



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, dan saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.¹

Lebih lanjutnya pada sistem tenaga listrik yang besar, atau bilamana pusat tenaga listrik (PTL) terletak jauh dari pemakai atau konsumen, maka energi listrik itu perlu diangkut melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari tegangan menengah (TM) menjadi tegangan tinggi (TT). Pada jarak yang sangat jauh malah diperlukan tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan itu dilakukan di garu induk (GI) dengan menggunakan transformator penaik (*step-up transformer*). Tegangan tinggi Indonesia adalah 70 kV, 150 kV dan 275 kV. Sedangkan tegangan ekstra tinggi 500 V.

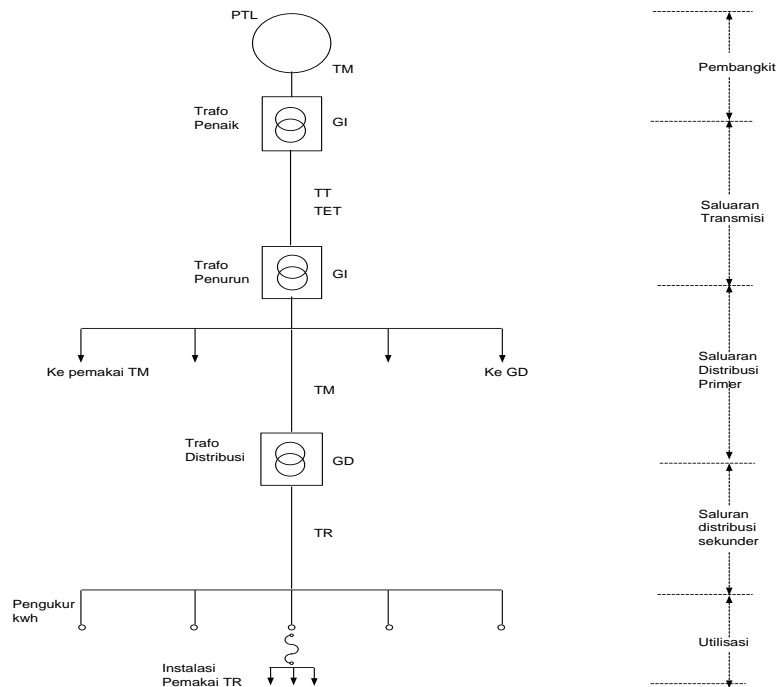
Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau suatu kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV. Bilamana transmisi tenaga listrik dilakukan dengan mempergunakan saluran-saluran udara dengan menara-menara transmisi, sistem distribusi primer di kota biasanya terdiri atas kabel-kabel tanah yang tertanam di tepi jalan sehingga tidak terlihat.

Di tepi-tepi jalan biasanya berdekatan dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi (GD), yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (TR) melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terdapat di tepi jalan, energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada para pemakai. Di Indonesia tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang-tiang TR

¹Jasa Pendidikan dan Pelatihan, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero), Hal. 1



terdapat pula lampu-lampu penerangan jalan umum. Berikut adalah gambar diagram satu garis sistem tenaga listrik :



Gambar 2.1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik²

Keterangan :

PTL : Pembangkit Tenaga Listrik

GI : Gardu Induk

TT : Tegangan Tinggi

TET : Tegangan Ekstra Tinggi

TM : Tegangan Menengah

GD : Gardu Distribusi

TR : Tegangan Rendah

²Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI Press. 2006. Hal 5

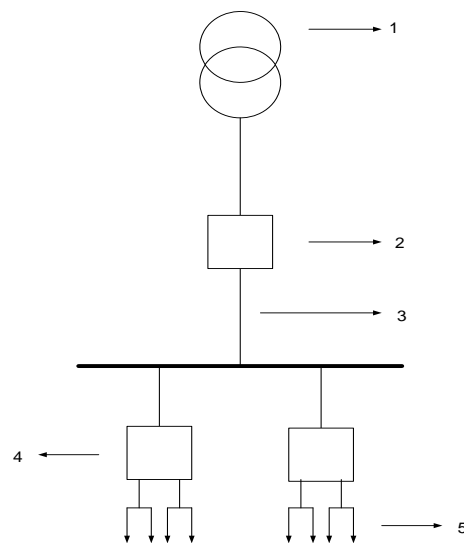


2.2 Sistem Distribusi

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) dialayani melalui jaringan tersebut

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan 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 rendah, yaitu 220/380 Volt. 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.



Gambar 2.2. Bagian-bagian distribusi primer



Keterangan :

1. Trafo daya
2. Pemutus tegangan
3. Penghantar
4. Gardu Hubung
5. Gardu Distribusi

2.3 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan dari berbagai segi, antara lain adalah :

1. Berdasarkan ukuran tegangan
2. Berdasarkan ukuran arus

2.3.1 Menurut ukuran tegangannya

Secara umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi terbagi menjadi dua, yaitu :

a. Jaringan Distribusi Primer³

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

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder yaitu jaringan tenaga listrik yaitu menyalurkan daya listrik dari gardu ke konsumen. Jaringan ini merupakan suatu jaringan tegangan rendah.

³Abdul Kadir, 2006. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI Press. 2006. Hal 21



2.3.2 Menurut ukuran arus⁴

- a. Saluran distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah.
- b. Saluran Distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

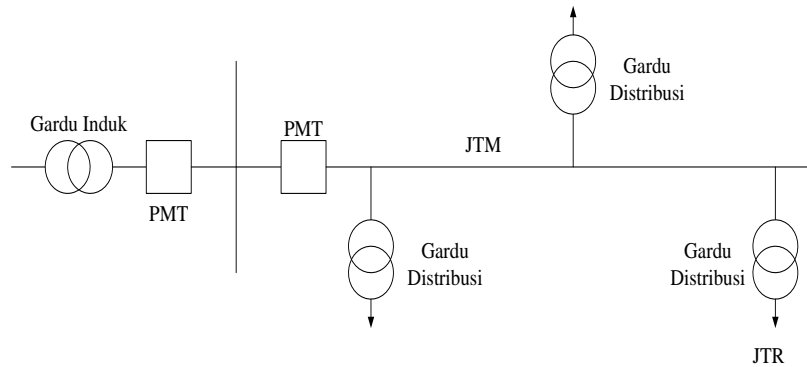
2.4 Macam Macam Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan suatu saluran tenaga listrik yang menghubungkan gardu induk ke beberapa gardu hubung dan gardu distribusi pada suatu tegangan primer. Dalam penyaluran jaringan distribusi primer ini memiliki beberapa variasi jaringan distribusi, dimana masing-masing bentuk jaringan distribusi primer ini memiliki beberapa kelebihan dan kelemahan tersendiri. Pada umumnya terdapat lima bentuk dasar dari sistem jaringan distribusi primer yaitu sebagai berikut :

2.4.1 Jaringan distribusi primer radial

Merupakan jaringan distribusi primer yang paling banyak dipakai terutama pada daerah dengan tingkat kerapatan bebannya rendah. Jaringan ini mempunyai satu jalur daya ke beban maka semua beban pada saluran itu akan kehilangan daya. Keuntungan dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial ini adalah bentuknya yang sederhana dan biaya pertamanya yang rendah. Salah satu kelemahan sistem ini adalah kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta jatuh tegangan yang terjadi sangat besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran. Kerapatan arus yang besar pada jaringan tipe radial ini terdapat pada saluran antara sumber daya dan gardu distribusi berikutnya, sedangkan yang terkecil pada bagian ujung saluran sesuai dengan tingkat kerapatan arusnya maka besar penampang penghantar tersebut dapat berbeda-beda.

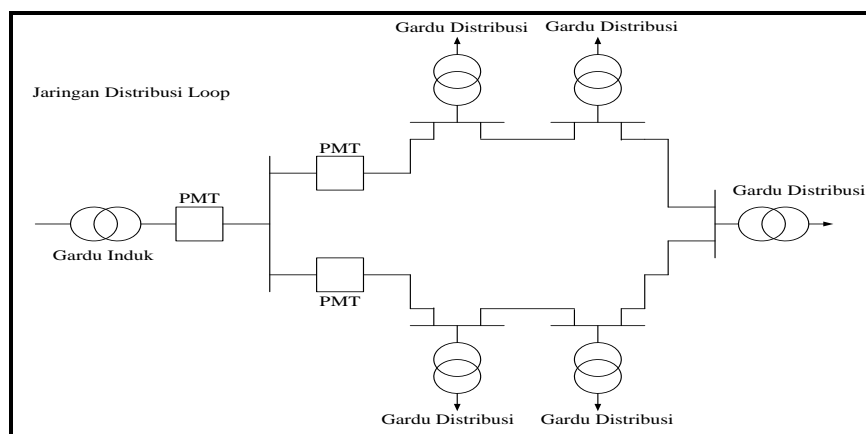
⁴Darman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi pertama. 2009, UNP



Gambar 2.3. Konfigurasi jaringan distribusi radial

2.4.2 Jaringan distribusi loop

Jaringan distribusi primer tipe loop biasanya digunakan untuk melayani beban yang membutuhkan kontinuitas pelayanan lebih baik, seperti pabrik-pabrik dan bangunan-bangunan komersil yang mempunyai beban yang sedang dan besar. Pada prinsipnya jaringan distribusi primer tipe ini adalah suatu jaringan distribusi yang dimulai dari suatu titik sumber atau rel daya keliling ke daerah beban, kemudian kembali ke titik sumber atau rel daya semula. Kelebihan dari sistem jaringan distribusi tipe loop ini adalah dari segi keandalannya lebih baik dari sistem jaringan distribusi radial, sedangkan kelemahannya adalah dalam hal besar penampang yang semua hantarnya sama sehingga sanggup memikul beban secara keseluruhan dan juga arus hubung singkat yang terjadi lebih besar dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial.

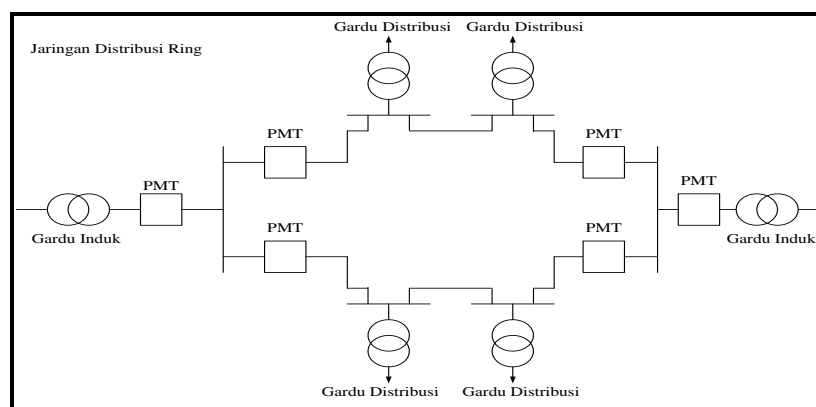


Gambar 2.4. Konfigurasi jaringan distribusi tipe loop



2.4.3 Jaringan distribusi ring

Jaringan distribusi primer tipe ring ini hampir sama dengan jaringan distribusi primer tipe loop, perbedaannya adalah hanya pada jumlah sumber daya yang lebih dari satu. Dengan kata lain jaringan distribusi primer tipe ring ini adalah jaringan distribusi primer tipe loop yang pada gardu distribusinya dapat menerima daya lebih dari satu titik sumber atau rel daya. Bila sistemnya berkembang jaringan distribusi primer tipe ring ini sering berkembang menjadi bentuk grid.



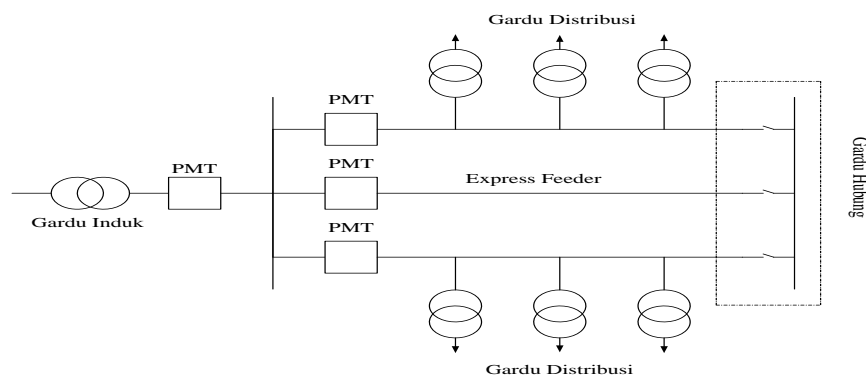
Gambar 2.5. Konfigurasi jaringan distribusi ring

2.4.4 Jaringan distribusi spindle

Sistem jaringan distribusi primer tipe spindle ini adalah hasil perkembangan dari sistem jaringan distribusi primer tipe loop terpisah dengan cara menambahkan sebuah saluran cadangan (express feeder) serta gardu hubung. Adapun tujuan dari modifikasi dari sistem jaringan distribusi adalah untuk mendapatkan efisiensi sistem yang handal. Pada sistem jaringan distribusi primer tipe spindle ini saluran dari sumber ke gardu induk diteruskan ke gardu hubung. Ada dua bagian saluran yang menuju gardu hubung yaitu saluran bebas dan saluran langsung. Beban-beban dihubungkan dengan pengisian utama dan saluran pengisian utama dan saluran langsung yang tidak dihubungkan dengan bena, saluran ini merupakan saluran pengisi cadangan yang berfungsi apabila salurann pengisi utama mengalami gangguan.



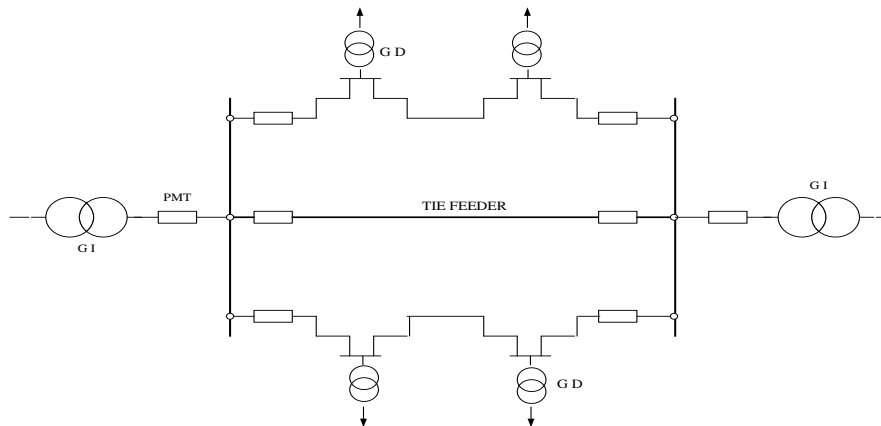
Pada keadaan operasi normal semua pemutus daya yang ada di gardu hubung dalam posisi terbuka, dengan tujuan apabila terjadi gangguan pada saluran utama dan setelah diisolir maka beban yang lain pada pengisi saluran utama tersebut dapat dilayani melalui saluran cadangan dengan pemutus daya di gardu hubung untuk saluran yang bersangkutan sehingga beban-beban tersebut hanya mengalami pemutusan sementara saja.



Gambar 2.6. Konfigurasi jaringan spindel

2.4.5 Jaringan distribusi grid/network

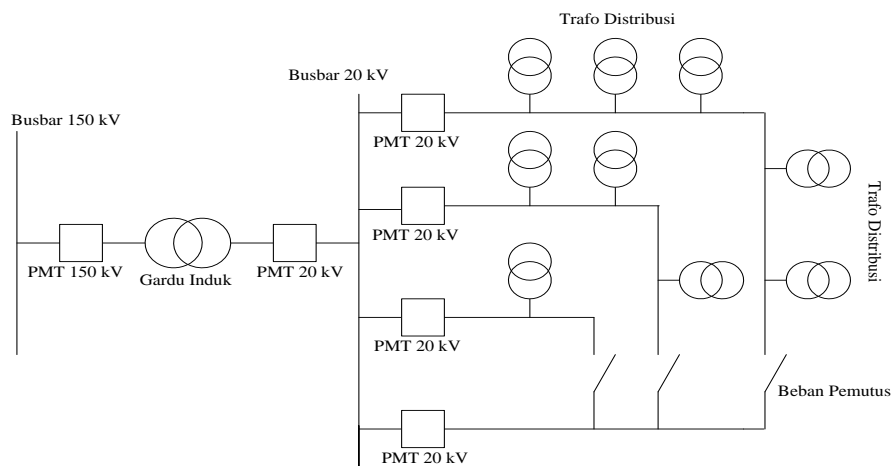
Sistem jaringan distribusi tipe grid/network ini terjadi apabila ada beberapa gardu induk atau sumber daya yang saling berinterkoneksi sehingga setiap titik beban mempunyai beberapa kemungkinan menerima daya dari berbagai arah. Sistem jaringan ini mempunyai kualitas pelayanan yang cukup baik bila dibandingkan dengan bentuk jaringan distribusi primer tipe radial atau loop dan tipe ring. Jaringan distribusi tipe ini mampu melayani beban dengan kerapatan arus yang cukup tinggi serta memerlukan pelayanan secara terus menerus, tetapi kelemahan dari jaringan distribusi tipe ini adalah biaya investasinya yang tinggi.



Gambar 2.7. Konfigurasi jaringan tipe grid/network

2.4.6 Jaringan distribusi cluster

Sistem cluster ini hampir mirip dengan sistem spindle. Dalam sistem Cluster tersedia satu express feeder yang merupakan feeder atau penyulang tanpa beban yang digunakan sebagai titik menufer beban oleh feeder atau penyulang lain dalam sistem Cluster tersebut.



Gambar 2.7. Konfigurasi jaringancluster



2.5 Macam-Macam Saluran Jaringan Distribusi Primer

Sesuai dengan fungsinya, maka suatu sistem jaringan distribusi dengan bagian-bagiannya dapat merupakan bentuk, susunan dan macam yang berbeda-beda disesuaikan dengan tujuan tertentu. Pelaksanaan pemasangan jaringan distribusi dibagi menjadi dua macam yaitu hantaran udara dan hantaran bawah tanah.

2.5.1 Jaringan hantaran udara (*Over Head Line*)

Hantaran udara sering juga disebut saluran udara merupakan penghantar energy listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang di atas tiang listrik di luar bangunan. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas jenis :

AAACS⁵ : *All Aluminium Alloy Conductor Shielded reinforced* yaitu penghantar

AAAC yang berselubung polietilen ikat silang (XLPE). Penghantarnya berupa aluminium paduan yang dipilin bulat tidak dipadatkan. Isolasi kabel AAACS memiliki ketahanan isolasi sampai dengan 6 kV, sehingga penghantar jenis ini harus diperlakukan seperti halnya penghantar udara telanjang.

AAAC⁶ : *All Alloy Aluminium Conductor* yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti. Kabel jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50 – 4,50 mm dengan bentuk fisiknya berurat banyak.

AAC⁷ : *All Aluminium Conductor* yaitu penghantar yang terbuat dari kawat-kawat aluminium keras yang dipilin, tidak berisolasi dan tidak berinti baja. Kabel jenis ini bentuknya berurat banyak dengan ukurannya antara 16 – 1000 mm

Keuntungan atau kelebihan berupa :

⁵SLPN 41-10 : 1991

⁶SPLN 41-8 : 1981

⁷SPLN 41-6 : 1981



1. Investasi, atau biaya untuk membangun saluran udara jauh lebih rendah disbanding dengan kabel tanah, yaitu berbanding sekitar 1 : 5-6, bahkan lebih tinggi untuk tegangan yang lebih tinggi
2. Kawat untuk daerah yang lahannya merupakan bebatuan, lebih mudah membuat lubang untuk tiang listrik dari pada membuat jalur hubung kabel tanah.
3. Mudah melakukan pemeliharaan pada saluran distribusi
4. Pembangunan jaringan tidak terlalu sulit.

Kekurangan jaringan hantar udara :

1. Mudah terjadi gangguan pada jaringan.
2. Setiap melakukan pemeliharaan biayanya besar.
3. Tidak mengutamakan keandalan (keandalannya rendah).
4. Pencurian melalui jaringan mudah dilakukan.

2.5.2 Jaringan hantaran udara bawah tanah (*Under Ground Line*)

Untuk daerah kerapatan beban tinggi, seperti pusat kota ataupun pusat industri pemasangan jaringan hantaran udara akan mengganggu baik dari segi keamanan maupun dari segi keindahan. Bahan untuk inti kabel dan kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi dipergunakan bahan-bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa tinta hitam. Untuk tegangan menengah sering juga dipakai minyak sebagai isolasi. Jenis hantaran bawah tanah ini biasanya menggunakan jenis :

*NYFGbY*⁸ : Kabel ini berisolasi dan berselubung PVC berperisai kawat baja atau aluminium untuk tegangan kerja sampai dengan 0,6/1 kV. Dengan adanya pelindung kawat pita baja, kabel ini memungkinkan ditanam langsung ke dalam tanah tanpa pelindung tambahan.

Keuntungan :

1. Tidak mudah mengalami gangguan.
2. Faktor keindahan lingkungan tidak terganggu.

⁸SPLN 43-2 : 1994



3. Tidak mudah dipengaruhi cuaca, seperti hujan, angin, petir dan sebagainya.

Kerugian :

1. Biaya pembuatan mahal.
2. Gangguan biasanya bersifat permanen
3. Pencarian lokasi gangguan jauh lebih sulit dibandingkan menggunakan sistem hantaran udara.

2.6 Parameter Saluran

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu system tenaga listrik memiliki sifat-sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistans, induktans, kapasitans, dan konduktans. Oleh karena itu saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasitans dan konduktans sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistans yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memilik tahanan jenis dan besar resistans pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran. Resistans saluran sangat penting dalam efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktans timbul dari efek medan disekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir, parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa system sedangkan besarnya reaktansi sangat ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak-balik yaitu :

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

Dimana :

R = Resistansi kawat penghantar (ohm)

A = Luas penampang kawat penghantar (mm^2)

ρ = Tahanan jenis kawat penghantar (mm^2/m)

l = Panjang kawat penghantar (m)



2.6.1 Resistansi Saluran⁹

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya pada saluran transmisi maupun distribusi.

Resistansi efektif dari konduktor adalah :

$$R = \frac{\text{Power Loss dalam induktor}}{(I)^2} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.2)$$

Resistansi direct-current (R_{dc}) diberikan dengan formula :

$$R_{dc} = \frac{\rho \ell}{A} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

ρ = resistivity konduktor ($\Omega.m$)

ℓ = panjang konduktor (m)

A = cross sectional area (m^2)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik

Nilai resistivity konduktor pada temperature $20^\circ C$ adalah :

- Untuk tembaga, $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$ atau $= 1,77 \times 10^{-8} \Omega.m$
- Untuk aluminium, $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$ atau $= 2,83 \times 10^{-8} \Omega.m$

Konduktor pilin 3 strand menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan strand terkonsentrasi menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 2%. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari formula berikut ini :

⁹William D. Stevenson, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. 1994, Hal. 39



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana R_1 dan R_2 adalah resistansi masing-masing konduktor pada temperatur t_1 dan t_2 dan T adalah suatu konstanta yang nilainya sebagai berikut :

$T = 234,5$ untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

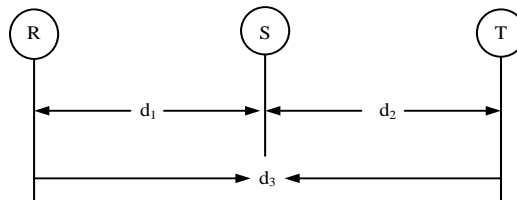
$T = 241$ untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

$T = 228$ untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.6.2 Induktansi saluran

Induktansi kawat tiga fasa pada umumnya berlainan untuk mengetahui masing-masing kawat saluran, tergantung dari besar fluksi yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada saluran penghantar tersebut.

- Sistem tiga fasa formasi horizontal



Gambar 2.9. Sistem tiga fasa formasi horizontal

Induktansi saluran formasi horizontal dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$L = \left\{ 0,5 + 4,6 \log \left(\frac{d-r}{r} \right) \right\} H / km \dots\dots\dots (2.5)^{10}$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$R = \sqrt{\frac{A}{x}} \dots\dots\dots (2.6)$$

¹⁰Zuhal. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. 1995.



2.6.3. Reaktansi saluran

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. Bila letak konduktor tidak simetris, maka perlu dihitung nilai d (jarak antara konduktor) dengan rumus :

$$d = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk besarnya reaktansi ditentukan oleh induktansi dari kawat dan frekuensi arus bolak-balik yaitu :

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot l \dots \dots \dots (2.8)^{11}$$

Dimana :

X_L = Reaktansi kawat penghantar (Ω)

2π = Sudut arus bolak-balik

f = frekuensi sistem (50 Hz)

2.7 Macam-Macam Daya Listrik

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

2.7.1 Daya semu

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

$$S_{1\phi} = V_L \cdot I_L \dots \dots \dots (2.9)$$

Daya semu untuk tiga fasa :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots \dots \dots (2.10)$$

¹¹Subir Ray, *Electrical Power System*, Prentice Hall of India Private Limited, 2007, Hal. 17



Dimana :

V_L = Tegangan fasa-fasa (V)

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)

2.7.2 Daya aktif (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 faktor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali $\cos \varphi$.

Daya aktif untuk satu fasa :

$$P_{1\phi} = V_n \cdot I \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (2.11)$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

V_L = Tegangan fasa-fasa(V)

I = Arus yang mengalir (A)

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

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

2.7.3 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 :

$$Q_{1\phi} = V_L \cdot I \cdot \sin \varphi \dots \dots \dots (2.13)$$



Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I \cdot \sin \varphi \dots \dots \dots (2.14)^{12}$$

Dimana :

V_L = Tegangan fasa-fasa(V)

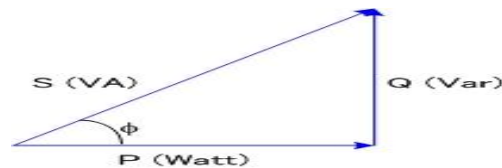
I = Arus yang mengalir (A)

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

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

2.8 Segitiga Daya

Segitiga Daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada gambar bentuk segitiga dibawah ini :



Gambar 2.12. Segitiga Daya

Dimana :

$$P = S \times \cos \varnothing \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \text{ (VA)} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$Q = S \times \sin \varnothing \text{ (VAR)} \dots \dots \dots (2.17)$$

2.9 Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan

Dalam suatu saluran distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. 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 diatas, maka penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga fasa :

¹²Kothari, D. P dan I.J. Nagrath, *Power System Engineering*, tata MCGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008, Hal. 158



$$P_{rugi} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \cdot LDF \dots\dots\dots (2.18)^{13}$$

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

$$P_{terima} = P - P_{rugi} \dots\dots\dots (2.19)$$

Maka besar nilai persentasi (%) kerugian daya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_{rugi}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

- P_{rugi} : Rugi daya pada saluran (W, KW, MW)
- P_{terima} : 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 jaringan (Km)
- LDF : Load Density Factor (0,333)
- LLF : Loss Load Factor
- ΔP : Persentase kerugian daya

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

Dimana :

$$LLF = 0,3 LF + 0,7 (LF^2) \dots\dots\dots (2.21)$$

$LF =$ Load Factor sistem region

¹³Ahmad Rifqi Hadiyanto, *Monitoring Susut Per Penyulang*. PT. PLN (Persero), Telaah Staf. 2006. Hal 9