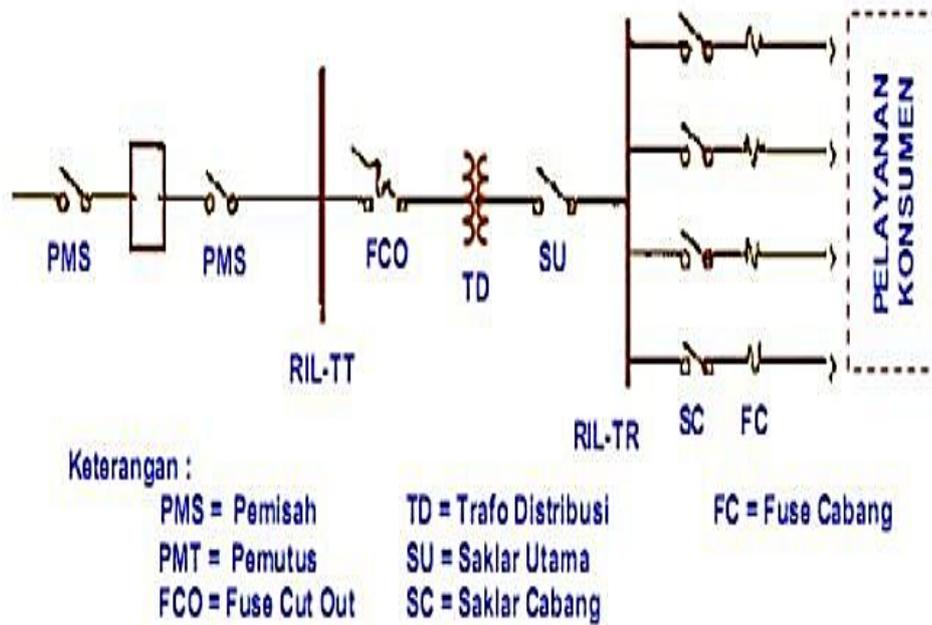
f. jaringan distribusi primer

Saluran primer adalah saluran yang menghubungkan gardu induk dengan beberapa gardu distribusi pada suatu tegangan primer. Saluran ini biasanya tiga fasa, terdiri dari kabel tanah, kabel udara, atau hantaran terbuka.

g. jaringan distribusi sekunder

Saluran sekunder adalah saluran diantara gardu distribusi dan langganan, saluran ini berfungsi menyalurkan daya dari gardu distribusi ke rangkaian pemakai.

Sistem distribusi juga mempunyai komponen-komponen mulai dari PMS sampai dengan Beban Konsumen sehingga dapat dilihat pada gambar 2-2 dibawah ini :



Gambar 2-2

Komponen Sistem Distribusi

(Sumber : <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik.html>)

2.3 Distribusi Primer

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

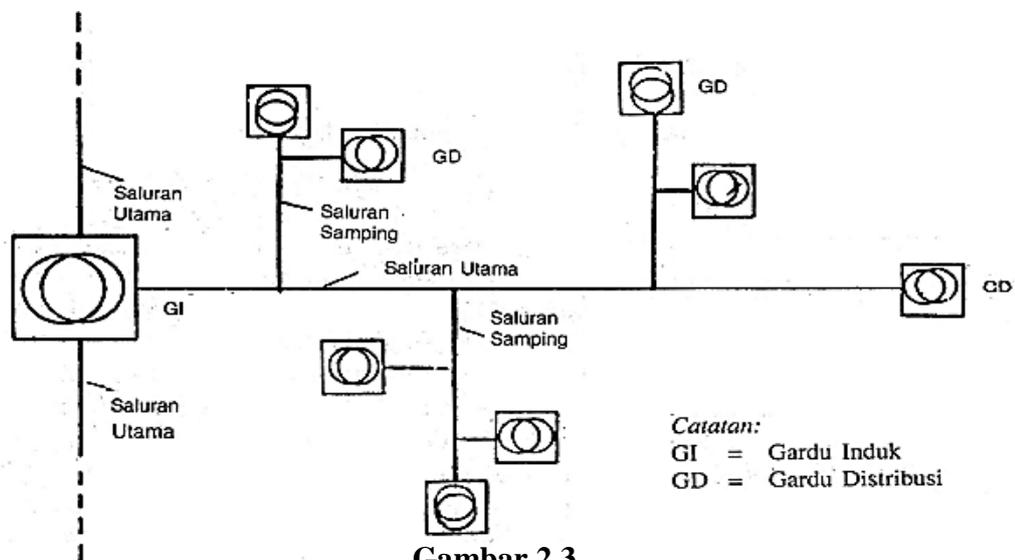
Pada distribusi primer terdapat tiga jenis dasar, yaitu

1. Sistem Radial.
2. Sistem Lup.
 - a) Lup (*Loop*) Terbuka
 - b) Lup (*Loop*) Tertutup
3. Sistem Jaringan Primer.
4. Sistem Spindel.



2.3.1 Sistem radial

Adalah yang paling sederhana dan paling banyak dipakai, terdiri atas penyulang atau rangkaian tersendiri yang seolah-olah keluar dari suatu sumber atau wilayah tertentu secara radial. penyulang ini dapat juga dianggap sebagai suatu bagian utama dari mana saluran samping atau lateral lain bersumber dan dihubungkan dengan trafo distribusi. saluran samping sering disambung pada *feeder* dengan CB (*Circuit Breaker*). Dengan demikian gangguan pada saluran samping tidak akan mengganggu saluran *feeder*. Bila mana sekering ini tidak bekerja atau terdapat gangguan pada penyulang, proteksi pada saklar daya pada gardu induk akan bekerja, dan seluruh penyulang akan kehilangan energi. Pada keadaan tertentu satu penyulang tambahan disediakan, yang menyediakan suatu sumber penyedia energi alternatif. Hal ini dilakukan dengan suatu saklar pindah, sebagaimana terlihat pada gambar 2.3 dibawah. Saklar pindah itu dapat juga bekerja secara otomatis. Bila tegangan pada saluran operasional hilang, saklar dengan sendirinya akan memindahkan sambungan pada saluran alternatif.



Skema Saluran Sistem Radial

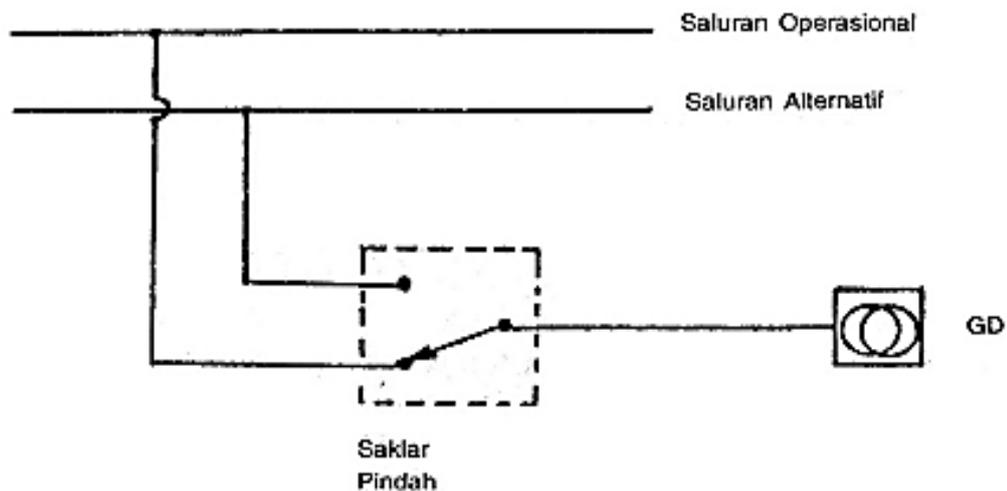
(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 22)



Catatan :

GI : Gardu Induk

GD : Gardu Distribusi



Gambar 2.4

Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 22)

2.3.2 Sistem loop

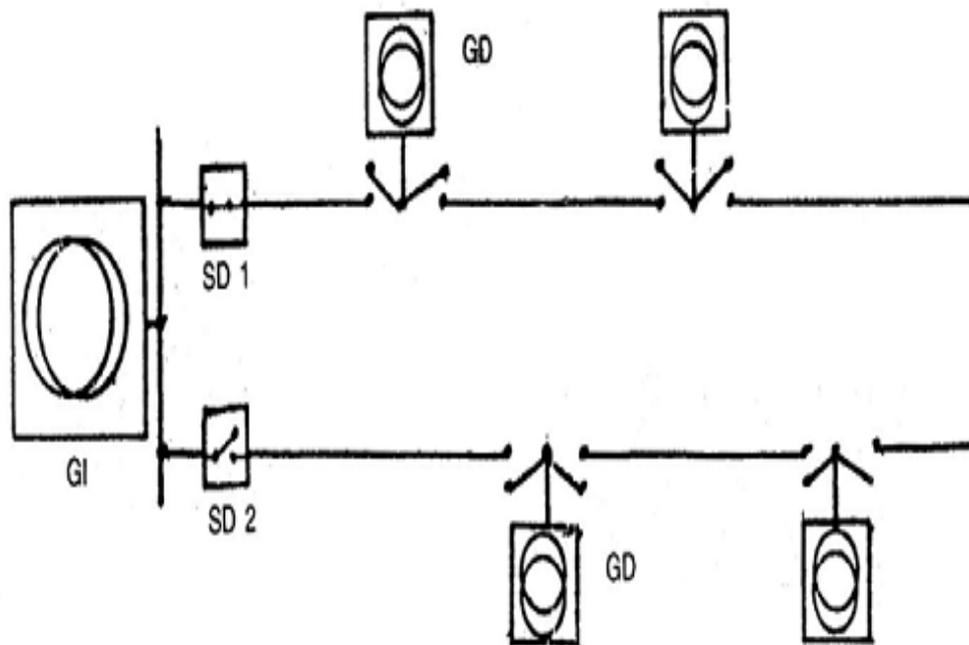
Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain penyulang sebagai *loop* dengan menyambung kedua saluran. Hal ini mengakibatkan bahwa suatu pemakai dapat memperoleh pasokan energi dari dua arah. Bilamana pasokan dari salah satu arah terganggu, pemakai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

a. sistem loop terbuka

Bagian-bagian penyulang disambung melalui alat pemisah (*disconnectors*) dan kedua ujung penyulang tersambung pada sumber energi. Pada suatu tempat tertentu pada penyulang, alat pemisah sengaja di biarkan dalam keadaan



terbuka. Pada dasarnya sistem ini terdiri atas dua penyulang yang dipisahkan oleh suatu pemisah, yang dapat berupa saklar daya atau alat pemisah (PMS). Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari penyulang yang terganggu dapat dilepas dan menyambungkannya pada penyulang yang tidak terganggu. Sistem demikian biasanya dioperasikan secara manual dan dipakai pada jaringan-jaringan relatif kecil.



Gambar 2.5

Skema Rangkaian Sistem Loop Terbuka

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 24)

Catatan :

SD1 : Saklar Daya, biasanya tertutup

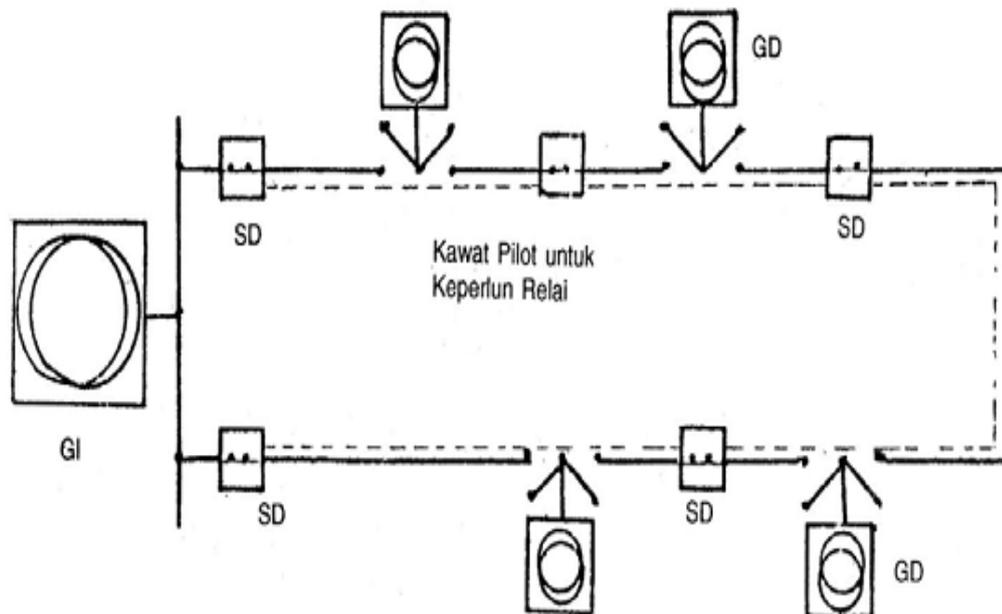
SD2 : Saklar Daya, biasanya terbuka

b. sistem loop tertutup

Diperoleh suatu tingkat keandalan yang lebih tinggi. Pada sistem ini alat-alat pemisah biasanya berupa saklar daya yang lebih mahal. Saklar-saklar daya itu digerakkan oleh rilai yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian penyulang yang tersisa tetap



berada dalam dalam keadaan berenergi. Pengoperasian kawat relay yang baik diperoleh dengan menggunakan kawat pilot yang menghubungkan semua saklar daya. Kawat pilot ini cukup mahal untuk dipasang dan dioperasikan.



Gambar 2.6

Skema Rangkaian Sistem Loop Tertutup

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 24)

Catatan :

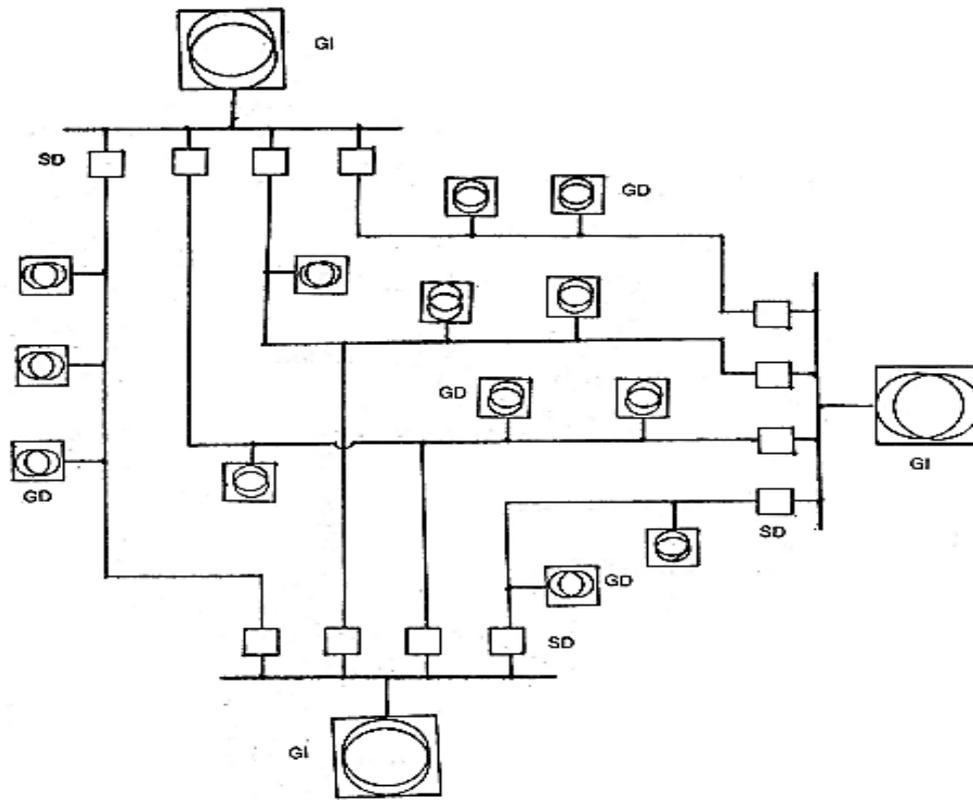
SD : Saklar Daya, biasanya tertutup dikendalikan oleh kawat pilot

2.3.3 Sistem jaringan primer

Walaupun beberapa studi memberi indikasi bahwa pada kondisi-kondisi tertentu sistem jaringan primer lebih murah an lebih andal daripada sistem radial, secara relatif tidak banyak sistem jaringan primer yang kini dioperasikan. Sistem ini terbentuk dengan menyambung saluran-saluran utama atau penyulang yang terdapat pada sistem radial sehingga merupakan suatu kisi-kisi atau jaringan. Kisi-kisi ini diisi dari beberapa sumber atau gardu induk. Sebuah saklar daya antara transformator dan jaringan dikendalikan oleh relai arus bolak-balik



(*reverse currents*) dan relai-relai penutupan kembali otomatis (*automatic reclosing relays*), melindungi jaringan terhadap terjadinya arus-arus gangguan bila hal ini terjadi pada sisi pengisian dari gardu induk. bagian-bagian jaringan yang terganggu akan dipisahkan oleh saklar daya.



Gambar 2.7

Skema Sistem Jaringan Primer

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 26)

Catatan :

GI : Gardu Induk

GD : Gardu Distribusi

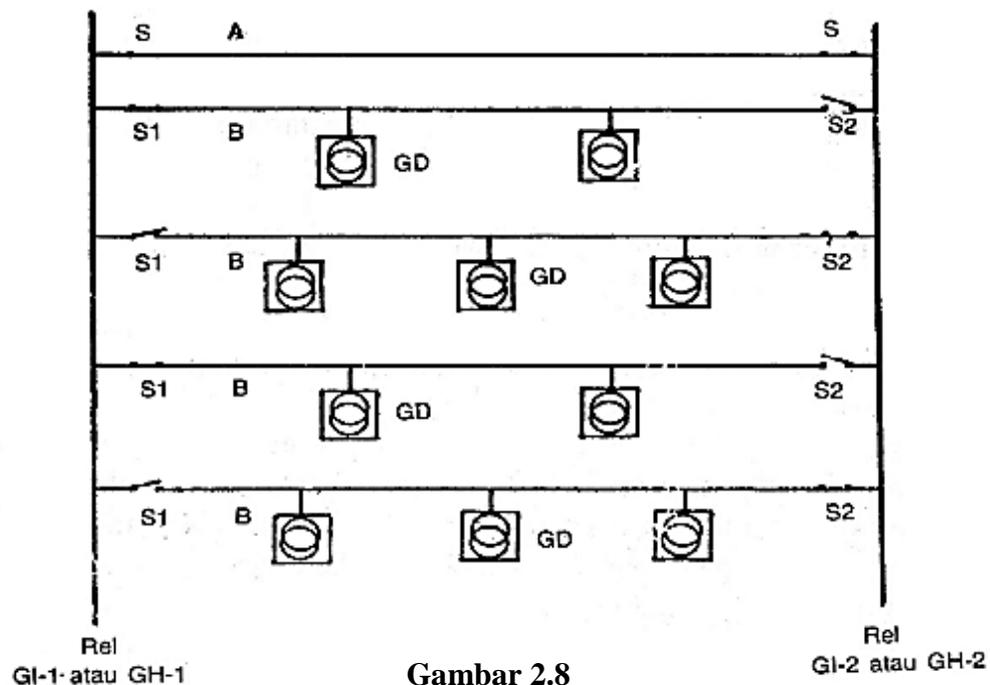
SD : Saklar Daya

Alat untuk pemisahan pada *feeder* (penyulang) tidak diperlihatkan.



2.3.4 Sistem spindel

Spindel ini menghubungkan rel dari satu GI (Gardu induk) atau GH (Gardu hubung) dengan rel dari GI (Gardu induk) atau GH (Gardu hubung) lain. Keistimewaannya adalah bahwa selain kabel-kabel, atau *feeder*, yang mengisi beberapa buah GD (Gardu distribusi), terdapat satu kabel yang tidak mendapat beban GD (Gardu distribusi). Kabel A ini selalu menghubungkan rel kedua GI (atau GH) itu. Sedangkan kabel-kabel B memperoleh pengisian dari salah satu GI (atau GH). Bila mana salah satu kabel B atau salah satu GD (Gardu distribusi) terganggu, maka pengisian dapat dilakukan dengan sedemikian rupa, dari sisi I atau sisi II hingga dapat dihindari terjadinya suatu pemadaman, ataupun pemadaman terjadi secara minimal. Sistem ini memberikan keandalan operasi yang cukup tinggi dan investasi tambahan berupa kabel A yang relatif rendah. Apabila kabel A terganggu maka saklar S akan bekerja, dan sistem spindel ini sementara akan bekerja sebagai suatu sistem biasa.



Gambar 2.8

Skema Prinsip Sistem Spindel

(Sumber : Abdul Kadir.2000.Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Hal 28)



Catatan :

- | | | | |
|----|---------------------|---|----------------------------------|
| GI | : Gardu Induk, | S | : Saklar |
| GH | : Gardu Hubung, | A | : Pengisi Khusus Tanpa beban GD |
| GD | : Gardu Distribusi, | B | : Pengisi Khusus dengan beban GD |

2.4 Hantaran Udara dan Kabel Tanah

Menurut Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia tahun 1987 (PUIL-1987) mengenal antara lain hantaran udara di luar bangunan dan kabel tanah. Instalasi aluran udara jauh lebih murah daripada instalasi kabel tanah. Di lain pihak, instalasi kabel tanah lebih mudah pemeliharaannya dibanding dengan saluran udara. Dari kedua jenis hantaran ini yaitu berupa hantaran udara terbuka (*Over Head Line*) atau hantaran bawah tanah (*Under Ground Cable*) dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut :

1. hantaran udara (*over head line*)

Hantaran udara dapat berupa kawat terbuka atau kabel udara. Sistem ini baik untuk daerah dengan kerapatan daerah beban rendah, seperti daerah pinggiran kota maupun daerah pedesaan, Hantaran udara murah untuk daerah-daerah seperti itu karena harga. Keuntungan –keuntungan yang dapat dicapai dari hantaran ini antara lain:

- a. Mudah melakukan pencabangan untuk keperluan perkembangan beban.
- b. Mudah mengadakan perbaikan gangguan, yang gangguan bersifat sementara.
- c. Mudah melakukan pemeriksaan jika terjadi gangguan pada jaringan
Tiang–tiang jaringan distribusi primer dapat pula dipergunakan untuk jaringan distribusi sekunder dan keperluan trafo atau gardu tiang (gardu distribusi) sehingga secara keseluruhan harga instalasinya murah.

Tiang-tiang jaringan distribusi primer atau sekunder biasanya dapat berupa tiang kayu, besi ataupun beton tetapi biasanya untuk jaringan distribusi yang paling banyak digunakan adalah tiang dari jenis besi karena memberikan keuntungan antara lain :



- a. Tiang tidak mudah terpengaruh oleh keadaan alam sehingga usai pemakaian lebih panjang bila dibandingkan dengan tiang kayu.
- b. Tiang besi juga dapat langsung sebagai elektroda pentanahan.

Dalam pengaturan rugi tegangan dalam hantaran udara terdapat suatu Standar yang menentukan rugi tegangan yaitu SPLN No 72 tahun 1987 (rugi tegangan pada JTM yang diperbolehkan) antara lain

- a. **2 %** dari tegangan kerja sebagaimana tercantum pada ayat 22 bagi sistem yang menggunakan sistem spindel dan gugus
- b. **5 %** dari tegangan kerja bagi sistem yang menggunakan sistem radial diatas tanah dan sistem simpul
- c. Rugi tegangan pada transformator distribusi diperbolehkan 3 % dari tegangan kerja

2. hantaran bawah tanah (*under ground cable*)

Hantaran bawah tanah menggunakan kabel tanah. Sistem ini biasanya digunakan pada daerah-daerah dengan kerapatan beban tinggi, seperti daerah pusat kota dan industri. Pada daerah-daerah tersebut, pembagunan hantaran udara terutama menggunakan kawat telanjang akan menemui kesulitan. Dengan demikian secara keseluruhan hantaran bawah tanah lebih banyak dipakai walaupun harganya relative lebih mahal. Keuntungan dari hantaran ini adalah tidak dipengaruhi oleh perubahan cuaca sambaran petir maupun oleh pepohonan serta gangguan yang disebabkan oleh manusia.

Sedangkan hal yang dipandang merugikan dari hantaran bawah tanah ini adalah:

- a. Harga kabel yang relatif murah
- b. Tidak fleksibel terhadap perubahan jaringan
- c. Gangguan sering bersifat permanent
- d. Waktu dan biaya untuk menanggulangi bila terjadi gangguan lebih lama dan lebih mahal.

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



1. Inti / Teras (Core) : Tunggal, ganda, tiga, dan setengah.
2. Bentuk (shape) : Bulat, sector
3. Susunan (Arrangement) : Sabuk, Bertasbir, berisi minyak, berisi gas, diperkuat dan tidak diperkuat.
4. Dielektris : Kertas (PILCTA), polyvinyl chloride (PVC), Rantai silang polyethylen (XIPE), berisi gas (Nitrogen atau SF₆)².

2.5 Konstanta –Konstanta dan Parameter Saluran

Sebuah saluran distribusi memiliki sifat induktansi, kapasitansi, dan resistansi seperti yang dimiliki oleh sirkuit konvensional. Biasanya, konstanta di sirkuit konvensional dikelompokkan ke dalam satu perangkat atau komponen. Sebagai contoh, sebuah kumparan kawat memiliki sifat induktansi. Ketika sejumlah nilai induktansi tertentu diperlukan dalam sebuah rangkaian, sebuah kumparan dengan dimensi yang tepat dimasukkan ke dalam rangkaian. Induktansi dari rangkaian dikelompokkan ke dalam satu komponen. Kemudian untuk parameter saluran mempunyai suatu penghantar, penghantar tersebut mempunyai impedansi yang terdiri dari resistansi. Besarnya resistansi tergantung dari jenis penghantar, panjang dan luas penampang.

2.5.1 Konstanta – konstanta saluran

Pada saluran transmisi, sub transmisi dan distribusi mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga : resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi.

1. resistansi (R)

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya. Besarnya kerugian daya yang terjadi pada saluran tersebut tergantung pada besarnya tahanan dari panjang saluran, luas penampang kawat serta jenis kawat yang digunakan. Jika

² (Abdul Kadir. 2000. Sistem Distribusi dan Utilisasi Listrik : hal 35-44).



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

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{t+t_2}{t+t_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R_1 : Tahanan searah penghantar pada temperatur t_1

R_2 : Tahanan searah penghantar pada temperatur t_2

t_1 : Temperatur saat tidak beroperasi (°C)

t_2 : Temperatur saat beroperasi / suhu beban penuh (°C)

t : Konstanta untuk suatu penghantar tertentu yang ditentukan dalam konstanta t tersebut sebagai berikut :

- 234,5 untuk tembaga 100%
- 241,0 untuk tembaga 97%
- 228,0 untuk tembaga 61%

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr.1994 : hal 40)

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

$$R_f = R_{ac} = K, R_{dc}$$

Dimana :

R_f : Tahanan bolak balik pada temperatur dan frekuensi tertentu (Ω /mil)

K : Konstanta yang tergantung harga X pada skin effect ($k = 0,87526.X$)

Sedangkan untuk harga X dapat dihitung dengan persamaan :

$$x = 0,63598 \times \frac{f}{R_{dc}}$$

Dimana :

R_{dc} : Tahanan arus searah dari konduktor pada temperatur yang diketahui (Ohm/mil)

f : Frekuensi bolak balik (Hz)

percabelitas konduktor untuk bahan nonmagnetic sebesar = 1



Sebagai catatan, bila pada frekuensi 50 Hz harga tahanan yang dikoreksi dengan *skin effect* diabaikan, karena pengaruh ini tidak begitu berarti.

2. induktansi (L)

Induktansi kawat pada umumnya untuk mengetahui masing-masing kawat saluran tergantung dari besarnya fluksi yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada saluran penghantar tersebut.

3. kapasitansi (C)

Kapasitansi adalah selisih antara potensi dengan penghantar-penghantar, sehingga menyebabkan penghantar tersebut bermuara, misalnya terjadi pada plat kapasitor, sedangkan untuk saluran daya yang mempunyai panjang dibawah 80 km maka kapasitansinya sangat kecil sehingga dapat diabaikan, sedangkan pada saluran yang lebih panjang dengan tegangan cukup tinggi maka kapasitansinya harus diperhitungkan.

4. konduktansi

Konduktansi adalah penghantar-penghantar atau antara penghantar dengan tanah akan menyebabkan terjadinya arus bocor pada isolator-isolator dari saluran tersebut, adapun jenis penghantar-penghantar yang sering digunakan pada sistem tenaga listrik, antara lain :

- a. AAC = “*All-Aluminium Conductor*”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- b. AAAC = “*All-Aluminium Alloy Conductor*”, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- c. ACSR = “*Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*”, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- d. ACAR = “*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*”, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

(Sumber : *Hutauruk, Transmisi Daya Listrik 1993 : hal 4*)



2.5.2 Parameter penghantar saluran distribusi

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

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- R = Resistansi kawat penghantar
- A = Luas Penampang kawat penghantar (mm²)
- ρ = Tahanan jenis kawat penghantar ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- l = Panjang kawat penghantar(m)

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 39)

Sedangkan besarnya frekuensi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak – balik yaitu:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- X_L = Reaktansi kawat penghantar(Ohm)
- f = Frekuensi arus bolak-balik (Hz)
- 2π = Sudut arus bolak-balik
- L = Induktansi kawat penghantar (Henry)

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 54).

2.6 Daya Listrik

Pengertian daya listrik adalah hasil perkalian tegangan dan arus serta diperhitungkan juga factor kerja daya listrik tersebut antara lain :

2.6.1 Daya semu

Daya semu adalah daya daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi, daya semu adalah tegangan dikali dengan arus.



Daya semu untuk satu fasa :

$$S_{1\phi} = V_n \cdot I \dots\dots\dots(2.4)$$

Daya semu untuk tiga fasa :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

V_n = Tegangan fasa netral (Volt)

I = Arus yang mengalir (A)

$S_{1\phi}$ = Daya semu satu fasa (VA, KVA, MVA)

$S_{3\phi}$ = Daya semu tiga fasa (VA, KVA, MVA)

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 18).

2.6.2 Daya aktif (daya nyata)

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikaitkan dengan besaran arus atau factor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali dengan arus dikali dengan cos pi

Daya aktif untuk satu fasa :

$$P_1 = V_n \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Daya aktif untuk tiga fasa :

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$\cos\phi$ = Faktor Kerja

Satuan daya aktif = Watt, Kilowatt, Megawatt

Satuan Daya mekanik = HP (horse power)

Satuan daya panas = Kg Cal/deti

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 16).



2.6.3 Daya reaktif

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

Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q = \sqrt{3}.Vn.I.\sin\phi \dots \dots \dots (2.8)$$

Daya reaktif untuk tiga fasa:

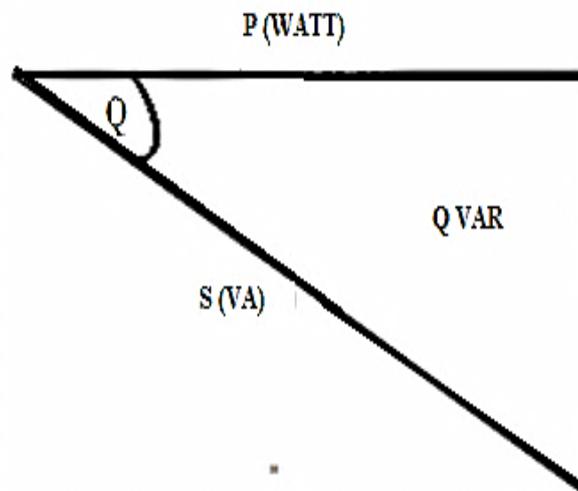
$$Q = \sqrt{3}.Vn.I.\sin\phi \dots \dots \dots (2.9)$$

Satuannya adalah VAR, KVAR, MVAR

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 17).

2.6.4 Segitiga daya

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



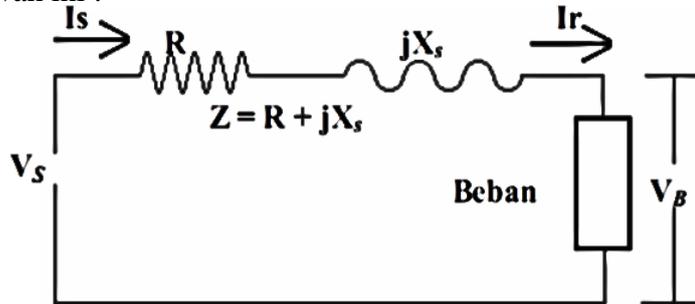
Gambar 2.9

Segitiga Daya

(Sumber : Wiliam D, Stevenson, Jr. Analisis Sistem Tenaga Listrik 1994 : hal 19)



kapasitansi saluran distribusi biasanya kecil sehingga diabaikan. Dengan demikian berdasarkan dari penjelasan diatas maka dapat dibuat ekivalen seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.11

Rangkaian ekivalen saluran distribusi

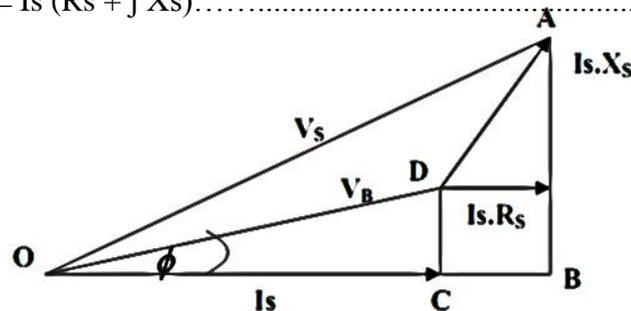
(Sumber <http://ilmulistrik.com/tegangan-jatuh-drop-voltage.html>)

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 :

- a. $I.R_s$ yaitu rugi-rugi tegangan akibat tahanan saluran.
- b. $I.X_s$ yaitu rugi-rugi tegangan akibat tahanan saluran.

Sehingga kerugian tegangan pada saluran distribusi sapat dinyatakan :

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_s - V_B \\ &= I_s.R_s + j. I_s.X_s \\ &= I_s (R_s + j X_s) \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$



Gambar 2.12

Diagram Phasor Tegangan

(Sumber <http://ilmulistrik.com/tegangan-jatuh-drop-voltage.html>)

Berdasarkan segitiga COD diatas, maka :



$$\begin{aligned}
 OC &= OD \cdot \cos \varphi \\
 &= V_B \cdot \cos \varphi \\
 CD &= OD \cdot \sin \varphi \\
 &= V_B \cdot \sin \varphi \\
 OA &= V_s \\
 V_s &= \sqrt{OB^2 + BA^2} \\
 &= \sqrt{(V_B \cos \varphi + I \cdot R_s)^2 + (V_B \sin \varphi + I \cdot X_s)^2} \dots \dots \dots (2.11) \\
 OD &= V_B \\
 V_B &= V_s - (I \cdot R_s \cdot \cos \varphi + I \cdot X_s \cdot \sin \varphi) \dots \dots \dots (2.12)
 \end{aligned}$$

Maka besar tegangan adalah :

$$\Delta V_s = (I_s \cdot R_s \cdot \cos \varphi) + (I_s \cdot X_s \cdot \sin \varphi) \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

- ΔV = Rugi tegangan (V, kV, MV)
- V_s = Besar tegangan pengiriman (V, kV, MV)
- V_B = Besar tegangan beban (V, kV, MV)
- R_s = Nilai resistansi pada saluran (Ω)
- X_s = Nilai reaktansi pada saluran (Ω)
- I_s = Besar arus pada beban (A)
- $\cos \varphi$ = Besar factor daya

Dimana besar tegangan yang diterima :

$$\Delta V_H = V - \Delta V$$

Maka besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah :

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V \times 100\%}{V}$$

Dimana :

- $\Delta V(\%)$ = Rugi Tegangan dalam %(V)
- V = Tegangan kerja (V)
- ΔV_H = Besar tegangan yang diterima

(Sumber DR.A.Arismunandar. Teknik Tenaga Listrik 1994 : hal 3)



2.8 Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar rugi-rugi daya yang akan terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampau berkurang. Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator. Dari penjelasan di atas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga fasa :

$$P_H = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \dots\dots\dots(2.14)$$

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

$$P_r = P - P_H \dots\dots\dots(2.15)$$

Maka besar nilai persentase (%) kerugian daya adalah :

$$\%P_H = \frac{P_H}{P} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- P_H = Rugi daya pada saluran (W, kW, MW)
- P_r = Besar daya yang diterima (W, kW, MW)
- P = Besar daya yang disalurkan (W, kW, MW)
- R = Tahanan penghantar per phasa (Ω /km)
- I = Besar kuat arus pada beban (A)
- L = Panjang Saluran (km)

(Sumber DR.A.Arismunandar. Teknik Tenaga Listrik 1994 : hal 3)