

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang dasar teori dari penelitian yang dilakukan. Adapun yang menjadi landasan teori yakni sistem tenaga listrik, sistem distribusi tenaga listrik, pengamanan pada sistem distribusi, gangguan, dan keandalan sistem distribusi.

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Ruang lingkup sistem tenaga listrik, yaitu bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Distribusi, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik) (Brown,2002).

Sistem Tenaga Listrik adalah sekumpulan pusat-pusat listrik yang interkoneksi satu dengan lainnya, melalui transmisi atau distribusi untuk memasok ke beban atau dari satu pusat listrik dimana mempunyai beberapa unit generator yang diparalel. Karena pusat-pusat listrik berada jauh di luar pusat beban, supaya pasokan tenaga listrik tetap stabil terutama tegangan dan frekuensi, dibutuhkan tegangan tinggi, adapun sistem tegangan di Indonesia antara lain;

- Sistem kelistrikan Jawa, untuk Tegangan Ekstra Tinggi sebesar 500 kV, Tegangan Tinggi sebesar 150 kV, Tegangan Menengah sebesar 20kV, dan Tegangan Rendah sebesar 380-400 V.
- Sistem kelistrikan di Sumatra, Kalimantan dan Sulawesi mempergunakan tegangan 150 kV, 20 kV, dan 380-400 V.
- Sistem tegangan di Ambon NTB, NTT, Ambon dan Papua mempergunakan tegangan 20 kV dan 380-400 V.

Sistem tenaga listrik terdiri dari banyak subsistem. Keandalan bergantung pada hasil daya listrik yang cukup dan mengirimkannya ke pelanggan tanpa ada gangguan pada tegangan pasokan (Sarimun, 2014).

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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 (Kersting, 2002). Sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa bagian, yaitu;

1. Gardu Induk atau Pusat Pembangkit Tenaga Listrik

Sistem pendistribusian tenaga listrik jika dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer (Suswanto, 2009).

2. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tidak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota, dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya ada konsumen perumahan dan konsumen dunia industri (Suswanto, 2009).

3. Gardu Pembagi/ Gardu Distribusi

Gardu pembagi/gardu distribusi berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan yang digunakan konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada

gardu pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban (Suswanto, 2009).

4. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Besarnya tegangan untuk jaringan ini yaitu 130/230 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau 230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130 V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa (Suswanto, 2009).

2.3 Pengaman Pada Sistem Distribusi (Momoh, 2007)

Standar sistem proteksi dirancang untuk menghilangkan gangguan, memulihkan sistem, atau mengisolasi wilayah yang terkena gangguan serta untuk meminimalkan dampak yang akan terjadi. Persyaratan yang harus dimiliki oleh alat pengaman atau sistem pengaman adalah sebagai berikut;

- a) Keandalan: harus mendeteksi dan mengisolasi gangguan secara instan dan beroperasi dengan andal. Dalam keadaan normal pengaman tidak boleh bekerja, tetapi harus dapat bekerja bila diperlukan. Pengaman tidak boleh salah bekerja, sehingga susunan alat-alat pengaman harus dapat diandalkan. Keandalan keamanan tergantung kepada desain, pengerjaan dan perawatannya.
- b) Selektivitas: harus membedakan antara kondisi sistem normal dan abnormal. Selektivitas dari pengaman adalah kualitas kecermatan dalam pengamanan bagian yang terbuka karena terjadinya gangguan, diusahakan seminimal mungkin dapat teratasi dengan cepat.
- c) Kecepatan: harus beroperasi dengan cepat untuk meminimalkan durasi gangguan dan kerusakan peralatan dan untuk mengembalikan sistem dengan cepat. Makin cepat pengaman bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kerusakan tetapi juga dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat-akibat yang ditimbulkan oleh gangguan.
- d) Ekonomi: harus memberikan perlindungan maksimum dengan biaya peralatan yang minim.

- e) Kesederhanaan: harus sederhana dalam desain dan penggunaan.

www.itk.ac.id

Bagian ini menyajikan dasar proteksi dan perangkat yang digunakan, bertujuan mencapai skema proteksi yang aman dan andal. Skema proteksi ini digunakan untuk melindungi sistem distribusi primer. Di bawah ini merupakan perangkat proteksi yang biasa digunakan;

1. Relai

Relai merupakan alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan. Relai yang biasa digunakan pada jaringan distribusi yaitu *Ground Fault Relay (GFR)*, *Under Frequency Relay (UFR)*, *Over Current Relay (OCR)*, dan lain-lain.

2. Transformator Instrumen

Transformator Instrumen adalah perangkat listrik kelas akurasi tinggi yang digunakan untuk mengisolasi atau mengubah level tegangan atau arus. Penggunaan transformator instrumen yang paling umum adalah untuk mengoperasikan instrumen atau pengukuran dari tegangan tinggi atau sirkuit arus tinggi, dengan aman mengisolasi sirkuit kontrol sekunder dari tegangan atau arus tinggi. Gulungan primer transformator terhubung ke tegangan tinggi atau sirkuit arus tinggi, dan relai terhubung ke sirkuit sekunder. Transformator instrumen, yaitu *potential transformers (PT)* dan *current transformers (CT)*.

3. Recloser

Sebagian besar (80 hingga 85%) gangguan pada jalur distribusi / transmisi bersifat sementara dan hanya berlangsung beberapa siklus. *Recloser* memiliki kontrol bawaan yang memungkinkan untuk menghilangkan gangguan sementara, kemudian mengembalikan layanan dengan cepat dan memutuskan gangguan permanen. *Recloser* dapat diprogram untuk merasakan arus berlebih dan membuka sirkuit, kemudian menutupnya kembali dengan waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Cara kerja *recloser* adalah dengan menutup balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya, dimana pada sebuah gangguan sementara, *recloser* tidak membuka tetap (*lock out*), kemudian *recloser* akan

menutup kembali setelah gangguan itu hilang. Apabila gangguan bersifat permanen, maka setelah membuka atau menutup balik sebanyak *setting* yang telah ditentukan kemudian *recloser* akan membuka tetap (*lock out*), dimana *recloser* berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu sistemnya secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu pada gangguan sesaat.

4. *Fuse Cut Out*

Fuse Cut Out merupakan alat pemutus rangkaian listrik pada jaringan distribusi. *Fuse Cut Out* berfungsi sebagai pengaman pada sistem, dengan cara membatasi tegangan lebih maupun arus lebih yang mengalir pada sistem tersebut, dan mengalirkannya ke tanah. *Fuse Cut Out* juga berperan dalam melindungi gangguan fisik dari luar, terutama untuk saluran udara, misalnya karena sambaran petir.

5. *Sectionalizer*

Sectionalizer adalah perangkat yang secara otomatis mengisolasi segmen garis yang rusak dari sistem distribusi. *Sectionalizer* mendeteksi arus dan di-deenergisasi oleh *recloser* dengan menghitung jumlah arus berlebih dan mengikuti urutan deenergisasi, jika melebihi angka yang telah ditetapkan maka akan membuka sirkuit dan menguncinya. *Sectionalizer* dapat mengatur ulang sendiri ke hitungan nol, setelah hitungan melebihi beberapa angka yang telah ditetapkan.

6. *Load Breaker Switch (LBS)*

Saklar pemutus beban LBS (*Load Break Switch*) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fasa, yang dikendalikan secara manual maupun secara elektronis. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker (CB)* yang biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik. LBS berfungsi sebagai peralatan hubung yang bekerja membuka dan menutup rangkaian arus listrik, mempunyai kemampuan memutus arus beban dan tidak mampu memutus arus gangguan. LBS juga berfungsi sebagai pemutusan lokal atau penghubung instalasi listrik 20 kV pada saat dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga tidak mengganggu daerah lain yang masih beroperasi.

2.4 Gangguan

2.4.1 Klasifikasi Gangguan (Suswanto, 2009)

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan/konsumen. Gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Berikut klasifikasi gangguan dari lamanya waktu saat terjadi gangguan yakni;

(1) Gangguan permanen

Gangguan yang bersifat permanen dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan atau karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen dimana untuk menghilangkannya diperlukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut sehingga gangguan ini baru hilang setelah kerusakan diperbaiki. Terjadinya gangguan ditandai dengan jatuhnya pemutus tenaga, untuk mengatasinya operator memasukkan tenaga secara manual. Contoh gangguan ini yaitu adanya kawat yang putus, terjadinya gangguan hubung singkat, dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara, adanya kawat yang putus, dan terjadinya gangguan hubung singkat.

(2) Gangguan temporer

Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen. Contoh gangguan yang bersifat temporer adalah gangguan akibat sentuhan pohon yang tumbuh disekitar jaringan, akibat binatang seperti burung kelelawar, ular dan layangan.

2.4.2 Penyebab Gangguan (Brown, 2002)

Gangguan yang terjadi pada pelanggan disebabkan oleh berbagai fenomena termasuk kegagalan peralatan, hewan, pohon, cuaca buruk dan kelalaian manusia. Penyebab-penyebab ini adalah dasar dari keandalan distribusi, dengan mengetahui

penyebab gangguan maka dapat mengidentifikasi dan mengatasi gangguan yang merupakan cara paling efektif untuk mengatasi masalah keandalan.

a) Kegagalan Perangkat

Setiap perangkat pada sistem distribusi memiliki probabilitas kegagalan. Ketika baru dipasang, sebuah perangkat dapat mengalami kegagalan karena buruknya pembuatan perangkat tersebut, kerusakan selama pengiriman, ataupun pemasangan yang tidak baik. Sebuah perangkat yang bagus dan sehat dapat mengalami kegagalan karena arus berlebih, tegangan berlebih, gangguan hewan, cuaca buruk dan penyebab lainnya. Terkadang suatu perangkat dapat mengalami kegagalan secara spontan yaitu alasan seperti usia karena kronologis, usia karena kondisi suhu, dekomposisi kimia, terkena kontaminasi, dan karena penggunaan mekanis. Berikut kegagalan perangkat yang paling umum dalam keandalan sistem distribusi yaitu Transformator, Kabel Bawah Tanah, Saluran Udara, *Circuit Breaker*, *Surge Arraster*, dan *Insulators and Bushing*.

b) Hewan

Hewan adalah salah satu penyebab terbesar gangguan yang terjadi pada pelanggan di jaringan listrik gangguan yang diakibatkan oleh hewan mempengaruhi masalah keandalan. Contoh hewan yang sering mengakibatkan pemadaman listrik yaitu; tupai, tikus, tikus tanah, burung, ular, semut api, dan hewan besar.

c) Cuaca Buruk

Cuaca buruk dapat terjadi dalam berbagai bentuk dan merupakan penyebab gangguan yang paling sering terjadi. Selama cuaca buruk, banyak kerusakan peralatan dapat terjadi pada saat yang bersamaan. Hal ini dapat menyebabkan waktu pemulihan yang lama bagi banyak pelanggan yang terganggu. Kondisi cuaca buruk yang paling berdampak pada keandalan distribusi termasuk angin, petir, lapisan es, panas ekstrem, dan gempa bumi.

d) Pohon

Pohon adalah salah satu dari tiga penyebab utama gangguan yang sebagian besar terjadi pada pelanggan (hewan dan petir menjadi dua lainnya).

e) Faktor Manusia

Selain peralatan, hewan, tumbuh-tumbuhan dan cuaca, manusia secara langsung bertanggung jawab atas banyak gangguan yang dirasakan pelanggan. Terkadang gangguan ini disengaja (misalnya pemadaman terjadwal, pemutusan layanan, vandalisme) dan terkadang gangguan ini tidak disengaja (misalnya kesalahan operasional, kecelakaan lalu lintas, penggalan).

2.5 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan adalah tingkat dari keberhasilan suatu sistem atau bagian dari sistem untuk memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Saat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, maka harus dilakukan pemeriksaan dengan melakukan perhitungan dan menganalisis tingkat keberhasilan operasi dari suatu sistem yang ditinjau pada periode waktu tertentu dan nantinya akan dilakukan perbandingan dengan standar yang telah ditetapkan sebelumnya (Gonen, 1986).

2.5.1 Tingkat Keandalan Dalam Pelayanan

Terdapat lima hal tingkat keandalan dalam pelayanan sesuai dengan Standar PLN 52-3,1983: 5, antara lain;

1. Tingkat 1: Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.
2. Tingkat 2: Padam beberapa jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.
3. Tingkat 3: Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DDC (*Distributed Control Center*).
4. Tingkat 4: Padam beberapa detik, pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DDC.

5. Tingkat 5: Tanpa padam, dilengkapi instalasi pemadaman terpisah dan otomatis secara penuh dari DDC.

Sistem distribusi dikatakan memiliki keandalan tinggi jika berada pada tingkat 4 dan tingkat 5, dan memiliki keandalan menengah jika berada pada tingkat 3, serta memiliki keandalan rendah jika berada pada tingkat 1 dan tingkat 2.

2.5.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi yang sesuai dengan standar IEEE P1366, yaitu:

1. *Interruption of Supply* / Pemadaman

Interruption of supply adalah suatu gangguan yang terjadi pada suatu komponen sehingga mengakibatkan terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen.

2. *Outage* / Keluar

Yaitu tidak berfungsinya suatu komponen yang diakibatkan oleh beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. *Outage* dapat dan tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.

3. *Outage Duration* / Lama Keluar

Periode dari saat permulaan komponen mengalami *outage* sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.

4. *Interruption Duration* / Lama Pemadaman

Waktu pada saat permulaan terjadinya pemadaman sampai menyala kembali.

5. *Total Number of Costumer Served*

Jumlah dari total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir.

6. Selang Waktu Pengamatan

Selang waktu pengamatan adalah total waktu yang diamati pada suatu peralatan atau komponen sistem tenaga. Peninjauan dari sistem tenaga biasanya menggunakan periode satu tahun. Peninjauan-peninjauan yang dilakukan terhadap peralatan dinilai dalam ukuran per tahun dan dianggap

berlaku selama satu tahun, meskipun pengambilan datanya dilakukan dalam selang waktu lebih dari satu tahun. Oleh karena itu, perhitungan keandalan dinilai dalam ukuran pertahun.

2.5.3 Metode *Section Technique*

Metode *section technique* mirip dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang menghitung keandalan dari suatu sistem berdasarkan efek kegagalan dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi titik beban (*load point*). *Section Technique* merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisis suatu sistem. Mengevaluasi keandalan menggunakan metode ini pada sistem distribusi didasarkan dengan suatu kegagalan dari sebuah peralatan yang mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan menganalisis gangguan terjadi. Kemudian pada kegagalan peralatan dianalisis dari semua titik beban (*load point*). Parameter yang dihitung adalah parameter λ dan U pada setiap titik beban (*load point*) pada jaringan sistem distribusi tersebut. Kelebihan dari metode ini yaitu dapat mengetahui area mana pada jaringan yang perlu diperbaiki keandalannya, dapat dinilai sederhana yang dapat mempermudah perhitungan indeks keandalan, kemungkinan kesalahan dapat diminimalkan, dan serta waktu yang dibutuhkan lebih singkat (Putra, 2018).

Indeks keandalan yang dihitung berdasarkan *load point* adalah:

- a) *Failure Rate Load Point* (λ_{LP}) atau frekuensi kegagalan titik beban merupakan hasil penjumlahan tiap peralatan tenaga listrik seperti transformator, CB (*Circuit Breaker*), maupun *sectionalizer* yang mempengaruhi titik beban (*load point*) yang sedang dihitung. Berikut ini, dapat dilihat pada persamaan 2.1:

$$\lambda_{TB} = \sum_{i=K} \lambda_i \quad (2.1)$$

Dimana;

λ_{TB} = Frekuensi gangguan peralatan pada titik beban (kali/tahun)

λ_i = Laju kegagalan untuk peralatan K

K = Semua peralatan yang berpengaruh terhadap titik beban

- b) *Unavailability Load Point* (U_{LP}) merupakan total hasil perkalian antara *failure rate* (λ) dengan *repair time* (r) masing-masing peralatan yang mempengaruhi titik beban (*load point*) yang dihitung. Berikut dapat dilihat pada persamaan 2.2 dibawah ini;

$$U_{TB} = \sum_{i=K} U_i = \sum_{i=K} \lambda_i r_j \quad (2.2)$$

Dimana;

U_{TB} = Durasi gangguan peralatan pada titik beban (jam/tahun)

U_i = Waktu padam dalam periode tertentu

r_j = Waktu perbaikan (*repairing time* atau *switching time*) (jam)

Indeks-indeks ini adalah frekuensi dan lama pemadaman rata-rata tahunan. Berdasarkan indeks-indeks titik beban (*load point*), dapat diperoleh untuk mengetahui indeks keandalan sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan dengan lengkap mengenai kinerja sistem.

2.5.4 Indeks Keandalan Berbasis Pelanggan

Indeks keandalan adalah kumpulan data keandalan untuk serangkaian beban, komponen, atau pelanggan yang terdefinisi dengan baik. Sebagian besar indeks keandalan adalah nilai rata-rata dari karakteristik keandalan tertentu untuk seluruh sistem, wilayah operasi, wilayah layanan gardu atau penyulang. Indeks keandalan yang paling banyak digunakan adalah rata-rata yang membebani setiap pelanggan secara sama. Indeks berbasis pelanggan sudah populer di kalangan otoritas pengatur pelanggan perumahan kecil yang sama pentingnya dengan pelanggan industri besar. Mereka memiliki keterbatasan, tetapi umumnya dianggap dasar yang baik dari sebuah keandalan dan sering digunakan sebagai tolok ukur keandalan dan target peningkatan (Brown, 2002). Persamaan indeks berbasis pelanggan meliputi;

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

SAIFI atau *System Average Interruption Frequency Index* merupakan nilai dari berapa banyak gangguan berkelanjutan yang dialami rata-rata pelanggan selama setahun. Indeks ini ditentukan dengan cara membagi jumlah gangguan per

tahun yang terjadi dengan jumlah total keseluruhan pelanggan yang dilayani (Momoh, 2007). Berikut dapat dilihat pada persamaan 2.3;

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah Total Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Pelanggan Keseluruhan}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_{\text{TB}} N_{\text{TB}}}{\sum N} \quad (2.3)$$

Dimana ;

λ_{TB} = Frekuensi gangguan peralatan pada titik beban

N_{TB} = Jumlah konsumen pada titik beban

N = Jumlah konsumen pada *section*

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

SAIDI atau *System Average Interruption Duration Index* merupakan indeks rata - rata dari jumlah durasi gangguan pada pelanggan selama 1 tahun. SAIDI dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah gangguan atau dengan mengurangi durasi gangguan, karena keduanya mencerminkan peningkatan keandalan. Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah seluruh durasi gangguan pada pelanggan tiap tahun dengan total jumlah pelanggan yang dilayani dengan hasil jam/pelanggan (Momoh, 2007), dengan persamaan 2.4 dibawah ini:

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah Total Durasi Gangguan Pelanggan}}{\text{Jumlah Total Pelanggan yang dilayani}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_{\text{TB}} N_{\text{TB}}}{\sum N} \quad (2.4)$$

Dimana ;

U_{TB} = Durasi gangguan peralatan pada titik beban (jam/tahun)

3. CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI merupakan lamanya gangguan rata-rata bagi konsumen yang terkena gangguan. Durasi gangguan rata-rata dihitung berdasarkan jumlah gangguan berkelanjutan dalam setahun. CAIDI dapat ditingkatkan dengan mengurangi lama

gangguan (Momoh, 2007). Berikut persamaan CAIDI pada persamaan 2.5 dibawah ini;

www.itk.ac.id

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

$$CAIDI = \frac{\sum U_{TB} N_{TB}}{\sum N} \quad (2.5)$$

4. ASAI (*Average Service Availability Index*)

Indeks ini adalah perbandingan total jumlah pelanggan yang dapat dilayani perjamnya, yakni jumlah layanan yang tersedia selama periode waktu tertentu yang dapat diberikan ke pelanggan. ASAI biasanya dapat dihitung secara bulanan (730 jam) atau secara tahunan (8.760 jam) (Momoh, 2007). Persamaan terletak pada persamaan 2.6:

$$ASAI = \frac{\text{Jumlah Jam Layanan yang Tersedia untuk Pelanggan}}{\text{Permintaan Jam Layanan Pelanggan}}$$

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760}$$

$$ASAI = \frac{\sum 8760 N_{TB} - \sum U_{TB} N_{TB}}{\sum N 8760} \quad (2.6)$$

5. ASUI (*Average Service Unavailability Index*)

Indeks ini menggambarkan tingkat ketidaktersediaan layanan (suplai daya) yang diterima oleh pelanggan pada persamaan 2.7 (Momoh, 2007)

$$ASUI = 1 - ASAI$$

$$ASUI = \frac{\sum U_{TB} N_{TB}}{\sum N 8760} \quad (2.7)$$

2.5.5 Standar Indeks Keandalan

a) Standar PLN 59 tahun 1985

Menurut SPLN 59:1985 menetapkan bahwa sistem dalam kondisi baik jika telah memenuhi standar seperti dibawah ini;

- SAIFI: 3,2 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI: 21,09 jam/pelanggan/tahun
- CAIDI: 6,59 jam/gangguan pelanggan
- ASAI: 0,998 pu
- ASUI: 0,0024 pu

b) Standar IEEE 1366-2003

Menurut standar IEEE 1366-2003, nilai indeks keandalan telah memenuhi standar jika memenuhi;

- SAIFI: 1,61 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI: 1,43 jam/pelanggan/tahun
- CAIDI: 0,89 jam/gangguan pelanggan
- ASAI: 0,9998 pu
- ASUI: 0,0002 pu

c) Standar Nilai Laju Kegagalan Dan *Repair Time*

Parameter pengukuran Laju kegagalan dan juga *Switching Time* berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang Keandalan Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV yaitu:

Tabel 2. 1 Tabel Laju Kegagalan dan *Switching Time* SPLN 1985

No.	Komponen	λ (Laju Kegagalan)	r (<i>Repair Time</i>) (Jam)	Rs (<i>Switch Time</i>) (Jam)
1.	Saluran Udara	0,2/km/tahun	3	0.15
2.	<i>Circuit Breaker</i>	0,004/unit/tahun	10	0.15
3.	<i>Sectionalizer</i>	0,003/unit/tahun	10	0.15
4.	Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10	0.15
5.	<i>Recloser</i>	0,005/unit/tahun	10	0.25

Sumber: PLN, 1985

2.5.6 Analisis Nilai Ekonomi

Dalam perhitungan analisis nilai ekonomi terdapat beberapa persamaan yang berkaitan dengan perhitungan aspek ekonomi. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung aspek ekonomi pada sistem, yaitu:

1. *Non Delivery Energy* (NDE)

Non Delivery Energy atau yang disebut energi tak tersalurkan adalah analisa ekonomi suatu sistem atau komponen tertentu. Dimana dalam konteks analisa keandalan suatu sistem distribusi 20 kV, nilai analisis berbanding lurus dengan perhitungan aspek ekonomi suatu indeks keandalan (Gerd Kjolle, 1990) pada persamaan 2.8 adalah;

$$NDE = P_C t_{CA} \quad (2.8)$$

Dimana;

NDE = *Non Delivery Energy* (kWh)

P_C = Jumlah total eneregi yang tidak terkirim (kW)

t_{CA} = Waktu pemadaman (jam)

2. Biaya Kerugian Per-titik beban

$$\text{Kerugian} = NDE \times TDL \quad (2.9)$$

Dimana;

TDL = Tarif Dasar Listrik sesuai dengan ketentuan harga dari PT PLN (Persero).

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Tahun Publikasi	Metode	Hasil
1	Xie dkk	2008	Mengevaluasi keandalan menggunakan <i>section technique</i>	Teori dasar untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi radial dengan memecah bagian yang lebih efisien.
2	Wicaksono dkk	2012	<i>Section Technique</i>	Menggunakan metode <i>section technique</i> nilai indeks SAIFI sebesar 2.4932 kali/tahun, SAIDI sebesar 7.207134172 jam/tahun, dan CAIDI sebesar 2.890716417 jam/tahun.

				Menggunakan <i>running software</i> ETAP nilai indeks SAIFI 2.9235 kali/tahun, SAIDI sebesar 7.8902 jam / tahun, dan CAIDI 2.699 jam/tahun.
3	Putra, dkk	2018	<i>Section Technique</i>	Menggunakan metode <i>section technique</i> nilai indeks SAIFI sebesar 1.759 kali/tahun, SAIDI sebesar 4.547 jam/tahun, dan CAIDI sebesar 2.585 jam/tahun.
4	Noorma	2020	<i>Section Technique</i>	-



www.itk.ac.id