

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Agung Arief Wibowo dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Keandalan Transformator Gardu Induk Wilayah Surabaya Menggunakan Metode Monte Carlo”, nilai yang didapat telah mencapai standar yang sudah diterapkan meskipun ada beberapa gardu induk yang tidak memenuhi standar, namun dapat diperbaiki dengan cara maintenance atau perawatan yang lebih baik.

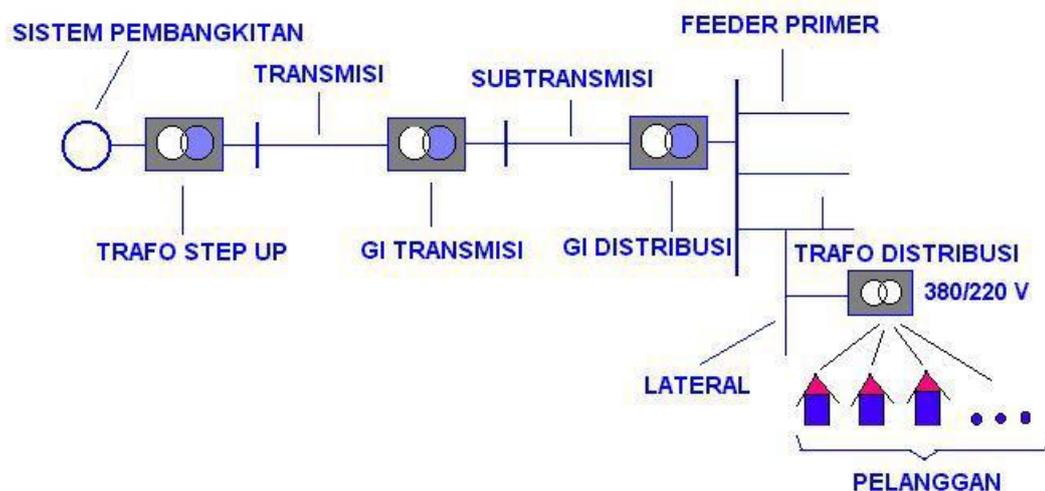
Dalam penelitiannya yang berjudul “*Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik di P.T. PLN UPJ Rayon Bumiayu*”, Ahmad Fajar Sayidul Yaom UMY (2015) menjelaskan bahwa hanya dua penyulang yang mempunyai nilai SAIFI dan SAIDI yang handal. Artinya di setiap Gardu Induk harus dilakukan analisis guna mengetahui seberapa besar nilai keandalannya, karena hal tersebut mempengaruhi kualitas listrik yang diberikan ke pelanggan.

Siti Saodah Institut Sains & Teknologi AKPRIND (2008) melakukan penelitian tentang *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI*, menjelaskan tentang SAIDI, SAIFI bahwa kedua hal tersebut merupakan indeks keandalan yang dapat menentukan apakah sistem tersebut di nyatakan sesuai harapan atau tidak.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Daya listrik yang dihasilkan pada pembangkit tenaga listrik harus mengalami beberapa tahap pendistribusian sebelum daya digunakan oleh konsumen. Pembangkitan dan pendistribusian daya dari pusat pembangkit memungkinkan daya dihasilkan pada satu lokasi untuk penggunaan setiap saat pada lokasi lain yang jauh. Karena berbagai persoalan teknis, tenaga listrik hanya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu saja, sedangkan konsumen tenaga listrik tersebar di berbagai tempat. Dalam transmisi tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Transmisi daya listrik dalam jumlah sangat besar melalui jarak yang sangat jauh paling efisien menggunakan tegangan tinggi. Tegangan tinggi digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi rugi daya dalam saluran transmisi. Adapun skema sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem tenaga listrik

2.2.2 Gardu Induk

Gardu induk di sebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari transformer dan rangkaian switchgear yang tergabung dalam satu kesatuan melalui sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Gardu Induk juga merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Berikut adalah beberapa fungsi dari gardu induk:

1. Mentransformasikan daya listrik.
2. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.

3. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (*feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.
4. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.
5. Menyalurkan tenaga listrik (kVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu. Daya listrik dapat berasal dari pembangkit atau dari gardu induk lain.

2.2.3 Jenis Gardu Induk

Berdasarkan Pemasangan peralatan, Gardu induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu :

1. Gardu Induk Pasang Luar (*Outdoor Substation*)

Gardu induk jenis pemasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pemasangan luar. Pemasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada di dalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (switch board) dan baterai. Gardu Induk jenis ini ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

2. Gardu Induk Pasangan Dalam (*Indoor Substation*)

Disebut Gardu induk pasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada gardu induk pasangan luar. Dari transformator utama, rangkaian switchgear dan panel kontrol serta batere semuanya. Jenis pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

3. Gardu Induk Setengah Pasangan Luar (*Semi Outdoor Substation*)

Sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut juga gardu induk semi pasangan dalam.

4. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah (*Underground Substation*)

Hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatan-peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Biasanya di bagian kota yang sangat ramai, di jalan-jalan pertokoan dan di jalan-jalan dengan gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini dibangun dibawah jalan raya.

Berdasarkan tegangan, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

1. Gardu induk transmisi

Yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 70 KV.

2. Gardu Induk Distribusi

Yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 kV, 12 kV, atau 6 kV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

Menurut fungsinya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu:

1. Gardu induk penaik tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

2. Gardu induk penurun tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu induk terletak di daerah pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

3. Gardu induk pengatur tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (drop voltage) transmisi yang cukup besar. Oleh karena itu diperlukan alat penaik tegangan seperti *capacitor bank*, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

4. Gardu induk pengatur beban

Berfungsi untuk mengatur beban. Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

5. Gardu distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

2.2.4 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pembangkit listrik umumnya memiliki letak yang jauh dari pusat beban, terlebih-lebih pembangkit listrik berskala besar, sehingga untuk menyalurkan tenaga listrik tersebut sampai ke konsumen atau pusat beban maka tenaga listrik tersebut harus disalurkan. Sistem Jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi 2 sistem jaringan distribusi primer dan sistem jaringan distribusi sekunder. Kedua sistem tersebut dibedakan berdasarkan tegangan kerjanya. Pada umumnya tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi primer adalah 20 kV, sedangkan tegangan kerja pada sistem jaringan distribusi sekunder 380 V atau 220 V. Untuk menyalurkan tenaga listrik secara kontinyu dan handal, diperlukan pemilihan sistem distribusi yang tepat. Kriteria pemilihan ini berdasarkan pada beberapa faktor, antara lain :

1. Faktor ekonomis
2. Faktor tempat
3. Kelayakan

Pemilihan sistem jaringan harus memenuhi kriteria persyaratan yaitu:

1. Keandalan yang tinggi
2. Kontinyuitas pelayanan
3. Biaya investasi yang rendah
4. Fluktuasi frekuensi dan tegangan rendah

2.2.5 Sistem Jaringan Distribusi Primer

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. Penurunan tegangan sistem ini dari tegangan transmisi, pertama-tama dilakukan pada gardu induk subtransmisi, dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah mulai sistem tegangan 500 kV ke system tegangan 150 kV atau ke tegangan sistem 70 kV, kemudian pada gardu induk distribusi kembali dilakukan penurunan menjadi 20 kV.

Sistem jaringan distribusi primer saluran yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada masing-masing beban disebut penyulang (Feeder). Umumnya setiap penyulang diberi nama sesuai dengan daerah beban yang dilayani. Hal ini bertujuan untuk memudahkan untuk mengingat dan menandai jalur-jalur yang dilayani oleh penyulang tersebut. Sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6-20 kV
2. Saluran Kabel Udara Tengan Menengah (SKUTM) 6-20 kV
3. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6-20 kV

Ditinjau dari segi fungsi , transmisi SKTM memiliki fungsi yang sama dengan transmisi SUTM. Perbedaan mendasar adalah, SKTM ditanam di dalam tanah. Beberapa pertimbangan pembangunan transmisi SKTM adalah :

1. Kondisi setempat yang tidak memungkinkan dibangun SUTM.

2. Kesulitan mendapatkan ruang bebas, karena berada di tengah kota dan pemukiman padat.
3. Pertimbangan segi estetika.

Beberapa hal yang perlu diketahui

1. Pembangunan transmisi SKTM lebih mahal dan lebih rumit, karena harga kabel yang jauh lebih mahal dibanding penghantar udara dan dalam pelaksanaan pembangunan harus melibatkan serta berkoordinasi dengan banyak pihak.
2. Pada saat pelaksanaan pembangunan transmisi SKTM sering menimbulkan masalah, khususnya terjadinya kemacetan lalu lintas.
3. Jika terjadi gangguan, penanganan (perbaikan) transmisi SKTM relatif sulit dan memerlukan waktu yang lebih lama jika dibandingkan SUTM.
4. Hampir seluruh (sebagian besar) transmisi SKTM telah terpasang di wilayah PT. PLN (Persero) Distribusi DIY.

2.2.6 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi primer dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada jaringan distribusi sekunder, sistem tegangan distribusi primer 20 kV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah 380/ 220V. Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi sekunder yang dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kawat berisolasi, seperti kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Transmisi SUTR adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi, yang langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah ke konsumen. Di Indonesia, tegangan operasi transmisi SUTR saat ini adalah 220/380Volt. Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh:

- a. Susut tegangan yang disyaratkan
- b. Susut tegangan yang diijinkan adalah +5% dan -10% dengan radius pelayanan berkisar 350 meter.
- c. Luas penghantar jaringan
- d. Distribusi pelanggan sepanjang jalur jaringan distribusi
- e. Sifat daerah pelayanan (desa, kota, dan lain-lain)

2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Ditinjau dari segi fungsi, transmisi SKTR memiliki fungsi yang sama dengan transmisi SUTR. Perbedaan mendasar adalah SKTR di tanam didalam di dalam tanah. Jika menggunakan SUTR sebenarnya dari segi jarak aman / ruang bebas (ROW) tidak ada masalah, karena SUTR menggunakan penghantar berisolasi.

2.2.7 Konfigurasi Sistem jaringan Distribusi Primer 20 kV

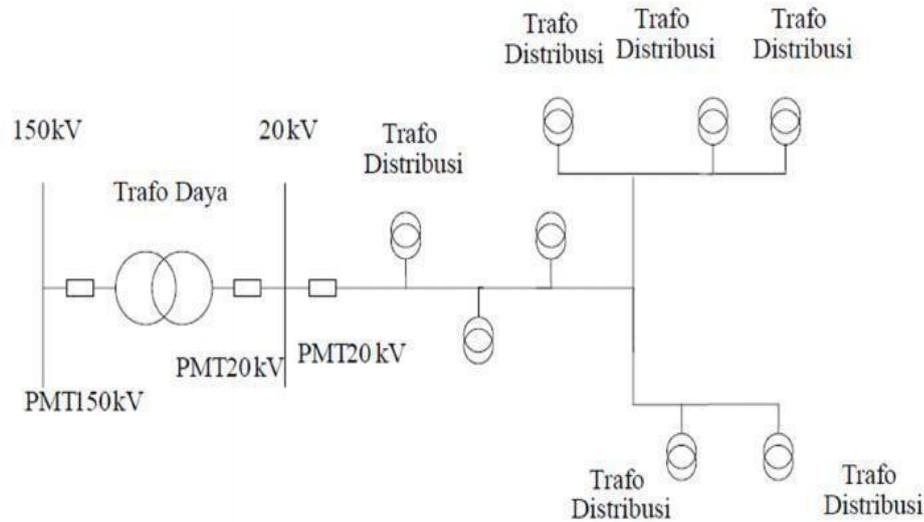
Jumlah penyulang yang ada disuatu kawasan/daerah umumnya lebih dari satu penyulang. Semakin besar dan kompleks beban yang dilayani di suatu kawasan/daerah, maka semakin banyak pula jumlah penyulang yang diperlukan. Beberapa penyulang berkumpul di suatu titik yang disebut Gardu Hubung (GH). Gardu Hubung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

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

Gabungan beberapa penyulang dapat membentuk beberapa tipe sistem jaringan distribusi primer. Berdasarkan bentuk atau polanya, tipe sistem jaringan distribusi primer dapat dibagi menjadi empat, yaitu:

1. Sistem Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang cabangkan ke titik-titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada gambar.



Gambar 2.2 Jaringan distribusi sistem radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang-cabangnya makin keujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

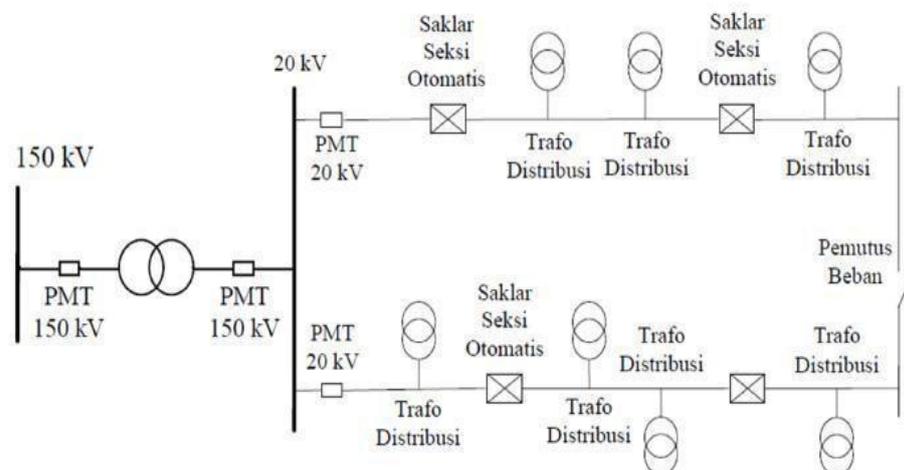
- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya investasinya murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.

- d. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan maka akan mengalami “black out” secara total.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2. Sistem jaringan distribusi Loop

Sistem jaringan distribusi primer tipe lingkaran (*loop/ring*) ini merupakan gabungan/perpaduan dari dua buah sistem radial. Secara umum operasi normal sistem ini hampir sama dengan sistem radial. Sistem ini sudah mempunyai tingkat keandalan dan kontinuitas yang lebih baik dibandingkan dengan sistem radial. Hal ini dikarenakan jumlah sumber dan penyulang yang ada pada suatu jaringan adalah lebih dari satu buah.



Gambar 2.3 Jaringan distribusi sistem loop

Umumnya sistem ini banyak dipergunakan secara khusus untuk menyuplai beban-beban penting misalnya rumah sakit, pusat-pusat pemerintahan dan instansi-instansi penting lainnya. Pada sistem ini terdapat dua sumber dan arah pengisian yang satu dapat sebagai cadangan, sehingga tingkat keandalannya cukup tinggi. Sistem ini banyak dipergunakan pada jaringan umum dan industri. Jika terjadi gangguan atau pekerjaan pada salah satu jaringan, penyaluran tidak terputus karena mempergunakan sumber pengisian cadangan atau arah yang lain. Keandalan sistem ini memenuhi kontinuitas tingkat dua.

3. Sistem jaringan distribusi Spindel

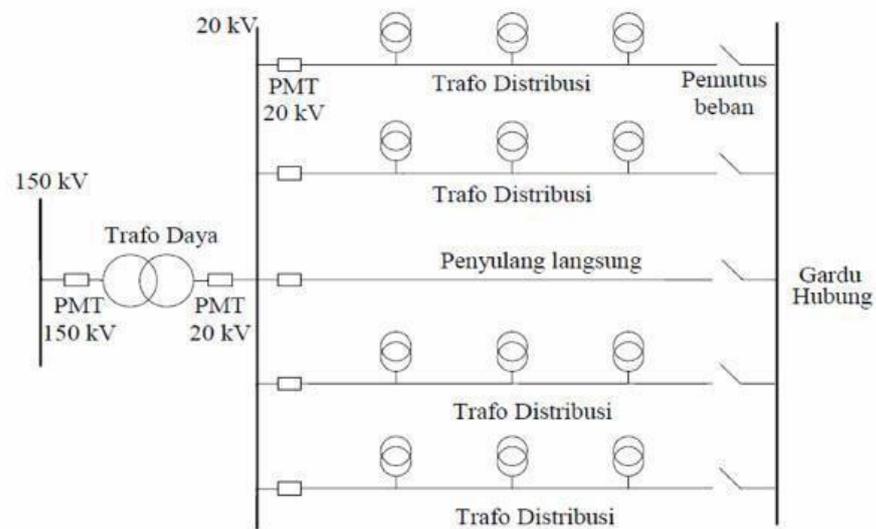
Sistem jaringan distribusi primer tipe *spindle* merupakan modifikasi dari sistem lingkaran (*loop/ring*) yang terdiri dari beberapa sistem radial. Sistem ini terdiri dari beberapa penyulang, masing-masing penyulang berpangkal pada suatu gardu induk dan ujung-ujungnya akan terhubung di gardu hubung.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

a. Penyulang kerja/working feeder

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 dengan sistem radial.

b. Penyulang cadangan/express feeder

Penyulang yang menghubungkan gardu induk langsung ke gardu hubung dan tidak dibebani gardu-gardu distribusi. Pada operasi normal, penyulang ini tidak dialiri arus-arus beban dan hanya berfungsi sebagai penyulang cadangan untuk menyuplai penyulang tertentu yang mengalami gangguan melalui gardu hubung.

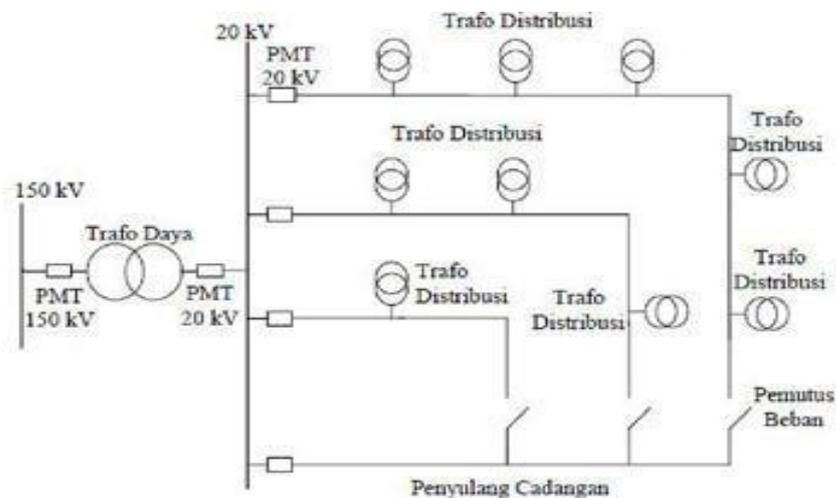


Gambar 2.4 Jaringan distribusi sistem spindel

Jaringan ini memenuhi kontinuitas tingkat dua dan jika dilengkapi dengan sarana kontrol jarak jauh dapat disebut memenuhi tingkat tiga. Apabila seluruh pelanggan (Gardu Konsumen) dilengkapi dengan fasilitas kontrol jarak jauh dapat memenuhi kontinuitas tingkat empat. Jaringan ini dipasang dikota yang memiliki tingkat kerapatan bebannya sangat tinggi.

4. Sistem jaringan distribusi Mesh

Konfigurasi Gugus banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang cadangan ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen.



Gambar 2.5 Jaringan distribusi sistem Mesh

2.2.8 Sistem Pengaman Jaringan Distribusi Primer

Sistem pengaman bertujuan untuk mencegah, membatasi atau melindungi jaringan dan peralatan terhadap bahaya kerusakan yang disebabkan karena gangguan baik gangguan yang bersifat temporer maupun permanen sehingga kualitas dan keandalan penyaluran daya listrik yang diharapkan oleh konsumen dapat terjamin dengan baik. Sistem pengaman jaringan tegangan menengah 20 kV

merupakan suatu komponen sangat penting yang dirancang untuk mengamankan. Jaringan dan peralatan tegangan menengah serta berfungsi untuk mengalirkan arus listrik yang telah dibatasi untuk disuplay oleh transformator distribusi. Secara umum peralatan pengaman yang terdapat pada sistem jaringan distribusi tegangan menengah adalah : Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah (PMS), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Saklar Beban (SB), Pelebur, dan Arrester.

1. Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) atau disebut juga *Disconnecting Switch* (DS) untuk pasangan luar harus dapat terlihat dengan jelas bahwa posisi kontak-kontak ada dalam keadaan terbuka atau tertutup. Peralatan ini hanya mampu memutus arus magnetisasi transformator (arus yang mengalir dalam keadaan sekunder trafo tidak berbeban), maka antara bagian yang bertegangan dan yang tidak bertegangan akan dapat dipisahkan. Idealnya instalasi pemutus (PMT) terletak (diapit) di antara dua PMS dan *interlock*, yaitu pembukaan saklar PMS didahului oleh pembukaan PMT dan menutupnya PMT sesudah saklar PMS menutup terlebih dahulu. Kerja dari saklar PMS memang tidak dimaksudkan untuk memutus arus beban nominal atau arus hubung singkat, namun sebuah PMS harus mempunyai syarat sebagai berikut:

- a. Mampu menahan tegangan 10% diatas tegangan nominalnya
- b. Mempunyai kapasitas arus normal 15% diatas arus beban penuh
- c. Dalam keadaan tertutup harus mampu menahan arus sesaat pada saat terjadinya hubung singkat.

2. Pemutus (PMT)

Pemutus (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melakukan *switching* (*switch on/off*) sekali atau berulang beberapa kali pada berbagai bagian rangkaian listrik baik dalam keadaan normal maupun abnormal. Waktu antara *tripping coil* mulai *de-energized* sampai kontak CB bergerak disebut waktu buka (*opening time*). Waktu antara kontak CB bergerak sampai busur api padam disebut waktu busur api (*arcing time*). Jumlah waktu dari *tripping coil* mulai *de-energized* sampai busur api padam disebut total waktu buka (*total break time*).

Pada waktu menghubungkan atau memutuskan arus beban dan arus gangguan akan terjadi *Tegangan Recovery* yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api yang terjadi saat pemutusan arus beban atau arus gangguan yang disebabkan oleh nilai *power factor* dari arus beban atau gangguan tersebut. Hal ini sangat mempengaruhi kemampuan meng-*clear*-kan dengan baik dari PMT.

Ketika membuka maupun menutup suatu rangkaian kontak-kontak PMT mengalami keadaan transisi yang ditandai dengan adanya busur listrik (*arcing*) diantara kontak-kontak tersebut. Beberapa macam media pemadaman busur api listrik pada saat pemutusan arus yang dapat diklasifikasikan menjadi :

- a. Pemutusan jenis vakum
- b. Pemutus jenis udara hembus
- c. Pemutus jenis minyak

d. Pemutus jenis gas

3. Saklar Seksi Otomatis (SSO)

Sectionalizer sebagai alat pemutus rangkaian untuk dapat memisahkan jaringan utama dalam beberapa seksi secara otomatis, sehingga bila terjadi gangguan permanen maka luas daerah (jaringan) yang mengalami pemadaman akibat gangguan permanen dapat dibatasi sekecil mungkin. Sectionalizer yang diterapkan pada jaringan distribusi 20 kV tipe AVS (Automatic Vacuum Switch). AVS ini membuka pada saat rangkaian tidak bertegangan, tetapi bila dalam keadaan bertegangan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat. Peralatan ini dapat juga digunakan untuk membuka rangkaian dalam keadaan berbeban dan bekerja atas dasar penginderaan tegangan.

4. Penutup Balik Otomatis (PBO)

Penutup balik adalah alat pengaman arus lebih yang diatur waktu untuk memutus dan menutup kembali secara otomatis, terutama untuk membebaskan dari gangguan yang bersifat temporer (sementara), sering juga disebut dengan recloser. Recloser dilengkapi dengan sarana indikasi arus lebih, pengatur waktu operasi, serta penutupan kembali secara otomatis. Desain dari recloser memungkinkan untuk dapat membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/lock out, sesuai pemrogramannya setelah melalui beberapa kali operasi buka-tutup. Pada gangguan yang bersifat sementara, recloser akan membuka dan menutup kembali bila gangguan telah hilang. Jika gangguannya bersifat tetap

permanent, maka recloser akan membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci/ lock out. Apabila gangguan telah dihilangkan, maka recloser dapat ditutup kembali.

5. Saklar beban (SB)

Saklar Beban (SB)/ *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. 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 (*Loop/ring*).

6. Pelebur

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.

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 24 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.

2.2.9 Gangguan Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya system tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya rele pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut untuk dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran distribusi yang dibentangkan di udara bebas (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah (SKTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus. Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam sistem maupun dari luar sistem distribusi.

Yang termasuk gangguan dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan lebih
2. Arus lebih

3. Pemasangan yang kurang tepat
4. Usia peralatan atau komponen

Sedangkan yang termasuk gangguan dari luar sistem antara lain:

1. Dahan/ranting pohon yang mengenai SUTM
2. Sambaran petir
3. Hujan atau cuaca
4. Kerusakan pada peralatan karena binatang

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik akan berakibat terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan. Secara kelistrikan gangguan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. Gangguan yang bersifat temporer

Yaitu gangguan yang dapat hilang sendirinya atau dapat memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya dengan penutup balik otomatis (PBO). Gangguan ini jika menimbulkan kerusakan pada peralatan saluran udara tegangan menengah. Gangguan ini jika tidak dapat hilang dengan sendirinya atau dengan penutup balik otomatis, dapat berubah menjadi gangguan yang bersifat permanent.

2. Gangguan yang bersifat permanen

Yaitu gangguan yang mana untuk membebaskan diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan gangguan tersebut, sehingga gangguan ini menyebabkan pemutusan tetap.

2.2.10 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi berkaitan dengan ketersediaan dan kualitas pasokan listrik di setiap jaringan pelanggan. Analisa dari statistik kegagalan pelanggan telah menunjukkannya, kegagalan sistem distribusi berkontribusi sebanyak 90% terhadap tersedianya pasokan ke beban. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya evaluasi keandalan sistem distribusi diperoleh.

Keandalan menyatakan kemungkinan suatu peralatan (device) yang bekerja sesuai standarnya dalam selang waktu dan kondisi tertentu. Analisa bentuk kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks. Dengan demikian keandalan dapat digunakan untuk membandingkan suatu peralatan atau sistem dengan peralatan atau sistem yang lain.

Keandalan adalah penampilan unjuk kerja suatu peralatan atau sistem sesuai dengan fungsinya dalam periode waktu dan kondisi operasi tertentu. Adapun macam-macam tingkatan keandalan dalam pelayanan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) hal antara lain :

1. Keandalan sistem yang tinggi (High Reliability System)

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)

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)

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 pengamanan, 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 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 Indeks Keandalan Yang Dihitung

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI adalah frekuensi rata-rata terputusnya pasokan (*sustained interruptions*) per pelanggan dalam satu area yang ditentukan. Nilainya adalah jumlah interupsi yang terjadi dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Berikut adalah persamaan untuk menghitung indeks SAIFI:

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian angka kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}}$$

$$\frac{\sum \lambda \text{ LP} \cdot N \text{ LP}}{\sum N}$$

Dimana :

$\lambda \text{ LP}$ = Frekuensi gangguan peralatan pada *load point*

$N \text{ LP}$ = Jumlah pelanggan *load point*

N = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI merupakan indeks yang menunjukkan rata-rata durasi hilangnya pasokan energi ke pelanggan. Nilainya adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan pasokan dari setiap terhentinya pasokan dibagi dengan jumlah semua pelanggan. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari indeks SAIDI:

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah dari perkalian durasi kegagalan dan pelanggan padam}}{\text{Jumlah pelanggan total}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_{LP} \cdot N_{LP}}{N}$$

Dimana :

U_{LP} = Durasi gangguan pada *load point*

N_{LP} = Jumlah pelanggan pada *load point*

N = Jumlah pelanggan yang dilayani keseluruhan

3. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

CAIDI adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk mengembalikan pasokan pada setiap *sustained interruption*. Nilainya adalah jumlah durasi hilangnya pasokan dibagi dengan total jumlah interupsi. Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung indeks CAIDI:

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}}$$

2.2.14 Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

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 262 buah standar berhasil dirampungkan diantaranya 59 standar bidang pembangkitan, 68 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi, 6 standar bidang SCADA dan 30 standar bidang umum. Ketepatan dalam rancangan pengoperasian, dan pemeliharaan/perawatan sistem distribusi sangat membantu untuk pencapaian

indeks keandalan yang tinggi. ketepatan rencananya berpengaruh terhadap tinggi atau rendahnya indeks frekuensi gangguan, sedangkan pemeliharaan/perawatan terutama akan berpengaruh pada indeks lama gangguan.