

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik¹

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

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

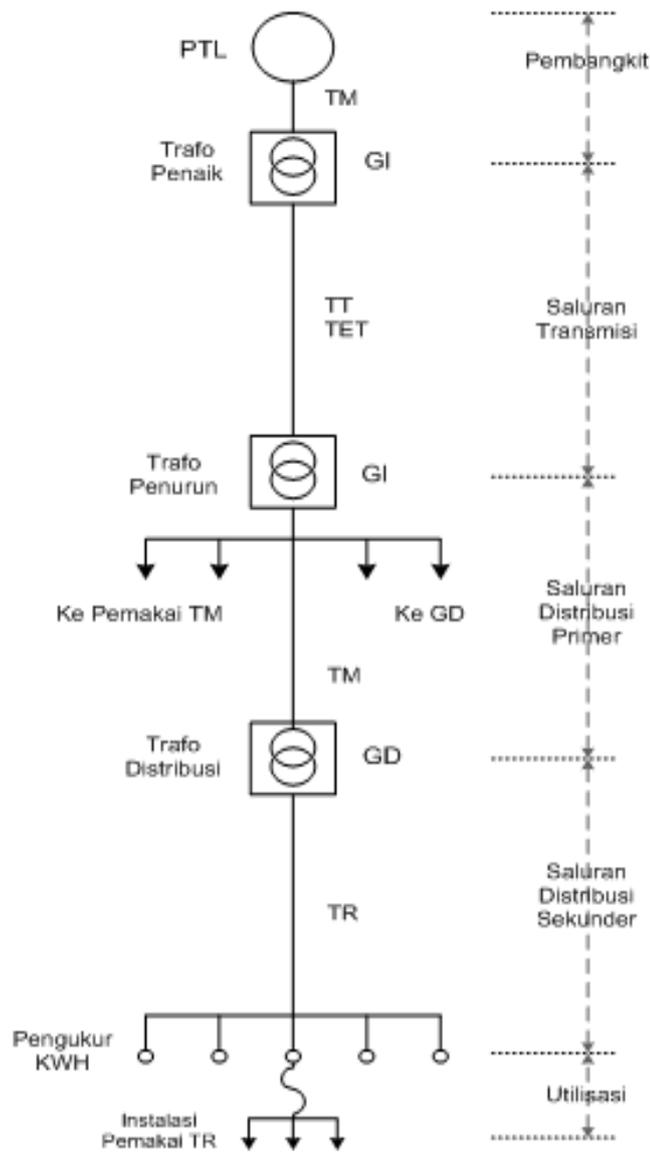
Mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu industri atau suatu kota, tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah (TM). Hal ini juga dilakukan pada suatu GI dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah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

Di tepi-tepi jalan biasanya berdekatan dengan persimpangan, terdapat gardu-gardu distribusi (GD), yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah (TR) melalui transformator distribusi (*distribution transformer*). Melalui tiang-tiang listrik yang terdapat di tepi jalan, energi listrik tegangan

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

rendah disalurkan kepada para pemakai. Di Indonesia tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder. Pada tiang-tiang TR terdapat pula lampu-lampu penerangan jalan umum.

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



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik²

² Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta UI Press 2000. Hal 5



Keterangan :

PTL	= Pembangkit Tenaga Listrik
GI	= Gardu Induk
TR	= Tegangan Rendah
TT	= Tegangan Tinggi
TET	= Tegangan Ekstra Tinggi
TM	= Tegangan Menengah
GD	= Gardu Distribusi

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik¹

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari PMT incoming di Gardu Induk sampai dengan Alat Penghitung 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 stándar pelayanan yang berlaku. dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam 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.

Dilihat dari tegangannya sistim distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu :

- a Distribusi Primer, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV.

¹ Jasa Pendidikan dan Pelatihan. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. PT.PLN (Persero). Hal 20



- b Distribusi Sekunder, sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt.

Sebelumnya nilai tegangan operasional yang dipergunakan dilingkungan PLN pada level tegangan menengah bervariasi yaitu 6 KV, 12 KV dan 20 KV demikian juga pada level tegangan rendah yaitu 220/110 volt yang banyak dipergunakan untuk konsumen rumah tinggal.

2.3 Klasifikasi Jaringan Distribusi

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 bentuk jaringan

2.3.1 Berdasarkan Ukuran Tegangan³

Berdasarkan ukuran tegangan, jaringan distribusi tenaga listrik dapat dibedakan pada dua sistem, yaitu :

- a. Sistem 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 terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN).

³ Daman Suswanto. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Edisi Pertama. UNP. 2009. Hal 11

b. Sistem 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 ditribusi sekunder ini adalah 110/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah 3 sampai 4 % lebih besar dari tegangan nominalnya. Penetapan ini sebanding dengan besarnya nilai tegangan jatuh (*drop voltage*) yang telah ditetapkan, bahwa rugi-rugi daya pada suatu jaringan adalah 15 %. Dengan adanya pembatasan tersebut stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu.

2.3.2 Berdasarkan Ukuran Arus³

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

a. Jaringan Distribusi Arus Bolak-Balik (AC)

Keuntungannya :

- Mudah mentransformasikan tegangannya, naik maupun turun.
- Dapat mengatasi kesulitan dalam menyalurkan tenaga listrik untuk jarak jauh.
- Dapat langsung digunakan untuk memparalelkan beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik.
- Dapat menyalurkan tiga atau empat tegangan dalam satu saluran, karena menggunakan sistem tiga fasa.

Kerugiannya :

- Untuk tegangan tinggi sering terjadi arus pemuatan (*charging current*)

³ Daman Suswanto. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Edisi Pertama. UNP. 2009. Hal 16

- Memerlukan stabilitas tegangan untuk kondisi dan sifat beban yang berubah-ubah.
- Memerlukan tingkat isolasi yang tinggi untuk tegangan tinggi.
- Terjadinya efek kulit (*skin effect*), induktansi, dan kapasitansi untuk tegangan tinggi.

b. Jaringan Distribusi Arus Searah (DC)

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 dengan alat penyearah Converter, sedangkan untuk merubah kembali dari arus bolak-balik ke arus searah digunakan alat Inverter. Walaupun demikian, sistem distribusi DC ini mempunyai keuntungan maupun kerugiannya, yaitu :

Keuntungannya :

- Isolasinya lebih sederhana
- Daya guna (efisiensi) lebih tinggi, karena faktor 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 drop makin tinggi. Dari kedua sistem ini yang banyak digunakan adalah sistem distribusi arus bolak-balik (AC).

2.3.3 Berdasarkan Sistem Penyaluran

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

a. Jaringan Hantaran 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.

Berikut ini adalah jenis-jenis kawat penghantar yang digunakan pada jaringan hantaran udara :⁴

- AAC = All Aluminium Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC = All Aluminium Alloy Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACRS = 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.

Keuntungan jaringan hantar udara :

- Investasi atau biaya untuk membangun saluran udara jauh lebih murah bila dibandingkan dengan kabel tanah.
- Mudah memeriksa jika terjadi gangguan pada jaringan.
- Mudah melakukan pemeliharaan pada saluran distribusi.
- Mudah untuk perluasan jaringan.

⁴ Willian D. Stevenson. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat. 1994. Hal. 4

Kekurangan jaringan hantar udara :

- Mudah terjadi gangguan pada jaringan, baik dari faktor dari alam ataupun dari faktor manusia dan hewan
- Pencurian melalui jaringan mudah dilakukan.

b. Jaringan Hantaran Bawah Tanah (*Under Ground Line*)

Jaringan hantaran bawah tanah merupakan penghantar energi listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang dibawah tanah. Jenis jaringan hantaran bawah tanah ini adalah yang terfavorite untuk pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah maka tidak mengganggu keindahan kot dan jug tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam.

Keuntungan :

- Tidak mudah mengalami gangguan.
- Faktor keindahan lingkungan tidak terganggu.
- Tidak mudah dipengaruhi cuaca, seperti hujan, angin, petir dan sebagainya.

Kerugian :

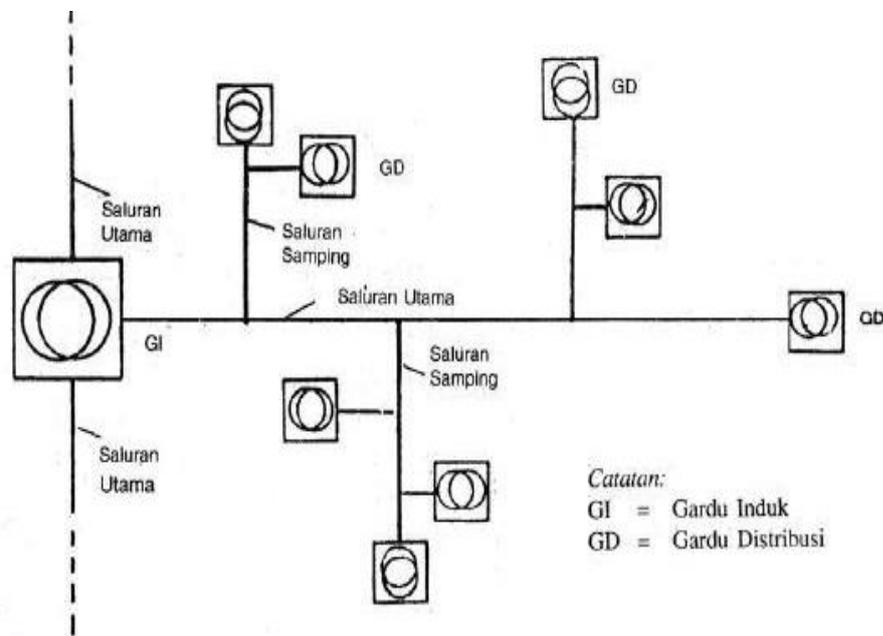
- Biaya pembuatan mahal.
- Gangguan biasanya bersifat permanen
- Pencarian lokasi gangguan jauh lebih sulit dibandingkan menggunakan sistem hantaran udara.

2.3.4 Berdasarkan bentuk jaringan

a. Sistem Jaringan Radial

Merupakan jaringan distribusi primer yang paling banyak dipakai terutama pada daerah dengan tingkat kerapatan bebannya rendah. Jaringan ini mempunyai satu jalur daya ke beban maka semua beban pada saluran itu akan kehilangan daya. Keuntungan dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial ini adalah bentuknya yang sederhana dan biaya pertamanya yang rendah. Salah satu kelemahan sistem ini adalah

kontinuitas pelayanan kurang baik dan keandalannya rendah serta jatuh tegangan yang terjadi sangat besar, terutama untuk beban yang terdapat pada ujung saluran. Kerapatan arus yang besar pada jaringan tipe radial ini terdapat pada saluran antara sumber daya dan gardu distribusi berikutnya, sedangkan yang terkecil pada bagian ujung saluran sesuai dengan tingkat kerapatannya maka besar penampang penghantar tersebut dapat berbeda-beda.



Gambar 2.2 Sistem Jaringan Radial²

b. Sistem Jaringan rangkaian tertutup (*Loop Circuit*)

Keuntungannya :

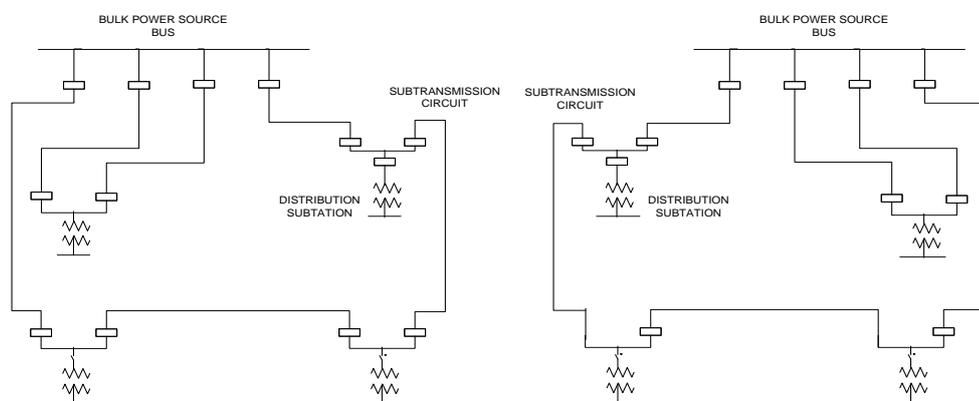
- Dapat menyalurkan daya listrik melalui satu atau dua saluran feeder yang saling berhubungan
- Menguntungkan dari segi ekonomis
- Bila terjadi gangguan pada saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk menyalurkan daya listrik

² Abdul Kadir. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta UI Press 2000. Hal 22

- Konstinuitas penyaluran daya listrik lebih terjamin
- Bila digunakan dua sumber pembangkit, kapasitas tegangan lebih baik dan regulasi tegangan cenderung kecil
- Dalam kondisi normal beroperasi, pemutus beban dalam keadaan terbuka
- Biaya konstruksi lebih murah
- Keandalan relatif lebih baik

Kelemahannya :

- Keterandalan sistem ini lebih rendah
- Drop tegangan makin besar
- Bila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan akan lebih jelek



Gambar 2.3 Sistem Jaringan Loop³

Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin.

Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada

³ Daman Suswanto. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Edisi Pertama. UNP. 2009. Hal 22

saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik. Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam sistem jaringan ini maka sistem ini akan banyak dipakai, dan akan menghasilkan kualitas tegangan lebih baik, serta regulasi tegangannya cenderung kecil.

c. Sistem Jaringan Network/Mesh

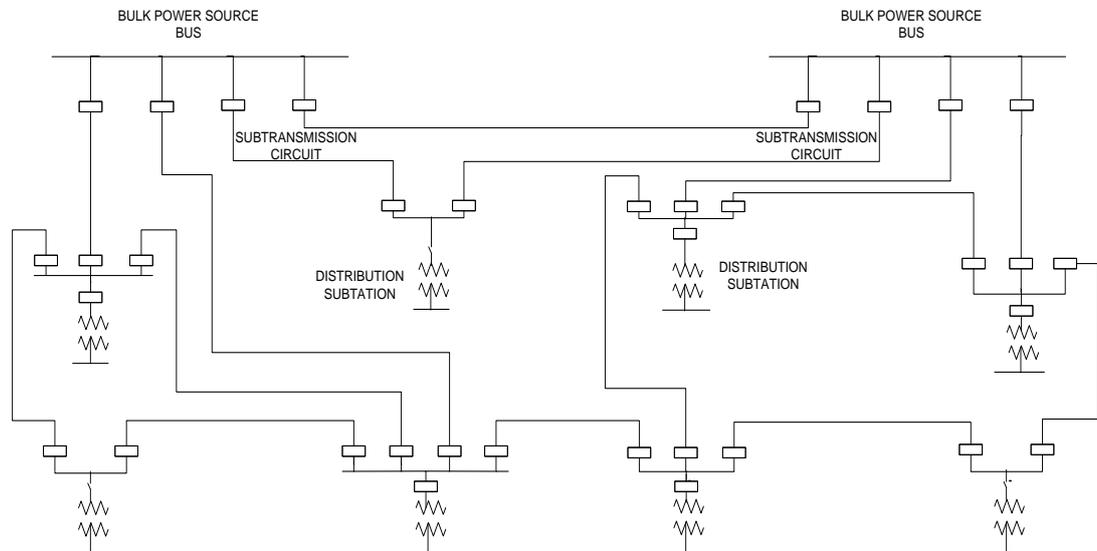
Sistem network/mesh ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus-menerus oleh dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder.

Keuntungannya :

- Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus (selama 24 jam) dengan menggunakan dua atau lebih feeder
- Merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu
- Tingkat keterandalannya lebih tinggi
- Jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder
- Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi
- Memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan sangat baik
- Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan.

Kelemahannya :

- Biaya konstruksi dan pembangunan lebih tinggi



Gambar 2.4 Sistem Jaringan Network/Mesh³

Sistem ini dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik.

2.4 Persyaratan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam usaha meningkatkan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut.

³ Daman Suswanto. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Edisi Pertama. UNP. 2009. Hal 23

Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

2.4.1 Faktor Keterandalan Sistem

- a Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus-menerus. Untuk hal tersebut diperlukan beberapa cadangan, yaitu cadangan siap, cadangan panas, dan cadangan diam.
 - Cadangan siap adalah suatu cadangan yang didapat dari suatu pembangkit yang tidak dibebani secara penuh dan dioperasikan sinkron dengan pembangkit lain guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
 - Cadangan diam adalah cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang tidak dioperasikan tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
- b Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat-alat pengaman dan alat pemutus tegangan (*air break switch*) pada setiap wilayah beban.
- c Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerjadengan baik dan cepat.

2.4.2 Faktor Kualitas

- a Sistem Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*voltage regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk menjamin kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil.
- b Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi pada harga 10 % dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu untuk daerah beban

yang terlalu padat diberikan beberapa voltage regulator untuk menstabilkan tegangan.

- c Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

2.4.3 Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

- a Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus terjamin dengan baik. Artinya, untuk daerah padat penduduknya diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.
- b Keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

2.4.4 Faktor Pemeliharaan Sistem

- a Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.
- b Pengadaan material listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/ spesifikasi material yang dipakai, sehingga bisa dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.

2.4.5 Faktor Perencanaan Sistem

Perencanaan jaringan distribusi harus dirancang semaksimal mungkin, untuk perkembangan dikemudian hari. Persyaratan sistem distribusi seperti diatas hanya bisa dipenuhi bila tersedia modal (*investasi*) yang cukup besar, sehingga sistem bisa dilengkapi dengan peralatan-peralatan yang mempunyai kualitas tinggi. Selain pemeliharaan sistem yang

berkesinambungan sesuai jadwal yang ditentukan, seringkali berakibat fatal pada sistem jaringan justru karena kelalaian dalam cara pemeliharaan yang sebenarnya, disamping peren-canaan awal yang kurang memenuhi syarat.

Untuk sistem tenaga listrik yang besar (*power utility*) biaya untuk sistem distribusi bisa mencapai 50 % - 60 % investasi keseluruhan yang diperlukan untuk sistem tenaga listrik. Apalagi sistem distribusi merupakan bagian yang paling banyak mengalami gangguan-gangguan sehingga bisa mengganggu kontinuitas aliran tenaga listrik pada konsumen.

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, kapasitansi, dan konduktansi. 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 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 saluran sangat penting dalam efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktansi timbul dari efek medan disekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir, parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisa sistem tenaga.

2.5.1 Resistansi Saluran⁴

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:

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

Dimana :

R = Resistansi kawat penghantar (ohm)

ρ = Luas penampang kawat penghantar (mm^2)

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

A = Panjang kawat penghantar (m)

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 :

R_1 = resistansi penghantar pada suhu t_1 (temperatur sebelum operasi konduktor)

R_2 = resistansi penghantar pada suhu t_2 (temperatur operasi konduktor)

t_1 = temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)

t_2 = temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$)

T = konstanta

⁴ Willian D. Stevenson. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat. 1994. Hal. 39



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%

2.5.2 Induktansi Saluran

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

$$L = \{ 0.5 + 4.6 \text{Log}_{10} \frac{D-r}{r} \} \times 10^{-7} \frac{H}{m} \dots\dots\dots (2.3)^5$$

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 :

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

Untuk menghitung nilai r penghantar menggunakan persamaan :

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.5.3 Reaktansi Saluran

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

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot l \dots\dots\dots (2.6)^6$$

⁵ Zuhail. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. 1995. Hal 152

⁶ A.J. Watkins. *Perhitungan instalasi listrik*. Erlangga. 2004. Hal 4



Dimana :

- X_L = Reaktansi kawat penghantar (Ω)
- 2π = Sudut arus bolak-balik
- f = frekuensi sistem (50 Hz)

2.6 Daya Listrik

2.6.1 Daya Semu

Daya Semu adalah daya yang melewati pada suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimana untuk daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

Untuk satu fasa yaitu :

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (2.7)^7$$

Untuk tiga fasa yaitu :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- S = Daya semu (VA)
- V = Tegangan yang ada (V)
- I = Besar arus yang mengalir (A)

2.6.2 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau peralatan mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikaitkan dengan besaran arus atau faktor dayanya.

⁷ Cekdin.cekmas. *Transmisi daya listrik*. Andi Yogyakarta. 2013. Hal 16

Untuk satu fasa yaitu :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.9)^7$$

Untuk satu fasa yaitu :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- P = Daya aktif (Watt)
- V = Tegangan yang ada (V)
- I = Besar arus yang mengalir (A)
- cos φ = Faktor daya

2.6.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada saluran daya aktif yang terpakai untuk daya mekanik dan daya panas.

Untuk satu fasa yaitu :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (2.11)^7$$

Untuk tiga fasa yaitu :

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- Q = Daya reaktif (VAR)
- V = Tegangan yang ada (V)
- I = Besar arus yang mengalir (A)
- Sin φ = Faktor daya

2.7 Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan

Dalam suatu saluran distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampau berkurang.

⁷ Cekdin.cekmas. *Transmisi daya listrik*. Andi Yogyakarta. 2013. Hal 17



Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator.

Dari penjelasan diatas, maka penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga fasa :

$$P_{\text{rugi}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot l \dots\dots\dots(2.13)^8$$

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

$$P_{\text{terima}} = P - P_{\text{rugi}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Maka besar nilai persentasi (%) kerugian daya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_{\text{Rugi}}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

- P_{rugi} = Rugi daya pada saluran (W,KW,MW)
- P_{terima} = Besar daya yang diterima (W,KW,MW)
- P = Besar daya yang disalurkan (W,KW,MW)
- R = Tahanan penghantar per phasa (Ω/km)
- l = Panjang jaringan (Km)
- I = Besar kuat arus pada beban (A)
- ΔP = Persentase kerugian daya

⁸ Arismunandar,Artono. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. 1993. Hal.3