



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁽¹⁾

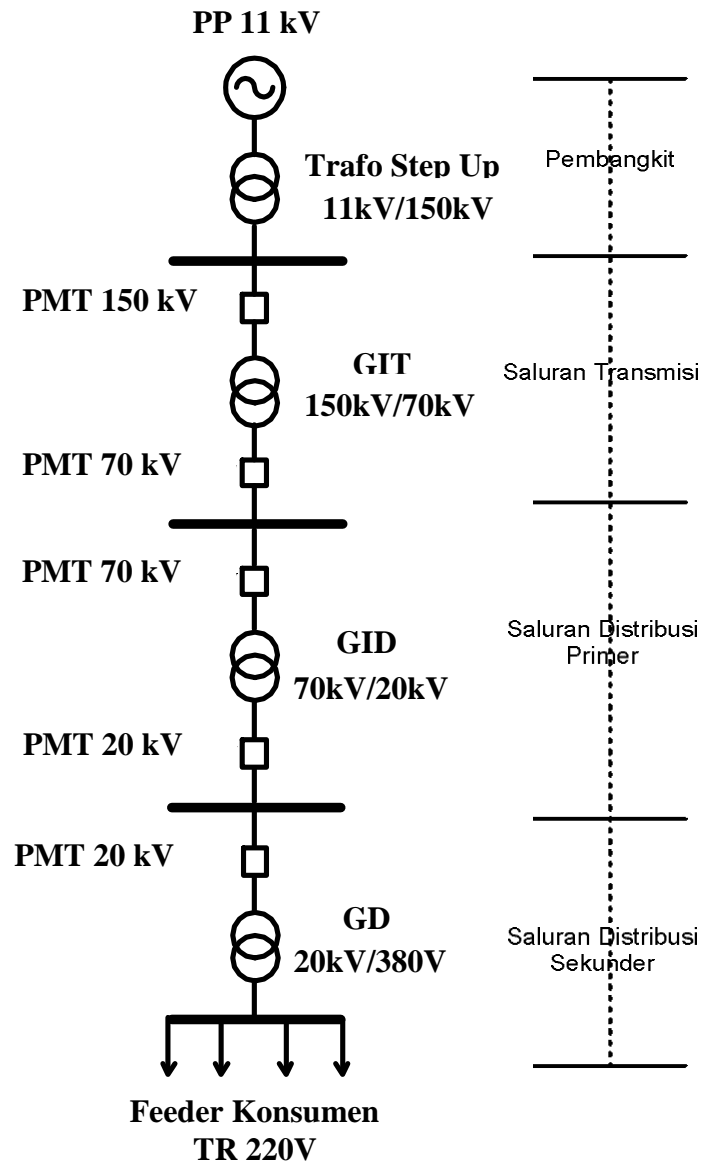
Sekalipun tidak terdapat suatu sistem tenaga listrik yang “tipikal” namun pada umumnya dapat dikembalikan batasan pada suatu sistem yang lengkap mengandung empat unsur. Pertama, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya yang biasanya jauh, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, adanya saluran distribusi yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilitas, yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah ataupun tegangan tinggi. Gambar 2.1 memperlihatkan skema suatu sistem tenaga listrik. Perlu dikemukakan bahwa suatu sistem dapat terdiri atas beberapa subsistem yang saling berhubungan, atau yang biasa disebut sebagai sistem interkoneksi.

Kiranya jelas bahwa arah mengalirnya energi listrik berawal dari Pusat Tenaga Listrik melalui saluran-saluran transmisi dan distribusi dan sampai pada instalasi pemakai yang merupakan unsur utilitas. Energi listrik dibangkitkan pada pembangkit tenaga listrik (PTL) yang dapat merupakan suatu pusat listrik tenaga uap (PLTU), pusat tenaga listrik air (PLTA), pusat listrik tenaga gas (PLTG), pusat listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pusat listrik tenaga nuklir (PLTN).

¹ Kadir, Abdul. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik* : Jakarta : Universitas Indonesia hal 3



PTL biasanya membangkitkan energi listrik pada tegangan menengah (TM), yaitu pada umumnya antara 6 dan 20 kV.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik⁽²⁾

² Ibid, szHal 5



Keterangan:

TR = Tegangan Rendah PP = *Power Plan*
 GIT = Gardu Induk Transmisi GID = Gardu Induk Distribusi
 GD = Gardu Distribusi

2.2 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi ini terletak antara gardu induk dengan gardu distribusi (gardu pembagi), yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 12 dan 20 kV (sesuai standar PLN).

2.3 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

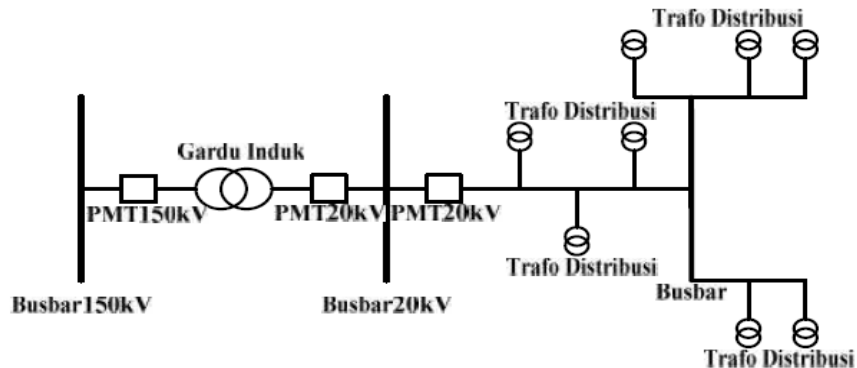
Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah 3 sampai 4 % lebih besar dari tegangan nominalnya.

2.4 Klasifikasi Jaringan Pada Sistem Distribusi Primer⁽³⁾

2.4.1. Jaringan Radial

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

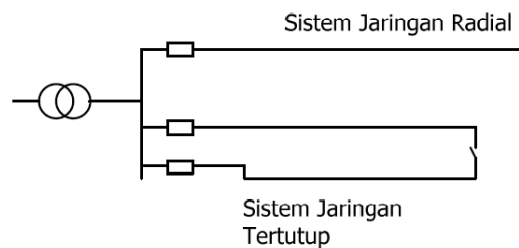
³ PT. PLN (PERSERO). 2010. *Buku 1 Kriteria Disain Engineering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. bab 4 hal. 3-7.



Gambar 2.2 Pola jaringan radial

2.4.2. Jaringan Bentuk Tertutup (loop)

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

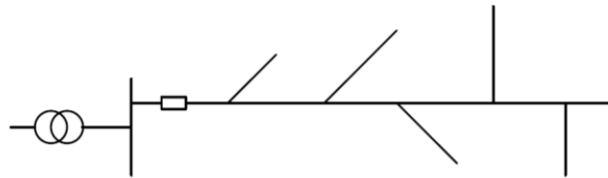


Gambar 2.3 Pola jaringan Tertutup (loop)

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

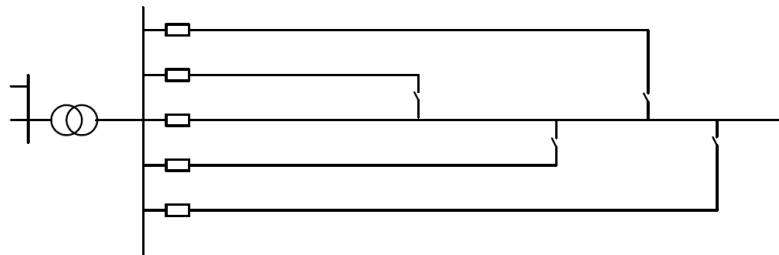
a. Konfigurasi Tulang Ikan (*FishBone*)

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

Gambar 2.4 Konfigurasi tulang ikan (*fishbone*)

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

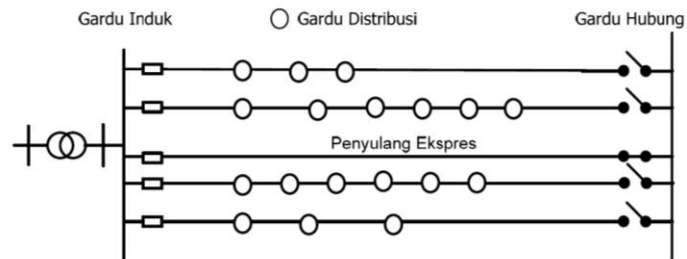
Konfigurasi Saluran Udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (Radial Open Loop). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.

Gambar 2.5 Konfigurasi kluster (*leap frog*)

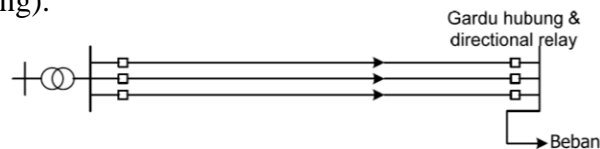
c. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up* suplai jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.

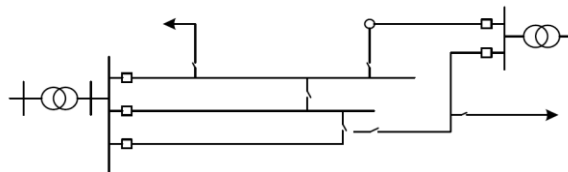
Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep spindel jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).

Gambar 2.6 Konfigurasi spindel (*spindle configuration*)d. Konfigurasi Spot load (*Parallel Spot Configuration*)

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

Gambar 2.7 Konfigurasi spotload (*parallel spot configuration*)e. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

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

Gambar 2.8 Konfigurasi jala - jala (*grid, mesh*)



2.5 Peralatan Saluran Distribusi Tegangan Menengah⁽⁴⁾

Ditinjau dari jenis konstruksinya, sistem distribusi listrik dapat dibedakan atas dua jenis yaitu sistem distribusi dengan saluran udara dan sistem distribusi dengan saluran bawah tanah. Namun pada laporan kali ini hanya akan membahas tentang sistem distribusi dengan saluran udara. Konstruksi dan struktur jaringan sistem distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi merupakan kompromi antara kepentingan teknis disatu pihak dan alasan ekonomi dilain pihak. Secara teknis, konstruksi dan struktur dari jaringan yang akan digunakan harus memenuhi syarat keandalan minimum jaringan.

Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna tenaga listrik di suatu kawasan, penggunaan sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (losses) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT.PLN (Persero) selaku pemegang Kuasa Usaha Utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009.

Konstruksi jaringan distribusi dengan saluran udara terdiri dari beberapa komponen peralatan utama, yaitu :

1. Tiang

Tiang listrik merupakan salah satu komponen utama dari konstruksi jaringan distribusi dengan saluran udara. Pada jaringan distribusi tiang yang biasa digunakan adalah tiang beton. Tiang listrik harus kuat karena selain digunakan untuk menopang hantaran listrik juga digunakan untuk meletakkan peralatan-peralatan pendukung jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah. Penggunaan tiang listrik disesuaikan dengan kondisi lapangan. Tiang listrik yang dipakai dalam distribusi tenaga listrik harus memiliki sifat-sifat antara lain :

⁴ PT.PLN.2010.*Standar Konstruksi JTM Tenaga Listrik*.Jakarta Selatan. hal. 27



- a. Kekuatan mekanik yang tinggi
- b. Perawatan yang mudah
- c. Mudah dalam pemasangan konduktor saluran dan perlengkapannya

- **Macam-macam Tiang :**

1. **Tiang Kayu**

SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT. PLN (Persero) bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar penghantar SUTM.

2. **Tiang Besi**

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bilamana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat diwilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

3. **Tiang Beton**

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan di seluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil.

2. **Isolator**

Isolator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor atau penghantar dengan tiang listrik. Bahan yang digunakan untuk pembuatan isolator yang banyak digunakan pada sistem distribusi tenaga



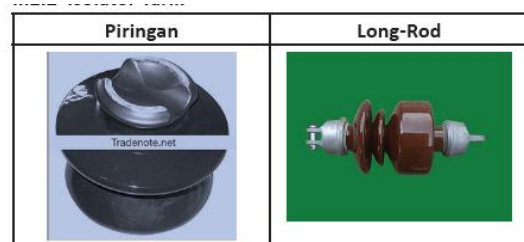
listrik adalah isolator dari bahan porselin / keramik dan isolator dari bahan gelas.

Ada beberapa jenis konstruksi isolator dalam sistem distribusi, antara lain :

- a. Isolator Tumpu
 - Pin-Insulator
 - Pin-Post Insulator
 - Line-Post Insulator
- b. Isolator Tarik
 - Piringan Insulator
 - Long-rod Insulator



Gambar 2.9 Isolator Tumpu



Gambar 2.10 Isolator Tarik

3. Penghantar

Penghantar pada sistem jaringan distribusi berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari suatu bagian keinstalasi atau bagian yang lain. Penghantar ini harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Memiliki daya hantar yang tinggi
- b. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi



- c. Memiliki berat jenis yang rendah
- d. Memiliki fleksibilitas yang tinggi
- e. Tidak cepat rapuh
- f. Memiliki harga yang murah

macam-macam penghantar :

1. Penghantar Telanjang (BC : Bare Conductor)

Konduktor dengan bahan utama tembaga(Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat padat , sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987 Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

2. Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (half insulated single core)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslink polyethylene langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995.

3. Penghantar Berisolasi Penuh (Three single core)

XLPE dan berselubung PVC berpenggantung penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN 43-5-2:1995-Kabel

Jenis-jenis bahan penghantar, antara lain :

- 1. AAC “*all – aluminium conductors*”, kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium
- 2. AAAC “*all – aluminium – alloyconductors*”, kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium
- 3. ACSR “*Aluminium conductor, steel-reinforced*”, kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan baja



4. ACAR “*aluminium conductor, alloy-reinforced*”, kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

2.6 Parameter-Parameter Saluran Distribusi

2.6.1 Tahanan Saluran⁽⁵⁾

Nilai tahanan saluran transmisi dipengaruhi oleh resistivitas konduktor, suhu, dan efek kulit. Tahanan merupakan sebab utama timbulnya susut tegangan pada saluran transmisi. Dikenal dua macam tahanan yaitu tahanan arus searah dan tahanan arus bolak-balik. Tahanan arus searah ditentukan oleh nilai resistivitas material konduktor :

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \quad \Omega \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

R_{dc} = tahanan arus bolak-balik (Ω)

ρ = tahanan jenis penghantar/resistivitas ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

l = panjang saluran/konduktor (m)

A = luas penampang penghantar (mm^2)

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan nol adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

⁵ Hutaaruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta : Erlangga Hal. 5.



Dimana :

R_{t2} = Resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasi konduktor) R_{t1}

= Resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = Temperatur awal (°C)

t_2 = Temperatur akhir (°C)

T_0 = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T_0 adalah sebagai berikut:

T_0 = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T_0 = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T_0 = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.6.2 Reaktansi Saluran⁽⁶⁾

Dalam hal arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi. Untuk besarnya reaktansi ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak-balik yaitu :

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

Dimana,

X_L = reaktansi kawat penghantar (Ω)

2.6.3 Induktansi Saluran⁽⁷⁾

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

⁶ B.L. Theraja. 1983. *Worked Examples In Electrical Technology*. Techouse. Hal. 236

⁷ Zuhail. 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : Gramedia. Hal. 152



$$L = \left\{ 0.5 + 4.6 \log 10 \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana D adalah jarak antar konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[5]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.7 Daya Listrik⁽⁸⁾

Pengertian daya listrik adalah perkalian antara tegangan yang diberikan dengan hasil arus yang mengalir. Daya dikatakan *positif*, ketika arus yang mengalir bernilai positif artinya arus mengalir dari sumber tegangan menuju rangkaian (transfer energi dari sumber ke rangkaian). Sedangkan, daya dikatakan *negatif*, ketika arus yang mengalir bernilai negatif artinya arus mengalir dari rangkaian menuju sumber tegangan (transfer energi dari rangkaian ke sumber).

2.8 Daya Semu⁽⁹⁾

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

⁸ Ramdhani, Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*. Jakarta : Erlangga Hal. 269.

⁹ Sarimun, Wahyudi.Ir. 2011. *BUKU SAKU PELAYANAN TEKNIK*. Garamond : Bekasi. Hal. 25

**Line to netral/ 1 fasa**

$$S = V_{\phi} \times I_{\phi} \dots\dots\dots (2.7)$$

Line to line/ 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots (2.8)$$

Ket :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

2.9 Daya Aktif⁽¹⁰⁾

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

Line to netral / 1 fasa

$$P = V_{\phi} \times I_{\phi} \times \cos \theta \dots\dots\dots (2.9)$$

Line to line/ 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta \dots\dots\dots (2.10)$$

Ket :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

 V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (Amper)

 $\cos \phi$ = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

¹⁰ Stevenson Jr., W.D. 1994. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Hal. 28.



2.10 Daya Reaktif⁽¹¹⁾

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.

Line to netral/ 1 fasa

$$Q = V_{\phi} \times I_{\phi} \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.11)$$

Line to line/ 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \theta \dots\dots\dots (2.12)$$

Ket :

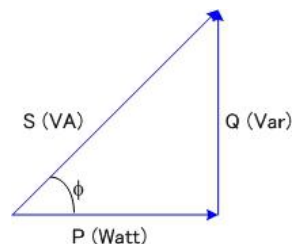
Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

Sin ϕ = Faktor Daya

Dari penjelasan ketiga macam daya diatas, dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana defenisi umum dari ***segitiga daya adalah*** suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada gambar bentuk segitiga berikut ini



Gambar 2.11 Segitiga Daya

¹¹ Sarimun, Wahyudi.Ir. Op.cit., hal.25



dimana :

Q = Daya reaktif (VAr)

V = Tegangan Fasa-Netral (Volt)

V_L = Tegangan Line-Line (Volt)

I = Arus (Amper)

$\sin \theta$ = Faktor Daya (tergantung nilai θ)

2.11 Perhitungan Susut Tegangan Pada Jaringan Distribusi Primer⁽¹²⁾

Susut tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Susut tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar susut tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam satuan volt. Perhitungan susut tegangan dapat diketahui dengan menggunakan metode perhitungan. Berdasarkan SPLN No.72:1987, susut tegangan atau susut tegangan yang diperbolehkan untuk sistem distribusi tegangan menengah adalah sebesar 5%.

Dalam suatu sistem distribusi, susut tegangan yang terjadi harus diupayakan sekecil – kecilnya agar tidak merugikan konsumen. Berdasarkan penjelasan, maka besar persentase susut tegangan pada saluran tiga fasa dapat ditentukan dengan rumus:

$$\% V \text{ rugi} = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.13)$$

Sedangkan untuk besarnya susut tegangan untuk jaringan dalam volt dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\Delta V(1\Phi) = (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\Delta V(3\Phi) = \sqrt{3} (I.R \cos \phi + I.X \sin \phi) \dots\dots\dots (2.14)$$

¹² Ramdhani ,Mohamad. 2008. *Rangkaian Listrik*, Hal. 273.



Untuk menghitung besarnya tegangan yang diterima menggunakan persamaan

$$V_r = V_s - \Delta V \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

ΔV = Susut tegangan (V)

V_s = Tegangan awal (V)

V_r = Tegangan akhir (V)

R = Resistansi saluran (Ω)

X = Reaktansi saluran (Ω)

I = Arus saluran (A)

pf = power factor

qf = power factor reaktif