

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

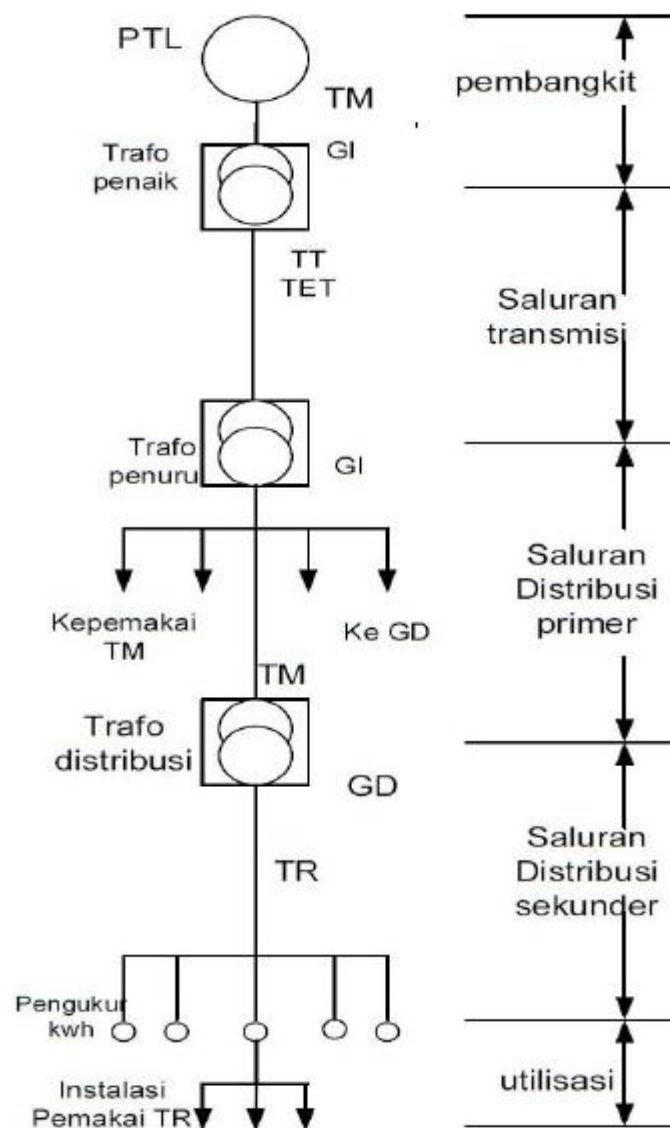
Secara umum sistem tenaga listrik tersusun atas tiga subsistem pokok, yaitu subsistem pembangkit, subsistem transmisi, dan subsistem distribusi. Sistem pembangkit merupakan sistem yang berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik. Tenaga listrik yang dibangkitkan kemudian ditransmisikan dalam daya yang besar oleh sistem transmisi ke gardu induk transmisi (GI). Dari GI transmisi tenaga listrik disubtransmisikan ke GI distribusi, kemudian didistribusikan kepada pelanggan secara langsung dan ke gardu-gardu distribusi untuk keperluan pelanggan dengan daya dan tegangan rendah.

Sistem distribusi tenaga listrik 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 sistem distribusi tenaga listrik adalah untuk pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen. Selain itu, juga merupakan subsistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat - pusat beban (konsumen) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan trafo penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir dan resistansi pada saluran (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran

distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 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 2.1 Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik¹

¹ Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Penerbit Universitas Indonesia, 2000, Hal.5

Baik atau tidaknya suatu sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah regulasi tegangan, kontinuitas penyaluran, efisiensi, dan harga sistem. Oleh karena itu, suatu sistem distribusi harus memiliki regulasi tegangan yang tidak terlalu besar, gangguan pada pelayanan yang tidak terlalu lama, serta biaya sistem yang tidak terlalu mahal.

Secara umum, sistem kelistrikan dapat dibagi menjadi :

a. Jaringan subtransmisi

Jaringan subtransmisi berfungsi menyalurkan daya listrik dari sumber daya besar menuju ke gardu induk (GI) yang terletak di daerah beban. Jaringan subtransmisi biasanya menggunakan tegangan tinggi dalam penyaluran tegangannya. Hal ini dilakukan untuk berbagai alasan efisiensi, diantaranya adalah penggunaan penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil ketika tegangan tinggi diterapkan.

b. Gardu Induk (GI)

GI berfungsi menerima daya listrik dari jaringan subtransmisi dan menurunkan tegangannya menjadi 12 atau 20 kV. Tegangan yang telah diturunkan ini kemudian akan disalurkan ke pelanggan dengan dibagi ke beberapa penyulang. Penyulang dalam jaringan distribusi merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi.

Pada gardu induk biasanya dilengkapi dengan peralatan ukur dan peralatan pengaman (proteksi) untuk menjaga kelangsungan pelayanan serta melindungi peralatan lainnya. Gardu induk juga dapat diklasifikasikan menurut jenisnya, yaitu jenis pasangan luar, jenis pasangan dalam, jenis pasangan bawah tanah, jenis mobil, dan sebagainya. (Arismunandar, 1997: hal 1-2)

c. Gardu Hubung

Gardu hubung berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkan daya listrik tersebut tanpa mengubah tegangannya melalui jaringan distribusi primer menuju ke gardu distribusi.

Gardu hubung pada umumnya menghubungkan dua atau lebih bagian jaringan primer disuatu kota. Dapat pula terjadi bahwa pada suatu gardu hubung terdapat sebuah transformator pengatur tegangan. (Kadir, 2006 : 25)

d. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer atau yang sering disebut jaringan tegangan menengah adalah jaringan pendistribusian tegangan menengah yang disalurkan oleh gardu induk atau gardu hubung yang kemudian akan diubah menjadi tegangan rendah setelah melalui gardu distribusi. Adapun tegangan yang melewati dari jaringan ini biasanya sebesar 12 kV atau 20 kV.

e. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah bagian yang berfungsi untuk menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah, atau dapat pula berfungsi untuk menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya.

Di dalam gardu distribusi terdapat peralatan listrik berupa pemutus, penghubung, pengaman, dan trafo distribusi untuk mendistribusikan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan tegangan konsumen. Peralatan – peralatan ini adalah untuk menunjang pendistribusian tenaga listrik yang baik, yang mencakup kontinuitas pelayanan, bermutu tinggi, dan menjamin keselamatan manusia.

f. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder menghubungkan sisi tegangan rendah trafo distribusi ke konsumen dengan menggunakan saluran udara 3 fasa 4 kawat. Namun untuk daerah – daerah khusus, misalnya daerah yang padat penduduknya dan daerah yang tinggi dipergunakan sistem kabel bawah tanah. Distribusi sekunder mempergunakan tegangan rendah, sebagaimana halnya dengan distribusi primer. Sistem sekunder mempunyai 4 pertimbangan dalam pelayanan dan regulasi tegangan, yaitu : sebuah transformator tersendiri untuk tiap pemakai, penggunaan satu transformator dengan saluran tegangan rendah untuk sejumlah

pemakai, sejumlah pemakai dilayani dari saluran tegangan rendah pada transformator secara paralel (banking sekunder transformator), suatu jaringan tegangan rendah yang agak besar diisi oleh beberapa transformator, yang pada gilirannya diisi oleh dua sumber energi atau lebih.

2.2 Bentuk – Bentuk Saluran Distribusi

Bentuk – bentuk saluran distribusi dapat dibedakan berdasarkan :

1. Konstruksi konduktornya
2. Tempat peletakannya
3. Susunan peletakannya
4. Bahan konduktornya
5. Susunan rangkaiannya

2.2.1 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Konstruksi Konduktornya

Bentuk saluran distribusi berdasarkan konstruksi konduktornya dapat dibedakan atas :

a. Kawat

Kawat yaitu penghantar yang konduktornya tidak dilindungi oleh lapisan isolasi sebagai pelindung luar (dibiarkan telanjang). Tipe konstruksi demikian hanya diperuntukkan pada pasangan luar (outdoor) yang diharapkan terbebas dari sentuhan, misalnya untuk pasangan overhead. Pemilihan kawat penghantar yang digunakan untuk saluran udara didasarkan pada besarnya beban yang dilayani, makin luas beban yang dilayani maka makin besar ukuran penampang kawat yang digunakan.

b. Kabel

Kabel yaitu penghubung yang konduktornya dilindungi (dibungkus) oleh lapisan isolasi. Cara pembungkusannya ada yang berisi hanya satu (urat) konduktor, ada yang berisi dua, tiga, atau empat urat. Tapi untuk kepentingan

penyaluran daya bertegangan menengah ke atas umumnya digunakan satu urat atau tiga urat.

Sebagai bahan isolasi, dipilih dan digunakan beberapa jenis bahan yang berbeda, tergantung pada besarnya tegangan penyaluran dan juga tergantung dimana kabel tersebut dipasang. Pemasangan saluran kabel ini dilakukan dengan pertimbangan apabila saluran udara tidak memungkinkan untuk dipasang. Saluran kabel antara lain dipasang pada penyulang dari gardu induk ke SUTM dan dari SUTM ke gardu trafo pelanggan. Saluran kabel yang umum digunakan pada saluran jaringan distribusi adalah jenis XLPE dan CVT.

2.2.2 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Tempat Peletakkannya

Bentuk saluran distribusi berdasarkan tempat peletakkannya dapat dibedakan menjadi :

a. Saluran Udara (Over Head Line)

Saluran udara baik digunakan pada daerah dengan kerapatan beban kecil. Saluran udara banyak digunakan karena harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara dan harga materialnya relatif murah. Kelebihan lain saluran udara ini antara lain adalah mudah melakukan perluasan pelayanan, mudah melakukan pemeriksaan apabila terjadi gangguan pada jaringan, mudah melakukan pemeriksaan, serta tiang – tiang jaringan distribusi primer dapat digunakan untuk jaringan distribusi dan keperluan pemasangan trafo atau gardu tiang. Dengan demikian dapat dikatakan biaya instalasinya relatif murah.

Kekurangan pada saluran udara antara lain adalah gangguan lebih mudah terjadi karena penyaluran daya dilakukan melalui kawat atau kabel yang tergantung pada tiang dengan perantara isolator. Selain itu, biaya pemeliharaannya juga relatif tinggi dan mengurangi keindahan sekitarnya.

Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang (BCC), aluminium telanjang (AAC), serta bahan campuran yang berbasis aluminium (AAAC).

b. Saluran Bawah Tanah (Underground)

Saluran bawah tanah baik digunakan untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi, misalnya di pusat kota atau pusat industri. Saluran bawah tanah banyak digunakan dalam kawasan tersebut karena banyak terdapat bangunan - bangunan tinggi, sehingga pemasangan hantaran udara akan mengganggu, baik dari segi keindahan maupun dari keamanan. Pemasangan saluran udara dalam kawasan tersebut dapat membahayakan keselamatan manusia.

Bahan untuk kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Sebagai isolasi digunakan bahan – bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Jenis tegangan menengah sering dipakai juga minyak sebagai isolasi. Jenis kabel demikian dinamakan GPLK

(Gewapend Papier Load Cable) yang merupakan standar Belanda. Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC (Polivinyl Chloride) dan XLPE (Cross-linked Polyethylene) telah berkembang pesat dan merupakan bahan isolasi yang andal. (Kadir, 2006:39).

Beberapa keuntungan dari penggunaan saluran bawah tanah adalah bebas dari gangguan pohon, sambaran petir, dan tidak menyebabkan bahaya sentuh oleh manusia. Sedangkan beberapa kerugian dari penggunaan saluran bawah tanah adalah biaya pembangunan yang relatif mahal, sulit mengetahui letak gangguan jika terjadi gangguan dan gangguan tersebut bersifat permanen, serta waktu dan biaya yang diperlukan untuk menanggulangi jika terjadi gangguan lebih lama dan lebih mahal.

c. Saluran Kabel Bawah Laut

Saluran bawah laut (submarine cable) yaitu saluran yang dipasang di dasar laut untuk keperluan suplai antar pulau. Kabel jenis ini juga dirancang khusus atau disesuaikan dengan kondisi lingkungan tempat pemasangannya.

2.2.3 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Susunan Peletakannya

Istilah lain dari susunan peletakan untuk saluran distribusi tenaga listrik adalah konfigurasi. Konfigurasi suatu jaringan distribusi, baik primer maupun sekunder pada dasarnya dipengaruhi dan ditentukan oleh situasi medan dimana jaringan tersebut dipasang. Ada tiga macam konfigurasi yang dikenal, yaitu:

a. Konfigurasi Horizontal

Konfigurasi horizontal yaitu bila diantara ketiga saluran fasanya saling membentuk garis lurus horizontal sejajar dengan permukaan tanah. Konfigurasi horizontal ini ada dua macam, yaitu konfigurasi horizontal tanpa perisai pelindung dan konfigurasi horizontal dengan perisai pelindung.

b. Konfigurasi Vertikal

Konfigurasi vertikal yaitu bila diantara ketiga saluran fasa pada sistem tiga fasa (R, S, T) saling membentuk garis vertikal, yaitu tegak lurus dengan bidang tanah dan sejajar dengan posisi tiangnya. Dalam perkembangannya, terdapat pula konfigurasi vertikal delta.

c. Konfigurasi Segitiga atau Delta

Konfigurasi segitiga atau delta yaitu apabila ketiga saluran fasanya membentuk bidang segitiga (delta).

2.2.4 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Bahan Konduktornya

Jaringan distribusi SUTM 20 KV pada umumnya menggunakan jenis kawat yaitu saluran yang konduktornya tidak dilapisi isolasi sebagai pelindung luar (telanjang). Tipe demikian dipergunakan pada pemasangan luar yang diharapkan terbebas dari sentuhan misalnya untuk jenis kabel yaitu saluran yang konduktornya dilindungi (dibungkus) lapisan isolasi.

Bahan konduktor yang paling populer digunakan adalah tembaga (copper) dan aluminium. Tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar aluminium

telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Oleh karena itu ada beberapa macam jenis konduktor, yaitu :

a. AAC (All-Aluminium Conductor)

Kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium

b. AAAC (All-Aluminium-Alloy Conductor)

Kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium

c. ACSR (All Conduktor, Stell-Reinforced)

Kawat penghantar aluminium berinti kawat baja

d. ACAR (Aluminium Konduktor, Alloy- Reinforced)

Kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran

2.2.5 Bentuk Saluran Distribusi Berdasarkan Susunan Rangkaiannya

Saluran distribusi berdasarkan susunan rangkaiannya dapat dibedakan menjadi :

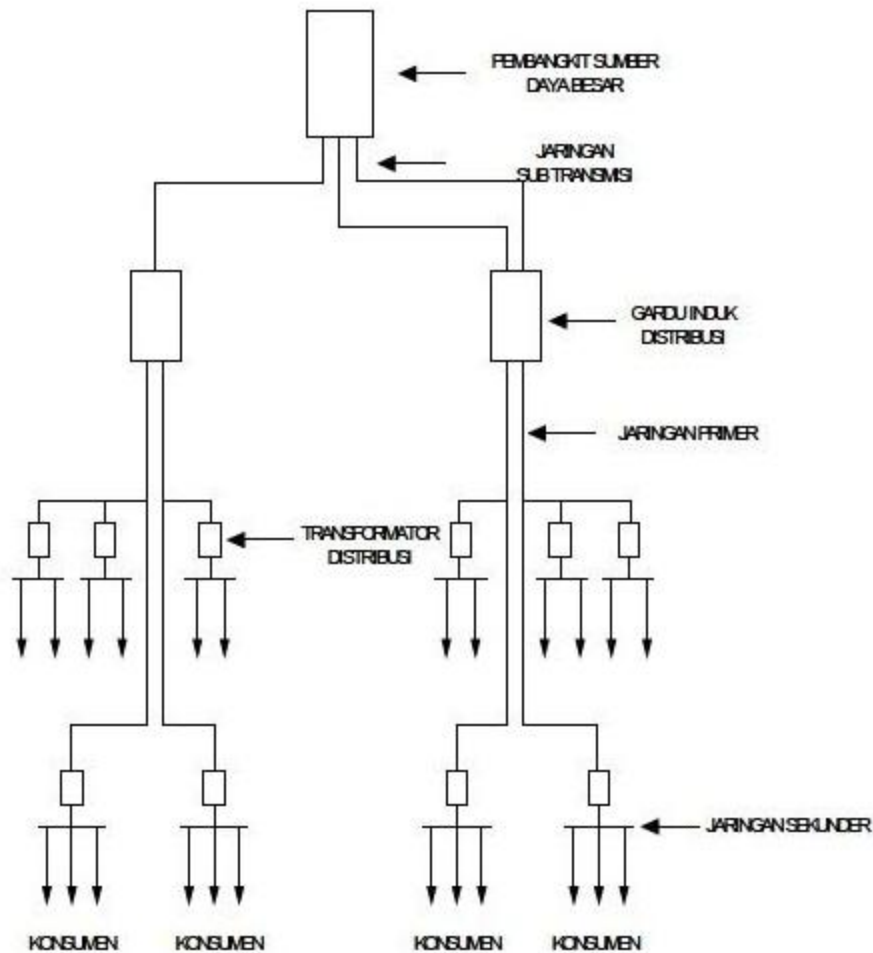
1. Sistem radial
2. Sistem loop
3. Sistem spindle
4. Sistem cluster

1. Sistem Radial

Sistem radial merupakan bentuk jaringan distribusi primer yang paling sederhana dan paling murah dalam perawatannya. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumberdar jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani. Sistem radial ini umumnya digunakan pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah). Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

Sistem ini bersumber dari gardu induk atau langsung dari pusat pembangkit listrik dan menyebar menuju gardu – gardu distribusi. Hal tersebut menyebabkan arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya

tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Maka, saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula.



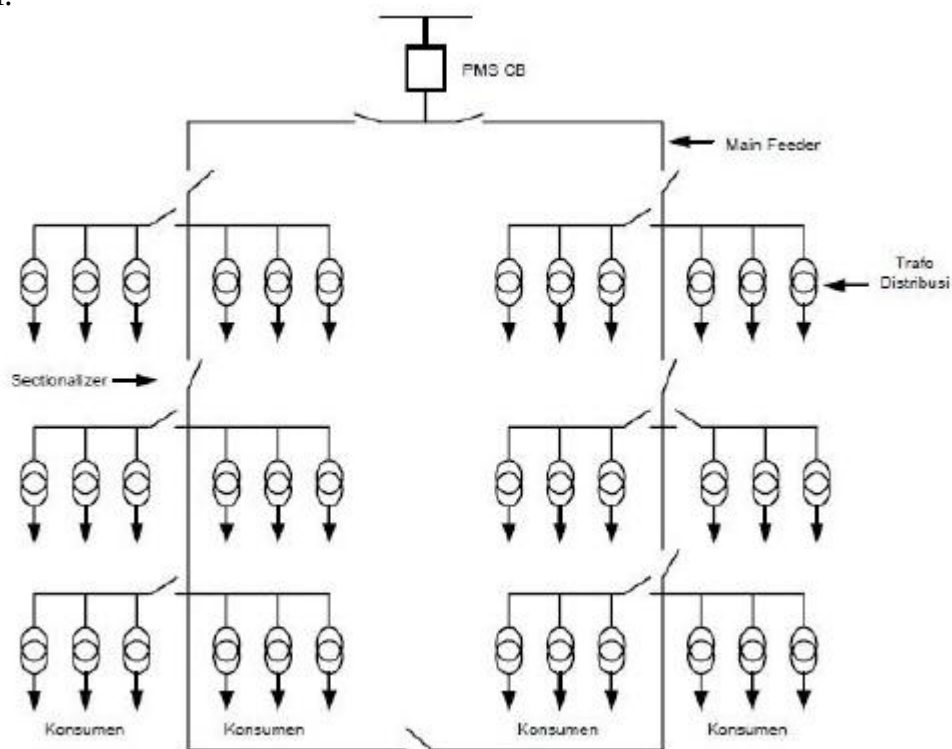
Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem Radial²

Kekurangan dari sistem ini adalah kurang terjaminnya kelangsungan penyaluran listrik, karena sistem ini hanya menghubungkan pada satu sumber daya melalui satu jalan saja. Apabila terjadi gangguan pada penyulang utama yang dekat dengan sumber maka akan terjadi pemutusan seluruh pelayanan sampai gangguan tersebut diatasi.

² Suhadi, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, 2008, Departemen Pendidikan Nasional Hal.18

2. Sistem Loop

Sistem jaringan distribusi loop adalah suatu sistem jaringan distribusi primer yang dimulai dari rel gardu induk atau sumber daya, melalui daerah beban dan kemudian kembali lagi ke rel gardu induk atau sumber daya yang sama. Susunan rangkaian saluran memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Konfigurasi Sistem Loop³

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ada dua macam, yaitu :

- a. Bentuk open loop (loop terbuka), bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

³ Suhadi, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1, Departemen Pendidikan Nasional 2008, Hal.21

- b. Bentuk close loop (loop tertutup), bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian antara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah jaringan distribusi radial, dimana pada ujung dua buah jaringan ini dipasang sebuah pemutus (PMT) atau pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka PMT atau PMS ditutup sehingga aliran listrik yang mengalir ke tempat terjadinya gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama.

Kelebihan dari jaringan distribusi loop adalah kualitas dan kontinuitas pelayanan daya lebih baik, sedangkan kekurangannya terletak pada biaya investasi yang mahal. Jaringan distribusi loop cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

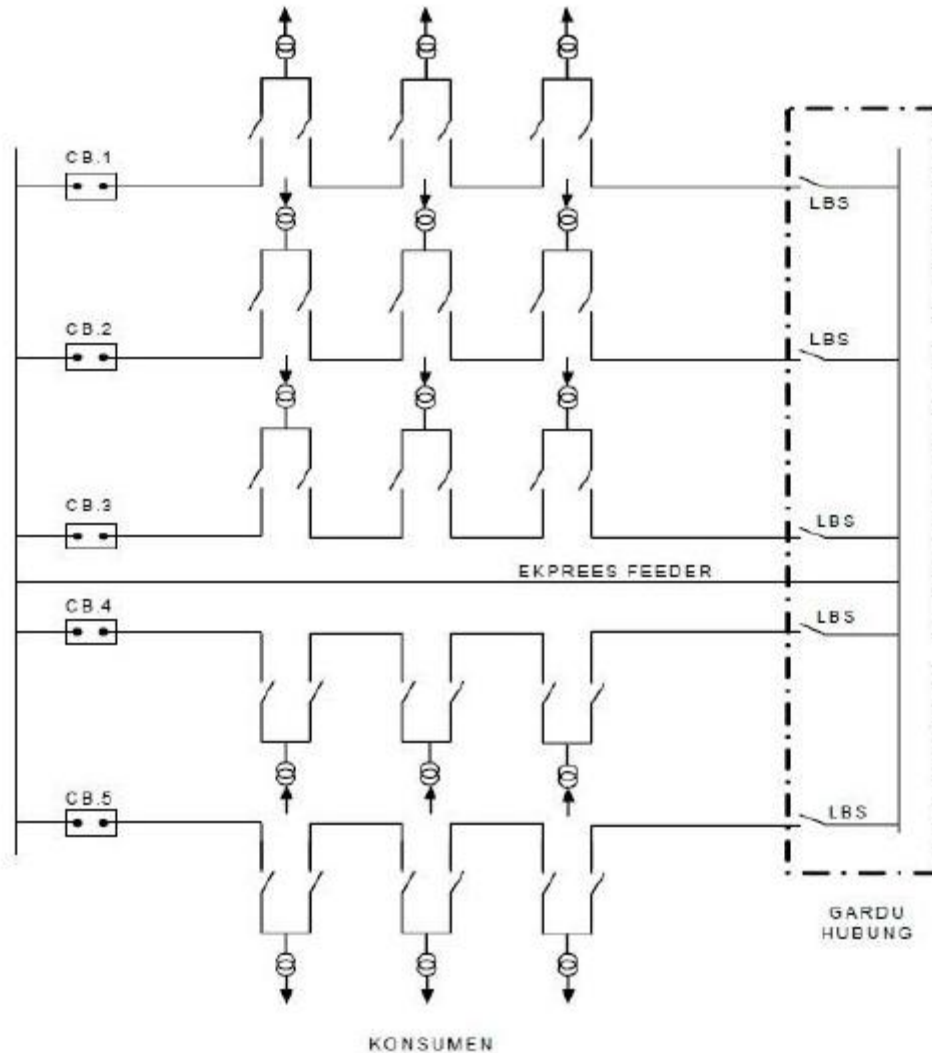
3. Sistem Spindle

Jaringan distribusi spindel merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Jaringan distribusi jenis ini biasanya banyak diterapkan di kota – kota besar.

Pada spindle, terdapat sebuah penyulang khusus yang disebut dengan penyulang express. Penyulang express ini tidak mencatu gardu – gardu distribusi, tetapi merupakan penyulang penghubung antara gardu induk dengan gardu hubung yang dimaksudkan untuk menjaga kelangsungan pasokan tenaga listrik ke konsumen jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang memasok gardu – gardu distribusi. Jika terjadi gangguan pada salah satu penyulang, maka penyulang lain tidak mengalami pemadaman karena dapat disuplai dari tempat lain melalui sebuah penyulang express. Jenis kawat yang digunakan untuk penyulang express ini sebaiknya kawat yang berpenampang lebih besar dari penyulang lain yang sedang beroperasi.

Sistem ini relatif mahal karena biasanya dalam pembangunannya sekaligus untuk mengatasi perkembangan beban dimasa yang akan datang. Proteksinya relatif sederhana hampir sama dengan sistem open loop. Biasanya di tiap – tiap

penyulang dalam sistem spindle disediakan gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manuver apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

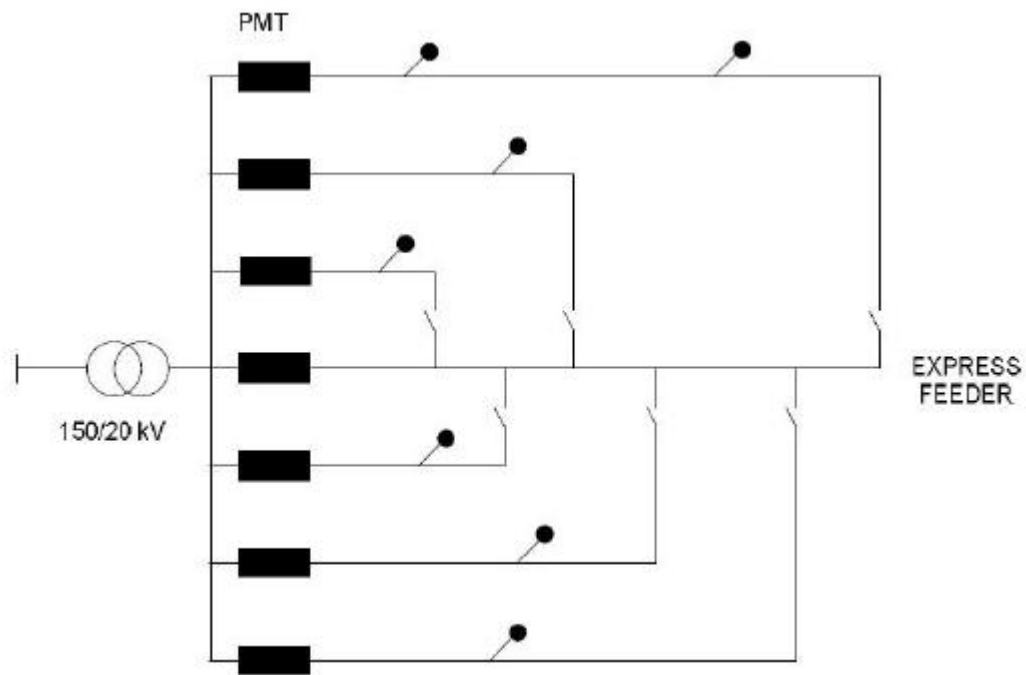


Gambar 2.4 Konfigurasi Sistem Spindle⁴

4. Sistem Cluster

Sistem cluster hampir sama dengan sistem spindle, karena dalam sistem cluster juga tersedia satu penyulang express yang merupakan penyulang tanpa beban yang digunakan sebagai titik manuver beban oleh penyulang dalam sistem ini. Proteksi yang digunakan untuk sistem cluster juga relatif sama dengan proteksi yang digunakan pada sistem spindle.

⁴ Suhadi, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*, Departemen Pendidikan Nasional, 2008, Hal.24



Gambar 2.5 Konfigurasi Sistem Cluster⁵

2.3 Parameter Saluran

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat – sifat listrik sebagai parameter saluran, seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu panjang (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV, maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada Penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa sistem tenaga.

⁵ Prasetya Ulah Sakti. *Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah*. PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang, 2008. Hal.8

2.3.1 Resistansi Saluran

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Dikenal dua macam tahanan, yaitu tahanan arus searah (R_{DC}) dan tahanan arus bolak-balik (R_{AC}). Nilai tahanan arus searah dapat ditentukan dari persamaan:

$$R_{dc} = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots (2.1^6)$$

dimana :

ρ = Resistivitas penghantar

l = Panjang kawat

A = Luas penampang kawat

sedangkan menurut AS. Pabla (1991) tahanan arus bolak-balik dapat diperoleh dari persamaan:

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

Y_s = skin effect

Y_p = proximity effect

Efek kulit atau *skin effect* adalah gejala pada arus bolak-balik, bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut semakin besar ke arah permukaan kawat. Tetapi bila ditinjau dari frekuensi kerja 50 Hz, maka efek kulit sangat kecil dan dapat diabaikan.

Efek sekitar adalah pengaruh dari kawat lain yang berbeda disamping kawat pertama yang ditinjau sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi bila radius konduktor kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan.

⁶ Stevenson, William D. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat. 1994. Hal. 39

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 :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1} \dots\dots\dots(2.3^7)$$

dimana :

R1= resistansi penghantar pada suhu t1 (temperatur sebelum operasi konduktor)

R2= resistansi penghantar pada suhu t2 (temperatur operasi konduktor)

t1 = temperatur awal (°C)

t2 = temperatur akhir (°C)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.3.2 Reaktansi Saluran

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

$$L = \left(0,5 + 4,6 \log \frac{D - r}{r} \right) \times 10^{-7} H / m \dots\dots\dots (2.4^8)$$

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

⁷ Stevenson, William D. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat. 1994. Hal. 40

⁸ Zuhail. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia. 1995. Hal.152

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots (2.5^9)$$

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

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

Dari persamaan 2.11 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.13 di bawah ini :

$$X_L = 2\pi f L \dots\dots\dots (2.7^{10})$$

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω/km)

2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.4 Rugi Tegangan

Suatu jaringan distribusi primer dikatakan kondisi tegangannya buruk apabila pada jaringan tersebut variasi tegangannya turun atau naik lebih dari tinggi dari harga yang diizinkan, sehingga mempengaruhi peralatan-peralatan listrik konsumen.

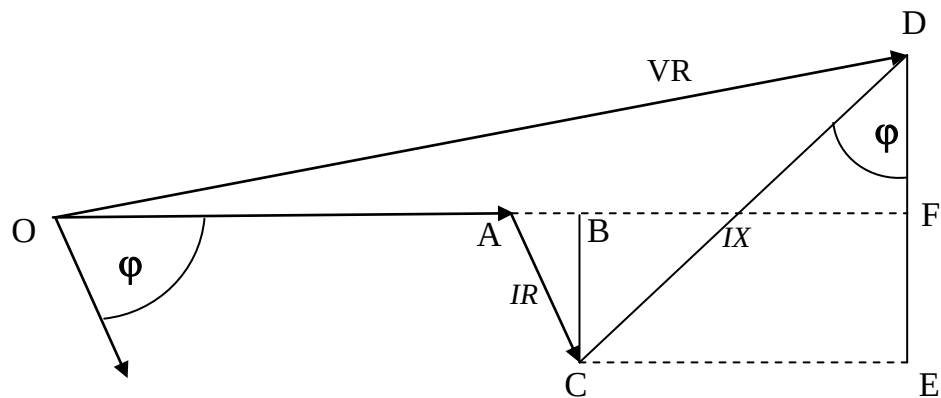
Timbulnya penurunan tegangan pada jaringan diakibatkan oleh adanya rugi tegangan pada jaringan/saluran atau peralatan yang membangun sistem jaringan distribusi primer tersebut. Besarnya rugi tegangan pada jaringan distribusi primer didefinisikan sebagai selisih tegangan antara sisi pangkal pengirim (V_s) dengan tegangan pada sisi ujung penerima (V_R), atau dapat ditulis sebagai berikut :

⁹ Ray, Subir. *Electrical Power Systems*. Pretince Hall of India Privite Limited.2007.Hal.56

¹⁰ B.L. Theraja. *Worked Examples In Electrical Technology*. Techouse.1983.Hal.236

$$\Delta V = V_S - V_R \dots\dots\dots (2.8)$$

Berdasarkan rangkaian ekivalen saluran pada gambar dapat digambarkan diagram vektor arus dan tegangan untuk beban dengan sudut daya tertinggal (*lagging*) seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Diagram fasor saluran distribusi

Untuk mendapatkan rugi tegangan distribusi primer dengan sistem pendekatan seperti pada diagram vektor diatas yaitu dengan mengasumsikan bahwa V_S dan V_R berhimpitan.

Pada gambar 2.6 dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vektor tersebut adalah :

$$\begin{aligned} AB &= AC \cdot \cos \varphi \\ AB &= IR \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CE &= CD \cdot \sin \varphi \\ CE &= IX \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

Sehingga dari persamaan 2.9 dan 2.10 didapat persamaan :

$$\begin{aligned} AF &= OF - OA \\ AF &= VR + IR \cdot \cos \varphi + IX \cdot \sin \varphi - VR \dots\dots\dots (2.11) \end{aligned}$$

Jadi AF dapat diganti dengan ΔV sehingga persamaan menjadi :

$$\begin{aligned} \Delta V &= IR \cdot \cos \varphi + IX \cdot \sin \varphi (2.12) \\ \Delta V &= I(R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \dots\dots\dots (2.12) \end{aligned}$$

Besar persentase rugi tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan persamaan :

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

Sedangkan untuk besarnya rugi tegangan untuk jaringan dalam volt dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Untuk saluran distribusi 1 fasa :

$$\Delta V(1\phi) = (I.R \cos \varphi + IX \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.14^{11})$$

Untuk saluran distribusi 3 fasa :

$$\Delta V(3\phi) = \sqrt{3}(I.R \cos \varphi + IX \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.15^{11})$$

Keterangan :

ΔV	= Rugi Tegangan (Volt)	V_s	= Tegangan awal (Volt)
I	= Arus (Ampere)	V_r	= Tegangan akhir (Volt)
R	= Resistansi (Ohm)	$\cos \varphi$	= Faktor daya
X	= Reaktansi (Ohm)	$\sin \varphi$	= Sudut reaktansi

¹¹ Sarimun, Wahyudi. *Buku Saku Pelayanan Teknik*. 2011. Hal.25