



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

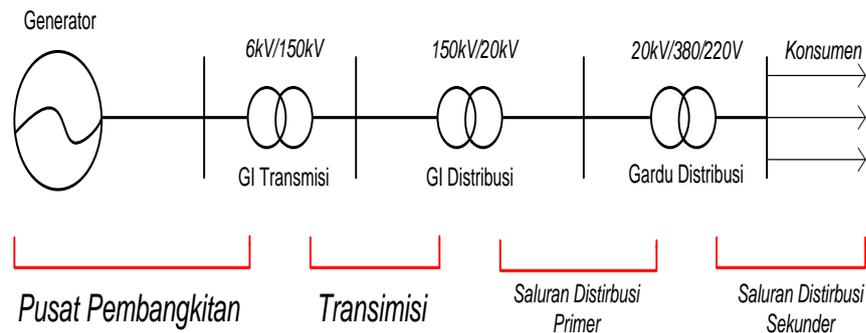
2.1 Sistem Tenaga Listrik¹²

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh hubungan-hubungan peralatan dan komponen-komponen listrik seperti generator, transformator, jaringan tenaga listrik dan beban listrik.

Peranan utama dari sistem tenaga listrik adalah menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator ke konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut. Secara garis besar suatu sistem tenaga listrik dapat di kelompokkan ke bagian subsistem :

1. Bagian pembangkit
 - a. Generator
 - b. Gardu induk sebagian
2. Bagian penyaluran/transmisi daya
 - a. Saluran transmisi
 - b. Gardu induk
 - c. Saluran transmisi
3. Bagian distribusi dan beban
 - a. Gardu induk distribusi
 - b. Saluran distribusi primer (20kV)
 - c. Gardu distribusi
 - d. Saluran distribusi sekunder (380/220 V)
 - e. Beban listrik/ konsumen

¹² Susilo, Rizal Tri. 2010. *Sistem Tenaga Listrik*. Diakses Juli 2019.
<https://id.scribd.com/doc/36440708/SISTEM-TENAGA-LISTRIK>

Gambar 2.1 Single Line Diagram¹²

2.2 Jaringan Distribusi³

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik ini merupakan proses membawa listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik. Gardu distribusi terhubung ke sistem transmisi dan menurunkan tegangan transmisinya dengan menggunakan trafo.

Distribusi ini dibagi menjadi dua bagian yaitu :

a. Distribusi Primer :

Yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian diturunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan. Pada distribusi primer terdapat tiga jenis dasar yaitu Sistem radial, Lup, dan sistem jaringan primer.

b. Distribusi Sekunder :

Yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah

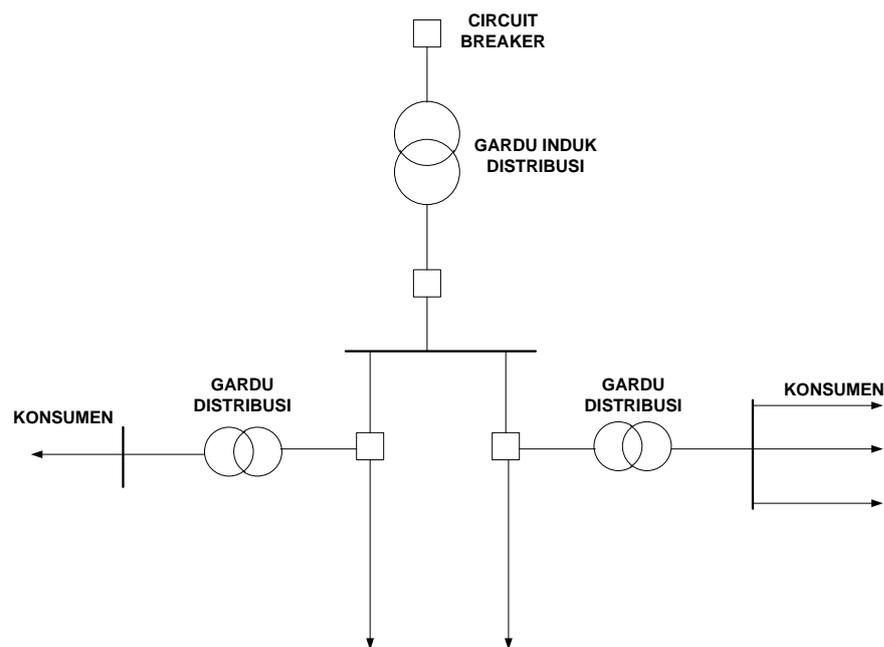
¹² Susilo, Rizal Tri. 2010. *Sistem Tenaga Listrik*. Diakses Juli 2019.

<https://id.scribd.com/doc/36440708/SISTEM-TENAGA-LISTRIK>

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

Konsumen rumah tangga maupun komersil biasanya terhubung dengan jaringan distribusi sekunder melalui sambungan rumah. Konsumen yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi dapat mengajukan permohonan untuk langsung terhubung dengan jaringan distribusi primer, atau ke level subtransmisi.



Gambar 2.2 Single Line Diagram Jaringan Distribusi³

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

2.2.1 Jenis Tegangannya⁸

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

2.2.2 Jenis Hantarannya³

A. Saluran Kawat Udara

Hantaran udara, terutama hantaran udara telanjang, digunakan pada pemasangan diluar bangunan, diregangkan pada isolator – isolator di antara tiang – tiang yang disediakan secara khusus. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang (BCC, yang merupakan singkatan dari *Bare Copper Cable*), aluminium telanjang (AAC atau *All Aluminium Cable*), campuran yang berbasis aluminium (Al-Mg-Si), aluminium berinti baja (ACSR atau *Aluminium Cable Steel Reinforced*) dan kawat baja yang diberi lapisan tembaga (*Copper-weld*).

Secara teknis, tembaga lebih baik dari pada aluminium, karena memiliki daya hantar arus listrik yang lebih tinggi. Namun karena harga tembaga yang tinggi, lagi pula memiliki kecenderungan untuk senantiasa naik, kian lama pemakaian kawat aluminium lebih banyak dipakai. Apalagi, kawat tembaga sering menjadi sasaran pencurian karena dapat diolah untuk pembuatan barang – barang lain yang laku di pasaran. Karenanya kawat aluminium berinti baja (ACSR) banyak dipakai untuk hantaran udara tegangan tinggi maupun tegangan menengah. Sedangkan untuk saluran udara tegangan rendah banyak dipakai kawat aluminium telanjang (AAC). Kini saluran tegangan rendah mulai diganti dengan kawat udara aluminium berisolasi dipilin (*Twisted Cable*).

Ukuran penghantar yang sering digunakan sebagai penyaluran tenaga listrik sebagai berikut :

⁸ Sarimun, Wahyudi. 2014. *Buku Saku Pelayanan Teknik (YanTek)*. Gramond : Depok

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

Jenis penghantar dan luas penampang : ⁸

1. A2C (150 – 240 mm) = *Alloy Alumunium Conductor*
2. A3C (150 – 240 mm) = *All Alloy Alumunium Conductor*
2. ACSR (240 mm) = *Alumunium Conductor Steel Rei inforced*

Kawat penghantar tembaga mempunyai kelebihan disbanding kawat penghantar alumunium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Kelemahannya, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari alumunium dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar alumunium telah menggantikan kedudukan kawat tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat alumunium digunakan campuran alumunium (*Alumunium Alloy*). Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antar tiang jauhnya sampai ratusan meter maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR.

B. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) ⁷

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin.

Isolasi penghantar tiap Fase tidak perlu di lindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangannya. Penghantar yang digunakan tersebut : A3C-S = Dengan material XLPE (*Crosslink plyetilene* dan berselubung PVC dengan tegangan pengenal 12/24 kV (SPLN 43-5-2 : 1995)

⁸ Sarimun, Wahyudi. 2014. *Buku Saku Pelayanan Teknik (YanTek)*. Gramond : Depok

⁷ Tim Penyusun. 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

C. Saluran Bawah Tanah

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per fasa dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan konduit atau bahkan tunneling (terowongan beton).

Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal / meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Secara garis besar, termasuk dalam kelompok SKTM adalah :

1. SKTM bawah tanah – *underground MV Cable*.
2. SKTM laut – *Submarine MV Cable*

Selain lebih aman, namun penggunaan SKTM lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama, sebagai akibat konstruksi isolasi penuh penghantar per fasa dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan sesuai keamanan ketenagalistrikan.

Penerapan instalasi SKTM seringkali tidak dapat lepas dari instalasi Saluran Udara Tegangan Menengah sebagai satu kesatuan sistem distribusi sehingga masalah transisi konstruksi diantaranya tetap harus dijadikan perhatian.

2.2.3 Peralatan Hubung⁶

Pada jaringan SUTM digunakan juga peralatan switching untuk optimasi operasi distribusi. Sesuai karakteristiknya, peralatan hubung dapat dibedakan atas:

⁶ Tim Penyusun. 2010. *Buku 4 Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

1. Pemisah (*Disconnecting Switch = DS*)

Disconnecting Switch Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. *Disconnecting Switch* atau Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.

2. Pemutus beban (*Load Break Switch = LBS*)

Pemutus beban Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (*remote control*), *Remote Terminal Unit* (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak.

2.2.4 Peralatan Proteksi

Pada jaringan SUTM digunakan juga peralatan proteksi untuk optimasi operasi distribusi. Sesuai karakteristiknya, peralatan proteksi dapat dibedakan atas:

1. Pemisah dengan pengaman lebur (*Fused Cut-Out*)⁶

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk *Fuse Link*. Terdapat 3 jenis karakteristik *Fuse Link*, tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H yang tahan terhadap arus surja. Data aplikasi pengaman lebur dan kapasitas transformatornya dapat dilihat pada tabel. Apabila tidak terdapat petunjuk yang lengkap, nilai arus pengenalan pengaman lebur sisi primer tidak melebihi 2,5 kali arus nominal primer transformator. Jika sadapan *Lighning Arrester* (LA) sesudah *Fused Cut Out*, dipilih *Fuse Link* tipe-H. Jika sebelum *Fused Cut Out* (FCO) dipilih *Fuse Link* tipe-K. Sesuai Publikasi IEC 282-2 (1970)/NEMA) di sisi primer berupa pelebur jenis pembatas arus. Arus pengenalan pelebur jenis letupan (*expulsion*) tipe-H (tahan surja kilat) tipe-T (lambat) dan tipe-K (cepat) menurut publikasi IEC No. 282-2 (1974) – NEMA

⁶ Tim Penyusun. 2010. *Buku 4 Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

untuk pengaman berbagai daya pengenal transformator, dengan atau tanpa koordinasi dengan pengamanan sisi sekunder



Gambar 2.3 Fuse Cut Out¹³

2. Pemutus Balik Otomatis (*Automatic Recloser*)⁵

Recloser (Penutup Balik Otomatis / PBO) pada dasarnya adalah pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol. Peralatan ini dapat merasakan arus gangguan dan memerintahkan operasi buka tutup kepada pemutus tenaga. Untuk jaringan yang panjang (>20 km) perlu dipasang 2 atau lebih PBO pada jarak tertentu dengan koordinasi yang baik, agar gangguan yang terjadi dapat segera dibebaskan



Gambar 2.4 Automatic Recloser¹⁴

¹³ https://www.alibaba.com/product-detail/hot-sell-silicon-rubber-transformer-equipments_60563938849.html. Diakses 9 Juli 2019

⁵ Tim Penyusun. 2010. *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

¹⁴ <https://www.nojapower.com/press/2017/reclosers-as-sectionalisers.html>. Diakses 9 Juli 2019

Saklar Seksi Otomatis (*Automatick Sectionalizer*) pada dasarnya adalah pemutus tenaga yang dilengkapi dengan peralatan kontrol. Peralatan ini dapat merasakan arus gangguan dan memerintahkan operasi buka tutup kepada pemutus tenaga dipasang dipencabangan, sedangkan Gardu Induk dilengkapi dengan *auto reclosing relay*.

3. Penghantar tanah (*Shield Wire*)

Untuk mengurangi gangguan akibat sambaran petir langsung. Instalasi kawat tanah dapat dipasang pada SUTM didaerah padat petir yang terbuka

2.2.5 Isolator⁷

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/travers dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah

1. Isolator Tumpu



Pin-Insulator

A



Pin-Post Insulator

B



Line-Post Insulator

C

Gambar 2.5 Isolator Tumpu⁷

⁷ Tim Penyusun. 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

2. Isolator Tarik



Piringan

A



Long-Rod

B

Gambar 2.6 Isolator Tarik⁷

2.2.6 Jenis Konektor⁷

Konektor adalah peralatan yang dipergunakan untuk menyambung kawat penghantar. Jenis konektor yang digunakan ada beberapa macam yaitu :

- Joint Sleeve Connector* (Sambungan Lurus) , *Joint sleeve* adalah jenis konektor yang digunakan untuk sambungan penghantar pada posisi lurus.
- Paralel Groove Connector* (Sambungan Percabangan) atau *Tap connector* adalah jenis konektor yang digunakan untuk sambungan penghantar pada titik percabangan.
- Live Line Connector* (Sambungan Sementara yang bisa dibuka pasang), *Live Line connector* adalah jenis konektor yang digunakan untuk pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB).

⁷ Tim Penyusun. 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

2.2.7 Thermovision⁴



Gambar 2.7 Thermovision⁴

Thermovision adalah instrument untuk memvisualisasikan dan mendeteksi suhu pada suatu objek yang di tangkap dan di tampilkan ke sebuah layar dengan teknologi inframerah. untuk mengetahui suhu panas pada sambungan dan konduktor, agar mendapatkan nilai selisih suhu sambungan terhadap suhu konduktor, sehingga dapat mendeteksi keadaan pada peralatan *switchyard* dalam keadaan normal atau tidak normal, serta membahas metode pengukuran nilai emisivitas untuk memperoleh nilai emisivitas yang akurat dan baik, agar menyatakan bahwa nilai pengukuran suhu memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik. Titik panas (*hot point*) pada peralatan gardu induk (*switchyard*), merupakan sebuah parameter yang di pantau dan di analisa perubahannya setiap saat. Hal ini berkaitan erat dengan proteksi dan keandalan sistem yang ada di *switchyard*. Metode yang di gunakan yaitu mencari referensi penelitian, mengumpulkan data penelitian di lokasi, analisa dan perhitungan matematis. Hasil pengukuran suhu klem sambungan di ambil 20 sample suhu untuk perhitungan nilai emisivitas untuk mendapatkan nilai akurasi dan presisi metode uji menggunakan metode validasi. Hasil perhitungan dari selisih suhu klem terhadap konduktor di dapat 33 sambung dalam kondisi baik, 3 sambungan dalam kondisi pemeriksaan saat pemeliharaan dan 1 sambungan dalam kondisi

⁴ Putra, Roni Ramadhani. 2018. *Termovisi Dalam Melihat Hot Point Pada Gardu Induk 150 kV Palur*. Universitas Muhammadiyah : Surakarta.

perencanaan perbaikan, metode uji emisivitas mendapatkan nilai presisi 0,4 % dan akurasi 99,84 % sehingga metode uji perhitungan di nyatakan dapat digunakan.

2.2.8 Jenis Tiang⁷

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.

2.3 Struktur Topologi Jaringan Distribusi³

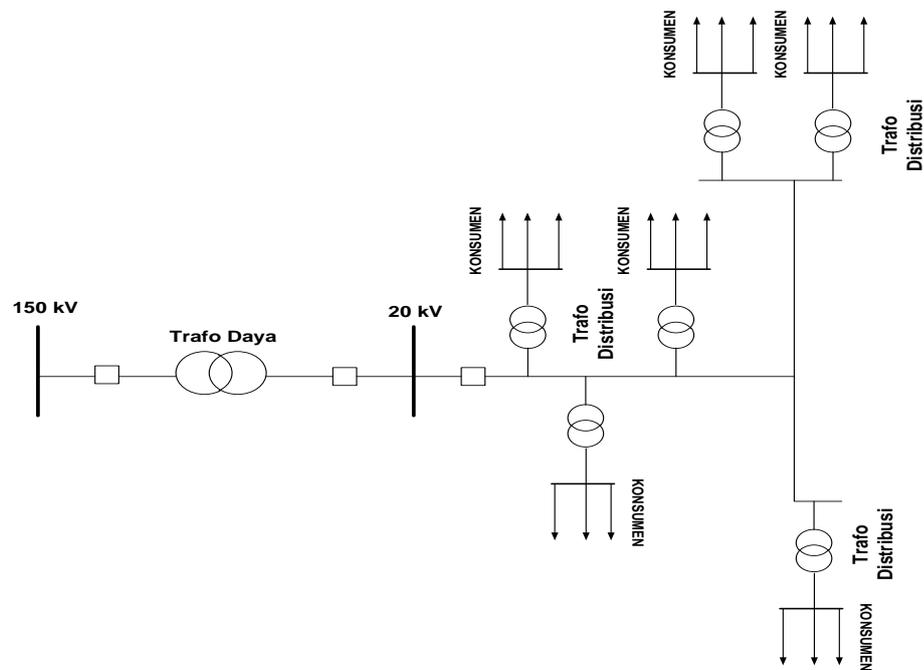
2.3.1 Struktur Jaringan Radial

Struktur ini paling sederhana dan paling murah biaya pembangunannya. Cabang dari penyulang utama disebut penyulang lateral, sedangkan cabang dari

⁷ Tim Penyusun. 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. PT. PLN (Persero) : Jakarta Selatan.

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

penyulang lateral disebut penyulang sub lateral. Arus yang paling besar mengalir yang paling dekat dengan Gardu Induk (GI), arus yang paling kecil nilainya yaitu yang paling jauh dengan Gardu Induk (GI), sehingga memungkinkan ukuran konduktor diperkecil. Adapun keandalan dari struktur ini yaitu kurang andal, karena jika terdapat gangguan di suatu penyulang maka seluruh penyulang akan kehilangan energi. Namun, pemasangan pada rumah sakit atau pemakai vital lain tidak boleh mengalami gangguan yang berlangsung lama. Dalam hal demikian, satu penyulang tambahan disediakan, yang menyediakan suatu sumber penyedia energi alternatif.



Gambar 2.8 Struktur Jaringan Radial³

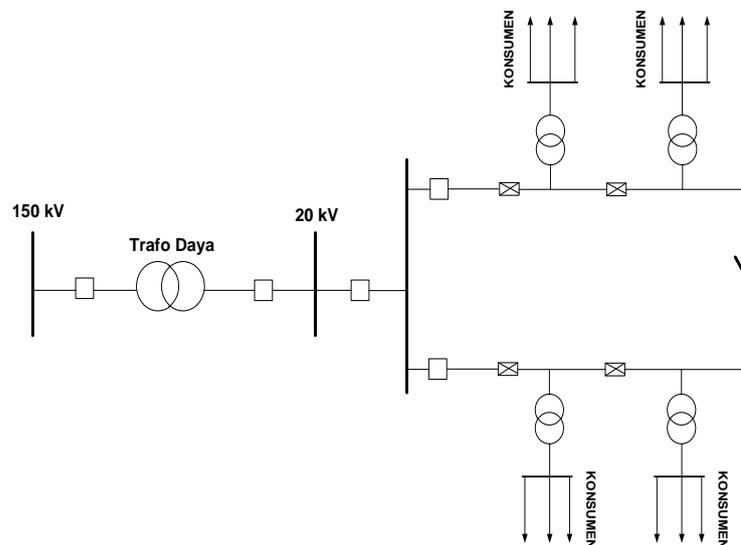
2.3.2 Struktur Jaringan *Loop*

Suatu cara lain guna mengurangi lama interupsi daya yang disebabkan gangguan adalah dengan mendesain *feeder* sebagai *lup* dengan menyambung kedua ujung 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

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

cadangan yang cukup besar harus tersedia pada tiap *feeder*. Sitem lup dapat dioperasikan secara terbuka dan tertutup.

Sistem lup terbuka, kedua ujung *feeder* tersambung melalui alat pemisah (*Disconnectors*). Bila terjadi gangguan, bagian saluran dari *feeder* yang terganggu dapat dilepas dan menyambunginya pada *feeder* yang tidak terganggu. Sitem dioperasikan secara manual. Sedangkan sitem lup tertutup, diperoleh keandalan yang lebih tinggi, saklar – saklar daya itu digerakkan oleh relai yang membuka saklar daya pada tiap ujung dari bagian saluran yang terganggu, sehingga bagian fider yang tersisa tetap berada dalam keadaan berenergi.

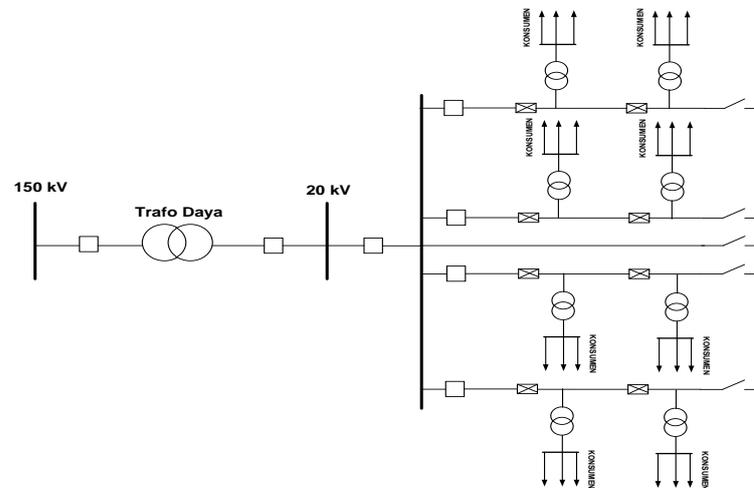


Gambar 2.9 Struktur Jaringan *Loop*³

2.3.3 Struktur Jaringan Sistem Spindel

Merupakan perluasan dari struktur jaringan radial, dimana jumlah saluran keluar dari rel tegangan menengah diperbanyak dan konsumennya akan bertemu pada suatu tempat yang disebut gardu refleksi yang hanya berfungsi sebagai gardu hubung. Selain dari itu disediakan pada satu atau dua saluran yang langsung menuju ke gardu refleksi. Pada kondisi normal saluran ini tidak dibebani tetapi selalu dalam kondisi bertegangan.

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta



Gambar 2.10 Struktur Jaringan Spindel³

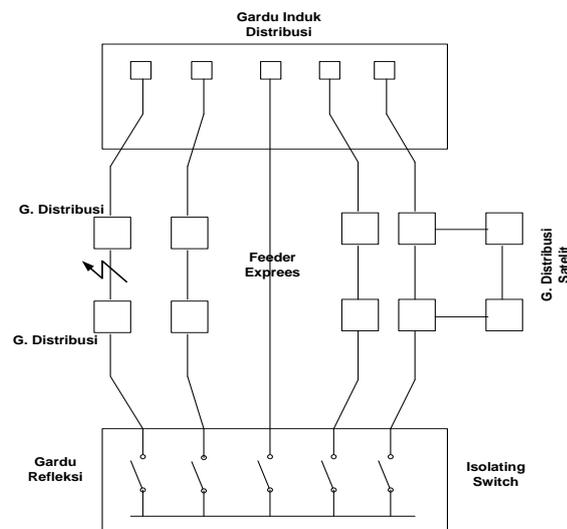
Bila terjadi gangguan pada salah satu spindelnya misal antara gardu A dan B akan mengisolir gangguan tersebut. Kebutuhan daya untuk gardu A tetap disalurkan lewat saluran biasa. Sedangkan untuk gardu B akan disalurkan lewat saluran express dengan memasukkan S0 dan S1. Dengan demikian seluruh beban tetap dilayani tanpa mengalami pemutusan. Sistem ini sangat cocok untuk melayani kota-kota besar dimana beban tersebar dimana – mana.

Karakteristik struktur jaringan spindle :

- a. Satu sumber daya dari Gardu Induk Distribusi
- b. Memiliki gardu refleksi
- c. Biaya konstruksi lebih mahal dan lebih andal dari radial
- d. Pada kondisi normal, karakteristiknya sama dengan radial

Bila satu atau dua gardu distribusi lainnya terletak terlalu jauh dalam keadaan ini tidak ekonomis jika membuat satu saluran spindle baru, maka gardu – gardu tersebut dapat di supply dari gardu distribusi pada saluran spindle yang telah ada, gardu tersebut disebut sebagai Gardu Satelit.

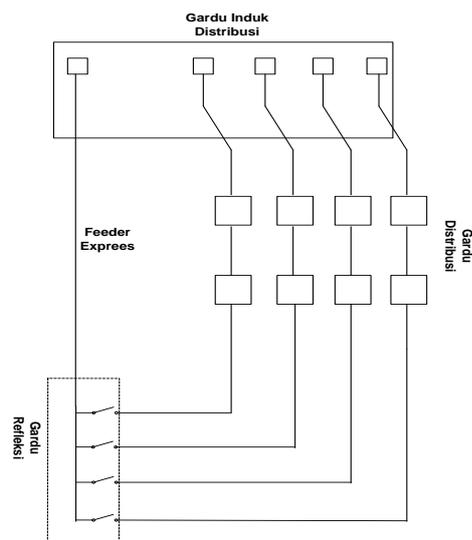
³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta



Gambar 2.11 Gardu Satelit³

2.3.4 Struktur Jaringan *Cluster*

Dimana penyulang express secara tak langsung berperan sebagai gardu refleksi. Dibandingkan dengan sistem struktur jaringan spindel, adakalanya sistem ini lebih menguntungkan karena pada saat penambahan beban, dapat memperpanjang dan menggunakan kabel yang sudah ada. Pada sistem spindel, harus menarik kabel dari Gardu TT/TM ke gardu refleksi.



Gambar 2.12 Struktur Jaringan *Cluster*³

³ Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi tenaga listrik*. Universitas Indonesia : Jakarta

2.3.5 Struktur Jaringan *Margarithe*

Merupakan pengembangan dari struktur jaringan radial dan struktur jaringan *loop*. Beban – beban lainnya yang terpusat dan jauh dari gardu TT/TM dilayani oleh beberapa penyulang *express*. Dipusat beban yang siku dibuat sistim *loop* lagi dengan cara yang sama. Struktur jaringan seperti ini banyak digunakan pada daerah – daerah dimana pengembangan kebutuhannya tidak merata.

2.4 Faktor Dalam Pendistribusian Daya

Jaringan Distribusi dirancang agar dapat menyalurkan daya yang sebesar – besarnya, dengan panjang saluran, faktor daya, dan ukuran hantaran serta pengaturan tegangan atau daya guna tertentu karena panjang saluran dan faktor daya akan ditetapkan terlebih dahulu. Dengan mengetahui karakteristik listrik dari hantaran ini maka untuk berbagai kemungkinan faktor daya di usahakan penyaluran daya yang sebesar – besarnya pada :

1. Pengaturan Tegangan
2. Daya guna

Dengan menetapkan jenis dan ukuran hantaran, karakteristik mekanik dari hantaran inilah yang merupakan patokan pokok bagi kriteria mekanik dalam perencanaan saluran hantaran yang dipilih haruslah mempunyai karakteristik listrik yang baik (terutama tahanan yang rendah).

2.5 Parameter Saluran Distribusi

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat – sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasistansi dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (Kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasistansi 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. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Sedangkan Induktansi timbul dari efek medan magnet disekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk mengembangkan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisis sistem tenaga.

2.5.1 Resistansi Saluran¹

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 :

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- ρ = resistivitas penghantar
- L = panjang kawat
- A = luas penampang kawat

Sedangkan menurut AS. Pabla (1991) tahanan arus bolak-balik dapat diperoleh dari,

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

Dimana :

- Y_s = *skin effect*
- Y_p = *proximity effect*

Resistansi dc dari kawat penghantar lilitan (*standared*) adalah yang lebih besar dihitung dari persamaan (2.1), karena pembentukan lilitan – lilitan membuatnya menjadi lebih panjang dari kawat penghantar itu sendiri. Kenaikan resistansi

¹ Barlian, Taufik dkk. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Andi : Yogyakarta

karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1 % untuk kawat penghantar yang tiga serat dan 2 % untuk kawat penghantar lilitan konsentris.

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 yang 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.

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 :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

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

R2 = Resistansi penghantar pada suhu t2 (temperature operasi konduktor)

T1 = temperature awal (°C)

T2 = temperature akhir (°C)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut :

T = 241 untuk tembaga *hard drawn* dengan konduktivitas 97,5%

- T = 234,5 untuk tembaga *annealed* dengan konduktivitas 100 %
T = 228 untuk aluminium *hard drawn* dengan konduktivitas 61%

2.5.2 Daya Kompleks¹

Perkalian tegangan **V** dengan arus **I** dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah **VI** yang dinamakan daya kompleks dengan symbol **S**, dalam satuan *VoltAmpere (VA)*, *KiloVoltAmpere (kVA)*, *MegaVoltAmpere(MVA)*. Arus **I** adalah arus conjugate dari **I**. jadi

$$S = V.I \dots\dots\dots(2.3)$$

2.5.3 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan $S \cos \theta$ atau **VI cos θ** dengan symbol **P**, dalam satuan *Watt (W)*, *kilo watt (kW)*, *Mega Watt (MW)*. Jadi

$$P = S \cos \theta = V.I \cos \theta \dots\dots\dots(2.4)$$

2.5.4 Daya Reaktif

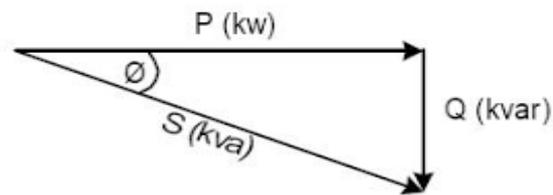
Daya aktif atau nyata dirumuskan dengan $S \sin \theta$ atau **V.I sin θ** dengan symbol **Q**, dalam satuan *Volt Ampere Reaktif (VAR)*, *Kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR)*, *Mega Volt Ampere Reaktif (MVAR)*. Jadi

$$Q = S \sin \theta = V.I \sin \theta \dots\dots\dots(2.5)$$

2.5.5 Segitiga Daya

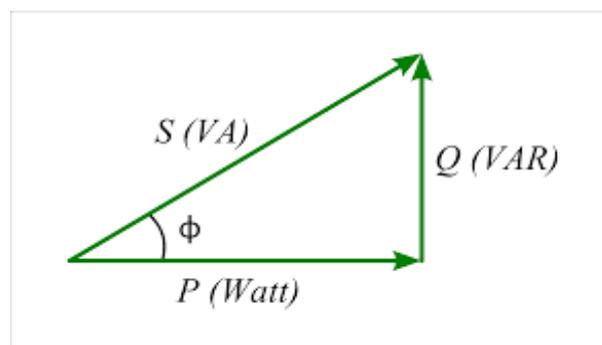
Segitiga daya adalah sketsa dari daya kompleks, daya reaktif dan daya aktif. Gambar 2.13 adalah sketsa dari segitiga daya yang bersifat induktif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ .

¹ Barlian, Taufik dkk. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Andi : Yogyakarta



Gambar 2.13 Bersifat Induktif ¹

Untuk sketsa dari segitiga daya yang bersifat kapasitif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ seperti gambar 2.14



Gambar 2.14 Bersifat Kapasitif ¹

2.5.6 Faktor Kerja ($\cos \theta$)¹

Faktor kerja merupakan sudut yang terbentuk antara daya nyata (S) dan aktif (P). Hubungan antara kedua jenis daya dengan faktor kerja ini, dapat ditentukan dari persamaan 3 dan 4. Kedua persamaan ini membentuk persamaan :

$$P = S \times \cos \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

Sehingga

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.5.7 Rugi – Rugi Daya Dalam Saluran

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar

¹ Barlian, Taufik dkk. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Andi : Yogyakarta

rugi – rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil – kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang di salurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. Besar rugi daya pada saluran tiga phasa dapat dicari dengan persamaan :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \dots \dots \dots (2.8)$$

Jika besar rugi daya diperoleh, maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_Z \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

- P_Z = Rugi daya pada saluran (MW)
- P_R = Besar Daya yang Diterima (MW)
- P = Besar daya yang di salurkan (MW)
- R = Tahanan jaringan (Ω/Km)
- L = Panjang Jaringan (Km)
- I = Besar kuat arus pada beban (A)
- LLF = Loss Load Faktor

2.5.8 Faktor Beban²

Faktor Beban (*Load factor*) adalah rasio beban rata-rata selama periode waktu yang ditentukan dengan beban puncak yang terjadi pada periode itu. Oleh karena itu, faktor beban LF adalah

$$L_f = \frac{\text{Beban Rata-rata}}{\text{Beban Puncak}} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.5.9 Faktor Rugi – Rugi Beban (*Losses Load Factor*)²

Faktor rugi – rugi merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Definisinya merupakan perbandingan dari jumlah susut energi total pada periode tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada periode tersebut. Nilai faktor kerugian mendekati nilai faktor beban. Oleh karena itu, secara umum, nilai faktor kerugian adalah

² Gönen, Turan. 1965. *Electric Power Distribution System. University of Missouri : Columbia*



$$L_f^2 < LLF < L_f \dots\dots\dots(2.11)$$

Oleh karena itu faktor kehilangan tidak dapat ditentukan secara langsung dari faktor beban. Alasannya adalah bahwa faktor kerugian ditentukan dari kerugian sebagai fungsi waktu, yang, pada gilirannya, sebanding dengan fungsi waktu dari beban kuadrat.

Namun, *Buller* dan *Woodrow* mengembangkan rumus perkiraan untuk menghubungkan faktor kehilangan dengan faktor beban sebaga

$$LLF = 0,3L_f + 0,7 (L_f)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$