



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik⁵

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkit, transmisi, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan.

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri dari :

- a. Sistem pembangkit
- b. Sistem Transmisi dan Gardu Induk
- c. Sistem Distribusi
- d. Sistem Sambungan Pelayanan

Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik.

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat.

Sistem distribusi terbagi 2 bagian :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem Distribusi Tegangan Menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Sistem Distribusi Tegangan Rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV.

Jaringan distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk/Pusat Listrik pada sistem terpisah/isolated. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*). Jaringan distribusi Tegangan Rendah berbentuk radial murni.

⁵ PT. PLN (Persero) Buku 1, 2010, *Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi TenagaListrik*.



Sambungan Tenaga Listrik adalah bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik. Pada Sambungan Tenaga Listrik tersambung Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada pemanfaat.

2.2. Perbedaan Jaringan Distribusi Dengan Jaringan Transmisi

Adapun perbedaan antara jaringan transmisi dan jaringan distribusi dapat dilihat pada tabel 2.1 yang dipandang dari berbagai segi sudut pandang..

Tabel 2.1. Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi

No	Dari Segi	Distribusi	Transmisi
1	Analisis jaringan	Dalam kota	Luar kota
2	Tegangan sistem	<30 KV	>30KV
3	Bentuk jaringan	Radial, Loop, Paralel Interkoneksi	Radial dan Loop
4	Sitem penyaluran	Saluran udara dan Saluran bawah tanah	Saluran udara dan Saluran laut
5	Konstruksi jaringan	Lebih rumit dan beragam	Lebih sederhana
6	Analisis jaringan	Lebih kompleks	Lebih sederhana
7	Komponen rangkaian yang diperhitungkan	Komponen R dan L	Komponen R, L dan C
8	Penyangga jaringan	Tiang jaringan	Menara jaringan
9	Tiang penyangga jaringan	Kurang dari 20 m	30-200 m
10	Kawat penghantar	BCC, SAC, AAC, AAAC	ACSR dan ACAR
11	Kawat Tarikan	Dengan kawat tarikan	Tanpa kawat tarikan
12	Isolator jaringan	jenis pasak (Pin), jenis post (Batang), jenis gantung, jenis cincin	Jenis gantung
13	Besarnya andongan	0-1 m	2-5 m
14	Fungsinya	Menyalurkan daya ke konsumen	Menyalurkan daya ke Gardu induk
15	Beban penyangga	Baja, besi, kayu	Baja
16	Jarak antar tiang	40-100 m	150-350



2.3. Pembagian Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

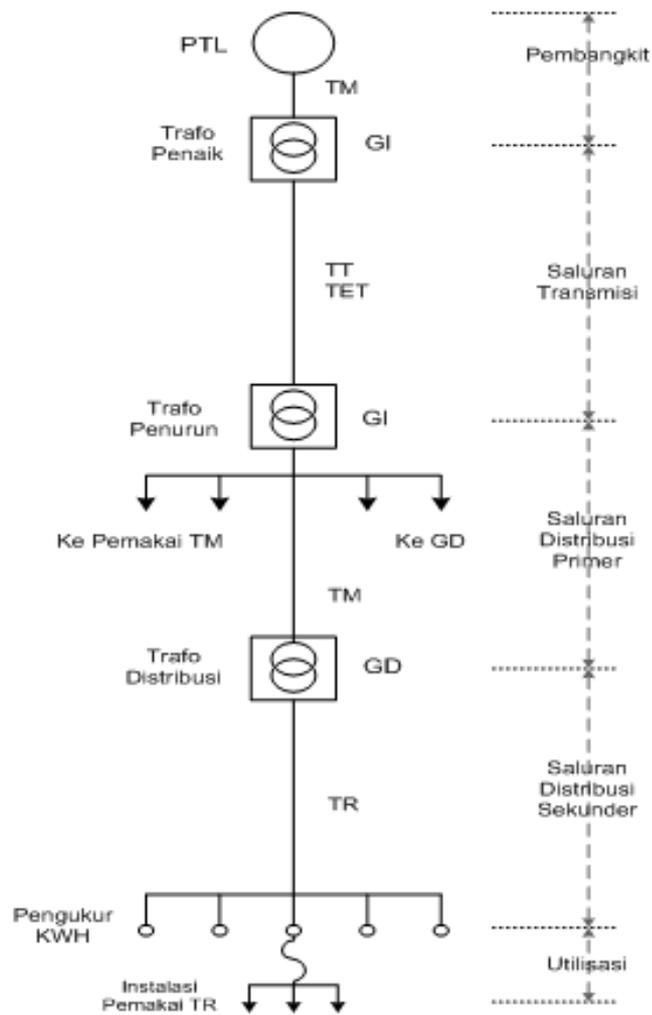
Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti :

- Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission), bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
- Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahuibahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung darisegi apaklasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- a. SUTM, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. SKTM, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
- c. Gardu trafo, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. SUTR dan SKTR terdiri dari : sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.

Adapun dibawah ini gambar line diagram sederhana dari sistem tenaga listrik beserta gambar dan penjelasannya :

Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik⁴

Keterangan :

PTL = Pembangkit Tenaga Listrik

GI = Gardu Induk

TR = Tegangan Rendah

TT = Tegangan Tinggi

TET = Tegangan Ekstra Tinggi

⁴ Kadir Abdul, 2006, *Distribusi dan Utilasi Tenaga*: UI Press.



TM = Tegangan Menengah

GD = Gardu Distribusi

2.4. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik⁶

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

1. Berdasarkan ukuran tegangan
2. Berdasarkan *Listrik*, Jakarta ukuran arus

2.4.1. Menurut ukuran tegangannya

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

a. Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan yang terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN).

b. Jaringan Distribusi Sekunder

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

2.4.2. Menurut ukuran arus

a. Saluran Distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

Keuntungannya

- Mudah mentransformasikan tegangannya , naik maupun

⁶ Suswanto Darman, 2009, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, UNP : Edisi pertama



turun.

- Dapat langsung digunakan untuk memparalelkan beberapa pusat pembangkit tenaga listrik.
- Dapat menyalurkan tiga atau empat tegangan dalam satu saluran, karena menggunakan sistem 3 fassa.

Sistem tiga fassa ini mempunyai kelebihan dibandingkan sistem satu fassa yaitu:

- Daya yang disalurkan lebih besar.
- Nilai sesaat konstan.
- Medan magnet putar nya mudah diadakan.

Kerugiannya

- Untuk tegangan tinggi sering terjadi arus pemuatan (*charging current*).
- Memerlukan stabilitas tegangan untuk kondisi dan bersifat beban berubah – ubah.
- Memerlukan tingkat isolasi yang tinggi untuk tegangan tinggi.
- Terjadinya efek kulit (*skin effect*), induktansi, dan kapasitansi untuk tegangan tinggi

b. Saluran distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah.

Jaringan distribusi arus searah (DC) ini jarang digunakan, walaupun ada biasanya untuk daerah-daerah tertentu. Penggunaan jaringan DC ini dilakukan dengan jalan menyearahkan terlebih dahulu arus bolak-balik ke arus searah digunakan alat *inverter*. Walaupun demikian, sistem distribusi DC ini mempunyai keuntungan maupun kerugiannya, yaitu

Keuntungannya

- Isolasi lebih sederhana.



- Daya guna (efisiensi) lebih tinggi, karena factor dayanya 1.
- Tidak ada masalah stabilisasi dan perubahan frekuensi untuk penyaluran jarak jauh.
- Tidak ada masalah arus pengisian (*charging current*) untuk tegangan tinggi, dianggap ekonomis bila jarak penyaluran lebih besar dari 1000 km untuk saluran udara, dan lebih besar 50 km untuk saluran bawah tanah.

Kerugiannya

- Pengubahan arus AC ke DC atau kebalikannya menggunakan peralatan Converter atau Inverter, memerlukan biaya yang tinggi karena peralatan tersebut harganya mahal.
- Pada saat beban naik dan jarak penyaluran makin panjang, maka tegangan bolak-balik (AC).drop makin tinggi. Dari kedua sistem ini yang banyak digunakan dewasa ini adalah sistem distribusi arus

2.5. Macam Macam Jaringan Distribusi Primer⁵

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

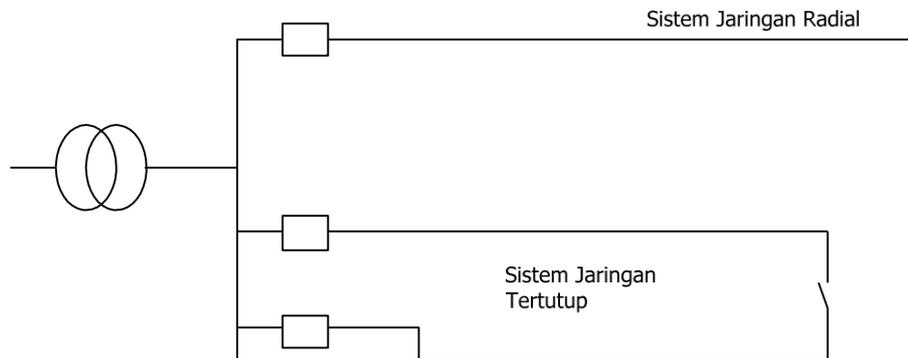
2.5.1. Jaringan radial

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

2.5.2. 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.

⁵ PT. PLN (Persero) Buku 1, 2010, *Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*.

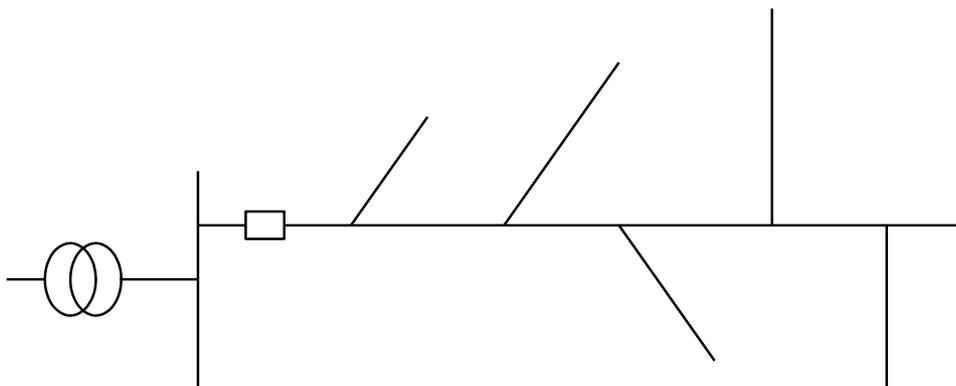


Gambar 2.2 Pola Jaringan Distribusi Dasar.

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

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

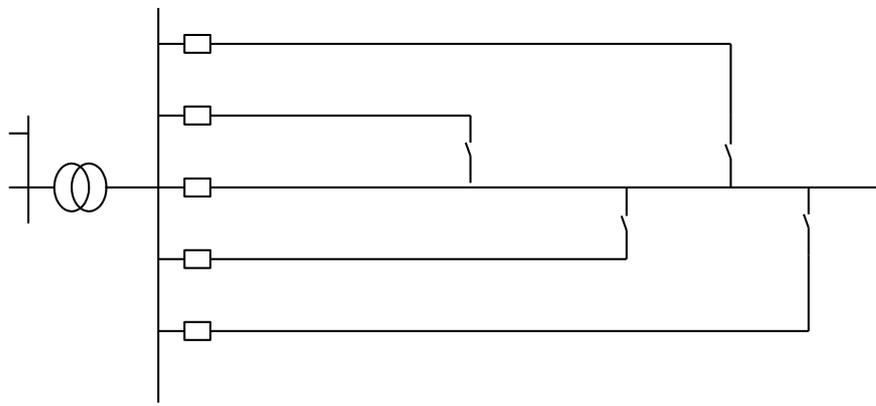
Konfigurasi fishbone ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan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

Gambar 2.3 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fishbone*).



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

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



Gambar 2.4 Konfigurasi Kluster (*Leap Frog*).

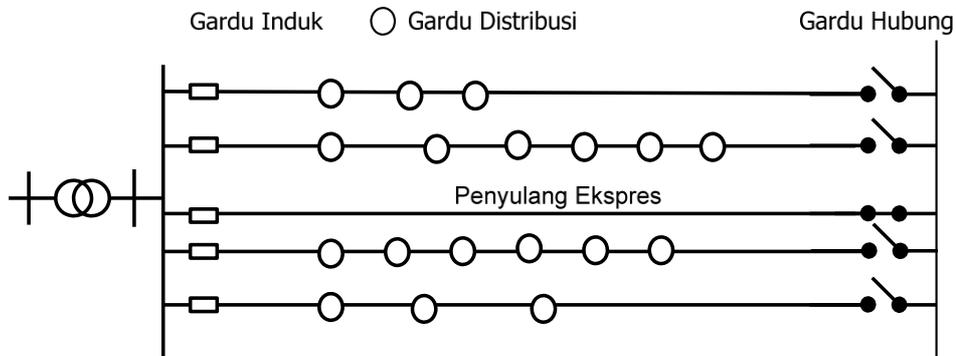
c. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

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



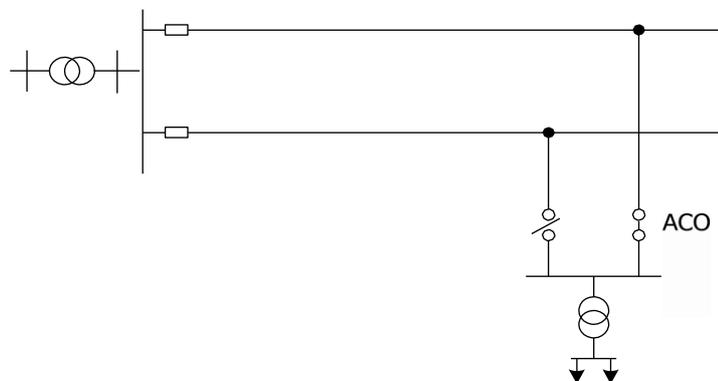
dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.5 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 2.6 Konfigurasi Fork.



2.6. 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.

2.6.1. Jaringan hantaran udara (*Over Head Line*)

Hantaran udara sering juga disebut saluran udara merupakan penghantar energy listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang di atas tiang listrik di luar bangunan.

Tiang-tiang jaringan distribusi primer atau sekunder biasanya dapat berupa tiang kayu, besi ataupun beton tetapi biasanya untuk jaringan distribusi yang paling banyak digunakan adalah tiang dari jenis besi karena memberikan keuntungan antara lain :

- a. Tiang tidak mudah terpengaruh oleh keadaan alam sehingga usai pemakaian lebih panjang bila dibandingkan dengan tiang kayu.
- b. Tiang besi juga dapat langsung sebagai elektroda pentanahan.

Dalam pengaturan rugi tegangan dalam hantaran udara terdapat suatu Standar yang menentukan rugi tegangan yaitu SPLN No 72 tahun 1987 (rugi tegangan pada JTM yang diperbolehkan) antara lain

- a. 2 % dari tegangan kerja sebagaimana tercantum pada ayat 22 bagi sistem yang menggunakan sistem spindel dan gugus
- b. 5 % dari tegangan kerja bagi sistem yang menggunakan sistem radial diatas tanah dan sistem simpul
- c. Rugi tegangan pada transformator distribusi diperbolehkan 3 % dari tegangan kerja.

Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas jenis⁷ :

- AAAC (*All Alloy Alluminium Conductor*) yaitu penghantar yang terbuat dari campuran aluminium , tidak berisolasi dan tidak berinti. Kabel jenis ini mempunyai ukuran diameter antara 1,50 – 4,50 mm dengan bentuk

⁷ Willian D. Stevenson, 1994, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat



fisiknya berurat banyak.

- AAC (*All Aluminium Conductor*) yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium
- ACSR (*aluminium conductor, steel-reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium berinti baja
- ACAR (*aluminium conductor alloy reinforced*) yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

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.
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.

2.6.2. 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 :

NYFGbY: Kabel ini berisolasi dan berselubung PVC berperisai kawat baja atau aluminium untuk tegangan kerja sampai dengan 0,6/1 kV.



Dengan adanya pelindung kawat pita baja, kabel ini memungkinkan ditanam langsung ke dalam tanah tanpa pelindung tambahan.

Keuntungan :

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

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari hal-hal berikut ini :

a. Kontinuitas Pelayanan yang baik, tidak sering terjadi pemutusan, baik karena gangguan maupun karena hal-hal yang direncanakan. Biasanya, kontinuitas pelayanan terbaik diprioritaskan pada beban-beban yang dianggap vital dan sama sekali tidak dikehendaki mengalami pemadaman, misalnya : instalasi militer, pusat pelayanan komunikasi, rumah sakit, dan lain-lain

b. Kualitas Daya yang baik, antara lain meliputi :

- Kapasitas daya yang memenuhi.
- Tegangan yang selalu konstan dan nominal.
- Frekuensi yang selalu konstan (untuk sistem AC).

Catatan : Tegangan nominal disini dapat pula diartikan kerugian tegangan yang terjadi pada saluran relatif kecil sekali.

c. Perluasan dan Penyebaran daerah beban yang dilayani seimbang. Khususnya untuk sistem tegangan AC 3 fasa, factor keseimbangan / kesimetrisan beban pada masing-masing fasa perlu diperhatikan.



Bagaimana pengaruh pembebanan yang tidak simetris pada suatu sistem distribusi, akan dibicarakan lebih lanjut dalam bagian lain.

- d. Fleksibel** dalam pengembangan dan perluasan daerah beban. Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat, tetapi perlu diperhatikan pula secara teliti secara pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi juga dalam hal perluasan daerah beban yang harus dilayani.
- e. Kondisi dan Situasi Lingkungan.** Factor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk menentukan tipe-tipe atau macam sistem distribusi mana yang sesuai untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasinya, tata letaknya, dsb, termasuk pertimbangan segi estetika (keindahan) nya.
- f. Pertimbangan Ekonomis.** Faktor ini menyangkut perhitungan untung rugi ditinjau dari segi ekonomis, baik secara komersil maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

2.7. Parameter Saluran

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

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



2.7.1. Resistansi Saluran

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

Resistansi efektif dari konduktor adalah

$$R = \frac{\text{rugi daya pada penghantar}}{(I)^2} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.1)^7$$

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

$$R_0 = \frac{\rho \ell}{A} (\Omega) \dots \dots \dots (2.2)^7$$

Dimana :

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

ℓ = panjang konduktor (m)

A = cross sectional area (m^2)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik

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

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

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

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

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

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

⁷ Willian D. Snsoteven, 1994, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat

⁷ Willian D. Stevenson, 1994, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat



T = 241 untuk tembaga dengan komduktivitas 97,3%

T = 228 untuk alluminium dengan konduktivitas 61%

Untuk menghitung r penghantar menggunakan persamaan =

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.7.2. Reaktansi saluran

Dalam hal arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun konduktor lain yang berdekatan oleh karena adanya fluks yang memiliki sifat induktansi. Bila letak konduktor tidak simetris, maka perlu dihitung nilai d (jarak antara konduktor) dengan rumus :

$$d = \sqrt[3]{d_{12}d_{23}d_{31}} \dots\dots\dots (2.5)^8$$

Untuk menentukan besarnya nilai induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$L = \{ 0.5 + 4.6 \text{Log}_{10} \frac{D-r}{r} \} \times 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} \dots\dots\dots (2.6)^8$$

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

$$X = 2\pi \cdot f \cdot l \dots\dots\dots (2.7)^1$$

Dimana :

X = Reaktansi kawat penghantar (Ω)

2π = Sudut arus bolak-balik

f = frekuensi sistem (50 Hz)

⁸ Zuhail, 1988, *Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*.

¹ A. J. Watkins, 2004, *Perhitungan Instalasi Listrik*, Edisi kelima.



2.8. Macam-Macam Daya Listrik

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

2.8.1. 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 :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.8)^3$$

Daya semu untuk tiga fasa :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} V \cdot I \dots\dots\dots (2.9)^3$$

Dimana :

V : Tegangan fasa-fasa (V)

I : Arus yang mengalir (A)

S : Daya semu satu fasa (VA, KVA, MVA)

$S_{3\phi}$: Daya semu tiga fasa (VA, KVA, MVA)

2.8.2. Daya aktif (nyata)

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 $\text{Cos } \varphi$.

Daya aktif untuk satu fasa :

$$P = V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots (2.10)^3$$

Daya aktif untuk tiga fasa :

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots (2.11)^3$$

³ Ir. Wahyudi Sarimun N., MT, 2014, *Buku Saku Pelayan Teknik*.



Dimana :

- V : Tegangan fasa-fasa (V)
- I : Arus yang mengalir (A)
- P : Daya aktif satu fasa (VA, KVA, MVA)
- $P_{3\phi}$: Daya aktif tiga fasa (VA, KVA, MVA)

2.8.3. 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 :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots (2.12)^3$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi \dots\dots\dots(2.13)^3$$

Dimana :

- V = Tegangan fasa-fasa(V)
- I = Arus yang mengalir (A)
- Q = Daya reaktif satu fasa (VA, KVA, MVA)
- $Q_{3\phi}$ = Daya reaktif tiga fasa (VA, KVA, MVA)

³ Ir. Wahyudi Sarimun N., MT, 2014, *Buku Saku Pelayan Teknik*.



2.8.4. Rugi Daya

Daya listrik yang dikirim dari sumber pembangkit listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi, di samping rugi tegangan maka akan di dapat pula rugi daya yaitu :

$$P_L = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l \dots\dots\dots (2.14)^2$$

Dimana :

P_L = Rugi-rugi daya (KW)

I = Arus (A)

R = Tahanan kawat (Ohm / Km)

l = Panjang saluran

Jika kerugian daya telah diperoleh maka besar persentase kerugian daya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\%P_{Loss} = \frac{P_{Loss}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

² DR. A. Arismunandar, DR. S. kuwahara, 1993, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid II.

