

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik skripsi yang diambil, terdapat beberapa referensi dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya guna menentukan batasan – batasan masalah yang berkaitan erat dengan topik yang sedang diambil. Referensi-referensi ini kemudian akan digunakan untuk mempertimbangkan permasalahan-permasalahan apa saja yang berhubungan dengan topik yang diambil. Adapun beberapa referensinya adalah sebagai berikut:

1. Ahmad Fajar Sayidul Yaom UMY (2015) melakukan penelitian tentang *Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik di P.T. PLN UPJ Rayon Bumiayu*, menjelaskan bahwa hanya dua penyulang yang mempunyai nilai SAIFI dan SAIDI yang handal. Artinya di setiap Gardu Induk harus dilakukan analisis guna mengetahui seberapa besar nilai keandalannya, karena hal tersebut mempengaruhi kualitas listrik yang diberikan ke pelanggan.
2. Okki (2013) melakukan penelitian tentang analisis jaringan sistem distribusi tegangan menengah 20KV dengan menggunakan metode RIA. Dari hasil perhitungan dengan simulasi ETAP diperoleh indeks SAIFI tertinggi terdapat di zona 4 yaitu 0.0363 kali/tahun. dan nilai terbesar indeks SAIFI dengan metode RIA terdapat di zona 1 yaitu 0.0275 kali/tahun. Untuk perhitungan dengan simulasi ETAP diperlukan parameter *singeline*

diagram, kapasistas transformator, panjang kabel dan jumlah pelanggan sedangkan metode RIA memerlukan parameter laju kegagalan.

3. Endra Heri Sulino UGM (2011) melakukan penelitian tentang *Evaluasi dan Studi Keandalan Jaringan Distribusi 4 KV Lex Plant Santan Terminal di Chevron Indonesia Company*, menjelaskan tentang SAIFI, SAIDI dan CAIDI bahwa ketiga hal tersebut merupakan indeks keandalan yang dapat menentukan apakah sistem tersebut di nyatakan sesuai harapan atau tidak.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan saluran yang menyalurkan daya yang besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah-daerah beban, atau antara dua atau lebih sistem. Untuk penyaluran antara dua atau lebih sistem disebut juga sebagai saluran interkoneksi atau *tie line* (Syahputra, 2015: 48).

Menurut Nashirulhaq (2016) terdapat 2 jenis saluran transmisi, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 200 kV - 500 kV

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 500 kV. Dimana tujuannya adalah agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) ialah konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga memerlukan biaya besar. Masalah

lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.



Gambar 2.1 Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi

Sumber : <http://andiyusufmasalan.blogspot.co.id/2013/12/surprise-sssttt.html>,2017

2. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 30 kV - 150 kV

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30 kV sampai 150 kV. Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau doble sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. Biasanya hanya 3 kawat dan penghantar netralnya diganti oleh tanah sebagai saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa terdiri dari dua atau empat kawat (*Double* atau *Qudrapole*) dan berkas konduktor disebut Bundle Conductor. Jika transmisi ini beroperasi secara parsial, jarak terjauh yang paling efektif adalah 100 km. Jika jarak transmisi lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (*drop voltage*) terlalu besar, sehingga tegangan di ujung transmisi menjadi rendah. Untuk mengatasi hal tersebut maka sistem transmisi

dihubungkan secara ring sistem atau *interconnection system*. Ini sudah diterapkan di Pulau Jawa dan akan dikembangkan di pulau-pulau besar lainnya di Indonesia.



Gambar 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi

Sumber : <http://semarangpedia.com>,2017

2.2.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source*, BPS) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switches*). Sistem jaringan distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi 2 sistem distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah) dan sistem distribusi sekunder (Jaringan distribusi tegangan rendah). Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Umumnya tegangan kerja pada sistem distribusi primer adalah 6 kV atau 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem distribusi sekunder 380 V atau 220 V (Syahputra, 2015).

Menurut Laksono (2016) kriteria pemilihan ini berdasarkan pada beberapa faktor, antara lain:

- a) Faktor ekonomis
- b) Faktor tempat
- c) Kelayakan

Pemilihan sistem jaringan harus memenuhi kriteria persyaratan yaitu:

- a) Keandalan yang tinggi
- b) Kontinuitas pelayanan
- c) Biaya investasi yang rendah
- d) Fluktuasi frekuensi dan tegangan rendah

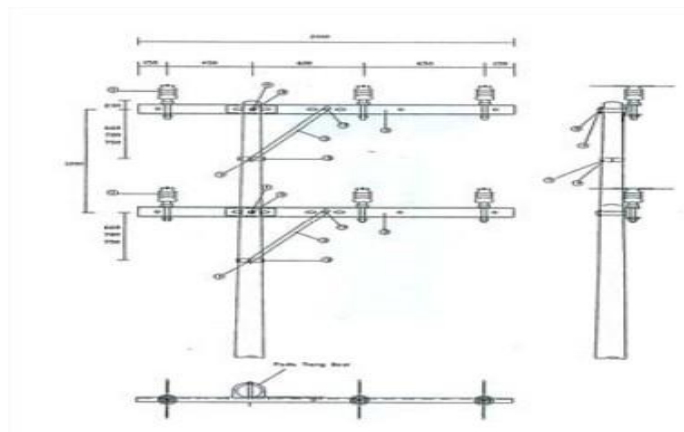
2.2.3 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Jaringan Distribusi Primer (JDTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer gardu distribusi) (Syahputra, 2015).

Sistem jaringan distribusi primer adalah bagian dari sistem tenaga listrik diantara gardu induk (GI) dan gardu distribusi. Jaringan distribusi primer ini umumnya terdiri dari jaringan tiga fasa, yang jumlahnya tiga kawat atau empat kawat. Menurut Syahputra (2015) penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi, pertama-tama dilakukan di gardu induk (GI), dimana tegangan

diturunkan ke tegangan yang lebih rendah misalnya 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV, dan sebagainya. Kemudian penurunan kedua dilakukan di gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer.

Menurut Suswanto (2009) jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.



Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Primer 20 kV

Sumber : Suswanto, 2009

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen (Suswanto, 2009).

Menurut Laksono (2016) sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kawat AAAC (All Aluminium Alloy Conductor), ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced), dll.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kawat berisolasi seperti MVTIC (Medium Voltage Twisted Insulated Cable).



Gambar 2.4 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah

Sumber : Kurniawan, 2017

3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6 - 20 kV

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Vinyl Chloride*), XLPE (*Crosslink Polyethelene*).

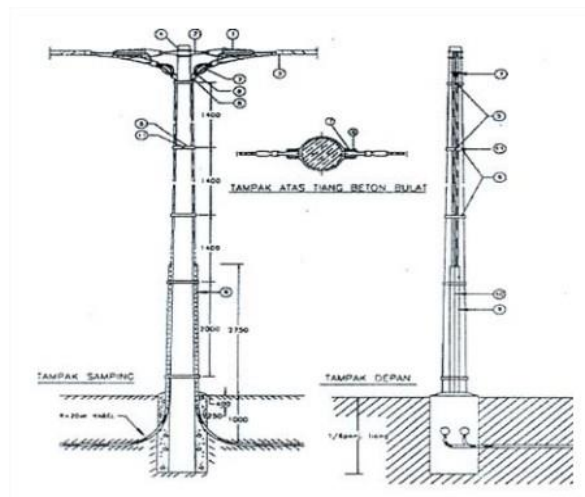


Gambar 2.5 Saluran Kabel Tegangan Menengah

Sumber : Kurniawan, 2016

2.2.4 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah-rumah) (Syahputra, 2015). Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa (Suswanto, 2009).



Gambar 2.6 Jaringan distribusi sekunder 220 V

Sumber : Suswanto, 2009

2.2.5 Saluran Udara dan Saluran Bawah Tanah

Sistem distribusi dapat dilakukan baik dengan saluran udara maupun dengan saluran bawah tanah. Biasanya untuk kepadatan beban yang lebih besar di kota – kota atau daerah metropolitan digunakan saluran bawah tanah. Pilihan antara saluran udara dan bawah tanah tergantung pada sejumlah faktor yang sangat berlainan, antara lain pentingnya kontinuitas pelayanan, arah perkembangan daerah, biaya pemeliharaan tahunan yang sama, biaya modal dan umur manfaat sistem tersebut.

Pada sistem distribusi primer digunakan tegangan menengah tiga fasa tanpa penghantar netral, sehingga terdapat tiga kawat. Beda halnya dengan tegangan rendah, digunakan penghantar netral, sehingga terdapat empat kawat. Di daerah – daerah dengan banyak gangguan cuaca, terutama yang berbentuk petir, saluran dapat dilengkapi dengan kawat petir. Kawat ini dipasang dibagian atas penghantar, dan dihubungkan dengan tanah. Bilamana ada gangguan petir, maka yang terlebih dahulu tersambar adalah kawat petir itu. Energi petir disalurkan ke bumi melalui sistem pentanahan.

Saluran udara merupakan penghantar energi listrik, tegangan menengah ataupun tegangan rendah, yang dipasang diatas tiang-tiang listrik di luar bangunan. Sedangkan pada kabel tanah penghantarnya dibungkus dengan bahan isolasi. Kabel tanah dapat dipakai untuk tegangan menengah ataupun tegangan rendah. Sebagaimana namanya, kabel tanah ditanam dalam tanah. Instalasi saluran udara jauh lebih murah dari pada instalasi kabel tanah. Dilain pihak, instalasi kabel tanah lebih mudah pemeliharaannya dibanding dengan saluran udara. Lagi

pula, instalasi kabel tanah lebih indah, karena tidak terlihat, sedangkan saluran udara mengganggu pemandangan dan lingkungan. Karenanya, di kota-kota besar dengan kepadatan pemakain energi listrik yang tinggi, saluran tegangan menengah biasanya merupakan kabel tanah, bahkan sering juga saluran tegangan rendah. Tingginya biaya instalasi kabel tanah dapat dipertanggungjawabkan oleh karena tingginya kepadatan pemakain energi listrik. Sekalipun operasi dan pemeliharaan lebih mudah, tetapi bilamana terjadi gangguan pada kabel tanah, perbaikannya merupakan pekerjaan yang sukar, lebih-lebih bilamana kabel ini ditanam di jalanan yang lalu-lintasnya padat.

2.2.5.1 Saluran Udara

Saluran udara digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator – isolator diantara tiang – tiang sepanjang beban yang dilalui suplai tenaga listrik, mulai gardu induk sampai ke pusat beban ujung akhir. Jaringan udara direncanakan untuk kawasan dengan kepadatan beban rendah atau sangat rendah, misalnya pinggiran kota, kampung/kota – kota kecil, dan tempat tempat – tempat yang jauh serta luas dengan beban tersebar. Saluran udara sering kali digunakan untuk melayani daerah yang sedang berkembang sebagai tahapan sementara. Kota – kota besar dengan mayoritas perumahan kebanyakan menggunakan jaringan udara. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar adalah tembaga dan alumunium. Secara teknis, tembaga lebih baik dari pada aluminium, karena memiliki daya hantar arus yang lebih tinggi.

Namun karena harga tembaga yang tinggi, semakin lama pemakaian kawat

aluminium lebih banyak dipakai. Karena itu kawat aluminium berinti baja ASCR (*Aluminium Cable Steel Reinforced*) banyak dipakai untuk saluran udara tegangan tinggi maupun tegangan menengah. Sedangkan untuk saluran tegangan rendah banyak dipakai kawat aluminium telanjang AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*).

Beberapa pertimbangan untuk saluran udara dapat disebut seperti berikut Keuntungan atau kelebihan.

Keuntungan pada saluran udara adalah :

1. Penggunaan saluran udara memerlukan investasi yang lebih murah/rendah.
2. Dalam menentukan daerah gangguan pada *feeder* lebih mudah sehingga pemadaman listrik karena perbaikan lokasi gangguan lebih cepat, serta gangguan – ganggua diluar system dapat dikurangi.
3. *Fleksibel* terhadap perkembangan beban.

Kerugian pada saluran udara adalah:

1. Mudah mendapat gangguan dari luar seperti angin, pohon, cuaca buruk dan sebagainya.
2. Mengganggu keindahan lingkungan.

2.2.5.2 Saluran Bawah Tanah

Sistem saluran konstruksi bawah tanah dalam penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan kabel tanah sepanjang daerah beban yang mensuplai tenaga listrik.

Keuntungan yang dimiliki oleh sistem jaringan bawah tanah adalah :

1. Keandalan tinggi.
2. Biaya pemeliharaan murah.
3. Kabel tanah tidak mudah diganggu oleh pengaruh-pengaruh hujan, petir dan gangguan alam lainnya.
4. Sistem jaringan bawah tanah tidak mengganggu keindahan pemandangan atau lingkungan.

Kerugian sistem jaringan bawah tanah adalah :

1. Biaya investasi tinggi.
2. Bila terjadi gangguan sulit melacak

Penghantar yang digunakan adalah saluran kabel tanam tegangan menengah (SKTM). Penghantar ini mempunyai keandalan tinggi, sehingga banyak digunakan untuk daerah perkotaan dan industri. Ada dua macam kabel tanam yaitu kabel tanam dengan isolasi minyak dan kabel tanam dengan isolasi plastik (PVC), sedangkan bahan konduktornya adalah tembaga dan aluminium.

Kabel adalah suatu penghantar atau susunan dari beberapa penghantar yang dianyam menjadi satu yang kemudian dilapisi dengan isolasi sehingga meniadakan kontak listrik antara satu konduktor dengan konduktor yang lain, jika kabel tersebut diberikan tegangan tertentu. Komponen pokok kabel adalah bahan konduktornya dan bahan isolasinya.

Kabel terdiri dari tiga bagian utama yaitu :

1. Bahan konduktor
2. Bahan isolasi

3. Bahan pelindung kabel

Bahan konduktor adalah bahan yang dapat mengalirkan arus listrik terus menerus jika antar ujung-ujungnya diberikan beda potensial dalam rangkaian tertutup. Bahan konduktor yang lazim dipakai adalah tembaga dan aluminium atau campurannya.

Adapun konduktor memiliki keuntungan yaitu :

1. Lebih mudah pengerjaannya.
2. Pada umumnya titik cairnya tidak terlalu tinggi, sehingga lebih mudah dikerjakan baik dalam keadaan panas maupun dingin.

Bahan isolasi adalah bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Bahan isolasi berpengaruh terhadap sifat – sifat elektris, mekanis maupun kimia pada kabel.

Bahan pelindung kabel berfungsi sebagai:

1. Melindungi terhadap korosi.
2. Penahan gaya mekanis.
3. Pelindung/pengaman terhadap gaya listrik.
4. Mencegah keluarnya minyak pada pada kabel kertas yang diresapi minyak dan mencegah masuknya uap air kedalam kabel.

2.2.6 Konfigurasi Jaringan Distribusi Primer

Jumlah penyulang yang ada di suatu kawasan/daerah biasanya lebih dari satu. Semakin besar dan kompleks beban yang dilayani di suatu kawasan/daerah maka semakin banyak pula jumlah penyulang yang diperlukan. Beberapa penyulang berkumpul di suatu titik yang disebut gardu hubung (GH). Gardu hubung adalah suatu instalasi peralatan listrik yang berfungsi sebagai :

1. Titik pengumpul dari suatu atau lebih sumber dan penyulang.
2. Tempat pengalihan beban apabila terjadi gangguan pada salah satu jaringan yang dilayani.

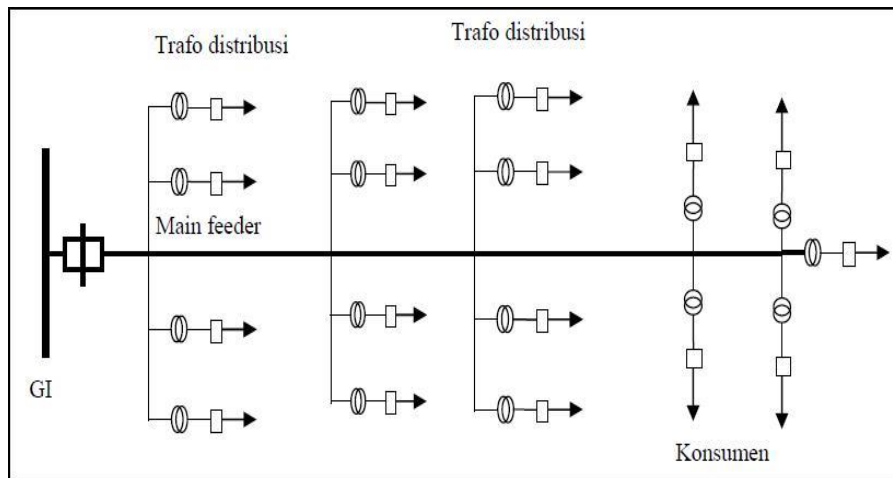
Gabungan beberapa penyulang dapat membentuk beberapa tipe sistem jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi empat yaitu:

1. Sistem *radial*.
2. Sistem lingkaran (*loop/ring*) dan lingkaran terbuka (*open loop/open ring*).
3. Sistem *spindel*
4. Sistem gugus (*mesh*)

Masing-masing tipe sistem jaringan distribusi primer tersebut mempunyai karakteristik serta keuntungan dan kerugian masing-masing.

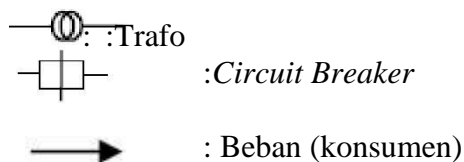
2.2.6.1 Sistem Radial

Sistem jaringan distribusi primer tipe radial memiliki jumlah sumber dan penyulang hanya satu buah. Bila terjadi gangguan pada salah satunya (baik sumber maupun penyulangnya), maka semua beban yang dilayani oleh jaringan ini akan padam. Oleh karena itu nilai keandalan dari sistem jaringan distribusi primer tipe radial ini adalah rendah. Sistem ini masih banyak dipergunakan di daerah pedesaan dan perkotaan yang tidak membutuhkan keandalan tinggi. Sistem jaringan distribusi primer tipe *radial* ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem Jaringan Distribusi Tipe Radial
Sumber : Gonen, Turan, 1996

Keterangan :



Adapun keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran radial antara lain adalah :

1. Keunggulan :
 - a. Bentuknya sederhana
 - b. Biaya investasi relatif murah
2. Kelemahan :
 - a. Kualitas pelayanannya kurang baik karena rugi tegangan dan rugi daya pada daya relatif besar.
 - b. Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran.
 - c. Bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian setelah gangguan akan mengalami pemadaman total.

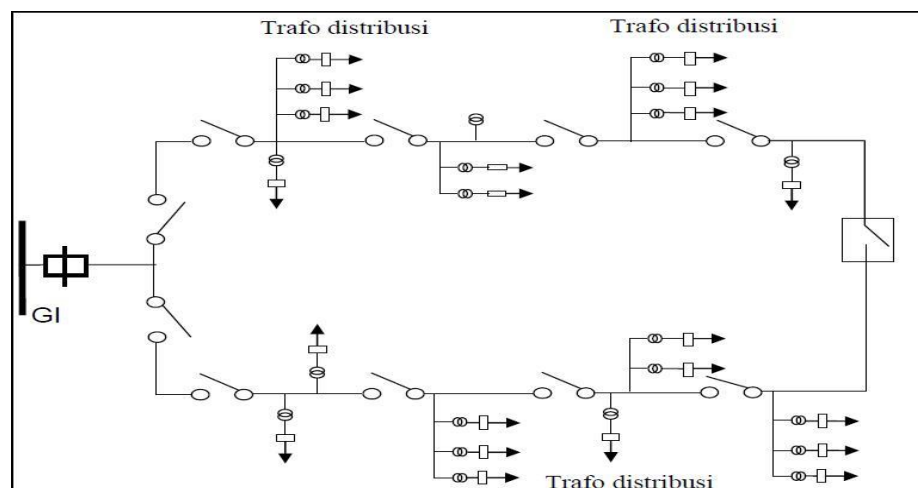
2.2.6.2 Sistem Lingkar (*Loop/Ring*) dan Lingkar Terbuka (*Open Loop/Ring*)

Sistem jaringan distribusi primer tipe lingkar (*loop/ring*) dan lingkar terbuka (*open loop/ring*) ini merupakan gabungan atau perpaduan dari dua buah sistem radial. Secara umum operasi normal sistem ini hampir sama seperti sistem radial. Hal ini dikarenakan jumlah sumber dan penyulang yang ada pada suatu jaringan adalah lebih dari satu buah.

Keunggulan dan kelemahannya dari sistem saluran ini adalah :

1. Keunggulan
 - a. Kontinuitas penyaluran daya listrik cukup tinggi.
 - b. Stabilitas tegangan sistem yang mantap.
 - c. Tingkat keamanan dan keandalan yang cukup tinggi.
2. Kelemahan
 - a. Biaya pemasangan relatif mahal.
 - b. Biaya pemeliharaan tinggi.

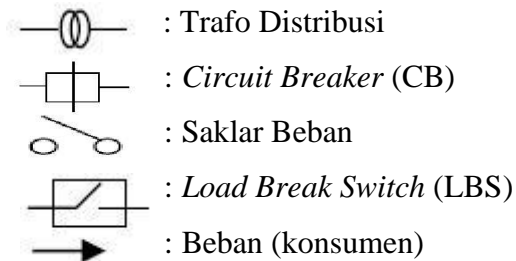
Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe lingkar ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe Lingkar (*loop/ring*)

Sumber : Gonen, Turan, 1996

Keterangan :



2.2.6.3 Sistem *Spindel*

Sistem jaringan distribusi primer tipe *spindel* merupakan modifikasi dari sistem lingkaran (*loop/ring*) yang terdiri dari beberapa penyulang, masing-masing penyulang berpangkal pada satu gardu induk dan ujung-ujungnya akan terhubung di gardu hubung. Penyulang tersebut dibagi menjadi dua jenis yaitu:

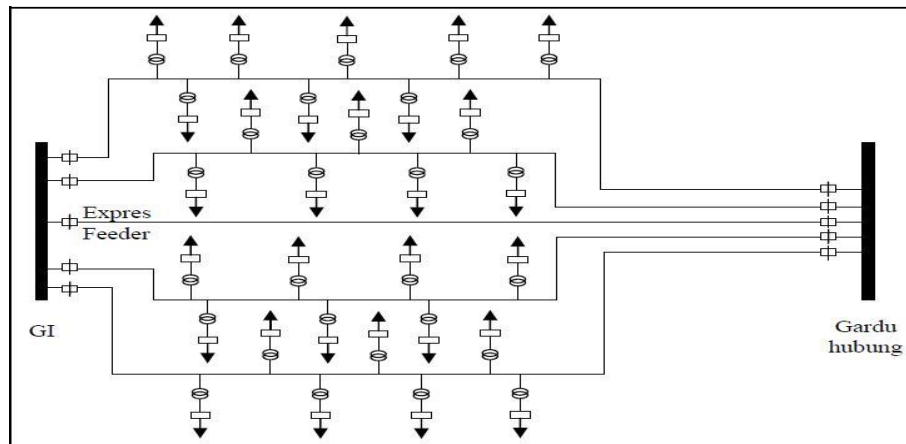
1. Penyulang kerja (*working feeder*)

Adalah penyulang yang dioperasikan untuk mengalirkan daya listrik dari sumber pembangkit sampai kepada konsumen, sehingga penyulang ini dioperasikan dalam keadaan bertegangan dan sudah dibebani. Operasi normal penyulang ini hampir sama seperti sistem *radial*.

2. Penyulang cadangan (*express feeder*)

Adalah penyulang yang menghubungkan gardu induk langsung ke gardu hubung dan tidak dibebani gardu-gardu distribusi. Pada operasi normal penyulang ini tidak berbeban dan hanya berfungsi sebagai penyulang cadangan untuk mensuplai penyulang tertentu yang mengalami gangguan melalui gardu hubung.

Bagan sistem jaringan distribusi primer tipe spindel terlihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Sistem Jaringan Distribusi Primer Tipe Spindel
Sumber : Gonen, Turan, 1996

Keterangan :

- :Trafo Distribusi
- :Circuit Breaker (CB)
- ▶— :Beban (konsumen)

Keunggulan dan kelemahan dari sistem ini adalah :

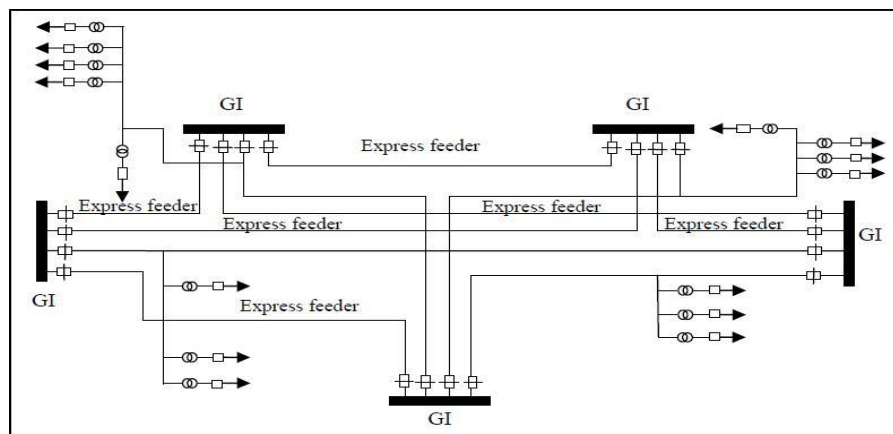
1. Keunggulan :
 - a. Mempunyai keandalan sistem yang lebih tinggi
 - b. Rugi tegangan dan daya relatif kecil
2. Kelemahan :
 - a. Beban setiap penyulang terbatas
 - b. Biaya sangat mahal
 - c. Harus mempunyai tenaga lapangan yang terampil

2.2.6.4 Sistem Gugus (*Mesh*)

Sistem jaringan distribusi primer gugus (*mesh*) ini merupakan variasi dari sistem spindel. perbedaannya hanya terletak pada bagian penyulang

cadangan(*express feeder*). Pada sistem ini penyulang cadangan diberi beban sebagai mana halnya penyulang kerja. Sistem ini mempunyai tingkat keandalan dan kontinuitas yang lebih baik di bandingkan dengan sistem lingkaran (*loop/ring*) ataupun radial.

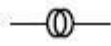

Sistem ini jarang dipergunakan pada sistem distribusi primer tegangan menengah. Pada umumnya sistem ini diterapkan pada sistem transmisi tegangan tinggi yang sering disebut sebagai sistem interkoneksi.



Gambar 2.10 Sistem Jaringan Distribusi Primer tipe Gugus (*mesh*)

Sumber : Gonen, Turan, 1996

Keterangan :

-  : Trafo Distribusi
-  : *Circuit Breaker* (CB)
-  : Beban (konsumen)

Keunggulan dan kelemahan dari sistem saluran ini adalah :

1. Keunggulan :
 - a. Mempunyai keandalan sistem yang lebih tinggi
 - b. Dapat mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban.

c. Kualitas tegangan baik dan rugi daya kecil

2. Kelemahan :

a. Cara pengoperasian sulit

b. Biaya sangat mahal

2.2.7 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi Primer

Sistem pengaman adalah sistem pengaman yang dilakukan terhadap peralatan – peralatan listrik yang terpasang di jaringan sistem tenaga listrik terhadap kondisi *abnormal* operasi itu sendiri. Sistem pengaman bertujuan untuk mencegah, membatasi, atau melindungi jaringan dan peralatan terhadap bahaya kerusakan yang disebabkan karena gangguan yang bersifat *temporer* maupun *permanent*, sehingga kualitas dan keandalan penyaluran daya listrik yang diharapkan oleh konsumen dapat terjamin dengan baik. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan pada sistem pengaman adalah :

a. Kecepatan bertindak (*quickness of action*)

b. Pemilihan tindakan (*selectivity or discrimination action*)

c. Peka (*sensitivity*)

d. Keandalan (*reliability*)

Sistem pengaman jaringan tegangan menengah 20 kV merupakan satu komponen sangat penting yang dirancang untuk mengamankan jaringan dan peralatan tegangan menengah. Secara umum peralatan pengaman yang terdapat pada system jaringan distribusi tegangan menengah adalah Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah (PMS), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Saklar Beban (SB),

TieSwitch (TS), Penutup Balik Otomatis (PBO) /*Recloser* dan Pelebur.

2.2.7.1 Pemutus Tenaga (PMT)/*Circuit Breaker* (CB)

Pemutus Tenaga (PMT)/*Circuit Breaker* (CB) adalah suatu saklar yang bekerja secara otomatis memutuskan hubungan listrik pada jaringan dalam keadaan berbeban pada saat mengalami gangguan yang disebabkan baik dari luar/*external* maupun dari dalam/*internal* pada jaringan listrik. Dalam sistem pengoperasiannya, alat ini dilengkapi dengan rele arus lebih/*OverCurrent Relay* (OCR) yang berfungsi sebagai pengaman jaringan dari arus lebih. Pengaruh pemutus tenaga terhadap keandalan yaitu terdapat pada waktu terjadinya gangguan, apabila terjadi gangguan, menggunakan pemutus tenaga membutuhkan waktu kembali itu cukup lama.

2.2.7.2 Pemisah (PMS)/*Disconnecting Switch* (DS)

Pemisah (PMS)/*Disconnecting Switch* (DS) adalah suatu saklar yang berfungsi untuk memisahkan atau menghubungkan suatu jaringan pada saat tidak berbeban (tidak bertegangan). Pada umumnya alat ini akan difungsikan pada saat diadakan pemeliharaan rutin yang dilakukan oleh PLN.

2.2.7.3 Penutup Balik Otomatis (*Recloser*)

Penutup balik otomatis (PBO) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan *temporer* dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. PBO menurut media peredam busur apinya dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu dengan media minyak, *vacum*, dan SF6. Sedangkan menurut peralatan pengendalinya dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu PBO Hidraulik (kontrol hidraulik) dan PBO Terkontrol Elektrik

Urutan operasi PBO, yaitu sebagai berikut:

1. Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (*trip*) dalam operasi cepat (*fast trip*).
2. Kontak PBO akan menutup kembali setelah melewati waktu *reclose* sesuai *setting*. Tujuan memberi selang waktu ini adalah untuk memberikan waktu pada penyebab gangguan agar hilang, terutama gangguan yang bersifat temporer.
3. Jika gangguan bersifat permanen, PBO akan membuka dan menutup balik sesuai dengan *settingnya* dan akan *lock-out* (terkunci).
4. Setelah gangguan dihilangkan oleh petugas, baru PBO dapat dimasukkan ke sistem. (Suhadi, 2008).

2.2.7.4 Sectionalizer

Saklar seksi otomatis (SSO, *Sectionalizer*) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. *Sectionalizer* membagi jaringan distribusi kedalam *section-section*, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu *section*, luas daerah yang padam dapat diperkecil. Ada dua jenis SSO, yaitu dengan pengindera arus yang disebut *Automatic Sectionalizer* dan pengindera tegangan yang disebut *Automatic Vacuum Switch (AVS)*. *Sectionalizer* bekerja dengan melakukan deteksi tegangan pada *section* kerjanya. Ketika tidak ada tegangan, *sectinalizer* akan membuka, sebaliknya jika mendeteksi adanya tegangan, maka *sectionalizer* akan menutup. *Sectionalizer* juga dapat dioperasikan secara manual untuk memutus arus beban. Agar SSO berfungsi dengan baik,

maka harus dikoordinasikan dengan PBO (*recloser*) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak dikoordinasikan dengan PBO, maka SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa (Suhadi, 2008).

2.2.7.5 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) adalah suatu saklar yang umumnya diletakkan di atas tiang jaringan namun tuas penggerakannya berada di bawah dan berfungsi sebagai pembatas/pengisolir lokasi gangguan. Pada umumnya alat ini dipasang dekat dengan pusat-pusat beban. Alat ini juga berfungsi sebagai saklar hubung antara satu penyulang dengan penyulang lainnya dalam keadaan darurat pada sistem operasi jaringan distribusi primer tipe lingkaran terbuka (*Open Loop/ring*). (Suhadi, 2008).

2.2.7.6 Pelebur (Fuse Cut Out)

Pelebur (*Fuse Cut Out*) adalah suatu alat pemutus aliran daya listrik pada jaringan bila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini dilengkapi dengan *fuse link* yang terdiri dari elemen lebur. Bagian inilah yang akan langsung melebur jika dialiri arus lebih pada jaringan. Besarnya *fuse link* yang digunakan tergantung dari perhitungan jumlah beban (arus) maksimum yang dapat mengalir pada jaringan yang diamankan.

2.2.7.7 Arrester

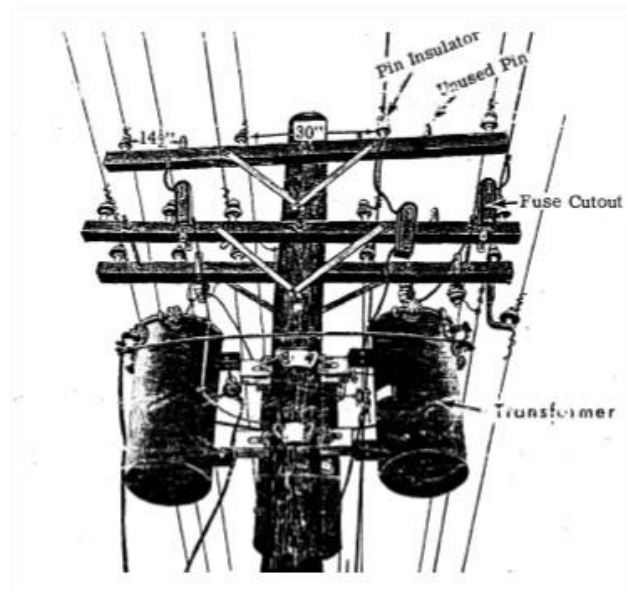
Arrester adalah suatu alat pengaman bagi peralatan listrik terhadap gangguan tegangan lebih yang disebabkan oleh petir. Alat ini berfungsi untuk meneruskan arus petir ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang merusak aliran daya sistem frekuensi 50 Hz. Agar tidak

mengganggu aliran sistem, maka pada saat terjadi gangguan *arrester* berfungsi sebagai konduktor yang mempunyai tahanan rendah. Akibatnya *arrester* dapat meneruskan arus yang tinggi ke tanah untuk dinetralisir dan setelah gangguan hilang, *arrester* kembali berfungsi normal sebagai isolator. Pada umumnya *arrester* dipasang pada jaringan, transformator distribusi, *cubicle* dan Gardu Induk (Tanzil, 2007).

2.2.8 Gardu Induk

Gardu induk distribusi sering di sebutkan hanya “gardu induk”. Desain gardu induk distribusi telah distandarisasi oleh industri perlengkapan elektrik berdasarkan pengalaman terdahulu. Akan tetapi proses standarisasi terus berlangsung dari waktu ke waktu, menyesuaikan dengan keadaan terkini (Syahputra, 2015).

Menurut Suswanto (2009) gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.



Gambar 2.11 Konstruksi Gardu Distribusi

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (*step down transformer*) misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedangkan transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan listrik (*step up transformer*), hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang didistribusikan pada suatu jaringan panjang (*long line*) tidak mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*) yang berarti; yaitu tidak melebihi ketentuan voltage drop yang diperkenankan 5% dari tegangan semula (Suswanto, 2009).

Jenis transformator yang digunakan adalah transformator satu phase dan transformator tiga phase. Adakalanya untuk melayani beban tiga phase dipakai tiga buah transformator satu phase dengan hubungan bintang (*star connection*) Y

atau hubungan delta (*delta connection*) Δ . Sebagian besar pada jaringan distribusi tegangan tinggi (primer) sekarang ini dipakai transformator tiga fasa untuk jenis *out door*. Yaitu jenis transformator yang diletakkan diatas tiang dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan jenis *in door*, yaitu jenis yang diletakkan didalam rumah gardu (Suswanto, 2009).

Menurut Affandi (2015) fungsi utama dari gardu induk, yaitu:

- a. Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen.
- b. Sebagai tempat control.
- c. Sebagai pengaman operasi sistem.
- d. Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

Dilihat dari segi manfaat dan kegunaan dari gardu induk itu sendiri, maka peralatan dan komponen dari gardu induk harus memiliki keandalan yang tinggi serta kualitas yang tidak diragukan lagi, atau dapat dikatakan harus optimal dalam kinerjanya sehingga masyarakat sebagai konsumen tidak merasa dirugikan oleh kinerjanya. Oleh karena itu, sesuatu yang berhubungan dengan rekonstruksi pembangunan gardu induk harus memiliki syarat-syarat yang berlaku dan pembangunan gardu induk harus diperhatikan besarnya beban. (Affandi, 2015).

Menurut Affandi (2015), maka perencanaan suatu gardu induk harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Operasi, yaitu dalam segi perawatan dan perbaikan mudah.
2. Fleksibel.

3. Konstruksi sederhana dan kuat.
4. Memiliki tingkat keandalan dan daya guna yang tinggi.
5. Memiliki tingkat keamanan yang tinggi

2.2.9 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Tenaga listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi. Oleh sebab itu jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat. Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV, 6 KV. Pada saat ini, tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah 380/220 V, dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya.

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem.

1. Gangguan dari dalam sistem
 - a) Kegagalan dari fungsi peralatan jaringan
 - b) Kerusakan dari peralatan jaringan
 - c) Kerusakan dari peralatan pemutus beban
 - d) Kerusakan pada alat pendeteksi
2. Gangguan dari luar sistem
 - a) Sentuhan daun/pohon pada penghantar
 - b) Sambaran petir
 - c) Manusia
 - d) Binatang
 - e) Cuaca

(Suswanto: *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, 2009)

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi (Hutauruk, 1987: 4) adalah:

1. Dari jenis gangguannya:
 - a) Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
 - b) Gangguan fasa ke fasa
 - c) Gangguan dua fasa ke tanah
 - d) Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah
2. Dari lamanya gangguan
 - a) Gangguan permanen
 - b) Gangguan temporer
 - a. Gangguan yang bersifat temporer

Gangguan yang bersifat temporer ini apabila terjadi gangguan, maka gangguan tersebut tidak akan lama dan dapat normal kembali. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen. Salah satu contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan. Gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya. Apabila gangguan temporer sering terjadi maka hal tersebut akan menimbulkan kerusakan pada peralatan dan akhirnya menimbulkan gangguan yang bersifat permanen.

b. Gangguan yang bersifat permanen

Gangguan permanen tidak akan dapat hilang sebelum penyebab gangguan dihilangkan terlebih dahulu. Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan ini diperbaiki atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen. Untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat,

dahan yang menimpa kawat phasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

2.2.10 Keandalan Sistem Distribusi

Lebih dari beberapa dekade, sistem distribusi kurang dipertimbangkan dari segi keandalan ataupun pemodelan keandalan dibandingkan sistem pembangkit. Hal ini dikarenakan sistem pembangkit memiliki biaya investasi yang besar dan kegagalan pada pembangkit dapat menyebabkan dampak bencana yang sangat luas untuk kehidupan manusia dan lingkungannya. Sistem evaluasi keandalan yang digunakan pada sistem distribusi memiliki parameter-parameter sebagai berikut yaitu: pemadaman rata-rata (r_s), kegagalan rata-rata (λ), dan waktu pemadaman rata-rata (U_s) (Erhaneli, 2017).

Menurut Hartati (2007) keandalan sistem distribusi ialah suatu ukuran ketersediaan/tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pemakai. Ukuran keandalan dapat dinyatakan seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi (*restoration*).

Menurut Pabla (1994: 107), mendefinisikan keandalan sebagai kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dalam periode waktu yang ditentukan. Periode yang ditentukan merupakan bagian yang sangat penting dari spesifikasi keandalan. Periode mungkin merupakan daur hidup (masa pakai) dari benda atau periode lain selama dalam pemeliharaan.

Menurut Momoh (2008), Keandalan yaitu kemampuan dari jaringan untuk menyampaikan tidak terputusnya tenaga listrik bagi pelanggan pada satu taraf yang telah ditentukan sesuai mutu dan jaminan keamanannya.

Berdasarkan beberapa definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa keandalan didefinisikan sebagai kemungkinan dari suatu sistem untuk dapat bekerja pada kondisi dan jangka waktu operasi yang ditentukan. Sistem distribusi tentunya mempunyai nilai keandalan tertentu dan dapat diperoleh dengan menghitung indeks keandalannya (Pulungan, 2012).

Menurut Hartati (2007) tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu:

1. Keandalan sistem yang tinggi (*High Reliability System*)

Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan darurat bila terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem ini tentu saja diperlukan beberapa peralatan dan pengamanan yang cukup banyak untuk menghindarkan adanya berbagai macam gangguan pada sistem.

2. Keandalan sistem yang menengah (*Medium Reliability System*)

Pada kondisi normal sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan darurat bila terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem tersebut masih bisa melayani sebagian dari beban meskipun dalam kondisi beban puncak. Jadi dalam sistem ini diperlukan peralatan yang

cukup banyak untuk mengatasi serta menanggulangi gangguan-gangguan tersebut.

3. Keandalan sistem yang rendah (*Low Reliability System*)

Pada kondisi normal sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada beban puncak dengan variasi tegangan yang baik, tetapi bila terjadi suatu gangguan pada jaringan sistem sama sekali tidak bisa melayani beban tersebut. Jadi perlu diperbaiki terlebih dahulu. Tentu saja pada sistem ini peralatan-peralatan pengamannya relatif sangat sedikit jumlahnya.

Kontinuitas pelayanan, penyaluran jaringan distribusi tergantung pada jenis dan macam sarana penyalur dan peralatan pengaman, dimana sarana penyalur (jaringan distribusi) mempunyai tingkat kontinuitas yang tergantung pada susunan saluran dan cara pengaturan sistem operasinya yang pada khususnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban.

Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan. (SPLN 52, 1983). Tingkat-tingkat tersebut adalah :

1. Tingkat 1 : Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan
2. Tingkat 2 : Padam beberapa jam, yaitu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

3. Tingkat 3 : Padam beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DCC (*Distribution Control Center*).
4. Tingkat 4 : Padam beberapa detik, yaitu pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DCC.
5. Tingkat 5 : Tanpa padam yaitu jaringan dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis secara penuh dari DCC.

2.2.11 SAIFI (*System Average Interruption Index*)

SAIFI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian frekuensi pada dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini gambaran mengenai frekuensi kegagalan rata-rata yang terjadi pada bagian-bagian dari sistem bisa dievaluasi sehingga dapat dikelompokkan sesuai dengan tingkat keandalannya. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{jumlah dari perkalian frekuensi angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\lambda_i \cdot N_i}{N_t} \quad (2.1)$$

Dimana:

λ = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

2.2.12 SAIDI (*System Average Duration Index*)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian jam pemadaman dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{U_i \cdot N_i}{N_t} \quad (2.2)$$

Dimana:

U = Durasi gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi.

2.2.13 CAIDI (*Customer Average Duration Index*)

Indeks ini memberikan informasi lama waktu (durasi) rata – rata setiap pemadaman. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah Frekuensi gangguan pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI, yaitu:

$$\mathbf{CAIDI} = \frac{\mathbf{SAIDI}}{\mathbf{SAIFI}} \quad (2.3)$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban

λ_i = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi.

2.2.14 CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*)

Indeks ini memberikan informasi frekuensi gangguan rata – rata setiap pemadaman. Indeks ini dirumuskan dengan:

$$\mathbf{CAIFI} = \frac{\text{jumlah Frekuensi gangguan pelanggan}}{\text{jumlah durasi gangguan pelanggan}} = \frac{\sum N_i \lambda_i}{\sum U_i N_i}$$

Indeks ini juga sama dengan perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI, yaitu:

$$\mathbf{CAIFI} = \frac{\mathbf{SAIFI}}{\mathbf{SAIDI}} \quad (2.3)$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban

λ_i = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

Besarnya nilai CAIFI ini dapat digambarkan sebagai besar frekuensi pemadaman sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi.

2.2.15 Indeks Berorientasi pada Beban serta Energi

Di samping ketiga parameter keandalan yang umum dipakai diatas, ada pula beberapa indeks tambahan yang sering digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu sistem distribusi, yaitu indeks yang berorientasi pada beban serta energi. Beberapa diantaranya adalah:

a. *ENS (Energi Not Supply)*

ENS merupakan indeks keandalan yang menyatakan jumlah energy yang tidak dapat disalurkan oleh system selama terjadi gangguan pemadaman atau banyaknya MWh yang hilang akibat adanya pemadaman. Secara matematis dituliskan sebagai berikut (Dharmawati, 2012):

$$ENS = \sum [Gangguan (MW) \times Durasi (h)] \dots\dots\dots (2.5)$$

b. AENS (*Average Energy Not Supply*)

AENS merupakan indeks rata-rata energy yang tidak disalurkan akibat terjadinya pemadaman. AENS dinyatakan dengan perbandingan antara jumlah energy yang hilang saat terjadi pemadaman dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Secara matematis dituliskan sebagai berikut (Dharmawati, 2012):

$$AENS = \frac{\text{Jumlah energi yang tidak tersalurkan oleh sistem}}{\text{Jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$= \frac{ENS}{\sum N} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana, N = jumlah pelanggan yang dilayani

2.2.16 Perusahaan Listrik Negara (PLN)

SPLN adalah standar perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, instruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil dirampungkan. 61 standar bidang pembangkitan, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum. Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuannya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan dari sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai PLN.

2.2.17 Kegunaan Dari Indeks Keandalan Sistem

Kegunaan dari informasi indeks keandalan sistem adalah sangat luas. Ada beberapa kegunaan yang paling umum yaitu (Billiton, R dan Billiton, J.E, 1989) :

1. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan pada sistem listrik secara keseluruhan.
2. Untuk mengidentifikasi sub sistem dan sirkit dengan capaian dibawah standar untuk memastikan penyebabnya.
3. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan mengenai untuk masing-masing area operasi.
4. Menyediakan sejarah keandalan dari sirkit individu untuk diskusi dengan pelanggan sekarang atau calon pelanggan.
5. Memenuhi syarat pelaporan pengaturan.
6. Menyediakan suatu basis untuk menetapkan ukuran-ukuran kesinambungan layanan.
7. Menyediakan data capaian yang penting bagi suatu pendekatan probabilistik untuk studi keandalan sistem distribusi.

2.2.18 Standar Nilai Indeks Keandalan

- a. Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

Tabel 2.1 Standar Indeks Keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	3.2	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21.09	jam/pelanggan/tahun

b. Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Tabel 2.2 Standar Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Indikator Kerja	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1.45	kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	jam/pelanggan/tahun