



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sumber daya besar tersebut terletak pada daerah yang dilayani oleh sistem distribusi atau dapat juga terletak didekatnya. Sistem distribusi adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik antara sumber daya besar dan rangkaian pelayanan konsumen.

Sumber daya tersebut dapat berupa stasiun pembangkit atau berupa gardu induk yang dilayani oleh pembangkit tenaga listrik yang jauh letaknya dari konsumen melalui suatu jaringan transmisi.

Secara umum sistem tenaga listrik terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu :

1. Bagian pembangkit berfungsi untuk membangkitkan energi listrik
2. Bagian transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik
3. Bagian distribusi berfungsi untuk menerima energi listrik dari saluran transmisi dan membagikannya ke konsumen.

Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan energi listrik dari sumber daya listrik ke konsumen. Baik buruknya suatu sistem jaringan distribusi dapat dinilai dari :

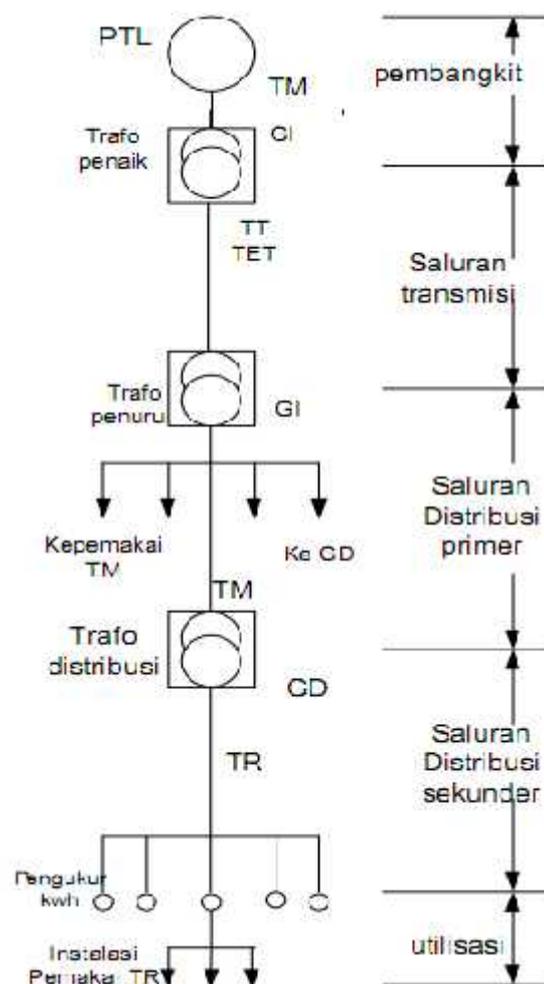
1. Kontinuitas suatu pelayanan kepada konsumen
2. Tekanan regulasi yang baik
3. Harga sistem
4. Efisiensi
5. Stabilitas

Jadi untuk suatu masalah yang dihadapi suatu jaringan distribusi adalah bagaimana caranya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dengan cara sebaikbaiknya untuk waktu tertentu dan waktu yang akan datang biasanya dalam suatu sistem distribusi harus dapat memenuhi beberapa persyaratan, yaitu :



1. Regulasi tegangan tidak terlalu besar.
2. Gangguan terhadap suatu layanan tidak boleh terlalu lama serta untuk daerah yang mengalami gangguan harus dibatasi.
3. Untuk biaya suatu sistem harus serendah mungkin namun tidak mengurangi efek kehandalannya.
4. Sedapat mungkin sistem harus fleksibel.

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik⁶



Keterangan:

PTL : Pembangkit Tenaga Listrik GI : Gardu Induk

TT : Tegangan Tinggi TET : Tegangan Ekstra Tinggi

TM : Tegangan Menengah GD : Gardu Distribusi

TR : Tegangan Rendah

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 Pendistribusian Tenaga Listrik¹¹

Sistem jaringan tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (power station) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Sistem tenaga listrik ini terdiri dari unit pembangkit, unit transmisi dan unit distribusi. Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung.

2.2.1 Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara langsung dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik berada tidak jauh dari pusat- pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau dipinggiran kota.

2.2.2 Sistem Pendistribusian Tak Langsung

Sistem pendistribusian tak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika Pusat Pembangkit Tenaga Listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen.



2.3 Bagian-Bagian Sistem Distribusi⁶

Dari gambar 2.1 dapat dirumuskan bahwa sistem distribusi terdiri dari bagian-bagian, yaitu :

2.3.1 Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi berfungsi menyalurkan daya listrik dari sumber daya besar menuju gardu induk yang terletak di daerah tertentu. Biasanya menggunakan tegangan tinggi (70-150) KV ataupun tegangan extra tinggi (500) KV dalam penyaluran tegangannya, hal ini dilakukan untuk berbagai alasan efisiensi antara lain, penggunaan penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil, ketika tegangan tinggi diterapkan.

2.3.2 Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi berfungsi melayani suatu daerah beban tertentu dengan menurunkan tegangan subtransmisi menjadi tegangan distribusi. Tegangan subtransmisi biasanya 70 KV sedangkan tegangan distribusi primernya (tegangan menengah) 20 KV, pada gardu induk distribusi biasanya dilengkapi dengan peralatan ukur dan peralatan pengaman atau proteksi untuk menjaga kelangsungan pelayanan serta melindungi peralatan lainnya.

Gardu induk distribusi dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

1. Gardu Induk (GI)

Gardu induk (GI) berfungsi menerima daya listrik dari jaringan subtransmisi dan menurunkan tegangannya ke jaringan distribusi primer (jaringan tegangan menengah/ JTM). Jadi pada bagian ini terjadi penurunan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah 20 KV.

2. Gardu Hubung (GH)

Gardu hubung (GH) berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkan atau membagi daya listrik tanpa merubah tegangannya melalui jaringan distribusi primer (JTM) menuju gardu dan transformator distribusi.



2.4 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik¹⁰

Secara umum saluran distribusi dapat diklasifikasikan menjadi 5 macam, yakni berdasarkan nilai tegangan, bentuk tegangan, jenis/tipe konduktor, susunan/konfigurasi saluran, dan susunan rangkaiannya.

2.4.1 Menurut Nilai Tegangannya

1. Saluran distribusi primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (G.I.D.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV.

2. Saluran distribusi sekunder

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (konsumen TR).

2.4.2 Menurut Bentuk Tegangannya

1. Saluran distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah.
2. Saluran distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

2.4.3 Menurut Tipe Konduktornya

1. Saluran udara

Dipasang pada udara terbuka dengan bantuan tiang dan perlengkapannya serta dibedakan atas saluran kawat udara (tanpa isolasi) dan saluran kabel udara (dengan isolasi).

2. Saluran bawah tanah

Saluran bawah tanah dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).

3. Saluran bawah laut

Saluran bawah laut dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*).



2.4.4 Menurut Susunan Salurannya

1. Saluran konfigurasi horizontal

Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral membentuk garis horizontal.

2. Saluran konfigurasi vertikal

Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.

3. Saluran konfigurasi delta (segitiga)

Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga

2.4.5 Menurut susunan rangkaiannya

- Primer :

1. Jaringan distribusi *radial*

2. Jaringan distribusi ring (*loop*)

3. Jaringan distribusi hantaran penghubung (*Tie Line*)

4. Jaringan distribusi *spindle*

5. Sistem Gugus atau *Kluster*

- Sekunder :

1. Jaringan distribusi *radial*

2.5 Jaringan pada Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Berdasarkan konfigurasinya, jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (primer 20 kv) dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam yakni menurut bahan konduktornya dan menurut susunan rangkaian.



2.5.1 Jaringan Distribusi Primer Menurut Bahan Konduktornya⁴

Bahan konduktor yang paling populer digunakan adalah tembaga (*copper*) dan aluminium. Tembaga mempunyai kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium dan juga lebih mahal. Oleh karena itulah kawat penghantar aluminium biasanya digunakan sebagai komponen utama suatu penghantar dengan bahan lain sebagai campurannya. Beberapa macam jenis konduktor dengan komponen utama aluminium, yaitu :

1. AAC (*All-Aluminium Konduktor*) Kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC (*All-Aluminium-Alloy Konduktor*) Kawat penghantar yang terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR (*All Konduktor, Steel-Reinforce*) Kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- d. ACAR (*Aluminium Konduktor, Alloy-Reinforced*) Kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran

2.5.2 Jaringan Distribusi Primer Menurut Susunan Rangkaian¹

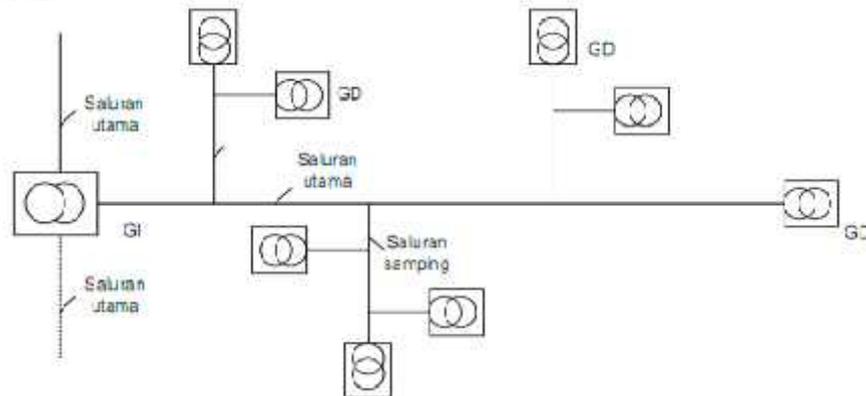
Menurut susunan rangkaian, jaringan distribusi primer dikelompokkan menjadi 5 model, yaitu jaringan *radial*, jaringan hantaran penghubung, jaringan lingkaran, jaringan *spindel* dan sistem gugus atau *kluster*. Pada umumnya terdapat lima bentuk atau tipe dasar dari jaringan distribusi primer, yaitu :

1. Jaringan Distribusi *Radial*

Sistem jaringan distribusi primer tipe radial berpangkal dari gardu induk atau langsung dari pusat pembangkit dan menyebar menuju ke gardu-gardu distribusi yang terpisah dari satu sama lain. Sistem jaringan ini merupakan sistem jaringan distribusi primer yang paling sederhana dan paling umum digunakan untuk daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Bentuk dari sistem jaringan ini mempunyai satu bentuk jalur ke beban. Salah satu kelemahan sistem ini adalah kontinuitas dari pelayanannya kurang baik dan sistem keandalan 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 saluran antara sumber daya dan gardu distribusi terdekat dan arus semakin kecil untuk gardu distribusi berikutnya dan yang terkecil pada bagian ujung saluran.



Gambar 2.2 Skema Saluran Tipe *Radial*

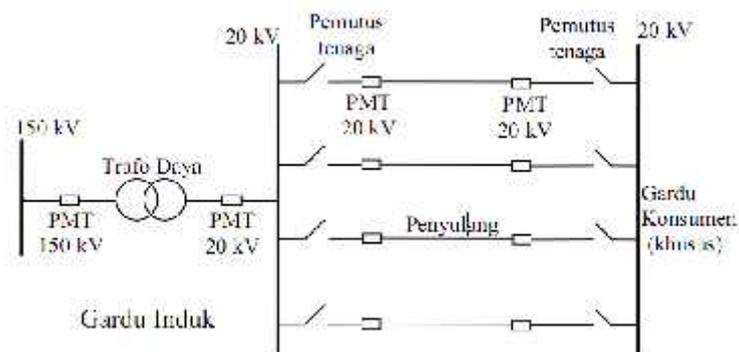
Catatan :

GI : Gardu Induk

GD : Gardu Distribusi

2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.3 Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*) digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).



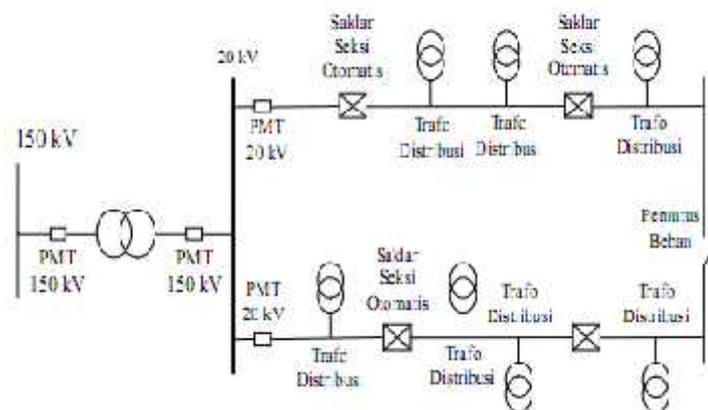
Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung



Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

3. Jaringan Lingkar (*Loop*)

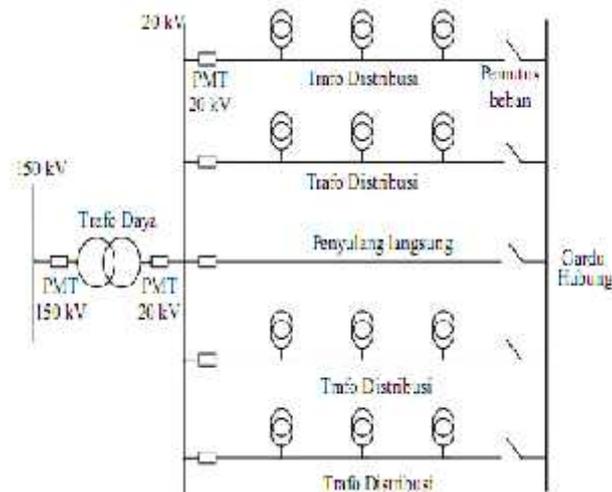
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar 2.4 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan *Loop*

4. Jaringan *Spindel*

Sistem *Spindel* seperti pada Gambar 2.5 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola *Radial* dan *Ring*. *Spindel* terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).

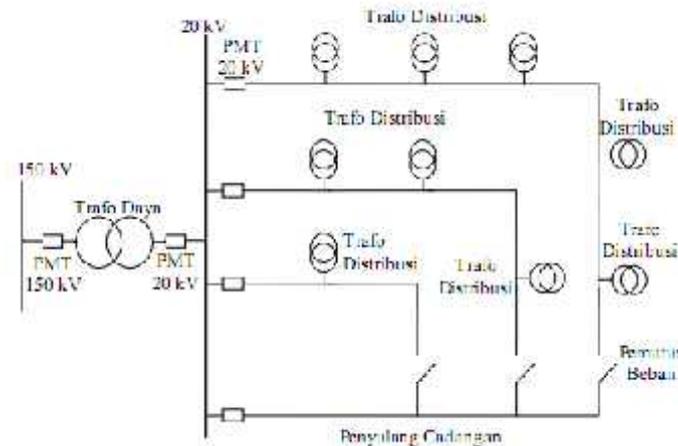


Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan *Spindel*

Pada sebuah *spindel* biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola *Spindel* biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem *Spindel* berfungsi sebagai sistem *Radial*. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

5. Sistem Gugus atau Sistem *Kluster*

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6 banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan¹.



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan *Klutser*

Dimana penyalang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyalang konsumen maka penyalang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.

2.6 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.

Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

2.6.1 Faktor Keterandalan Sistem

1. 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 panas** adalah cadangan yang disesuaikan dari pusat pembangkit tenaga termis dengan ketel-ketel yang selalu dipanasi atau dari PLTA yang memiliki kapasitas air yang setiap saat mampu untuk menggerakannya
 - **Cadangan diam** adalah cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang tidak dioperasikan tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
2. 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.
 3. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerjadengan baik dan cepat.

2.6.2 Faktor Kualitas Sistem

1. 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.
2. Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. (*Lihat IEC Publication 38/1967*). Untuk itu untuk daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
3. Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

2.6.3 Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

1. 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.



2. 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.

2.6.4 Faktor Pemeliharaan Sistem

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

2.6.5 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 perencanaan awal yang kurang memenuhi syarat. Untuk sistem tenaga listrik yang besar (*power utility*) biaya 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.

2.7 Konstanta-Konstanta Saluran

Saluran pada dasarnya merupakan rangkaian listrik memiliki konstanta yang terbagi sepanjang saluran, terdiri atas resistansi, induktansi, kapasitansi, konduktansi. Konstanta-konstanta atau parameter itu tidak terletak secara



terkonsentrasi pada satu tempat melainkan terbagi rata sepanjang saluran. Unjuk kerja atau kinerja saluran tergantung banyak dari parameter-parameter itu. Karena pentingnya untuk mempelajari berbagai faktor yang mempengaruhi konstanta- konstanta itu, yang biasanya dinamakan resistansi, induktansi dan kapasitansi perpanjang saluran.

2.7.1 Resistansi³

Tiap konduktor listrik memberikan perlawanan atau tahanan terhadap mengalirnya arus listrik dan hal ini dinamakan resistansi. Bila mana konduktor dilalui arus searah, maka arus listrik akan terbagi rata pada penampang konduktor, hal demikian tidak terjadi pada arus bolak balik, dimana terdapat kecenderungan bahwa arus lebih berkonsentrasi pada permukaan konduktor.

2.7.2 Induktansi

Dalam hal arus bolak-balik medan sekeliling konduktor tidaklah konstan melainkan berubah-ubah dan mengait dengan konduktor itu sendiri maupun dengan konduktor-konduktor yang terletak berdekatan, oleh karena adanya kaitan- kaitan fluks itu saluran memiliki sifat induktansi.

2.7.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah selisih antara potensial dengan penghantar-penghantar sehingga mrnyebabkan penghantar tersebut bermuatan. Misalnya terjadi pada plat kapasitor, sedangkan untuk saluran daya mempunyai panjang dibawah dibawah dari 80 KM maka kapasitansinya sangat kecil sehingga dapat diabaikan, sedangkan pada saluran yang lebih panjang dengan tegangan yang cukup tinggi maka kapasitansinya harus diperhitungkan.

2.7.4 Konduktansi

Konduktansi atau kawat penghantar yang biasa digunakan pada transmisi maupun distribusi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).



2.8 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 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 penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis. Sedangkan 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.

2.8.1 Resistansi Saluran

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:

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(2.1)^9$$

Dimana, R = Resistansi kawat penghantar (Ohm/km)

ρ = Resistivitas penghantar (ohm.mm²/m)

l = panjang kawat (m)

A = luas penampang kawat (mm²)

Besarnya suatu resistansi atau tahanan dari suatu penghantar dapat berubah untuk setiap perubahan temperature dalam perhitungan teknis, tahanan dapat dianggap linier untuk perubahan temperature tertentu. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada suhu mendatar. Jika tahanan searah suatu



penghantar pada suatu temperature tertentu diketahui, 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 (°C)

t_2 = Temperatur akhir (°C)

T = Konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

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

$T = 241$ untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

$T = 228$ untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

2.8.2 Reaktansi Saluran

Reaktansi saluran (X_L) dapat diperoleh setelah melakukan perhitungan induktansi saluran terlebih dahulu. Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L = 0,5 + 4,6 \cdot \log \frac{D-r}{r} \cdot 10^{-7} H/m \dots\dots\dots(2.3)^{13}$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing – masing konduktor tersebut.

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

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

Dari persamaan 2.3 maka dapat dicari nilai reaktansi induktif saluran dengan menggunakan persamaan 2.6 di bawah ini :



$$X_L = 2 \pi \cdot f \cdot L \dots \dots \dots (2.6)^{12}$$

Dimana, X_L = Reaktansi induktif saluran (Ohm/km)

2π = Sudut arus bolak balik

f = Frekuensi sistem (50 Hz)

L = Induktansi dari konduktor (H/km)

2.9 Daya Listrik²

Pengertian dari daya listrik adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus serta perhitungan factor kerja daya listrik tersebut.

2.9.1 Daya Semu

Daya semu adalah daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi daya semu adalah tegangan dikali arus

Daya semu untuk satu phasa:

$$S = V \times I \dots \dots \dots (2.7)$$

Maka daya semu untuk tiga phasa

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana, S = Daya semu (VA, KVA, MVA)

V = Tegangan phasa netral (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

2.9.2 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentukan besar tegangan kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya. Daya aktif adalah tegangan dikali arus $\cos \phi$.

Daya aktif untuk satu phasa

$$P_{1\phi} = V \times I \times \cos \phi \dots \dots \dots (2.9)$$



Daya aktif untuk tiga phasa

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana, $\cos \phi$ = Faktor kerja

Satuan daya aktif = Watt, KiloWatt, MegaWatt Satuan daya

mekanik = HP (Horse Power) Satuan daya panas = Kgal/detik

2.9.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk dalam saluran dengan daya aktif yang terpakai untuk mekanis panas.

Daya reaktif untuk satu phasa

$$Q_{1\phi} = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.11)$$

Daya reaktif untuk tiga phasa

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots (2.12)$$

Satuannya adalah VAr, KVar, MVar.

2.10 Rugi-Rugi Saluran

Rugi – rugi saluran ini terjadi karena adanya pengaruh dari resistansi (R) dan reaktansi (X). Rugi – rugi saluran ini dibedakan menjadi 2 yaitu :

2.10.1 Rugi Tegangan

Rugi tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Rugi tegangan pada saluran tenaga listrik umumnya berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besar rugi tegangan dapat dinyatakan dalam persen maupun dalam satuan volt.

Perhitungan rugi tegangan dapat diketahui dengan menggunakan metode perhitungan. Berdasarkan SPLN No.72:1987, rugi tegangan atau jatuh tegangan yang diperbolehkan untuk sistem distribusi tegangan menengah adalah sebesar



5%. Meskipun kelangsungan catu daya dapat diandalkan, dana yang tersedia dan pekerjaan yang dilakukan secara ekonomis, dan tidak mungkin untuk mempertahankan tegangan tetap pada sistem distribusi karena susut tegangan akan terjadi di semua bagian sistem dan akan berubah dengan adanya perubahan beban ukuran penghantar. Secara singkat kualitas pelayanan tergantung pada kelangsungan pelayanan sistem dan pengatur tegangan. Dalam suatu sistem distribusi, rugi tegangan yang terjadi harus diupayakan sekecil – kecilnya agar tidak merugikan konsumen. Berdasarkan penjelasan, maka besar persentase rugi tegangan pada saluran tiga fasa dapat ditentukan dengan rumus:

$$VD = \frac{P \cdot l}{V} R \cos \phi + X \sin \phi \dots\dots\dots(2.13)^6$$

Dimana, P = Daya nyata (Watt)

I = Arus (Ampere)

S = Daya semu (Volt Ampere)

V = Tegangan Kerja (Volt)

VD = Drop Tegangan (Volt)

R = Resistansi Saluran (Ohm)

X = Reaktansi saluran (ohm)

ϕ = Sudut phasa

l = panjang saluran (meter)

$\cos \phi = 0.85$ (SPLN 70 - 1)

$$\%VD = \frac{VD}{V} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

2.10.2 Rugi-Rugi Daya Dalam Jaringan⁶

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 disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. Dari penjelasan diatas, maka besar kerugian daya pada saluran tiga phasa :

$$P_{loss} = \frac{S^2 \cdot R \cdot l}{V^2} \dots\dots\dots(2.15)$$



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

$$\%P_{loss} = \frac{P_{loss}}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana, P_{Loss} = Rugi-Rugi Daya (Watt)

P = Besar Daya yang disalurkan (W,KW,MW)

V = Tegangan Kerja (Volt)

I = Arus (Ampere)

S = Daya semu yang disalurkan (VA)

ℓ = Panjang Saluran (meter)