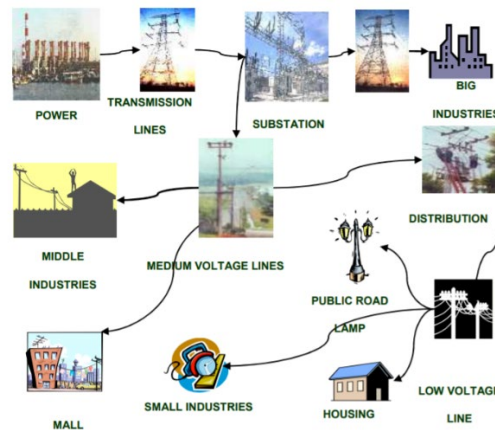


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik Secara Umum⁸

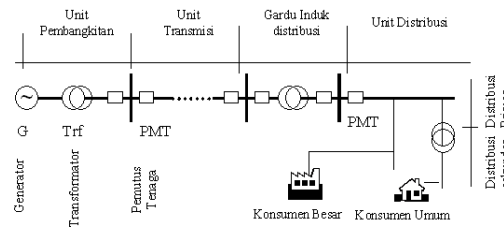
Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan-persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat, dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Dengan menggunakan Blok diagram sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut :

⁸ Pusat Pendidikan dan Pelatihan, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, PT. PLN (Persero), Hal. 1



Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat tenaga listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada di pusat listrik. Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT. Dilingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 KV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 KV dimana SUTT 150 KV lebih banyak digunakan dari pada SUTT 70 KV.

Khusus untuk tegangan 500 KV saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. yang disingkat dengan nama SUTET. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan saluran kabel tanah adalah saluran udara mudah terganggu oleh gangguan yang ditimbulkan dari luar sistemnya, misalnya karena sambaran petir, terkena ranting pohon, binatang, layangan dan lain sebagainya. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer.

Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV. Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga

listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (*step down transformer*) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt.

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 380/220 volt dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang tiang TR terdapat pula lampu – lampu penerangan jalan umum. Energi diterima pemakai dari tiang TR melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR) dan berakhir pada alat pengukur listrik (KWH) yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN.

2.2. Sistem Jaringan Distribusi⁸

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari PMT incoming di Gardu Induk sampai dengan Alat Pengukur dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk sebagai pusat pusat beban ke pelanggan pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi (gardu trafo) dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku. dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam

⁸ Pusat Pendidikan dan Pelatihan, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, PT. PLN (Persero), Hal.9

operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dimana sistem adalah perangkat unsur-unsur yang saling ketergantungan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan menampilkan fungsi yang ditetapkan.

Penyulang / *Feeder* adalah jaringan PLN yang berfungsi menyalurkan / mendistribusikan energi listrik dengan tegangan 20 kV dari Gardu Induk (GI) menuju Gardu Distribusi hingga sampai ke konsumen dengan tegangan 380 Volt atau 220 Volt. Pada sistem distribusi, setiap penyulang harus memiliki kriteria / persyaratan yang harus dipenuhi meliputi :

1. Kontinuitas pelayanan
2. Keandalan yang tinggi
3. Tegangan jatuh yang sekecil mungkin.
4. Pertimbangan ekonomis.¹⁴

Fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

2.3. Pengelompokan Jaringan Distribusi⁴

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

1. Berdasarkan ukuran tegangan
2. Berdasarkan ukuran arus
3. Berdasarkan sistem penyaluran
4. Berdasarkan konstruksi jaringan
5. Berdasarkan bentuk jaringan.

¹⁴ Ayati Saadah, M. Iqbal Arsyad, Junaidi, "Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru untuk Pembagian Beban Penyulang Sahang 1 dan Raya 17 PT PLN (Persero) ULP Siantan, Volume 2 No 1, 2020, Hal. 1. (Diunduh dari laman <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43319> pada 15 April 2022).

⁴ Daman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi Pertama, (Padang: Universitas Negeri Padang, 2009), Hal. 11.

2.3.1. Berdasarkan ukuran tegangan

Berdasarkan ukuran tegangan, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan pada dua sistem, yaitu sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder.

1. Sistem jaringan distribusi primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut saluran udara tegangan menengah ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 20 kV.

2. Sistem jaringan distribusi sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah, 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 220/380 V.

2.3.2. Berdasarkan ukuran arus

Berdasarkan ukuran arus listrik maka sistem jaringan distribusi dapat dibedakan dalam dua macam, yaitu :

1. Jaringan Distribusi AC

Pada jaringan distribusi AC digunakan arus bolak balik (Alternating Current).

2. Jaringan Distribusi DC

Penggunaan jaringan DC ini dilakukan dengan jalan menyearahkan terlebih dahulu arus bolak-balik ke arus searah dengan alat penyearah converter, sedangkan untuk mengubah kembali dari arus bolak-balik ke arus searah digunakan alat inverter.

2.3.3. Berdasarkan sistem penyaluran

Berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu dengan :

1. Saluran udara (*overhead line*)
2. Saluran bawah tanah (*underground cable*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditumpang pada tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanamkan di dalam tanah.

1. Saluran Udara (*Overhead Lines*)³

Hantaran udara, terutama hantaran udara telanjang, digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator di antara tiang-tiang yang disediakan secara khusus untuk maksud itu. 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 daripada aluminium, karena memiliki daya hantar arus listrik yang lebih tinggi. Namun karena harga tembaga yang tinggi, lagipula 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 untuk saluran udara banyak juga dipakai kawat udara aluminium punter berisolasi (*twisted wire*).

³ Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, (Jakarta: Universitas Indonesia, 2000), Hal. 35.

2. Saluran Bawah Tanah (*Underground Lines*)

Bahan untuk kabel dan kabel tanah pada umumnya terdiri atas tembaga atau aluminium. Sebagai isolasi dipergunakan bahan-bahan berupa kertas serta perlindungan mekanikal berupa timah hitam. Untuk tegangan menengah sering dipakai juga minyak sebagai isolasi. Jenis kabel demikian dinamakan GPLK (*Gewapend Papier Lood Kabel*) yang merupakan standar Belanda, atau NKBA (*Normal kabel mit Bleimantel Aussenumheullung*), standar Jerman.

Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC (*Polyvinyl Chloride*) dan XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*) telah berkembang dengan pesat dan merupakan bahan isolasi yang andal. Karena kabel berisolasi bahan buatan lebih murah, sangat andal dan penggunaannya juga lebih mudah, jenis-jenis kabel berisi minyak seperti GPLK dan NKBA banyak ditinggalkan. Kabel berisolasi XLPE adalah lebih mahal dan dipergunakan untuk tegangan menengah dan tegangan tinggi.

2.3.4. Berdasarkan konstruksi jaringan⁴

Melihat bentuk konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara, maka dikenal 2 macam konstruksi, yaitu :

1. Konstruksi Horizontal

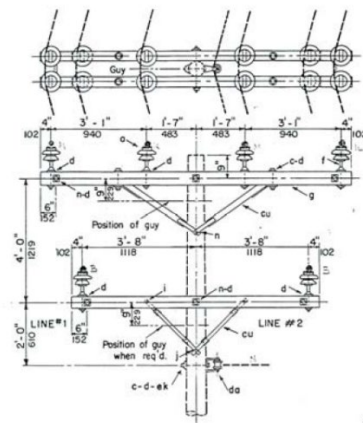
Keuntungannya:

- a. Tekanan angin yang terjadi, terfokus pada wilayah *cross-arm (travers)*
- b. Dapat digunakan untuk saluran ganda tiga fasa

Kerugiannya:

- a. Lebih banyak menggunakan *cross-arm (travers)*
- b. Beban tiang (tekanan ke bawah) lebih berat.
- c. Lebih banyak menggunakan isolator

⁴ Daman Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Edisi Pertama, (Padang: Universitas Negeri Padang, 2009), Hal. 18.



Gambar 2.3 Konstruksi Jaringan Horizontal

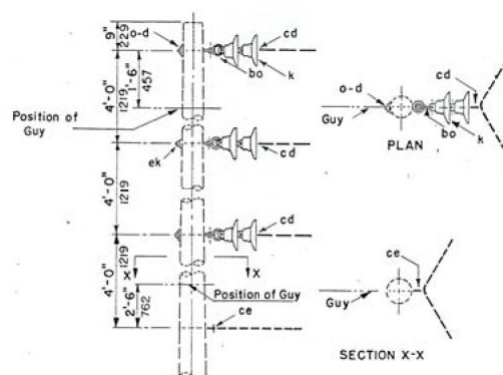
2. Konstruksi Vertikal

Keuntungannya:

- Sangat cocok untuk wilayah yang memiliki bangunan tinggi
- Beban tiang (tekanan ke bawah) lebih sedikit
- Isolator jenis pasak (pin insulator) jarang digunakan
- Tanpa menggunakan *cross-arm (travers)*

Kerugiannya:

- Tekanan angin merata di bagian tiang
- Terbatas hanya untuk saluran tunggal tiga fasa



Gambar 2.4 Konstruksi Jaringan Vertikal

2.3.5. Berdasarkan bentuk jaringan¹²

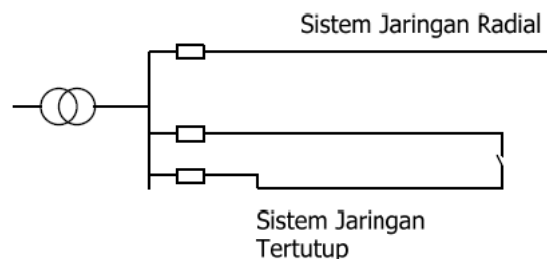
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi.

1. Jaringan radial

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.

2. Jaringan bentuk tertutup

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



Gambar 2.5 Pola Jaringan Distribusi Dasar

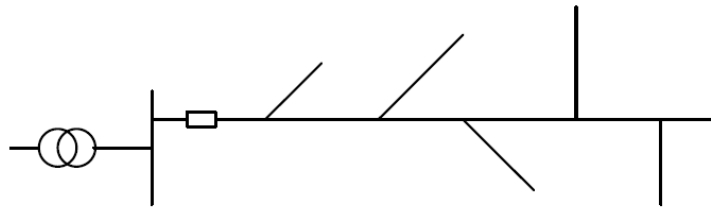
Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut:

a. Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)

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

¹² PT.PLN (Persero), *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Buku 1 Bab 4, (Jakarta:PT.PLN (Persero), 2010), Hal.3.

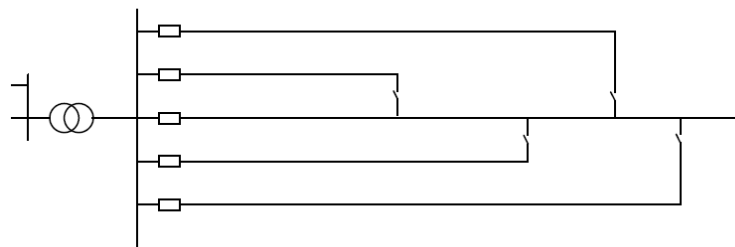
saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.



Gambar 2.6 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)

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.

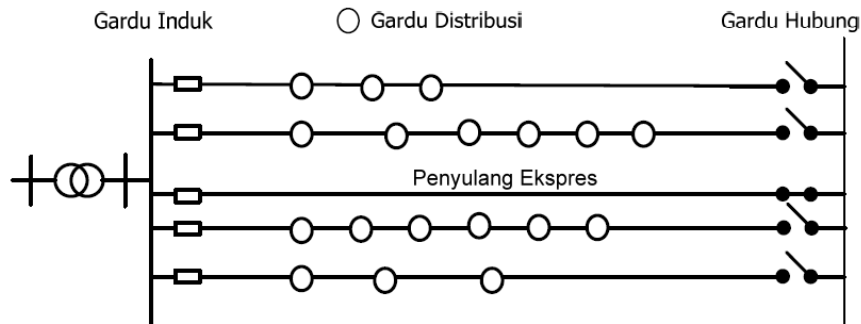


Gambar 2.7 Konfigurasi Kluster (*Cluster/Leap Frog*)

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 supply 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”

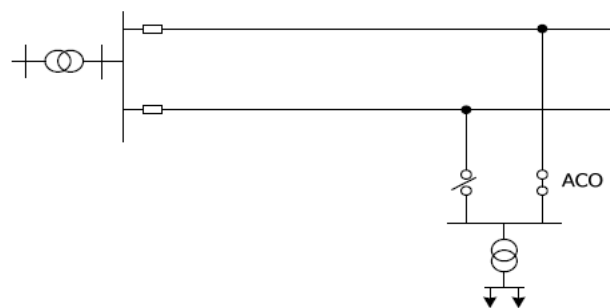
(*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.8 Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

d. Konfigurasi *Fork*

Konfigurasi ini memungkinkan 1(satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee- Off* (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.

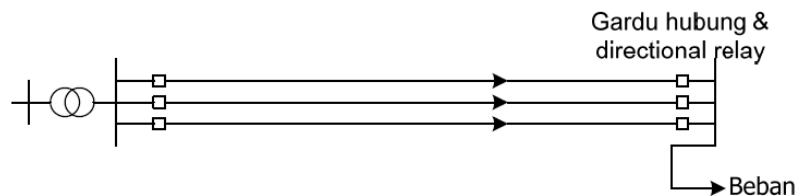


Gambar 2.9 Konfigurasi Fork

e. Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika

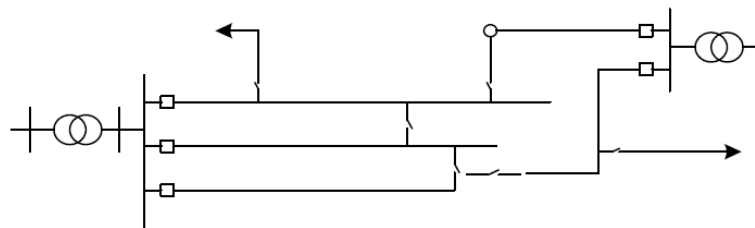
beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.10 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

f. 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 2.11 Konfigurasi Jala-jala (*Grid,Mesh*)

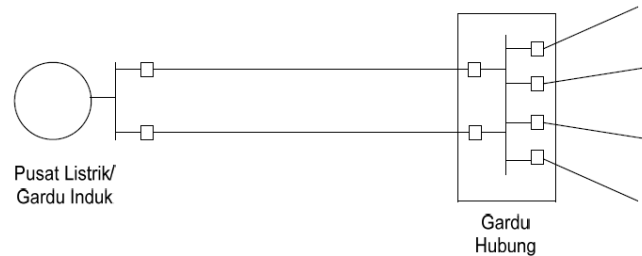
g. Konfigurasi lain-lain

Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan.

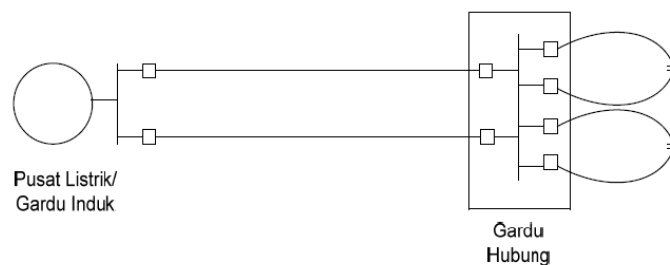
1. Struktur Garpu dan Bunga,

Struktur ini dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu

Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.



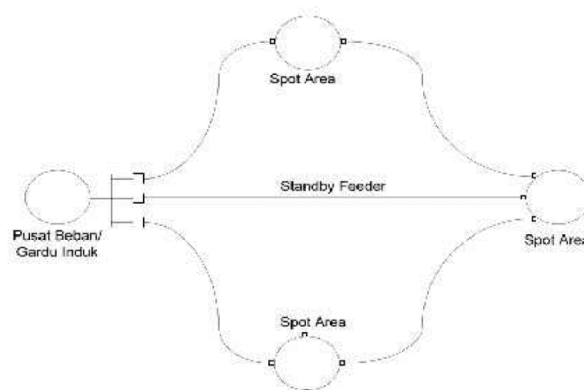
Gambar 2.12 Konfigurasi Struktur Garpu



Gambar 2.13 Konfigurasi Struktur Bunga

2. Struktur Rantai

Struktur ini dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.14 Konfigurasi Struktur Rantai

2.4. 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.

2.4.1. Jaringan penghantar udara (*over head line*)

Hantaran udara sering juga disebut saluran udara merupakan penghantar energi 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 :

- AAAC-S¹⁰ : *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.
- AAAC⁹ : *All Aluminium Alloy 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.
- AAC² : *All Aluminium Conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya dibuat dari aluminium
- ACSR : *Aluminium Conductor, Steel-Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja
- ACAR : *Aluminium Conductor, Alloy Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran

¹⁰ PT.PLN (Persero), *Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 41-10*, (Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi, 1991).

⁹ PT.PLN (Persero), *Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 41-8*, (Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi, 1981)

² Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian, *Transmisi Daya Listrik*, (Yogyakarta: Andi, 2013), Hal.8.

Keuntungan atau kelebihan berupa :

1. Investasi, atau biaya untuk membangun saluran udara jauh lebih rendah dibanding 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.

2.4.2. Jaringan hantaran 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 :

NA2XSEYFGBY¹¹ : Kabel jenis standar ,dengan aluminium sebagai penghantar berisolasi XLPE lapisan tembaga masing-masing inti perisai kawat baja pipih spiral pita baja dan selubung luar PVC

¹¹ PT.PLN (Persero),*Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 43-5-4* ,(Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi,1994)

Keuntungan :

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

2.5. Paramater Saluran Distribusi

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 jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 20 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. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis. 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 analisis sistem tenaga.

2.5.1. Resistansi saluran⁶

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Nilai tahanan suatu penghantar dapat ditentukan dari persamaan :

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

⁶ William D Stevenson, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, (Malang: Lembaga Penerbitan Universitas Brawijaya, 1994), Hal.56.

Dimana :

ρ : resistivitas penghantar

L : panjang kawat

A : luas penampang

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 :

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

Dimana :

R_{t_1} = resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_{t_2} = resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = temperatur awal (°C)

t_2 = temperarur akhir (°C)

T_0 = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T 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%

2.5.2. Induktansi saluran⁷

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$L = (0,5 + 4,6 \log \frac{D-r}{r}) \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots(2.3)$$

⁷ Zuhail, *Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya*, (Jakarta:Gramedia Pustaka Utama, 1995), Hal.152.

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

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Induktansi dihitung dengan konsep Geometric Means Radius (GMR).Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar.

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

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

2.5.3. Reaktansi saluran

Jika induktansi dalam satuan Henry dikalikan dengan $2 \cdot \pi \cdot f$ (frekuensi dalam satuan Hz), maka hasilnya dikenal sebagai reaktansi induktif yang diukur dalam satuan ohm.Jadi besarnya nilai satuan reaktansi induktif saluran

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \dots\dots\dots(2.7)^{13}$$

Dimana :

- X_L = Reaktansi indultif saluran (Ω)
- L. = Induktansi saluran (H)
- f = Frekuensi (Hz)

2.5.4. Impedansi saluran

Impedansi Saluran Impedansi suatu saluran distribusi dapat kita tentukan dengan persamaan dasar sebagai berikut:

¹³ Rizky B.Binilang,Hans Tumaliang,Fielman Lisi, "Studi Analisa Rugi Daya pada Saluran Distribusi Primer 20 Kv di Kota Tahuna", Volume 6 No 2,2017, Hal.71.(Diunduh dari laman <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/16938> pada 15 April 2022).

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X_L^2} \dots\dots\dots (2.8)^1$$

Dimana :

Z_L = Impedansi Saluran

R = Resistansi Saluran

X_L = Reaktansi Induktif

2.5.5. Daya listrik²

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

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 :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.9)$$

Daya semu untuk tiga fasa:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa (V)

I = Arus yang mengalir (A)

S = Daya semu (VA)

2. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energy sebenarnya. Satuan daya aktif adalah watt. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikaitkan dengan besaran arus atau faktor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali $\cos\alpha$.

¹ Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian, *Rangkaian Listrik*, (Yogyakarta: Andi, 2013).

² Cekmas Cekdin dan Taufik Barlian, *Transmisi Daya Listrik*, (Yogyakarta: Andi, 2013).

Daya aktif untuk satu fasa:

$$P = V \cdot I \cos \alpha \dots\dots\dots(2.11)$$

Daya aktif untuk tiga fasa :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa (V)

I = Arus yang mengalir (A)

P = Daya aktif (Watt)

3. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat *induktif*.

Daya reaktif untuk satu fasa:

$$Q = V \cdot I \sin \alpha \dots\dots\dots(2.13)$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

V = Tegangan fasa-fasa(V)

I = Arus yang mengalir (A)

Q = Daya reaktif (VAR)

2.6. Rugi-Rugi Daya Jaringan

Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, selalu diusahakan agar rugi – rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil – kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang di salurkan ke konsumen tidak terlampau berkurang. Besar rugi daya pada saluran tiga phasa dapat dicari dengan persamaan

$$P_{\text{loss}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \cdot \text{LDF} \dots\dots\dots(2.15)^{14}$$

Jika besar rugi daya diperoleh, maka besar daya yang diterima

¹⁴ Ayati Saadah, M. Iqbal Arsyad, Junaidi, "Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru untuk Pembagian Beban Penyulang Sahang 1 dan Raya 17 PT PLN (Persero) ULP Siantan, Volume 2 No 1, 2020, Hal. 2. (Diunduh dari laman <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/43> 319 pada 15 April 2022).

$$P_R = P_S - P_{\text{loss}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- P_{loss} = Rugi daya pada saluran (MW)
- P_R = Besar daya yang diterima (MW)
- P_S = Besar daya yang disalurkan (MW)
- R = Tahanan jaringan (Ω/Km)
- L = Panjang jaringan (Km)
- I = Besar kuat arus pada beban (A)
- LDF = *Load Density Factor* (0,333)
- LLF = *Loss Load Factor*

2.7. Faktor Beban⁴

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata – rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata –rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt – amper, amper dan sebagainya, tetapi satuan dari keduanya harus sama.Faktor beban dapat dihitung untuk periode tertentu biasanya dipakai harian, bulanan atau tahunan.

$$LF = \frac{I_{\text{Rata-rata}}}{I_{\text{Puncak}}} \dots\dots\dots(2.17)$$

2.8. Faktor Rugi-Rugi (*Losses Factor*)

Didefinisikan sebagai perbandingan antara rugi dan rata-rata terhadap rugi daya pada beban puncak pada periode waktu tertentu.Faktor rugi-rugi beban merupakan rugi-rugi sebagai fungsi waktu,berubah sesuai dengan fungsi dari waktu kuadrat. Oleh karena itu, faktor rugi-rugi ini tidak dapat ditentukan langsung dari faktor beban.

$$LLF = 0,3 LF + 0,7(LF)^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

2.9. Efisiensi Penyaluran

Efisiensi penyaluran adalah perbandingan antara daya nyata yang diterima

⁴ Daman Suswanto,*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*,Edisi Pertama,(Padang:Universitas Negeri Padang,2009),Hal.186.

dengan daya nyata yang disalurkan atau dengan kata lain perhitungan efisiensi ini berguna untuk mengetahui seberapa persen energi listrik tersebut diterima setelah didalam penyalurannya terdapat rugi- rugi.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)^5$$

Dimana :

P_{out} = Daya listrik keluaran (MW)

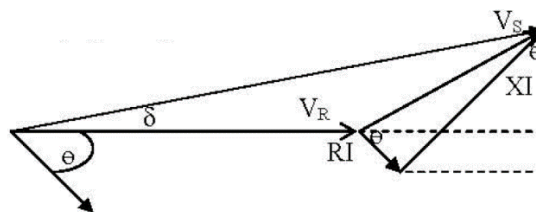
P_{in} = Daya listrik masukan (MW)

2.10. Jatuh Tegangan⁵

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar atau bisa dikatakan bahwa adanya perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima. Jatuh tegangan pada suatu saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Jika ada arus yang mengalir melalui saluran distribusi maka akan terjadi penurunan tegangan sepanjang saluran. Dengan demikian tegangan pada pusat beban tidak sama dengan tegangan pengiriman. Penurunan tegangan terdiri dari dua komponen yaitu:

1. I.R ,yaitu rugi tegangan akibat tahanan saluran
2. I.X ,yaitu rugi tegangan akibat reaktansi induktif saluran

Berdasarkan rangkaian ekuivalen saluran distribusi diatas, maka persamaan jatuh tegangan didapatkan dari diagram vektor arus dan tegangan pada saluran distribusi seperti yang terlihat pada gambar



Gambar 2.15 Diagram Vektor Arus dan Tegangan Saluran Distribusi

⁵ Syufrijal, Readysal Monantun, *Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, (Jakarta:Kementerian Pendidikan Dasar Menengah dan Kebudayaan,2014),Hal.52.

⁵ Syufrijal, Readysal Monantun, *Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, (Jakarta:Kementerian Pendidikan Dasar Menengah dan Kebudayaan,2014),Hal.54.

Pada gambar 2.15 dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vector tersebut adalah

$$\Delta V = \sqrt{3 \times I \times l (R \cos \alpha + X_L \sin \alpha)} \dots \dots \dots (2.20)$$

Besar presentasi drop tegangan pada saluran dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \Delta V / V \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

ΔV = Rugi tegangan (Volt)

R = Resistansi saluran (Ω)

X_L = Reaktansi induktif saluran (Ω)

I = Arus beban (A)

l = Panjang hantaran tegangan menengah (km)

Berdasarkan SPLN 72 : 1987 dapat dikatakan bahwa maka sebuah jaringan tegangan menengah harus memenuhi kriteria jatuh tegangan (*drop voltage*) sebagai berikut :

1. Jatuh tegangan pada jaringan sistem spindel maksimum 2%
2. Jatuh tegangan pada jaringan sistem loop dan radial maksimum 5%