

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI DAN METODE PENELITIAN**

#### **2.1 Tinjauan pustaka**

Terdapat beberapa kajian terdahulu yang sejenis terkait dengan terjadinya gangguan distribusi, antara lain adalah : Gheschik Safiur Rahmat, Ontoseno Penangsang, IGN Satryadi Hernanda Jurnal Teknik Pomits Vol. 2 No.2 (2013) berjudul “Evaluasi *Indeks* Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV Di Surabaya Menggunakan *Loop Restoration Scheme*”. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai indeks keandalan dengan *loop Restoration Scheme* pada ETAP. Pada simulasi *Loop Restoration* dengan menggunakan ETAP dimana sistem distribusi 20 kV yang digunakan yaitu dengan menggabungkan lima penyulang suatu sistem sehingga membentuk sebuah *loop* [2].

Menurut Drajat Wahyudi dalam jurnalnya yang berjudul “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga listrik Berdasarkan SAIDI dan SAIFI Pada PT. PLN (Persero) Rayon Kakap” dengan menggunakan metode perhitungan Konvensional. Jika diasumsikan pelanggan terbesar merupakan rumah tangga sesuai tarif dasar listrik, harga per kWh sebesar Rp.1.467,28. Total beban padam sepanjang tahun 2014 sampai dengan tahun 2016 sebesar 33.573,03 kWh atau setara Rp. 49.261.028,12. Berdasarkan analisa (SAIDI) dan (SAIFI) pada PT. PLN (Persero) Rayon Kakap, tahun 2014 masing-masing mencapai angka 284,4128 Jam/pelanggan/tahun dan 464,6200 Kali/pelanggan/tahun. Pada tahun 2015 masing-masing mencapai angka 195,7928 Jam/pelanggan/tahun dan 357,6137 Kali/pelanggan/tahun. Pada tahun 2016 masing-masing mencapai angka 231,7476 Jam/pelanggan/tahun dan 266,5262 Kali/pelanggan/tahun. Dengan demikian berdasarkan indeks keandalan PT. PLN (Persero) Area Pontianak, indeks keandalan pada PT. PLN (Persero) Rayon Kakap dikategorikan tidak handal. Hal ini seharusnya menjadi rujukan PT. PLN (Persero) untuk memberikan pengurangan tagihan listrik kepada konsumen yang diatur pada Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 89 Tahun 2002. Berdasarkan indeks

keandalan SPLN 68-2: 1986, IEEE dan WCS indeks keandalan pada PT. PLN (Persero) Rayon Kakap dikategorikan kurang handal [4].

Jamilah Husna, Zulfadli Pelawi, Yusniati, dalam jurnalnya yang berjudul “Menentukan Indeks *SAIDI* dan *SAIFI* Pada Saluran Udara Tegangan Menengah Di PT. PLN Wilayah Nad Cabang Langsa” dengan menggunakan metode konvensional, menjelaskan bahwa Suatu sistem daya listrik terdiri tiga komponen yaitu : pusat-pusat tenaga listrik, saluran-saluran transmisi, dan sistem distribusi [6].

Achmad Fatoni, Rony Seto Wibowo, Adi Suprijanto, Jurnal Teknik ITA Vol. 5 No.2 (2016) yang berjudul” Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (*Failur Modes and Effects Analysis*)”. Tugas akhir ini bertujuan Saat ini tingkat keandalan dari suatu sistem distribusi adalah sangat penting guna menjamin kontinuitas supply tenaga listrik kepada konsumen. Karena itu, disadari pentingnya otomatisasi sistem distribusi yang salah satunya dapat dicapai dengan menggunakan *sectionalizer*. Pada akhirnya, solusi optimal akan memberikan nilai indeks keandalan sistem distribusi yang terbaik. Berdasarkan hasil analisa, dengan penambahan fuse pada penyulang sukodono dapat menaikkan indeks Keandalan SAIFI yang semula bernilai 6,6088 menjadi bernilai 5,4176, lalu dengan adanya penambahan *sectionalizer* pada penyulang sukodono maka dapat menaikkan *indeks* keandalan SAIDI yang awalnya bernilai 7,6737 menjadi bernilai 6,4431 [7].

Ibnu Hajar, Muhammad Hasbi Pratama, jurnal energi dan kelistrikan Vol.10 No.1 (2018) yang berjudul” Analisa Nilai SAIDI SAIFI sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT.PLN (Persero) Area Ciputan. Dalam penelitian ini akan dibahas tentang analisa nilai SAIDI dan SAIFI pada Penyulang Cahaya, serta bagaimana usaha untuk menekan nilai SAIDI dan SAIFI. Indeks keandalan SAIDI dan SAIFI pada penyulang Cahaya Tahun 2017 diperoleh SAIDI = 2,277 jam/pelanggan/tahun dan SAIFI = 2,406 kali/pelanggan/tahun. Hal ini dikatakan andal berdasarkan standar SPLN 59:1985. Kerugian biaya akibat pemadaman pada penyulang Cahaya tahun 2017 adalah sebesar Rp. 12.794.305,- [8].

Muchammad Andy Teguh, Tri Rijanto, jurnal Teknik Elektro Vol 08, No. 02 Tahun 2019 yang berjudul "Penentuan Kerugian Ekonomis Berdasarkan Nilai SAIDI SAIFI dan CAIDI Menggunakan Metode Section Technique Di PT.PLN (Persero) Distribusi Area Gresik". Tujuan penelitian ini memperoleh informasi tingkat keandalan dan kerugian ekonomis di PT. PLN (Persero) Distribusi Area Gresik. Metode yang digunakan adalah *Section Technique* yaitu suatu metode terstruktur untuk menganalisis suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Hasil penelitian pada penyulang Industri yang dihitung dengan Metode *Section Technique* didapatkan indeks keandalan SAIDI = 12,64148632, SAIFI = 3,483063058, CAIDI = 3,62941644, dan hasil nilai kerugian ekonomis adalah Rp. 157.954.721,90. [9]

Rosade E. Hutasoit, Zuraidah Tharo, Pristisal Wibowo Universitas Pembangunan Panca Budi jurnal yang berjudul "Analisa Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN (Persero) Rayon Delitua Berbasis Matlab". Penelitian ini bertujuan Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa keandalan sistem jaringan distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Delitua tahun 2018, mengingat bahwa energi listrik perlu disalurkan secara kontinu kepada pelanggan tanpa adanya gangguan. Keandalan jaringan distribusi ini ditetapkan dengan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks keandalan yang dihitung dalam penelitian ini yaitu SAIDI, SAIFI dan CAIDI dengan menggunakan Matlab dan akan dibandingkan dengan target Rayon Delitua. Dari hasil penelitian diperoleh nilai SAIDI 162,33 menit/plg dan CAIDI 113,59 menit/kali yang artinya berada dibawah target, namun nilai SAIFI sebesar 1,429 kali/plg sudah berada di atas target yang ditetapkan. Keandalan dapat ditingkatkan dengan berbagai upaya perbaikan atau pemeliharaan seperti perampalan pohon[10].

Ketut Adi Wicaksana , Wayan Rinas , Wayan Arta Wijaya Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana jurnal yang berjudul "Analisa Keandalan Pada Penyulang Arjuna Dengan Terpasangnya *Recloser Double Six* Menggunakan Metode *Section Technique*". Jurnal ini bertujuan Penyulang Arjuna

merupakan Jaringan Tegangan Menengah yang di suplai dari GI Pemecutan Kelod dengan kapasitas daya 60 MVA, dan panjang saluran 10,202 km. Sebelum terpasang *Recloser Double Six*, indeks Keandalan SAIFI sebesar 0,4001 kali/pelanggan/tahun, SAIDI sebesar 3,9355 jam/pelanggan/tahun. Penyulang Arjuna pernah mengalami 10 kali trip pada tahun 2015, sehingga mempengaruhi tingkat keandalannya. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, dilakukan pemasangan *Recloser Double Six*. Analisis keandalan menggunakan Metode *Section Technique*. Hasil analisis setelah pemasangan *Recloser Double Six*, SAIFI sebesar 0,2240 kali/pelanggan/tahun, SAIDI sebesar 2,0714 jam/pelanggan/tahun. Dengan menurunnya nilai SAIFI dan SAIDI setelah pemasangan *Recloser Double Six*, tingkat keandalan meningkat dan indeks keandalan memenuhi standar SAIFI dan SAIDI sesuai SPLN No.68-2 Tahun 1986 [15].

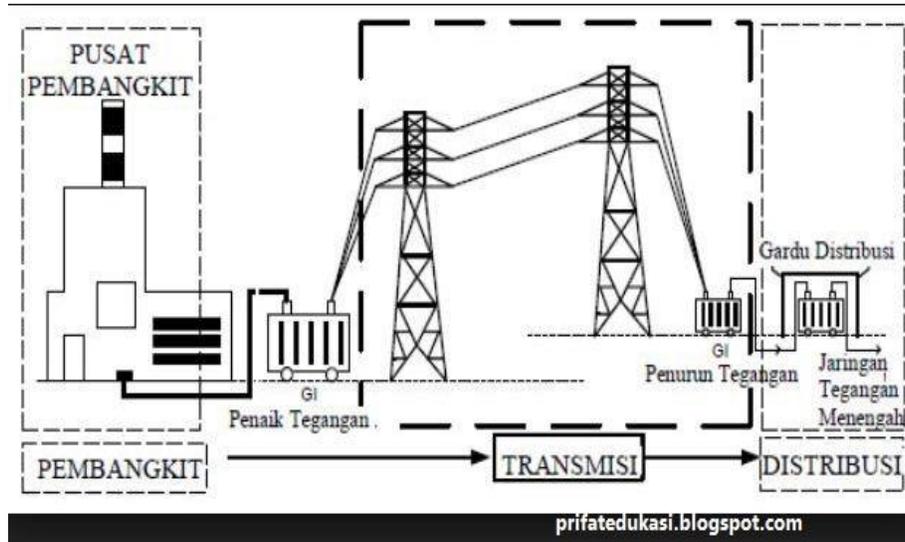
Syaipul Rizal , Zulfahri , Usaha Situmeang Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru jurnal yang berjudul “Optimalisasi Keandalan Jaringan Distribusi 13.8 kV Pada Bangko Substation PT.Chevron Pacific Indonesia dengan menggunakan metode *Reliability Index Assesment* (RIA)”. Penelitian ini bertujuan untuk Analisa keandalan sistem distribusi membutuhkan informasi yang akurat untuk menilai kinerja sistem, sehingga keandalan dapat ditingkatkan dengan maksimal dan keinginan pelanggan terpenuhi. Dari studi ini diketahui bahwa pada Tahun 2019, rata-rata indeks keandalan SAIDI adalah 6.9358 hour/costumer/year, SAIFI = 2,87 interruption/costumer/year dan CAIDI = 2,4166 hour/costumer interruption. Sedangkan untuk memperbaiki indeks keandalan menggunakan metode RIA, dari 5 opsi yang ditetapkan, diperoleh sistem ke 5 dapat menghasilkan penurunan yang optimal yaitu SAIDI = 13,8829 hour/costumer/year atau turun 57,0 % jika dibanding kondisi eksisting, SAIFI = 8,6537 interruption/costumer/year atau naik 0,5 % dibanding kondisi eksisting, dan CAIDI = 1,6043 hours/costumer interruption atau turun 57,7 % dibanding kondisi eksisting. Adapun perkiraan Biaya Penambahan Peralatan untuk sistem ke 5 ini sebesar Rp 1.182.150,000.00 [17].

Alen Tri Maliky Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya jurnal yang berjudul “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Pada Penyulang Pejangkungan di PT. PLN Pasuruan Menggunakan Metode RIA”. Penelitian ini bertujuan menentukan nilai keandalan dan berbagai indeks yang berhubungan dengan kualitas pelayanan terhadap pelanggan. Hasil dari penelitian didapat nilai SAIFI dan SAIDI menggunakan metode RIA ialah sebesar 0,295 (fault/tahun) dan 1,298 (jam/tahun). Setelah dilakukan analisis, nilai SAIFI dan SAIDI dipengaruhi oleh panjang saluran dan banyaknya trafo pada penyulang. Dimana semakin panjang saluran dan semakin banyak trafo pada penyulang tersebut nilai SAIFI dan SAIDI semakin besar [16].

Berdasarkan penjelasan beberapa penelitian terdahulu di atas maka dalam penelitian ini terfokus pada perhitungan MTTF, MTTR, MTBF, SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel*, untuk perbandingan menggunakan nilai indeks SPLN 68-2 : 1986 dan SPLN IEEE 1366-1998.

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Tiga komponen utama dalam penyaluran listrik

Tegangan sistem Distribusi dapat di kelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20 KV) dan distribusi sekunder (380/220 V). Jaringan distribusi 20KV sering disebut sistem distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220 V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah 380/220V.

Yang dimaksud dengan sistem distribusi dalam sistem tenaga listrik adalah bagian jaringan tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik ke tempat-tempat akhir. Yang termasuk bagian dari sistem distribusi adalah:

1) Sistem Subtransmisi (*Subtransmission System*)

Bagian ini berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari sumber menuju gardu induk biasanya menggunakan tegangan tinggi (70-150 kV) atau pun tegangan ekstra tinggi (500 kV) dalam penyaluran tegangannya, hal dilakukan untuk berbagai alasan efisiensi, antara lain penggunaan penampang penghantar menjadi efisien, karna arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil.

2) Gardu Induk Distribusi (*Distribution Substation*)

Gardu induk distribusi dibagi menjadi dua bagian yaitu Gardu Induk (GI) dan Gardu Hubung (GH). GI berfungsi menerima daya listrik dari jaringan subtransmisi dan menurunkan tegangannya menjadi tegangan menengah atau jaringan distribusi primer. Jadi pada bagian ini terjadi penurunan tegangan tinggi (150 kV) menjadi tegangan menengah (20 kV). Sedangkan GH berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkan/membagi daya listrik tanpa merubah tegangannya melalui Jaringan Distribusi Primer (JTM) menuju gardu atau transformator.

3) Jaringan Primer (*Primary Feeder*)

Jaringan distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan 20 kV yang terdapat diantara gardu didtribusi dan transformator distribusi. Jaringan primer ini dapat berupa kontruksi hantaran udara maupun kabel bawah tanah.

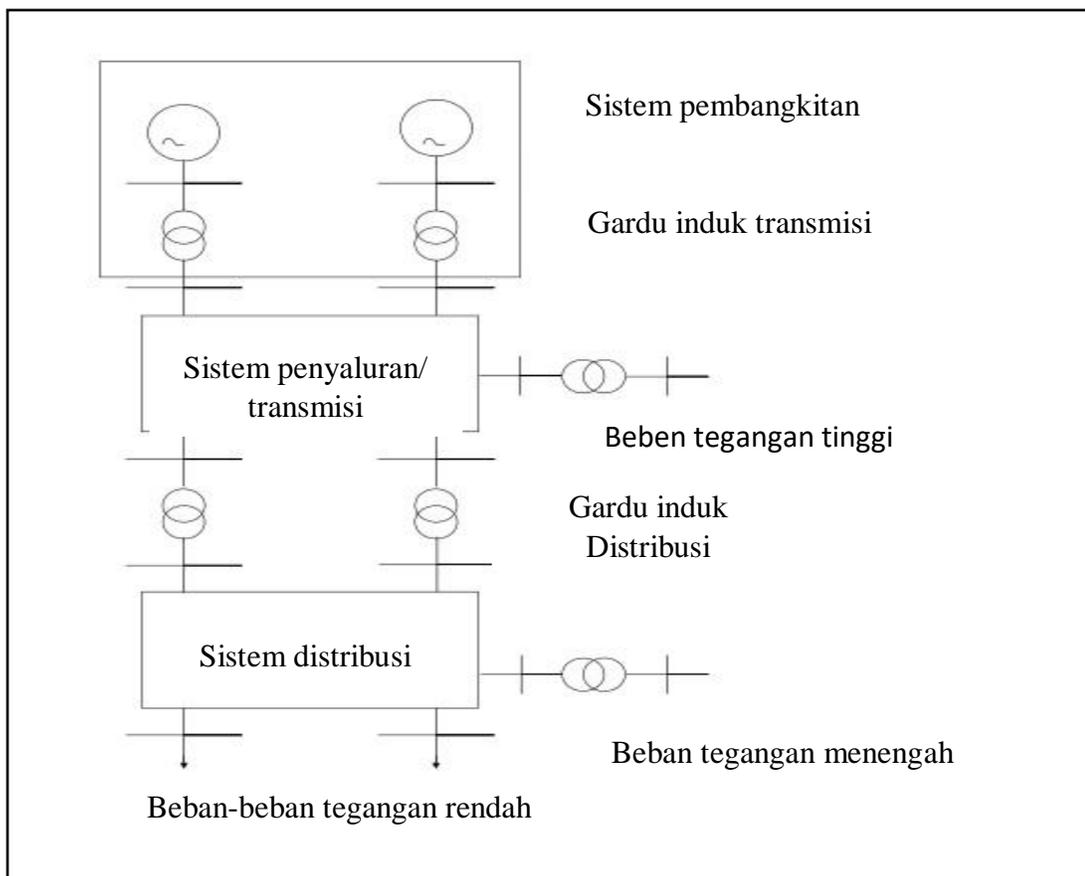
#### 4) Transformator Distribusi (*Distribution Transformator*)

Transformator distribusi adalah alat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V).

#### 5) Jaringan Sekunder (*Secondary Circuit*).

Jaringan sekunder adalah jaringan yang terletak antara trafo distribusi dengan pelanggan dengan tegangan nominal yang digunakan (220/380 V).

Sistem distribusi ini merupakan bagian yang ketiga dari suatu sistem tenaga, dimana dua lainnya adalah sistem pembangkitan dan sistem penyaluran atau transmisi tenaga. Secara umum hubungan diantara ketiga sistem tersebut terlihat pada gambar 2.2.



Sumber: Bonar Sirait (2014:1)

**Gambar 2.2** Hubungan Sistem Pembangkit, Transmisi, dan Distribusi Tenaga Listrik

Peranan sistem distribusi ini tidak kalah penting dari kedua sistem lain disebutkan diatas karena antara lain:

1. Total biaya investasinya kurang lebih sama dengan biaya investasi untuk sistem pembangkitan dan penyaluran/transmisi
2. Untuk kerja sistem distribusi ini langsung dirasakan oleh para pemakai akhir yang merupakan pihak yang akan menanggung biaya tenaga listrik yang akan mereka nikmati.
3. Volume barang serta jumlah tenaga kerja pelaksana yang relatif banyak.
4. Sistem distribusi mencakup daerah geografis yang cukup luas.

Pemakai akhir dihubungkan ke sistem dengan berbagai cara, yaitu dengan menggunakan tegangan rendah di bawah 500 V, tegangan menengah antara 6 kV sampai 20 kV, atau menggunakan tegangan tinggi diatas 70 kV. Faktor utama yang menentukan besar tegangan tersebut adalah besar beban (KVA) yang harus dilayani, jarak lokasi beban ke jaringan terdekat serta tegangan yang dipergunakan pada jaringan terdekat tersebut.

## **2.3 Klarifikasi Pada Sistem Jaringan Distribusi**

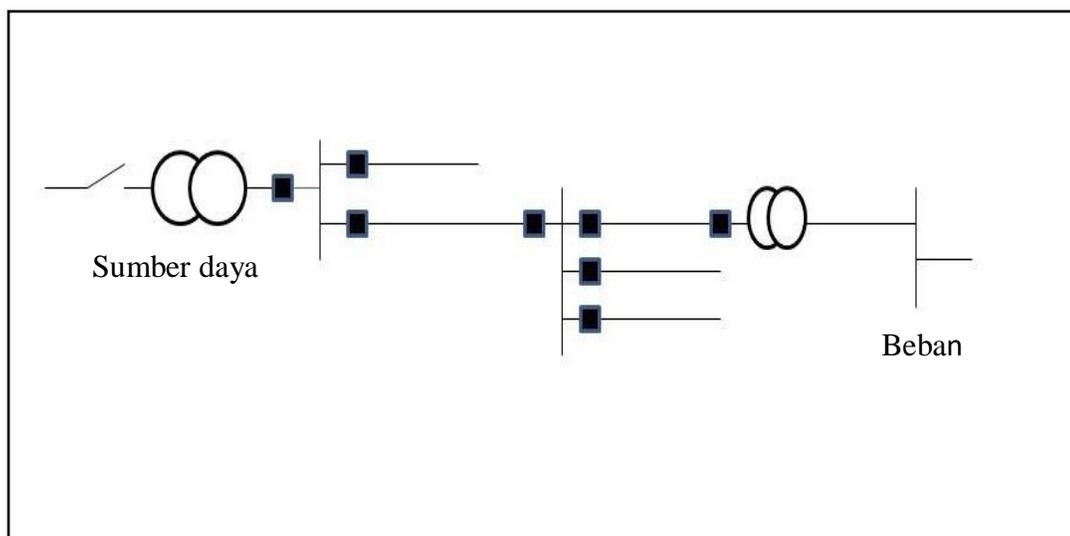
### **2.3.1 Jaringan Pada Sistem Distribusi Primer**

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah primer (20KV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

#### **1. Jaringan Radial**

Karakteristik dari sistem radial ini adalah hubungan dari beban ke sumber terdiri satu lintasan saja. Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem yang paling sederhana diantara sistem yang lain dan paling murah, sebab sesuai konstruksinya sistem ini menghendaki sedikit sekali penggunaan material listrik, apa lagi jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh.

Sistem radial ini tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapatkan gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan diperbaiki kembali. Selain itu semakin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen maka kondisi tegangan semakin tidak dapat diandalkan karena rugi-rugi tegangannya semakin besar, berarti kapasitas pelayanan untuk sistem jaringan radial ini sangat terbatas.



Sumber: Bonar Sirait (2014:2)

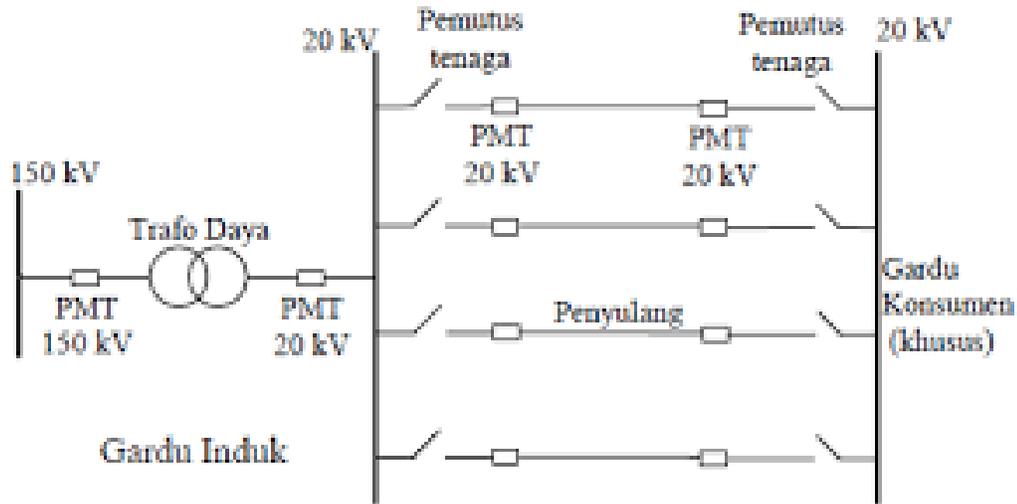
### Gambar 2.3 Jaringan distribusi pola radial

Dalam penyulang tersebut dipasangkah gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibandingkan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.

## 2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti gambar dibawah ini digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain).



Sumber : [jurnal.unpal.ac.id](http://jurnal.unpal.ac.id)

**Gambar 2.4** Konfigurasi jaringan Hantaran Penghubung

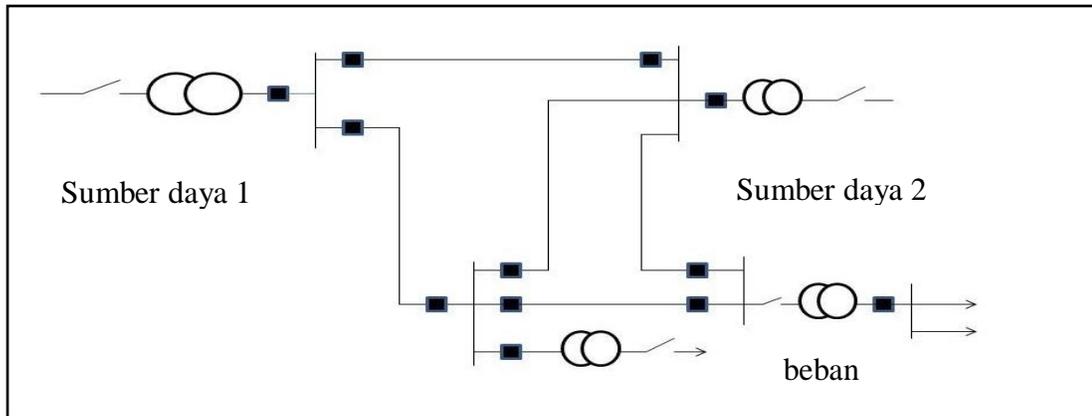
Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lainnya.

## 3. Jaringan Primer Jaring (Loop)

Sistem jaring/*loop* pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin.

Sistem ini secara ekonomis menguntungkan karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak

terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik.

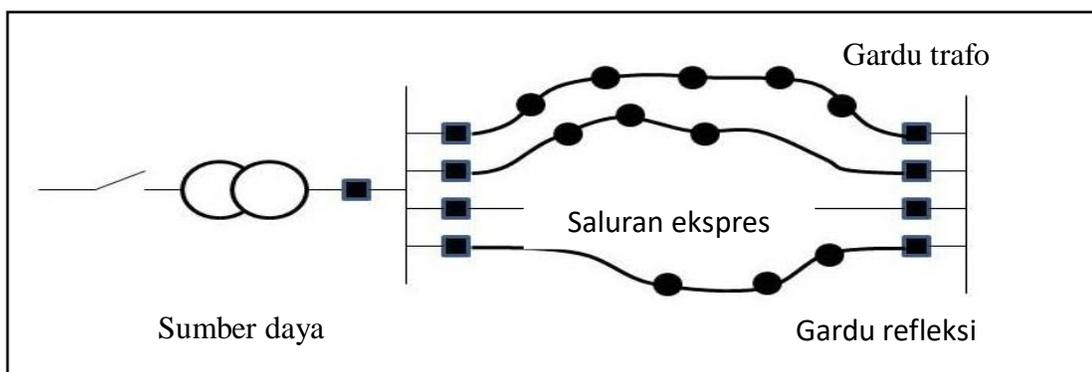


Sumber: Bonar sirait (2014:3)

**Gambar 2.5** Sistem Jaringan Jaring/Loop

#### 4. Jaringan Spindle

Sistem spindle merupakan suatu sistem yang pada operasi normal, salurannya merupakan saluran radial murni, hanya pemisah saluran ekspres yang terhubung, dapat dilihat pada Gambar 2.6 pada saat gangguan disuatu saluran, maka pemisah pada saluran tersebut terhubung pada gardu refleksi. Saluran ekspres adalah saluran primer yang padanya tidak terdapat gardu trafo yang berfungsi untuk memberikan jalan dalam keadaan darurat. Bentuk saluran spindle ini dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Sumber: Bonar Sirait (2014:4)

**Gambar 2.6** Sistem Jaringan Spindle

Pada sebuah Spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah /saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).

Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

### **2.3.2 Jenis Jaringan Distribusi Primer**

Jenis jaringan distribusi primer dapat berupa saluran udara dan kabel bawah tanah.

#### **2.3.2.1 Saluran udara (*Overhead Lines*)**

Saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara tiang menara atau tiang distribusi. Keuntungan dari saluran distribusi adalah lebih murah, mudah dalam perawatan, mudah dalam mengetahui letak gangguan, mudah dalam perbaikan, dan lainnya. Namun juga memiliki kerugian, antara lain: karena berada diruang terbuka, maka cuaca sangat berpengaruh terhadap keandalannya, dengan kata lain mudah terjadi gangguan, seperti gangguan hubung singkat, gangguan tegangan lebih karena tersambar petir, dan lain-lain. Dari segi estetika/keindahan juga kurang, sehingga saluran distribusi bukan pilihan yang ideal untuk suatu saluran distribusi didalam kota.

Jaringan saluran udara baik untuk dipergunakan pada daerah yang beban yang kurang padat, karena disini harga pembelian hak jalan untuk hantaran udara relative murah, disamping harga materialnya yang murah dibandingkan dengan jaringan kabel bawah tanah.

#### **2.3.2.2 Saluran bawah tanah (*Underground Lines*)**

Saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang ditanam didalam tanah. Kategori saluran distribusi seperti ini adalah yang efektif untuk

pemasangan didalam kota, karena berada didalam tanah, maka tidak mengganggu keindahan kota dan juga tidak mudah terjadi gangguan akibat kondisi cuaca atau kondisi alam. Namun juga memiliki kekurangan, yaitu mahalnya biaya investasi dan sulitnya menentukan titik gangguan dan perbaikannya. Keuntungan yang dapat diperoleh dari suatu jaringan bawah tanah adalah bebasnya dari gangguan pohon, sambaran petir, tidak mengganggu pemandangan, keandalan lebih baik, bebas dari gangguan binatang maupun manusia.

### **2.3.3 Komponen Jaringan Distribusi Primer**

Komponen-komponen yang terdapat pada jaringan distribusi primer yaitu:

#### **2.3.3.1 Transformator step-up**

Transformator step-up digunakan untuk menaikkan tegangan listrik dari 6 kV ke 20 kV. Transformator ini hanya digunakan pada pusat pembangkit tenaga listrik agar tegangan yang di distribusikan pada suatu jaringan panjang tidak mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*). Jenis transformator yang digunakan biasanya berupa transformator tiga fasa dan transformator satu fasa.

Transformator tiga fasa dapat mentransformasikan tegangan tiga fasa, dapat juga dengan menghubungkan tiga buah transformator satu fasa. Tetapi transformator tiga fasa lebih kecil dibandingkan dengan tiga buah transformator satu fasa, hal ini dikarenakan kumparan transformator tiga fasa ditempatkan pada satu inti. Dalam penggunaannya transformator tiga fasa lebih efisien dan lebih murah serta mempunyai kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan tiga buah transformator satu fasa yang digabungkan.

#### **2.3.3.2 Pemutus Daya (*Circuit Breaker*)**

Pemutus daya (*circuit breaker*) adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan dan memutus daya listrik sesuai dengan daya hubung yang tertera pada pemutus daya tersebut. Adapun dari jenis pemutus daya (*circuit breaker*) menurut medianya adalah:

1. Pemutus daya minyak (*oil circuit breaker*)
2. Pemutus daya udara (*air circuit breaker*)

3. Pemutus daya hampa udara (*vacuum circuit breaker*)
4. Pemutus daya gas SF<sub>6</sub> (*SF<sub>6</sub> circuit breaker*)
5. Pemutus daya semburan udara (*air blast circuit breaker*)
6. Pemutus udara hembusan magnetis (*magnetic air circuit breaker*)

Pemutus daya akan beroperasi atau secara otomatis bila terjadi gangguan atau bila dikehendaki oleh operator. Pemilihan pemutus daya dalam aplikasinya dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, seperti tegangan nominal, tingkat tegangan menengah tegangan impuls, frekuensi, kuat hantar arus, dan ranting pemutusan.

### **2.3.3.3 Penghantar**

Penghantar yang digunakan pada jaringan distribusi primer penghantar udara yang berupa kawat terlanjang maupun kabel (kawat berisolasi).

Jenis penghantar yang biasa digunakan pada jaringan distribusi primer adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas (Cu 97,5%), dan alumunium dengan konduktivitas 61% (Al 61%).

Kawat penghantar alumunium terdiri dari berbagai jenis, yaitu:

- AAC (*All Alumunium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
- AAAC (*All Alumunium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium
- ACSR (*Alumunium Conductor Steel Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
- ACAR (*Alumunium Conductor Alloy Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar alumunium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, tembaga lebih berat dari alumunium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat penghantar alumunium telah menggantikan kedudukan tembaga. Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat alumunium digunakan campuran alumunium (*alumunium alloy*).

### 2.3.3.4 Alat Pengaman Arus Lebih Dan Tegangan Lebih

Alat pengaman atau pelindung adalah suatu alat yang berfungsi melindungi atau mengamankan suatu sistem penyaluran tenaga listrik dengan cara membatasi tegangan lebih (*over voltage*) atau arus lebih (*over current*) yang mengalir pada sistem tersebut, dan mengalirkan ketanah (*ground*). Dengan demikian alat pengaman harus dapat menahan tegangan sistem agar kontinuitas pelayanan kepusat beban (*load center*) tidak terganggu hingga waktu yang tidak terbatas. Dan harus dapat mengalirkan arus lebih dengan tidak merusak peralatan yang lain. Ada pun alat yang dimaksud adalah arester untuk pengaman tegangan lebih dan *fuse cut out (FCO)* untuk pengaman arus lebih. Ada beberapa alat pengaman yang lain seperti *recroset*, relay arus lebih (*OCR*)

#### **Ada beberapa fungsi alat pengaman antara lain:**

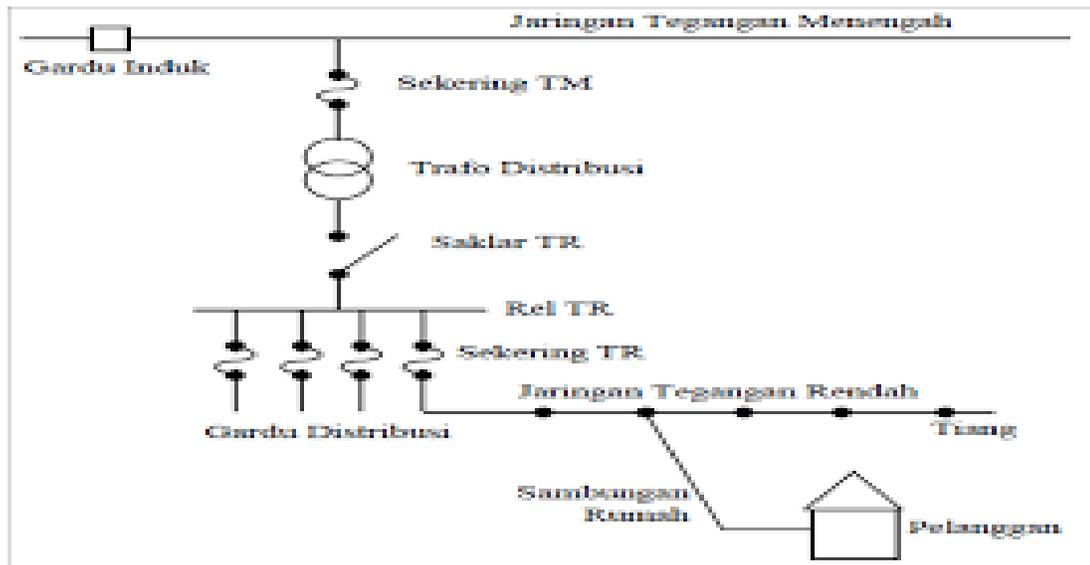
1. Melindungi sistem terhadap kondisi beban lebih (*over load*) dan hubung singkat (*short circuit*).
2. Melindungi sistem terhadap gangguan fisik dari luar terutama untuk saluran udara (*overhead line*), misalnya karena sambaran petir.
3. Menginsolir bagian sistem yang terkena gangguan.
4. Melindungi public/personal terhadap adanya jaringan tegangan tinggi, terutama pada tempat-tempat yang padat penduduknya atau tempat-tempat dimana jaringan listrik melintasi jalan lalu lintas umum.

#### **Kegunaan sistem pengaman tenaga listrik antara lain:**

1. Mencegah kerusakan dan mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
2. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
3. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
4. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

### 2.3.4 Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder seperti pada gambar 2.7 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakaian akhir atau konsumen.



Sumber : Indonesia Pintar

**Gambar 2.7** Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini selain berfungsi menerima daya listrik dan sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan

Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada :

1. Penyulang Jaringan Tegangan Menengah (JTM)
2. Transformator Distribusi
3. Penyulang Jaringan Tegangan Rendah
4. Sambungan Rumah
5. Instalasi Listrik

Jatuh tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Jatuh tegangan yang di-ijinkan tidak boleh lebih dari 5% ( $\Delta V \geq 5\%$ ). Secara umum  $\Delta V$  dibatasi sampai dengan 3,5%.

### 2.3.5 Gangguan Pada Jaringan Tegangan Menengah

Gangguan yang dapat dirasakan oleh sistem/peralatan proteksi bisa berupa sistem fault dan non sistem fault. Sistem *fault* adalah gangguan yang nyata terjadi pada sistem tenaga listrik. Non sistem fault adalah gangguan yang dapat dirasakan oleh sistem/peralatan proteksi tetapi sebenarnya pada sistem tenaga, gangguan tersebut tidak ada. Gangguan ini bisa berupa kerusakan atau kelainan sistem proteksi itu sendiri.

### 2.3.6 Jenis-jenis Gangguan

Pada dasarnya Penyebab gangguan di jaringan distribusi 20 KV terbagi menjadi 2 macam yaitu, gangguan dari luar sistem dan gangguan dari dalam sistem. Gangguan dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

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

- a. Dari jenis gangguan
  1. Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
  2. Gangguan fasa ke fasa
  3. Gangguan dua fasa ke fasa
  4. Gangguan satu fasa ke tanah gangguan tanah

- b. Dari lamanya gangguan
  - 1. Gangguan permanen
  - 2. Gangguan temporer

#### **2.4 Keandalan Sistem Distribusi**

Keandalan atau reliability 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.

Keandalan dalam sistem distribusi merupakan suatu ukuran tingkat pelayanan penyedia tenaga listrik dari sistem ke konsumen. Yang mana ukuran keandalan ini dapat dilihat dari seberapa banyak atau seberapa sering sistem untuk memulihkan kembali kondisi dari saat terjadinya pemadaman. Tingkat keandalan suatu jaringan dibedakan menjadi tiga yaitu :

##### **1. Keandalan sistem tinggi**

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem ini memerlukan peralatan pengamanan yang cukup banyak agar terhindar dari berbagai macam gangguan.

##### **2. Keandalan sistem menengah**

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem masih dapat memberikan supply kepada sebagian beban dalam keadaan beban puncak. Jadi dalam sistem membutuhkan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi gangguan-gangguan pada sistem.

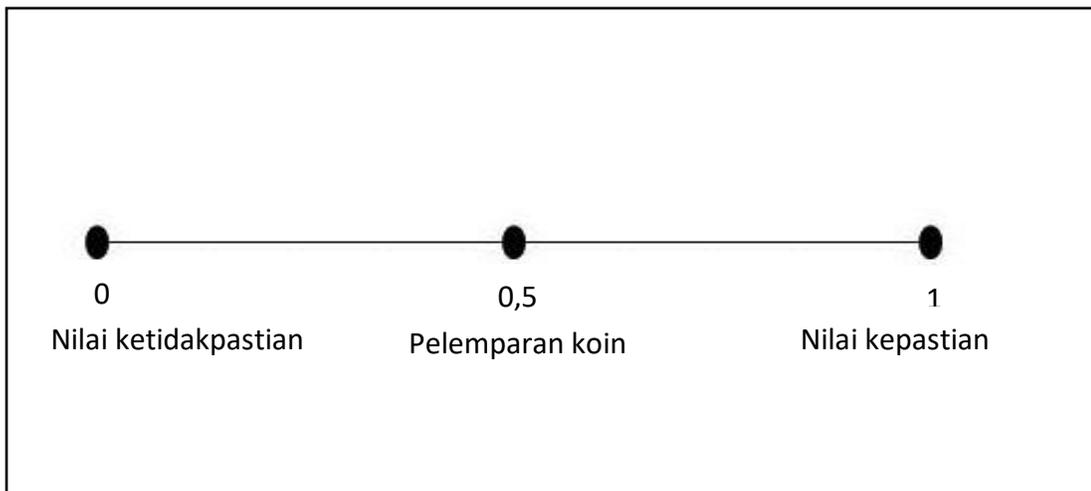
##### **3. Keandalan sistem rendah**

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem tidak dapat memberikan supply pada semua beban

sehingga sistem perlu diperbaiki terlebih dahulu yang mana berarti sistem ini peralatan pengamannya masih kurang dan relatif sedikit jumlahnya.

#### 2.4.1 Teori Probabilitas dan Frekuensi kejadian

Probabilitas/peluang secara umum dapat diartikan sebagai ukuran matematis terhadap kecendrungan akan munculnya sebuah kejadian. Secara matematis peluang memiliki kisaran nilai dari 0 hingga 1. Seperti terlihat pada Gambar 2.7, nilai peluang 0 berarti bahwa munculnya kejadian tersebut sangat tidak mungkin, dan nilai peluang 1 berarti kejadian tersebut pasti muncul sebagai contoh, peluang manusia akan hidup selamanya adalah 0, karena tidak ada manusia yang abadi dan peluang bahwa manusia akan mati adalah 1 yang artinya manusia pasti akan mati suatu saat.



Sumber: Hardiansyah (2011:11)

**Gambar 2.8** Rentang Nilai Peluang

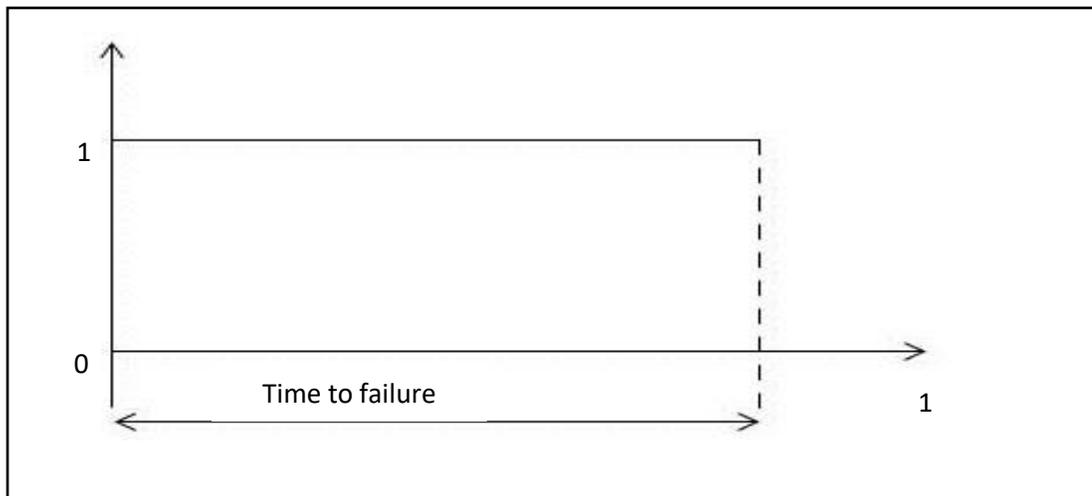
Agar teori probabilitas dapat diaplikasikan, maka salah satu syarat adalah kejadian harus terjadi secara acak. Sebagai contoh laju kegagalan komponen, waktu yang dibutuhkan pada proses perawatan, dan kekuatan material adalah beberapa variabel random ini dapat didefinisikan secara diskrit maupun secara kontinyu.

Variabel random diskrit adalah variabel yang memiliki nilai diskrit, atau nilai yang dapat dihitung sebagai contoh, eksperimen pelemparan koin adalah variabel diskrit mengingat hanya ada dua kejadian diskrit yang dimungkinkan, yakni kejadian

mendapat sisi muka dan belakang. Demikian halnya dengan eksperimen pelemparan dadu.

Variabel acak kontinyu memiliki jumlah yang tidak terbatas, yang berarti rentan yang dimungkinkan mencakup tak hingga. Sebagai contoh, arus listrik pada suatu kondisi memiliki rentang arus sebesar 5A hingga 10A.

Untuk analisa keandalan sistem, variabel random yang sering dipakai adalah variabel random waktu kegagalan (*time to failure*-TTF) dan sering dinotasikan dengan T. Gambar 2.8 Menunjukkan waktu sedang ordiant menunjukkan keadaan dari komponen/sistem dalam keadaan Up/tidak rusak maka, komponen/sistem ditunjukkan dengan angka 1 sebaliknya jika komponen /sistem dalam keadaan down/rusak maka komponen/sistem ditunjukkan oleh angka 0.



Sumber: Sabriel 2011

**Gambar 2.9** Ilustrasi TTF Dari Sebuah Komponen/Sistem

Model probabilitas tergantung dari distribusi probabilitasnya, karena berhubungan dengan nilai probabilitas dan variabel random. Adapun model probabilitas yang dapat digunakan antara lain:

#### a. Distribusi poisson

Distribusi poisson menggambarkan probabilitas terpisah, dimana sejumlah waktu dan kejadian kontinyu dalam interval waktu maupaun ruang yang telah

ditentukan dalam n kejadian, dimana probabilitas pada waktu rata-rata bekerja r adalah:

$$Pr = \frac{n^r}{r!} P^r q^{n-r} \dots\dots\dots(2.1)$$

Jika sangat kecil maka

$$Pr = \frac{(np)^r}{r!} (1 - P)^n \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana: Pr = probabilitas r bekerja dalam n kejadian

np = jumlah perkiraan bekerja

Bila periode waktu kontinyu dan jumlah rata-rata gagal dapat dirumuskan sebagai λt.

Probabilitas r gagal dalam periode waktu t dinyatakan sebagai:

$$Pr = \frac{(\lambda t)^r}{r!} e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana: λ = nilai rata-rata gagal persatuan waktu

t = waktu

probabilitas tanpa kegagalan dalam waktu t dapat dinyatakan sebagai:

$$P(0) = R_{(t)} = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.4)$$

**b. Distribusi eksponensial**

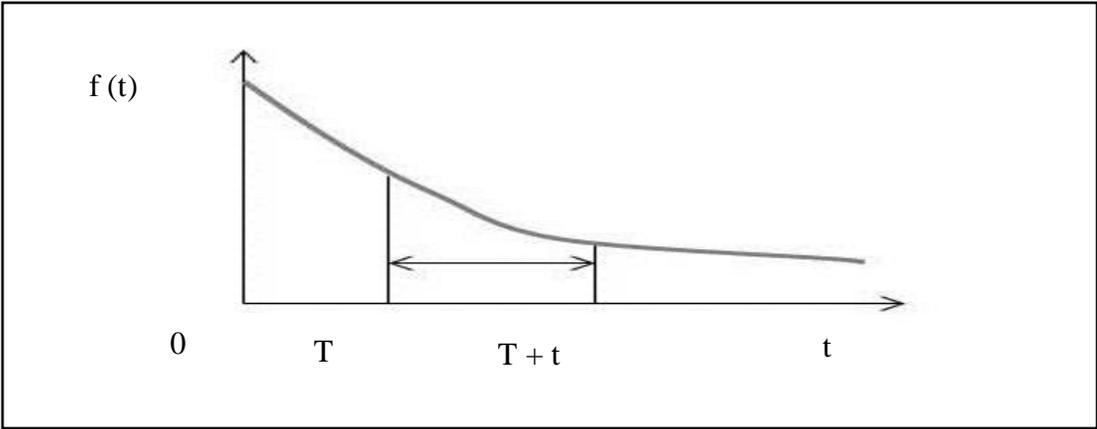
Probabilitas komponen/sistem dioperasikan terus menerus selama waktu t dengan nilai kegagalan konstan dapat dilihat pada persamaan (2.4).

$$f(t) = - \frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.5)$$

sedangkan probabilitas gagal selama waktu t dinyatakan dengan:

$$Q = (t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.6)$$

Fungsi keandalan eksponen dari komponen yang dioperasikan selama interval waktu t, dari T sampai T + t ditunjukkan pada Gambar (2.10)



Sumber: Hardiansyah (2011:28)

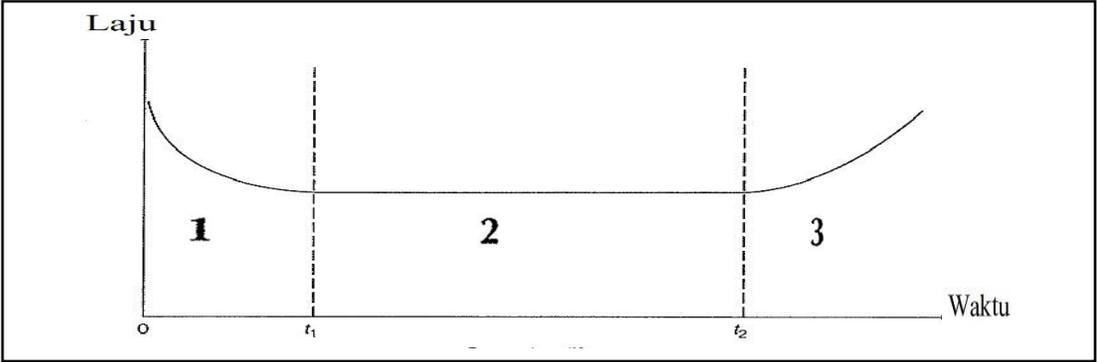
**Gambar 2.10** Fungsi Keandalan Komponen

**2.4.2 Konsep Dasar Keandalan**

Konsep ini dapat meninjau keandalan suatu peralatan, komponen maupun sistem. Suatu komponen mempunyai suatu jangka waktu untuk dapat dioperasikan sesuai dengan fungsinya. Keandalan selama waktu t dinyatakan dengan:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa keandalan sebagai fungsi waktu dan nilai kegagalan juga sebagai fungsi waktu. Perubahan harga laju kegagalan terhadap waktu operasi yang berkaitan dengan kegagalan operasi awal, kegagalan operasi normal dan kegagalan operasi akhir ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini.



Sumber: Martha Yuandha

**Gambar 2.11** Laju kegagalan terhadap waktu

- (1) Daerah kegagalan awal  
 Nilai kegagalan suatu komponen pada mulai dioperasikan cukup besar dan nilai kegagalan ini akan menurun terhadap waktu operasi.
- (2) Daerah kegagalan normal  
 Setelah melalui daerah kegagalan awal, komponen sudah dapat dioperasikan secara normal dengan nilai kegagalan dapat dikatakan konstan.
- (3) Daerah kegagalan akhir  
 Pada daerah ini komponen sudah melewati unsur ekonomisnya, sehingga tidak lagi dioperasikan sesuai dengan fungsinya.

Setelah melihat dari beberapa kejadian yang menghasilkan kegagalan diatas, dimana hal ini ditunjukkan untuk menggolongkan kejadian-kejadian berhasil atau gagal, dan tentu saja hal tersebut sangat baik untuk merumuskan masalah-masalah yang memnghubungkan dengan beberapa kondisi operasi, diantaranya kondisi pemeliharaan, normal, siaga, gawat, dan sangat gawat.

**2.4.3 Waktu Kegagalan**

a. Waktu rata-rata menuju kegagalan (*mean time to Failure / MTTF*)

Jika t merupakan suatu variabel random yang kontinyu dengan kepadatan fungsi probabilitas f(t), maka harga E(t)/ (MTTF) adalah:

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \dots\dots\dots ( 2.8)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (2.5) ke persamaan (2.8), maka akan diperoleh:

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t \frac{dR(t)}{dt} dt \dots\dots\dots (2.9)$$

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan (2.10) diselesaikan dengan Integral Partial:

$$MTTF = -[tR (t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots (2.11)$$

Jika  $MTTF < \infty$ , maka nilai dari  $[tR (t)]_0^{\infty} = 0$ , sehingga persamaan diatas menjadi:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk kasus komponen yang memiliki fungsi keandalan  $R(t) = e^{-\lambda t}$  maka MTTF dari komponen itu adalah:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots(2.13)$$

Jika lebih dari 1 komponen, maka waktu rata-rata menuju kegagalannya adalah:

$$MTTF = \bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^g m_i}{g} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:  $\bar{m}$  = waktu rata-rata menuju kegagalan

$m_i$  = waktu rata-rata kegagalan ke-i

$g$  = jumlah total kegagalan

Jika sistem suatau komponen yang dioperasikan selama satu tahun (8760 jam), maka waktu rata-rata menuju kegagalannya adalah:

$$MTTF = \frac{\text{waktu kerja komponen}}{\text{jumlah terjadinya waktu menuju kegagalan}}$$

$$= \frac{8760 - \text{lama waktu kegagalan}}{\text{jumlah terjadinya waktu menuju kegagalan}} \dots\dots\dots(2.15)$$

c. Waktu rata-rata menuju perbaikan ( *mean time to Repair / MTTR* ).

Yaitu waktu yang diperlukan untuk dapat bekerja, dalam hal ini waktu perbaikan adalah selang waktu mulai terjadi kegagalan sampai dengan waktu pengembalian fungsinya semula (beroperasi secara normal). Persamaannya adalah:

$$MTTR = \bar{r} = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots(2.16)$$

jika lebih dari 1 komponen maka waktu rata-rata waktu menuju perbaikannya adalah:

$$MTTR = \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^g r_i}{g} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:  $\bar{r}$  = waktu rata-rata menuju perbaikan

$r_i$  = waktu rata-rata perbaikan ke-i

$g$  = jumlah total perbaikan

c. Waktu rata-rata antara kegagalan (*mean time Between Failure / MTBF* )  
persamaannya adalah:

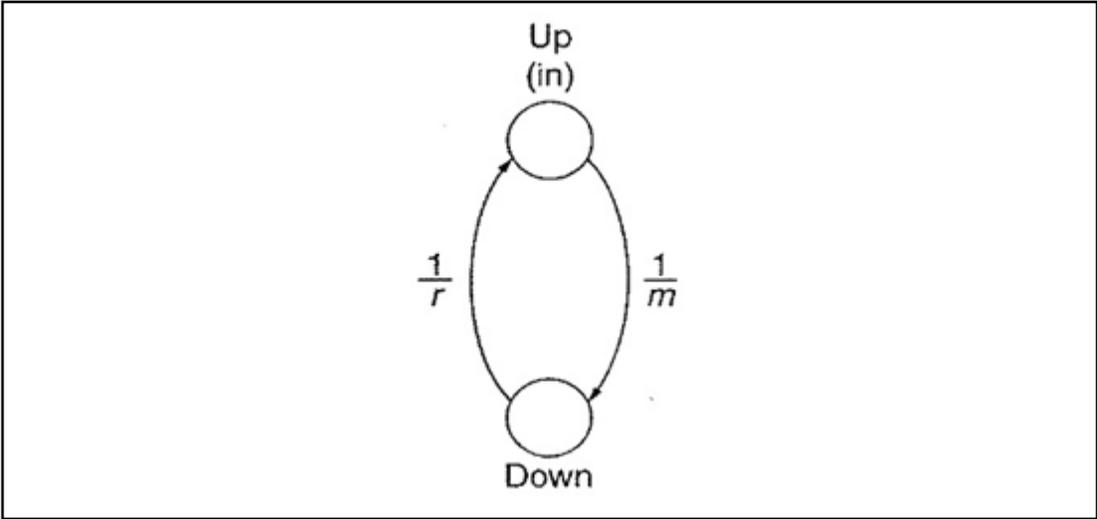
$$MTBF = \bar{T} = MTTF + MTTR = \bar{m} + \bar{r} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:  $\bar{T}$  = waktu rata-rata antara kegagalan

$\bar{m}$  = waktu rata-rata menuju kegagalan

$\bar{r}$  = waktu rata-rata menuju perbaikan

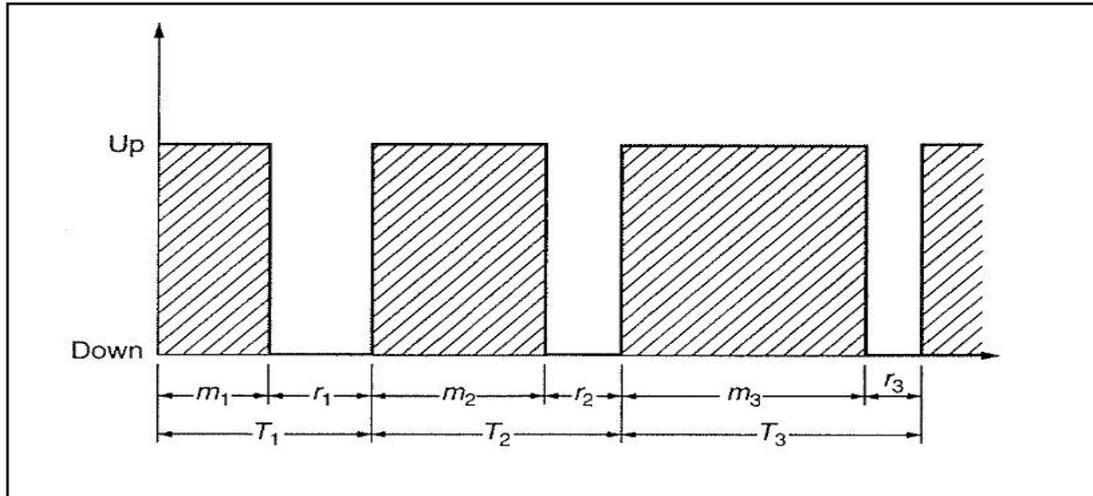
Gambar tentang waktu kegagalan dapat dilihat pada Gambar 2.12 memperlihatkan model dua kondisi dimana komponen terdiri atas kondisi bekerja dan kondisi gagal.



Sumber: Hardiansyah (2011:40)

**Gambar 2.12** Model Dua Kondisi

Gambar yang memperlihatkan siklus waktu kegagalan dapat dilihat pada Gambar 2.13. yang terdiri dari waktu rata-rata menuju kegagalan dan waktu rata-rata menuju perbaikan serta waktu antara kegagalan.



Sumber: Hardiansyah (2011:40)

**Gambar 2.13** Siklus Waktu Kegagalan

#### 2.4.4 Ketersediaan dan ketidaktersediaan Sistem

Ketersediaan merupakan perbandingan antara jumlah waktu sistem atau peralatan listrik bekerja sesuai dengan fungsinya dibandingkan dengan seluruh waktu operasi pada kondisi operasi tertentu. Sedangkan untuk ketidaktersediaan merupakan perbandingan periode waktu gagal bekerja dibanding seluruh waktu operasi tertentu. Dimana seluruh waktu operasi ini terdiri dari dua bagian yaitu:

- 1) waktu perbaikan atau waktu kegagalan
- 2) waktu bekerja sesuai dengan fungsinya

jadi ketersediaan sistem atau peralatan listrik di industri dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{ketersediaan} = \frac{\text{periode waktu bekerja sesuai dengan fungsinya}}{\text{seluruh waktu operasi}}$$

sedangkan ketidaktersediaan suatu sistem atau peralatan listrik di industri ditulis:

$$\text{Ketidaktersediaan} = \frac{\text{periode waktu gagal bekerja}}{\text{seluruh waktu operasi}}$$

Dengan demikian persamaan ketersediaan dan ketidaktersediaan dalam bentuk matematisnya dinyatakan sbagai berikut:

$$\text{Ketersediaan: } (A) = \frac{m}{T} = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTBF}} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\text{Atau: } A = \frac{m}{m+r} = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF}+\text{MTTR}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$A = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \dots\dots\dots(2.21)$$

Sedangkan persamaan ketidaktersediaan:

$$\begin{aligned} \text{Ketidaktersediaan } (\bar{A}) &= 1- A \\ &= 1- \frac{m}{T} = \frac{T-m}{T} \\ &= \frac{(m+r)-m}{T} = \frac{r}{T} = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF}} \dots\dots\dots(2.22) \end{aligned}$$

$$\text{Atau: } (\bar{A}) = \frac{r}{m+r} = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTTF}+\text{MTTR}} \dots\dots\dots(2.23)$$

**2.4.5 Indeks Keandalan**

Secara statistik, menurut Supranto, angka indeks atau sering disebut dengan indeks saja, pada dasarnya merupakan suatu angka yang dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dipergunakan untuk melakukan perbandingan antara kegiatan yang sama dalam dua atau lebih waktu yang berbeda. Dari angka indeks bisa diketahui maju mundurnya suatu kegiatan. Jadi tujuan pembuatan angka indeks sebetulnya adalah untuk mengukur secara kuantitatif terjadinya perubahan dalam dua atau lebih waktu yang berlainan. Dengan demikian angka indeks sangat diperlukan oleh siapa saja yang ingin mengetahui maju mundur suatu kegiatan yang dilaksanakan.

Secara kelistrikan, indeks merupakan suatu angka yang dibuat sedemikian rupa berdasarkan data-data penunjang untuk dijadikan sebagai perbandingan dari keandalan pada suatu sistem ataupun peralatan. Yaitu angka kegagalan rata-rata lamanya gangguan dan waktu dalam tahunan.

Dalam penentuan indeks keandalan, untuk sistem secara keseluruhan maka faktor-faktor jumlah pelanggan, frekuensi dan durasi/lama pemadaman dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekuensi atau lama pemadaman rata-rata tahunan indeks keandalan yang dipakai pada sistem distribusi dijelaskan dalam uraian berikut ini.

#### 2.4.6 Standar Nilai Indeks Keandalan

SPLN adalah standar perusahaan PT. PLN (Persero) yang ditetapkan Direksi bersifat wajib. Dapat berupa peraturan, pedoman, intruksi, cara pengujian dan spesifikasi teknik. Sejak tahun 1976 sudah lebih dari 264 buah standar berhasil dirampungkan. 61 standar bidang pembangkit, 71 standar bidang transmisi, 99 standar bidang distribusi dan 33 standar bidang umum. Standar ini dimaksudkan untuk menjelaskan dan menerapkan 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. Berikut adalah Tabel yang menunjukkan standar indeks keandalan pada SPLN[18].

**Tabel 2.1** Standar Indeks Keandalan SPLN 68 – 2 : 1986

<b>Indikator Kerja</b>	<b>Standar Nilai</b>	<b>Satuan</b>
SAIFI	3.2	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	21.09	Jam/pelanggan/tahun

**Tabel 2.2** Standar Indeks Keandalan SPLN IEEE 1366-1998

<b>Indikator Kerja</b>	<b>Standar Nilai</b>	<b>Satuan</b>
SAIFI	1.10	Kali/pelanggan/tahun
SAIDI	1.50	Kali/pelanggan/tahun
CAIDI	1.36	Kali/pelanggan/tahun

Oleh karena itu Indeks Keandalan SPLN 68-2 : 1986 yang di rencanakan di lingkungan PLN dapat diperoleh dengan memperbandingkannya dengan nilai-nilai SAIFI dan SAIDI di bawah ini yaitu :

SAIFI = 3,2 kali/tahun

SAIDI = 21 jam/tahun

Sedangkan untuk Indeks Keandalan SPLN IEEE 1366-1998 yang direncanakan di lingkungan PLN dapat diperoleh dengan memperbandingkannya dengan nilai-nilai CAIDI dibawah ini yaitu :

CAIDI = 1,36 kali/pelanggan/tahun

Nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI di PLN Distribusi DKI dan Tangerang dijadikan dasar bagi nilai-nilai untuk wilayah lain di Indonesia. Untuk menentukan tingkat jaminan bagi daerah-daerah lain, nilai SAIFI, SAIDI dan CAIDI untuk PLN DKI dan Tangerang dikalikan dengan faktor sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Faktor kali untuk nilai indek keandalan

No	Daerah	Faktor
1	Jawa dan Bali	1,1
2	Sumatra	1,2
3	Kalimantan dan Sulawesi	1,3
4	Maluku, Nusa Tenggara Barat dan Timur	1,4
5	Irian Jaya dan Timor Timur	1,5

Untuk pelistrikan desa dapat dikalikan dengan faktor yang lebih tinggi dari faktor untuk masing-masing wilayah di atas, tetapi tidak melebihi 1,6.

**2.4.7 Teknik Evaluasi**

Keandalan dari mutu pelayanan kepada konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasa digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem, dalam penentuan indek keandalan secara keseluruhan maka faktor jumlah pelanggan, frekuensi dan durasi/lama pemadaman sangat menentukan. Ada pun indeks-indek tersebut, diantaranya:

1. Menghitung laju kegagalan ( $\lambda$ )

Menurut Turan Gonen (1986 hal 574 persamaannya adalah:

$$\lambda = \frac{f}{T} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana:  $\lambda$  = laju kegagalan

$f$  = jumlah kegalan selama selang waktu

$T$  = jumlah lamanya selang waktu pengamatan

Sehingga rumus diatas menjadi:

$$\lambda = \frac{\text{banyaknya gangguan}}{12} \text{ kali/tahun} \dots\dots\dots (2.25)$$

2. Menghitung lama gangguan rata-rata ( $u$ ).

Menurut Turan Gonen (1986 hal 575) persamaannya adalah:

$$u = \frac{\sum t}{T}$$

Dimana:  $t$  = lama gangguan (jam)

sehingga rumus diatas menjadi:

$$u = \frac{\sum \text{lama gangguan}}{12} \text{ jam/ tahun} \dots\dots\dots (2.26)$$

3. Menghitung nilai SAIFI (*system Average Interuption Frequency Index*).

SAIFI merupakan menghitung indek keandalan berdasarkan banyaknya kegagalan. Menurut Turan Gonen (1986 hal 610) persamaannya adalah:

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah gangguan pelanggan}}{\text{jumlah pelanggan}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:  $\lambda_i$  = laju kegagalan unit

$N_i$  = jumlah pelanggan pada suatu penyulang

$N$  = Jumlah pelanggan

4. Menghitung nilai SAIDI (*system Average Interuption Duration Index*)

SAIDI merupakan menghitung indek keandalan berdasarkan lama kegagalan, Menurut Turan Gonen (1986 hal 611) persamaannya adalah:

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah durasi gangguan}}{\text{jumlah pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N} \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana:  $U_i$  = lama gangguan rata –rata

$N_i$  = jumlah pelanggan pada penyulang

$N$  = Jumlah pelanggan

5. Menghitung nilai CAIDI (*customer Average Interruption Duration Index*)  
 Indek ini didefinisikan lamanya kegagalan pada pelanggan selama selang waktu tertentu. Menurut Turan Gonen (1986 hal 611) persamaannya adalah:

$$CAIDI = \frac{\text{total jumlah waktu gangguan yang dialami}}{\text{total jumlah pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana:  $U_i$  = lama ketidakersediaan rata-rata

$\lambda_i$  = laju kegagalan unit

$N_i$  = jumlah pelanggan pada suatu penyulang

6. Menghitung nilai ASAI (*Average Service Availability*)  
 Merupakan indeks yang mempresentasikan waktu ketersediaan daya untuk pelanggan dalam satu tahun

$$ASAI = \frac{\text{Jumlah Jam yang Terlayani}}{\text{Jumlah jam pelanggan yang harus dilayani}}$$

$$ASAI = \frac{N \times \left(\frac{\text{jumlah jam}}{\text{Tahun}}\right) - \sum U_i \cdot N_i}{N \times \left(\frac{\text{jumlah jam}}{\text{Tahun}}\right)} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana :

$N$  = Jumlah total pelayan yang dilayani

$U_i$  = Lama gangguan rata-rata

$N_i$  = Jumlah pelanggan dalam satu penyulang

7. Menghitung nilai ASUI (*Average Service Unavailability*)  
 Merupakan indeks yang mempersentasikan waktu ketidakersediaan daya untuk pelanggan dalam satu tahun.

$$ASUI = 1 - \frac{\text{Jumlah jam yang terlayani}}{\text{Jumlah jam pelanggan yang harus dilayani}}$$

$$ASUI = 1 - ASAI \dots\dots\dots(2.31)$$