

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

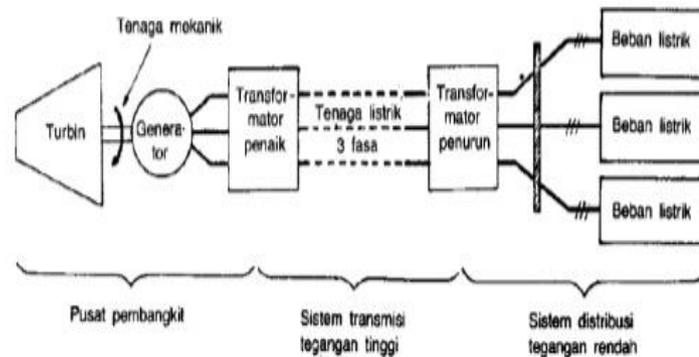
2.1 Tinjauan Pustaka

Indeks keandalan merupakan parameter yang menunjukkan tingkat pelayanan serta tingkat keandalan dari sejauh mana listrik dapat tersalurkan ke pelanggan. Indeks-indeks keandalan yang sering digunakan dalam suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*). Beberapa penelitian tentang indeks keandalan SAIFI dan SAIDI sudah dilakukan, diantaranya sebagai berikut:

1. Khaidir Ali (2017) melakukan penelitian mengenai analisis keandalan jaringan distribusi di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Gejayan dengan menggunakan data monitoring gangguan yang terjadi selama tahun 2015. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penyulang GJN 03 dan penyulang GJN 19 dikategorikan kurang handal kaena nilai SAIFI lebih besar dari standar nilai IEEE. Semua penyulang dikategorikan handal karena nilai SAIDI lebih kecil dari standar nilai IEEE. Untuk kinerja rayon, Rayon Kalasan, Rayon Yogya dengan penyulang (*feeder*) yang ada di Gardu Induk Gejayan mempunyai nilai SAIFI dan SAIDI lebih besar dari standar nilai WCS dan WCC.
2. Jurnal Erhaneli (2016) melakukan penelitian mengenai keandalan jaringan distribusi dengan menggunakan data monitoring gangguan yang terjadi selama tahun 2014 di PT.PLN (Persero) Rayon Bagan Batu Riau dengan metode SAIDI dan SAIFI. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa nilai SAIDI untuk tahun 2014 sudah sesuai target dari PLN Rayon Bagan Batu, sedangkan untuk nilai SAIFI untuk tahun 2014 masih di bawah target yang telah ditentukan.

2.2 Dasar Teori

Suatu sistem tenaga listrik terdiri atas empat unsur, yaitu pembangkit tenaga listrik, saluran transmisi, saluran distribusi dan pemakaian tenaga listrik atau beban. Suatu sistem tenaga listrik diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik

2.2.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik terdiri dari atas berbagai jenis pusat tenaga listrik, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG). Tegangan yang keluar dari generator harus dinaikkan lebih dahulu guna untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan arus rendah yang mengalir pada saluran transmisi maka dapat mengurangi rugi-rugi daya.

2.2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi adalah penghantar, baik berupa konduktor ataupun isolator (*dielektrika*), yang digunakan untuk menghubungkan pusat pembangkit dengan pusat beban. Ada dua kategori saluran transmisi berdasarkan konstruksinya, yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*). Saluran udara merupakan saluran yang menyalurkan tenaga listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-

tiang transmisi dengan perantara isolator agar tidak terjadi hubung singkat, sedangkan saluran bawah tanah merupakan saluran yang menyalurkan listrik melalui kabel bawah tanah. Kedua cara penyaluran ini mempunyai keunggulan dan kekurangan sendiri. Saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh perubahan cuaca seperti hujan angin, petir, dan lain sebagainya. Saluran bawah tanah juga lebih estetik karena tidak mengganggu pandangan. Kekurangan dari saluran bawah tanah adalah biaya pembangunannya lebih mahal dibanding saluran udara dan perbaikannya lebih sulit bilamana terjadi gangguan.

2.2.3 Gardu Induk

Tegangan yang keluar dari generator harus dinaikkan dengan trafo daya *step up* hingga ratusan kilovolt, guna untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi, sehingga rugi-rugi daya dapat dikurangi. Maka, semua perlengkapan yang terpasang sesudah trafo (sisi sekunder) harus mampu dilewati oleh tegangan yang tinggi. Sebaliknya, tegangan pada saluran transmisi dari ratusan kilovolt, sedangkan konsumen hanya membutuhkan tegangan dengan besar nilai sekitar puluhan kilovolt, sehingga diantara saluran transmisi dengan konsumen dibutuhkan transformator daya *step down*. Trafo-trafo daya dan perlengkapan pendukung lainnya inilah yang disebut dengan gardu induk. Gardu induk pada sistem tenaga listrik diperlihatkan pada gambar 2.1.

Berdasarkan fungsi dari gardu induk dibagi atas: gardu induk *step up* dan gardu induk *step down*. Sedangkan jika dilihat dari penempatannya dibagi atas: gardu induk pembangkit, gardu induk beban dan gardu induk hubung seperti yang terlihat pada gambar 2.2



Gambar 2.4 Gardu induk pasangan luar

2.2.4 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem perlengkapan elektrik antara sumber daya besar (*bulk power source*, BPS) dan peralatan hubung pelanggan (*customers service switches*). Berdasarkan definisi ini maka sistem distribusi meliputi komponen-komponen berikut:

1. Sistem substansi
2. Gardu induk distribusi
3. Penyulang distribusi atau penyulang primer
4. Transformator distribusi
5. Pelayanan pelanggan (*service drops*)

Penyulang dalam sistem distribusi dipisahkan oleh piranti *recloser*. Berguna untuk memisahkan daerah yang mengalami gangguan dengan cara memutuskan rangkaian secepat mungkin. Apabila gangguan tersebut sudah tidak dirasakan, maka *recloser* akan menghubungkan kembali rangkaian tersebut. Hal ini dapat dicapai melalui koordinasi operasi dari seluruh sekering pada *recloser*.

Pada sistem distribusi, tegangan dapat diperbaiki dengan menggunakan kapasitor shunt yang terhubung dengan rangkaian sistem distribusi. Selain digunakan untuk memperbaiki tegangan, kapasitor shunt juga berfungsi untuk memperbaiki faktor daya. Dengan demikian rugi-rugi pada sistem distribusi maka dapat diperkecil. Pemilihan rating kapasitor

shunt harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya tegangan lebih pada saat beban yang dilayani sedikit karena peningkatan tegangan yang dihasilkan dari arus kapasitor.

Tegangan pada sistem distribusi dapat juga diperbaiki menggunakan kapasitor seri. Akan tetapi penggunaan kapasitor seri tidak dapat mengurangi arus dan rugi-rugi dalam sistem distribusi, sehingga jarang digunakan.

Berdasarkan dari penyaluran tegangan dibedakan atas jaringan distribusi tegangan rendah dan jaringan distribusi tegangan menengah.

1. Sistem distribusi primer atau jaringan tegangan menengah

Penggunaan sistem jaringan tegangan menengah sebagai jaringan utama adalah upaya untuk mengurangi rugi-rugi penyaluran (*losses*). UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009 menyatakan bahwas standar operasi pada jaringan tegangan menengah di Indonesia adalah 20 kV, maka konstruksi JTM (Jaringan Tegangan Menengah) harus memenuhi kriteria enjinering keamanan ketenagalistrikan, seperti jarak antara fase dengan lingkungan sekitar, jarak fase dengan tanah dan lainnya. Hal ini dilakukan sebagai usaha untuk menjaga keandalan kontinuitas pelayanan pelanggan.

Lingkup dari jaringan tegangan menengah pada sistem distribusi antara terminal keluar (*out-going*) pemutus tenaga listrik dari transformator penurun tegangan gardu induk atau transformator penaik tegangan pada pembangkit untuk sstem distribusi skala kecil dan peralatan pemutus tenaga listrik sisi masuk (*in-coming*) gardu distribusi.

Konstruksi jaringan tegangan menengah dibedakan atas saluran udara tegangan menengah (SUTM), saluran kabel udara tegangan menengah (SKUTM) dan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

A. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)

Penghantar yang digunakan pada saluran ini adalah penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang ini harus diperhatikan jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut baik antar *phase*, *phase* dengan bangunan, *phase* dengan tanaman dan jangkauan manusia. Penghantar unu tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh, sehingga beresiko terjadi gangguan akibat sentuhan tanaman. Konstruksi ini banyak digunakan karena jika ditinjau dari biaya, maka konstruksi inilah yang paling murah untuk penyaluran tenaga listrik dengan daya yang sama.



Gambar 2.5 Saluran udara tegangan menengah (SUTM)

B. Saluran kabel udara tegangan menengah (SKUTM)

Penghantar yang digunakan pada saluran ini adalah penghantar berisolasi penuh yang dipilin. Isolasi penghantar pada tiap fase perlu dilengkapsi dengan pelindung mekanis karena penghannya sudah terdapat isolasi. Pertimbangan dari pemilihan saluran jenis ini adalah harga yang relatif mahal karena kabel yang cukup berat sehingga pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penompangnya harus kuat.



Gambar 2.6 Kabel udara tegangan menengah

C. Saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM)

Pada konstruksi saluran ini penghantar yang digunakan sudah dilengkapi dengan isolasi penghantar per fase dan dilindungi oleh pelindung mekanis. Seperti namanya saluran ini ditanam di tanah sehingga apabila terjadi gangguan, maka sukar untuk memperbaikinya. Konstruksi SKTM merupakan konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik karena tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal. Namun, penggunaan SKTM ini lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama karena sudah dilengkapi dengan isolasi yang penuh penghantar fase dan pelindung mekanis, sehingga SKTM ini hanya digunakan pada daerah perkotaan.



Gambar 2.7 Kabel bawah tanah

Sistem distribusi primer ialah bagian dari perlengkapan sistem jaringan distribusi yang terletak antara gardu induk distribusi dan transformator distribusi dengan besar tegangan 20 kV karena apabila tegangan 30 kV akan menimbulkan efek korona yang akan mengganggu frekuensi radio, televisi, telekomunikasi, dan telepon.. Dalam rangkaianannya, pada sistem primer dikenal sebagai penyulang primer atau penyulang distribusi primer.

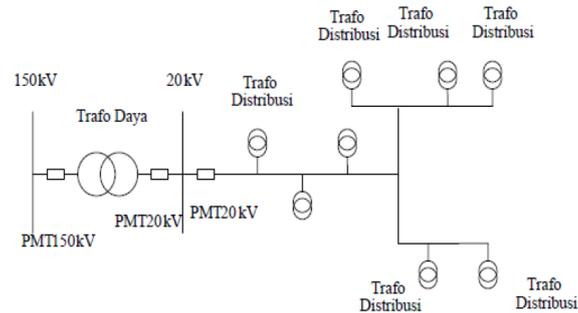


Gambar 2.8 Jaringan distribusi primer 20 kV

Sistem distribusi primer dikelompokkan dalam 5 model jaringan (konfigurasi) yaitu: Jaringan radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan lingkaran (*Loop*), Jaringan spindel dan Jaringan sistem gugus atau kluster.

1) Jaringan radial

Dinamakan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang-cabang ke titik-titik beban. Bentuk dari jaringan ini merupakan bentuk yang sangat sederhana, murah dan banyak digunakan. Konfigurasi jaringan radial dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi jaringan radial

Dalam saluran sistem distribusi primer dipasang gardu distribusi yang berfungsi membagikan dan menurunkan tegangan untuk konsumen. Karena saluran pada jaringan radial ini banyak percabangan, maka tegangan yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan ada diujung saluran. Spesifikasi dari jaringan radial ini adalah:

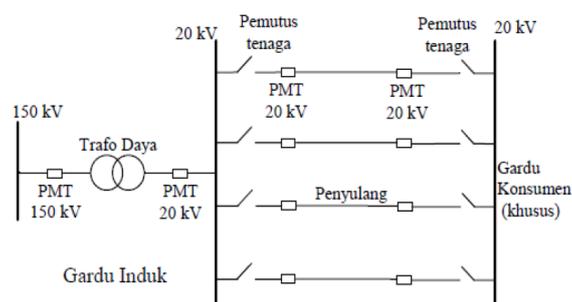
- a) Bentuknya yang sederhana.
- b) Harga yang relatif murah.
- c) Kualitas pelayanan dayanya kurang bagus, hal dikarenakan rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d) Keandalan dari sistem ini kurang baik, hal ini dikarenakan antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan akan mengalami pemadaman selama gangguan belum teratasi.

Untuk mengatasi gangguan pada jaringan radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, yang berfungsi untuk membatasi daerah yang mengalami

pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

2) Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*)

Sistem ini digunakan untuk pelanggan khusus yang mana aliran energi listrik tidak boleh padam seperti bandar udara, rumah sakit dan lainnya. Konfigurasi jaringan *Tie Line* dapat dilihat pada gambar 2.10.

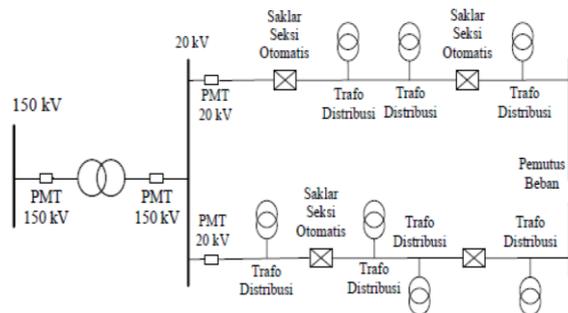


Gambar 2.10 Konfigurasi jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*)

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa, sistem ini minimal memiliki 2 penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Transfer Switch* yang digunakan sebagai kontrol otomatis, apabila salah satu penyulang mengalami gangguan, maka aliran energi listrik akan di pindah ke penyulang lainnya.

3) Jaringan lingkaran (*Loop*)

Dinamakan jaringan lingkaran dikarenakan konfigurasi dari jaringan ini berbentuk tertutup (melingkar). Jaringan ini biasa disebut dengan bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk *ring*. Konfigurasi jaringan *Loop* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konfigurasi jaringan lingkaran (*loop*)

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa, titik beban dimungkinkan dapat terlayani dari dua arah saluran, sehingga aliran energi listrik akan lebih terjamin, karena *drop* tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu:

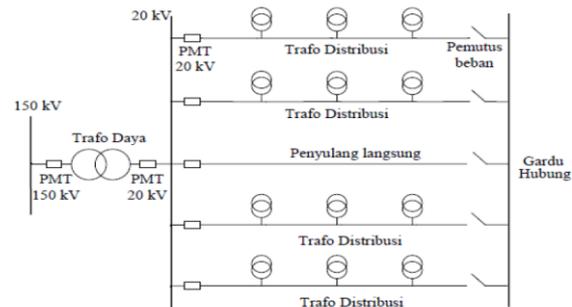
- a) Bentuk *open loop*, bila dilengkapi dengan *normally open switch* yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- b) Bentuk *close loop*, bila dilengkapi dengan *normally close switch* yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

4) Jaringan *spindel*

Sistem jaringan ini merupakan gabungan antara jaringan radial dan jaringan lingkaran. Spindel terbentuk dari

beberapa penyulang yang tiap penyulang tersebut dihubungkan dengan trafo distribusi untuk keperluan konsumen. Ujung dari penyulang tersebut akan dihubungkan dengan gardu hubung (GH). Konfigurasi jaringan spindel dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konfigurasi jaringan *spindel*

Pada jaringan ini biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*ekspres*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Jaringan distribusi *spindel* merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang sangat cocok diterapkan di kota-kota besar.

Operasi sistem jaringan antara lain:

- a) Dalam keadaan normal semua saluran di gardu hubung (GH) terbuka sehingga semua beroperasi radial.
- b) Dalam keadaan normal saluran *ekspres* tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- c) Bila salah satu dari seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi-seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan

Jaringan distribusi tegangan rendah adalah bagian bawah dari suatu sistem tenaga listrik. Jaringan distribusi ini tenaga listrik disalurkan kepada para pelanggan/konsumen. Standar tegangan rendah ditetapkan sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia yaitu 220 V/380 V.

Karena konstruksi jaringan distribusi tegangan rendah langsung berhubungan dan berada pada lingkungan daerah berpenghuni, maka jaringan ini harus memenuhi persyaratan aman terhadap pengguna dan ramah terhadap lingkungan. Konfigurasi dari saluran udara tegangan rendah pada umumnya berbentuk radial.

Jenis konstruksi jaringan tegangan rendah terdiri dari:

- A. Saluran udara tegangan rendah kabel pilin
- B. Saluran udara tegangan rendah *bare conductor*
- C. Saluran kabel tanah tegangan rendah

Saluran udara tegangan rendah kabel pilin ini dapat dikonstruksikan pada:

- A. Tiang yang berdiri sendiri dengan panjang 9 meter dan ditanam $\frac{1}{6}$ kali panjang tiang.
- B. Di bawah jaringan saluran udara tegangan menengah.
- C. Pada dinding bangunan.

Jaringan ini terletak antara sistem distribusi primer dan beban. Komponen utama dari sistem distribusi sekunder diantaranya adalah transformator distribusi yang digunakan sebagai penurun tegangan tegangan (*step-down*), untai sekunder (*secondary main*), pelayanan pelanggan (*service drops*), dan peralatan kWh meter yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik pada pelanggan.

Pada umumnya sistem distribusi sekunder dirancang menggunakan fase tunggal dengan tegangan 220 V (fase-netral) untuk daerah pelanggan perumahan dan tiga fase 380 V (fase-fase) untuk

pelanggan daerah industri atau komersial yang membutuhkan beban tinggi.

Jenis-jenis sistem distribusi sekunder diantaranya:

- A. Sistem pelayanan terpisah untuk masing-masing pelanggan dengan transformator distribusi yang terpisah. Sistem pelayanan terpisah kadang-kadang digunakan dan melayani area pelayanan industrial.
- B. Sistem radial dengan penyulang sekunder yang disuplai oleh beberapa transformator distribusi dan mencatu sekelompok pelanggan. Umumnya sebagian besar dari sistem ini untuk melayani beban perumahan, perkotaan, pedesaan, dan beban komersial.
- C. Sistem bank sekunder dengan penyulang sekunder yang disuplai oleh beberapa transformator distribusi yang seluruhnya dicatu oleh penyulang primer sama.
- D. Sistem jaringan sekunder dengan penyulang utama tipe grid yang disuplai oleh banyak transformator distribusi yang terhubung ke berbagai penyulang untuk mendapatkan catu daya listriknya.

2.2.5 Gardu distribusi

Menurut Suswanto (2009) gardu distribusi adalah salah satu peralatan dari suatu sistem distribusi yang memiliki fungsi untuk membagikan atau mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen tegangan rendah.

Menurut syahputra (2015) gardu induk distribusi atau sering disebut dengan “gardu induk” saja. Desain gardu induk distribusi telah distandarkan oleh industri perlengkapan elektrik berdasarkan pengalaman terdahulu. Akan tetapi proses standarisasi terus berlangsung dari waktu ke waktu untuk menyesuaikan dengan keadaan terkini.

Pada gardu distribusi terdapat komponen utaman yaitu trafo distribusi, umumnya trafo distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan

dari sistem distribusi primer (20 kV) menjadi tegangan pelayanan (220 V untuk fase ke netral dan 380 V *phase ke phase*). Trafo distribusi yang digunakan pada saluran distribusi udara dapat diklasifikasikan ke dalam tiga golongan yaitu konvensional, transformator swa-proteksi lengkap (*Completely Self-Protecting, CSP*), dan transformator banking sekunder swa-proteksi lengkap (*Completely Self-Protecting Banking, CSPB*).

Selain trafo distribusi terdapat komponen pendukung lainnya pada gardu distribusi seperti arester, pemutus tenaga (CB), jalur pengaman (*protective link*), dan *tap changer*. Transformator distribusi biasanya ditempatkan di tiang distribusi (*over head*) sehingga disebut trafo tipe *pole*.



Gambar 2.14 Trafo distribusi 3 fasa



Gambar 2.14 Trafo distribusi 1 fasa

2.2.6 Gangguan pada sistem distribusi

Faktor yang dapat menimbulkan gangguan pada sistem distribusi yaitu faktor alam dan kelalaian manusia atau usia peralatan yang terlalu lama sehingga sudah tidak mampu melakukan proses penyaluran energi listrik dan pengamanan. Pada saluran udara sistem distribusi sumber gangguan sebagian besar disebabkan oleh pengaruh luar. Berdasarkan intensitasnya, sumber gangguan dapat berupa: angin dan pohon, petir, hujan dan cuaca, kegagalan atau kerusakan pada peralatan, manusia, binatang, benda asing dan sebagainya.

Gangguan pada sistem distribusi dapat menyebabkan terputusnya aliran energi listrik yang menuju ke konsumen/pelanggan. Aliran energi listrik yang terputus dapat menyebabkan kerugian pada pelanggan, terutama pada pelanggan yang menggunakan daya besar. Gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Gangguan yang bersifat sementara

Merupakan gangguan sesaat, artinya gangguan akan hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat aliran listrik pada bagian yang mengalami gangguan dari sumber tegangan.

2. Gangguan yang bersifat tetap

Merupakan gangguan tetap (permanen). Yang berarti apabila terjadi gangguan, maka memerlukan tindakan perbaikan untuk menghilangkan penyebab gangguan tersebut.

2.2.7 Keandalan jaringan distribusi

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan suatu sistem tenaga listrik, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan suatu sistem, maka harus dilakukan perhitungan dan analisa terhadap tingkat keberhasilan kerja dari sistem yang ditinjau tersebut. Keandalan tenaga listrik digunakan untuk menjaga agar penyaluran listrik ke konsumen/pelanggan dapat bekerja secara kontinu, terutama pada pelanggan yang menggunakan daya besar. Bila aliran listrik terputus atau tidak tersalurkan, maka proses produksi pada pelanggan yang menggunakan daya besar akan sangat terganggu.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan jaringan distribusi, diantaranya:

1. Konstruksi jaringan tegangan menengah/sitem distribusi primer

Dalam konstruksi jaringan tegangan menengah ini, konstruksi yang menggunakan saluran udara dengan kabel berisolasi lebih andal dibanding saluran udara dengan kabel tanpa isolasi, karena kemungkinan terjadi gangguan yang disebabkan oleh faktor eksternal lebih sedikit.

2. Panjang saluran distribusi

Dengan menggunakan jenis kabel yang sama, semakin panjang saluran distribusi maka resiko terjadi gangguan semakin besar.

3. Pemilihan konfigurasi jaringan distribusi

Sistem konfigurasi *loop* lebih andal dibanding dengan sistem konfigurasi radial, karena memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran.

4. Pemilihan komponen proteksi yang digunakan

Pada gangguan sesaat, *recloser* (penutup balik otomatis/PBO) lebih andal dibandingkan dengan *fuse cut out* (FCO), karena *recloser* dapat menutup balik secara otomatis apabila gangguan sudah tidak ada sehingga saluran distribusi akan kembali normal.

Indikator yang mempengaruhi indeks keandalan dalam sistem distribusi susai standar IEEE P1366 antara lain:

1. Pemadaman/*interruption of supply*, terhentinya aliran energi listrik pada satu atau lebih konsumen, yang terjadi karena adanya gangguan.
2. Keluar/*outage*, keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Hal ini dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman tergantung pada konfigurasi yang digunakan pada suatu sistem.
3. Lama keluar/*outage duration*, periode dari saat komponen mengalami *outage* sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama pemadaman/*interruption duration*, waktu dari saat awal pemadaman terjadi sampai saat menyala kembali.

Tingkat kontinuitas dari sarana penyalur energi listrik disusun berdasarkan lamanya dalam menghidupkan kembali suplai energi listrik yang mengalami gangguan.

- A. Tingkat 1 dimungkinkan berjam-jam. Yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki gangguan yang terjadi
- B. Tingkat 2 padam beberapa jam. Yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lokasi gangguan, melokalisasi dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara dari saluran yang lain.

- C. Tingkat 3 padam beberapa menit. Yaitu manipulasi oleh petugas yang jaga di gardu atau dilakukan deteksi atau pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
 - D. Tingkat 4 padam beberapa detik. Yaitu pengamanan atau manipulasi secara otomatis.
 - E. Tingkat 5 tanpa padam. Yaitu dilengkapi dengan instalasi cadangan.
5. Jumlah total konsumen yang terlayani/*total number of customer served*, konsumen yang terlayani sesuai dengan periode terakhir.
 6. Periode laporan, periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

2.2.8 Indeks keandalan sistem distribusi tenaga listrik

Indeks keandalan digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi keandalan suatu jaringan distribusi yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Ada beberapa indeks keandalan yang digunakan untuk mengukur dari suatu jaringan distribusi, diantaranya:

1. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) merupakan indeks keandalan yang menginformasikan tentang frekuensi rata-rata pemadaman yang terjadi pada konsumen yang dilayani oleh suatu sistem per satuan waktu. Indeks ini ditentukan dengan jumlah dari frekuensi pemadaman yang berkelanjutan pada konsumen per satuan waktu dibagi dengan jumlah konsumen yang dilayani oleh sistem tersebut. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \times N_i)}{N_t} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana: λ_i = jumlah frekuensi pemadaman

N_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N_t = jumlah total konsumen

2. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) merupakan indeks keandalan yang meninformasikan tentang frekuensi rata-rata dari lamanya pemadaman yang terjadi pada konsumen yang dilayani oleh suatu sistem per satuan waktu. Indeks ini ditentukan dengan jumlah dari lamanya pemadaman pada konsumen per satuan waktu dibagi jumlah konsumen yang dilayani oleh sistem tersebut. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum(U_i \times N_i)}{N_t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana: U_i = jumlah lamanya pemadaman

N_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N_t = jumlah total konsumen

2.2.9 Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

SPLN yaitu standar perusahaan PT PLN (Persero) yang ditetapkan direksi dan bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, instruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Dari tahun 1976 telah ada lebih dari 262 buah standar berhasil diselesaikan dan 59 diantaranya bidang pembangkitan. 68 standar bidang transmisi, 99 bidang distribusi, 6 bidang standar SCADA dan 30 bidang umum. Tujuan dari dibuatnya standar guna untuk tolok ukur terhadap kemajuan dan menentukan target yang akan dicapai oleh perusahaan tersebut. Berikut adalah tabel indeks keandalan SPLN.

Tabel 2.1 Standar Indeks Keandalan SPLN 68-2 : 19986

Indeks keandalan	Standar nilai	Satuan
SAIFI	3.2	Kali/pelanggan/tahun

SAIDI	21.09	Jam/pelanggan/tahun
--------------	--------------	----------------------------

2.2.10 Standar indeks keandalan dari IEEE, berikut standar indeks keandalan IEEE std 1366-2003

Tabel 2.2 Standar Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

Indeks Keandalan	Standar Nilai	Satuan
SAIFI	1.45	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	Jam/pelanggan/tahun