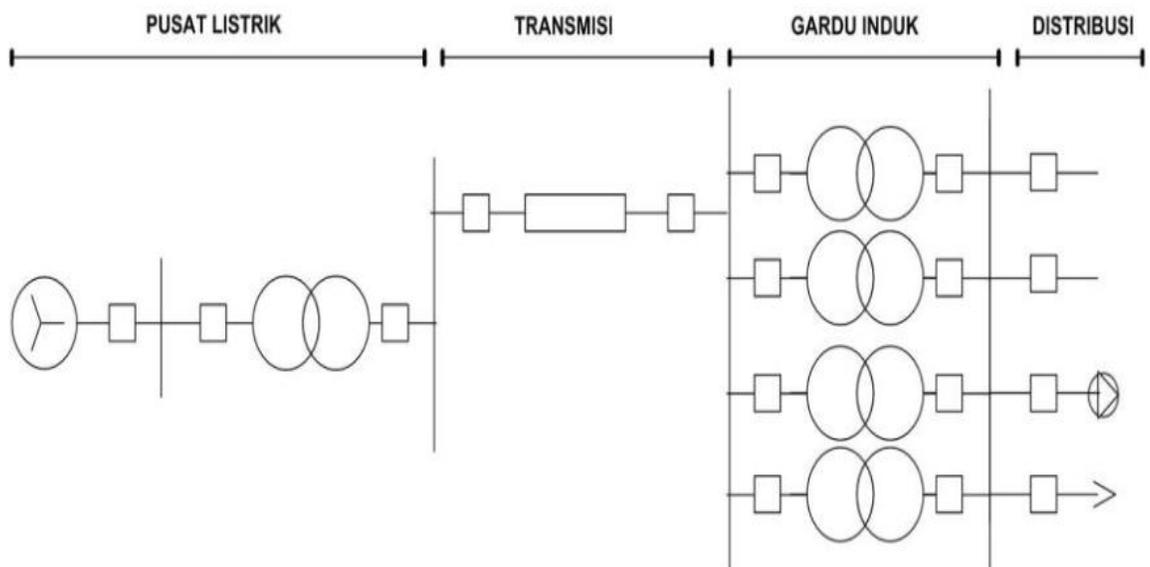




BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sekumpulan pusat listrik dan pusat beban yang yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi. Energi listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP, dan PLTP. Kemudian energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi dan didistribusikan ke beban-beban melalui saluran distribusi



Gambar 2.1. Sistem tenaga listrik sederhana



Pada sistem yang besar, tegangan keluaran generator dinaikan menjadi tegangan transmisi yaitu berupa tegangan tinggi (TT) ataupun tegangan ekstra tinggi (TET) untuk memperkecil rugi-rugi daya yang terjadi dengan menggunakan transformator *step up*. Setelah energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah energi listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah (TM) menggunakan transformator *step down*.

Keluaran dari GI, maka energi listrik akan disalurkan melalui jaringan distribusi primer pada level tegangan menengah kemudian Kembali diturunkan tegangannya pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah dan akhirnya disalurkan melalui jaringan distribusi sekunder pada konsumen.

2.2 Pengertian Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen, Secara umum yang termasuk ke dalam sistem distribusi antara lain:

2.2.1 Gardu induk

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dan umumnya terletak di pinggiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangandari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui distribusi primer.

2.2.2 Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari gardu induk (GI) 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. Standar tegangan menengah di Indonesia adalah 20kV (Abdul Kadir 2006 : 149). Untuk wilayah kota, tegangan diatas 20kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 20 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, televisi, telekomunikasi dan telepon. 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, terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan yaitu alasan teknis berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen. Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis sistem konfigurasi jaringan yaitu :

1. Sistem Radial Sistem Hantaran Penghubung (Tie Line)
2. Sistem Loop
3. Sistem Spindel

2.2.3. Gardu Distribusi (Transformator Distribusi)

Gardu distribusi (Trafo distribusi) berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada transformator distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Gardu distribusi (trafo distribusi) dapat berupa transformator satu fasa dan juga berupa transformator tiga fasa.

2.2.4. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 220



V untuk satu fasa dan 380 untuk 3 fasa. Adapun fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

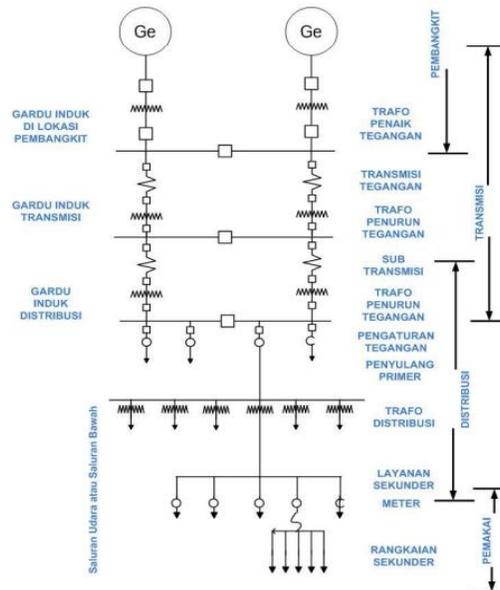
Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka



mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda



Gambar 2.2. Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

- Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission), bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.



Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

1. SUTM, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
2. SKTM, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination dan lain-lain.
3. Gardu trafo, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
4. SUTR dan SKTR, terdiri dari: sama dengan perlengkapan/material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.

2.3 Saluran Udara Tegangan Menengah (Sutm)

Penggunaan penghantar telanjang merupakan ciri umum dari saluran udara tegangan menengah (SUTM), tetapi hal itu juga yang merupakan factor mengapa saluran umum tegangan menengah harus diperhatikan dengan sangat baik. Ada beberapa jenis konstruksi TM dimana setiap konstruksi saluran udara tegangan menengah (SUTM) ini memiliki fungsi berbeda-beda. Dari beberapa jenis konstruksi tersebut ada faktor yang harus diperhatikan terkait dengan keselamatan tenaga listrikan seperti jarak aman yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar fasa atau dengan bangunan, tanaman seperti pohon, hewan, maupun dengan jangkauan manusia.

Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan ialah penghantar yang digunakan berupa penghantar berisolasi setengah (*half insulated single core*) karena penggunaan penghantar ini juga tidak menjamin keamanan terhadap tegangan tempel yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko terjadi gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.



Penyulang merupakan istilah yang biasa digunakan untuk menyebut jaringan distribusi listrik tegangan menengah, yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi di satu wilayah tertentu, lalu dari gardu distribusi akan disalurkan Kembali ke pelanggan. Dalam suatu Gardu Induk memiliki beberapa penyulang yang berbeda-beda jumlahnya, jadi apabila terjadi gangguan yang menyebabkan suatu penyulang itu trip, maka dapat di *cover* oleh penyulang lain dengan cara *manuver* jaringan secara manual maupun scada.

2.4 PROTEKSI PENYULANG BANTENG

Pada jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM) pastilah memiliki proteksi untuk melindungi jaringan tersebut dari adanya arus bocor yang disebabkan oleh berbagai macam gangguan. Proteksi tersebut memiliki fungsi masing masing, berikut merupakan beberapa proteksi yang digunakan pada jaringan saluran udara tegangan menengah (SUTM)

2.4.1 Load Break Switch (LBS)

Load break switch adalah saklar pemutus beban yang telah dirancang untuk arus yang telah ditentukan. Sesuai Namanya, prinsip kerja LBS adalah sebagai pemutus aliran listrik. Load break switch merupakan salah satu alat dalam kelistrikan yang berfungsi untuk mengisolisir daerah gangguan dengan memutus atau menyambung sirkuit pada sistem distribusi dalam keadaan beban. Berikut merupakan gambar dari load break switch itu sendiri.



Gambar 2.3. Load Break Switch



LBS digunakan untuk pemutusan lokak apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik seperti gempa, angin rebut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang.

2.4.2 Lightning Arrester (LA)

Arrester adalah suatu alat bagi pelindung suatu sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap surja petir ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Berikut gambar dari *arrester* itu sendiri



Gambar 2.4. Lightning Arrester

Pada keadaan tegangan jaringan normal, tegangan nominal pelindung berperan sebagai isolasi atau idealnya tidak mengalirkan arus dari jaringan tanah. Tetapi jika suatu tegangan lebih impuls tiba pada terminal alat pelindung, maka alat pelindung segera berubah menjadi penghantar dan mengalirkan arus impuls ke tanah sehingga amplitude tegangan lebih yang merambat menuju peralatan yang dilindungi berkurang menjadi di bawah ketahanan tegangan impuls peralatan yang dilindungi. Lightning arrester ini memiliki beberapa bagian sebagai berikut:



1. Elektroda

Pada *arrester* terpasang 2 elektroda yaitu elektroda atas dan elektroda bawah, dimana elektroda atas dihubungkan ke bagian yang bertegangan sedangkan elektroda bawah dihubungkan ke *ground*.

2. *Spark Gap*

Bertugas untuk memunculkan busur api apabila terjadi tegangan lebih akibat surja ataupun surja hubung

3. Tahanan Katup

Tahanan yang digunakan dalam arrester ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah.

2.4.3 Fuse Cut Out (FCO)

Fuse Cut Out (FCO) adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (*overload current*) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*overload*). Fuse cut out ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu alat. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan Fuse cut out sebanyak tiga buah. Berikut merupakan gambar dari Fuse Cut Out.



Gambar 2.5. Fuse Cut Out (FCO)



Fuse cut out merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk itu. Perlengkapan fuse ini terdiri dari sebuah rumah fuse (fuse support), pemegang fuse (fuse holder) dan fuse link sebagai pisau pemisahannya. Fuse cut out sering ditemukan pada setiap transformator.

Fuse cut out boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut. Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse cut out ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (conductivity) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse cut out ini adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan-bahan tersebut. Pada umumnya diantara kawat diatas, yang sering digunakan adalah kawat logam perak hal ini karena logam perak memiliki Resistansi Spesifik ($\mu\Omega/\text{cm}$) yang paling rendah dan Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$) yang rendah. Kawat ini dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, menghubungkan kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya

2.5 Gangguan Pada Penyulang

Pada suatu sistem jaringan saluran udara tegangan menengah tidak akan luput dari gangguan baik yang disebabkan oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Gangguan ini dapat mempengaruhi kinerja dari jaringan SUTM itu sendiri terutama mempengaruhi terhadap kaandalan jaringan pada penyulang tersebut.

2.5.1 Pengertian gangguan

Gangguan itu sendiri dapat diartikan sebagai kondisi fisik yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai



dengan fungsinya. Gangguan pada penyulang ini hampir selalu ditimbulkan karena terjadinya hubung singkat antar *fasa* atau hubung singkat *fasa* ke tanah.² Gangguan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu gangguan secara teknis dan gangguan non teknis. Gangguan secara teknis merupakan gangguan yang terjadi akibat adanya komponen kelistrikan yang sudah tidak layak pakai ataupun rusak. Sedangkan gangguan non teknis merupakan gangguan yang disebabkan oleh beberapa hal disekitar penyulang yang dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat antar *fasa*.

2.5.2 Faktor penyebab gangguan

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada penyulang SUTM. Dan setiap gangguan tersebut dapat menyebabkan kerugian pada PT PLN itu sendiri karena adanya energi listrik yang tak tersalurkan atau biasa disebut dengan *Energy Not Supply* (ENS). Dari beberapa faktor tersebut, gangguan akibat adanya ranting pohon merupakan faktor terbanyak yang menyebabkan terjadinya pemadaman pada area Sei Juaro. Berikut merupakan faktor - faktor terjadinya gangguan pada penyulang saluran udara tegangan menengah (SUTM) :

2.5.2.1 Komponen JTM

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada bahan – bahan listrik yang digunakan pada jaringan tegangan menengah, seperti kawat penghantar, fuse cut out, arrester, isolator dan sebagainya. Pada gambar 2.3 merupakan salah satu contoh gangguan akibat komponen JTM yang tidak boleh digunakan lagi karena dapat dilihat bahwa arrester yang terpasang sudah gosong dan tidak layak pakai lagi. Karena apabila terus digunakan dan tidak diganti, memungkinkan apabila terjadi sambaran petir, maka akan menyebabkan trip karena akan ada lonjakan tegangan yang akan menuju peralatan listrik yang tidak dapat dibumikan sehingga dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik.



Gambar 2.6. Gangguan akibat komponen

2.5.2.2 Bencana Alam

Bencana alam merupakan salah satu faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada penyulang. Untuk daerah Palembang faktor ini jarang terjadi karena jarang terjadi bencana alam yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada jaringan SUTM. Tetapi faktor ini juga merupakan faktor yang sangat sulit untuk di atasi karena kita tidak dapat memprediksi kapan dan dimana bencana alam itu sendiri akan terjadi



Gambar 2.7. Gangguan akibat bencana

Gambar berikut merupakan salah satu contoh gangguan SUTM yang disebabkan oleh faktor bencana alam yaitu longsor. Faktor ini sangat sulit untuk diatasi karena tidak bisa diprediksi bencana alam itu sendiri. Tetapi untuk tetap meningkatkan keadilan jaringan kepada pelanggan, maka dilakukan perbaikan secara sigap agar pemadaman tidak berlangsung lama.



2.5.2.4 Layang – layang

Faktor lainnya penyebab gangguan penyulang merupakan adanya layang – layang yang menyentuh 2 hingga 3 fasa sekaligus. Faktor ini sering terjadi di daerah padat penduduk dan sering terjadi saat musim layang – layang tiba. Biasanya penyebab sering terjadinya gangguan akibat layang – layang ini karena anak – anak bahkan orang dewasa yang belum memahami akan akibat dari layang – layang yang menyentuh kabel dari jaringan SUTM.



Gambar 2.10. Gangguan akibat layang-layang

2.5.2.5 Tidak diketahui

Faktor terakhir yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan ini adalah faktor yang tidak diketahui atau tidak bisa diidentifikasi kenapa bisa terjadi trip selain dari ke 5 faktor di atas. Hal ini dikarenakan saat melakukan investigasi ke titik padam, tidak ada nya barang bukti yang mendukung kenapa hal bisa terjadi gangguan pada penyulang bisa terjadi.

2.6. Sistem Keandalan Distribusi

Adapun system keandalan distribusi sebagai berikut :

2.6.1 Definisi dan teori dasar keandalan

Keandalan (reability) didefinisikan sebagai probabilitas dari peralatan atau sistem untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Dengan demikian keandalan sistem distribusi brarti probabilitas sistem distribusi utk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu.



2.6.2 Keandalan dalam sistem distribusi tenaga listrik

Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman seiring dengan kemajuan zaman. Terjadi pertumbuhan beban ditandai munculnya Kawasan industri, bisnis, serta pemukiman yang baru, dan hal ini tentunya menuntut tingkat keandalan yang semakin tinggi.

2.6.3 Istilah dalam keandalan distribusi

Ada beberapa istilah yang penting berkaitan dengan keandalan sistem distribusi:

**Outage*. Keandalan di mana suatu komponen tidak dapat melakukan fungsinya disebabkan hal-hal yang secara langsung berhubungan dengan komponen tersebut. *Outage* dapat atau tidak dapat mengakibatkan pemadaman bergantung pada konfigurasi sistem.

**Force outage* . *outage* yang disebabkan oleh keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan komponen tersebut dilepaskan dari sistem dengan segera, atau *outage* yang disebabkan oleh kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun karena kesalahan manusia.

2.7 Indeks Keandalan Berorientasikan Pada Pelanggan/ Beban

Indeks keandalan yang akan dievaluasi biasanya menggunakan konsep klasik yang akan menghitung : laju kegagalan rata-rata, durasi pemadaman rata-rata dan ketersediaan tahunan rata-rata atau waktu pemadaman tahunan rata-rata

2.7.1 Indeks Frekuensi Gangguan Rata-rata Sistem/System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIFI merupakan suatu indeks yang menyatakan banyaknya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu (satu tahun) pada pelanggan dalam suatu system secara keseluruhan.



$$SAIFI = \frac{\sum F_i \times n_i}{\sum N} \dots \dots \dots \text{persamaan(i)}$$

Dimana:

F_i : Kali pemadaman/gangguan

n_i : Jumlah pelanggan padam

N : jumlah pelanggan yang dilayani

2.7.2 Indeks Durasi Gangguan Rata-rata Sistem/System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

SAIDI merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan (pemadaman) yang terjadi dalam selang waktu tertentu. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dari lamanya kegagalan secara terus menerus untuk semua yang dilayani selama tahun itu.

$$SAIDI = \frac{\sum U_i \times n_i}{\sum N} \dots \dots \dots \text{persamaan(ii)}$$

Dimana:

U_i : Durasi pemadaman/gangguan

n_i : Jumlah pelanggan padam

N : Jumlah pelanggan yang dilayani