

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Dimana isi dari penelitian terdahulu ini bisa menjadi alasan, tolak ukur bahkan perbandingan penelitian guna menemukan dan memecahkan masalah yang baru di temui. Di bawah ini ada beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian yang sedang penulis akan laukan.

Penelitian pada tahun 2012 yang telah dilakukan oleh Hakim dan kawan – kawan tentang Studi Keandalan Jaringan Distribusi 20 kV di Wilayah Malang dengan Metode *Monte Carlo*. Dalam penelitiannya menjelaskan Suatu jaringan distribusi 20 kV ditentukan oleh keandalan dari peralatan – peralatan listrik yang membentuk suatu sistem tenaga. Masing – masing peralatan tersebut mempunyai probabilitas untuk mengalami kerusakan sehingga peralatan tersebut sering kali tidak berfungsi dengan baik. Pada penelitiannya akan mengevaluai jaringan distribusi agar dapat memperbaiki kinerja suatu sistem distribusi berdasarkan nilai SAIFI dan SAIDI. Metoda *Monte Carlo* yang digunakan dalam menganalisa keandalan ini hasilnya tidak berbeda jauh dan dapat disimpulkan bahwa keandaln pada jaringan tersebut masih tergolong baik. *Software* program yang digunakn untuk menganalisa adalah Matlab[3].

Penelitian pada tahun 2014 oleh Pratawan tentang studi keandalan sistem distribusi 20 kV menggunakan metode *Section Technique* dan RNEA (*Realibility Network Equivalent Approach*) pasa penyulang renon. Hasil penelitian yang menggunakan metode tersebut akan dibandingkan dengan *Electrical Transient Analisys Program* (ETAP) sebagai referensi. Berdasarkan hasil analisisnya mengatakan bahwa persentase perhitungan dengan menggunakan metode section technique mendekati program ETAP, sedangkan persentase perhitungan menggunakan metode RNEA hasilnya cukup jauh dari program ETAP[4].

Penelitian pada tahun 2015 oleh Tryollinna dan kawan - kawan tentang studi penempatan *sechtion* pada jaringan distribusi 20 kV di penyulang Kelingi untuk meningkatkan keandalan. Indeks keandalan dapat diartikan keandalan sistem tenaga listrik. Indeks keandalan yang digunakan yaitu SAIFI (*Sistem Average Interruption Frekuensi Index*) menyatakan frekuensi gangguan, SAIDI (*Sistem Average Interruption Duration Index*) menyatakan lamanya gangguan pada pelanggan, CAIDI (*Costumer Average Interruption Duration Index*) menyatakan lamanya gangguan pada pelanggan[5].

Telah dilakukan penelitian pada tahun 2016 oleh Ragil Wahyudi tentang analisa sistem jaringan. Suatu sistem jaringan dikatakan handal apabila apabila tingkat kegagalan dan gangguan serta pemadaman yang terjadi dalam kurun waktu satu tahun masih di bawah angka indeks keandalan yang telah ditetapkan. Salah satu cara untuk menghitung indeks keandalan jaringan sistem distribusi adalah dengan menggunakan metode *Sechtio Technique*. Adapun indeks keandalan yang dihitung pada sistem ini adalah SAIFI SAIDI dan CAIDI. Penulis melakukan penelitian ini dengan menggunakan metoda *Sechtion Technique* pada jaringan distribusi di Penyulang BRG-2 yang berada di PT.PLN (Persero) Salatiga. Hasil perhitungan pada jaringan distribusi penyulang BRG-2 yaitu SAIFI 8.65454469 kali/tahun, SAIDI 26.11252417 jam/tahun dan CAIDI 3.01720369 jam/tahun. Untuk mengetahui apakah indeks yang telah dihitung tersebut termasuk kedalam kategori andal atau tidak, maka perlu dibandingkan dengan standar yang dikeluarkan oleh PT. PLN (Persero) pada SPLN 68-2:1986, yaitu SAIFI 3,2 kali pertahun dan SAIDI 21 jam/tahun. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa jaringan distribusi penyulang BRG-2 tidak andal karena nilai SAIFI dan SAIDI melebihi standar yang telah ditetapkan[6].

Pada tahun yang sama juga telah dilakukan penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh Yandri dengan judul skripsinya Analisis Keandalan Sistem jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang Kulim PT. PLN (Persero) Rayon Pekanbaru Kota Barat. Metoda yang digunakan dalam penelitiannya adalah FTA (*Faul Tree Analysis*) dan FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Ia mengatakan bahawa gangguan yang menjadi preortas pada Penyulang Kulim adalah gangguan yang disebabkan oleh alam, pernyataan tersebut dapat dilihat dari hasil RPN (*Risk Preority Number*). Hasil nilai indeks keandalan penyulang kulim yaitu SAIFI sebesar 5,05 gangguan pelanggan selama satu tahun, SAIDI sebesar 2,77 jam pelanggan selama satu tahun dan CAIDI sebesar 0,55 jam selam satu tahun.

Jadi dapat disimpulkan SAIDI masih memenuhi standar PT. PLN (Persero) yakni 12,842 jam pelanggan selama satu tahun, untuk SAIFI belum memenuhi standar yaitu sebesar 2,415 gangguan pelanggan selama satu tahun berdasarkan SPLN 59 tahun 1985. Kemudian berdasarkan kombinasi metode FTA dan FMEA, kerusakan pada tiang, kabel, *fuse cut out* dan *lighting arrester* merupakan prioritas penanganan gangguan oleh pihak PT. PLN (Persero) karena nilai RPN yang diperoleh melebihi atau sama dengan batasan nilai peringkat keandalan RPN yaitu 200[7].

Penelitian pada tahun 2017 oleh Rahhmad Hidayatullah membahas analisa keandalan sistem distribusi 20 kV menggunakan metode *Section Technique* dan RIA – *section technique* pada penyulang Adi Sucipto yang bertujuan untuk membandingkan dua metode. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut diketahui indeks metode *Section Technique* pada penyulang Adi Sucipto menunjukkan nilai indeks SAIFI sebesar 6.917 kali/tahun, SAIDI sebesar 19.585jam/tahun dan nilai CAIDI sebesar 2.870 jam/tahun. Sedangkan metode gabungan (RIA - *Section Technique*) didapat nilai SAIFI 7.366jam/tahun, nilai SAIDI sebesar 22.090 kali/tahun dan nilai CAIDI sebesar 2.998 jam/tahun. Hasil perhitungan dari kedua metode tersebut ternyata metoda gabungan yang lebih didapat hasil peningkatan nilai indeks, dan berdasarkan hasil analisa bahwa penyulang Adi Sucipto dikatakan kurang handal yang tidak memenuhi standar PT. PLN (Persero)[8].

Pada penelitian terkait di atas menggunakan beraneka ragam metode yang digunakan untuk memecahkan dan menganalisa keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV. Metode *Section Technique* telah banyak dikombinasikan dengan metode lainnya, akan tetapi peneliti tidak menemukan metode *Section Technique* yang digabungkan dengan metode FMEA. Oleh karena itu, penelitian kali ini penulis akan menggunakan metoda *Section Technique-FMEA* untuk menganalisa keandalan sistem distribusi 20 kV.

Tabel 2.1 dibawah ini akan memberikan gambaran tentang perbedaan beberapa metode yang pernah dilakukan dalam menyelesaikan masalah indeks keandalan sistem jaringan distribusi. Perbedaan bisa berupa data dan prinsip kerja yang menjadi keunggulan dari masing – masing metoda.

Tabel 2.1 Prinsip Kerja Beberapa Metode

NO	Metoda	Kebutuhan Data	Prinsip dan Sasaran Penelitian
1	<i>Realibility Network Equivalent Approach (RIA)</i>	Singel line penyulang, jumlah pelanggan, pamjang saluran dan parameter tiap komponen sesuai SPLN No 59 tahun 1985	Memprediksi gangguan pada sistem berdasarkan data topologi jaringan dan data – data mengenai keandalan komponen pada sistem jaringan distribusi
2	<i>Realibility Network Equivalent Approach (RNEA)</i>	<i>Single line</i> diagram <i>feeder</i> , data banyak pelanggan, data panjang saluran (<i>line feeder</i>), data laju kegagalan dan parameter tiap komponen sesuai SPLN No. 59 tahun 1986	Prinsip utama metode ini adalah ekuivalen dapat digunakan untuk menggantikan keandalan jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem yang besar kedalam bentuk seri dan sederhana.
3	<i>Section Technique</i>	Panjang Saluran, data pembebanan, data laju kegagalan dan data gangguan	Prinsip metode ini memecah beberapa bagian menjadi beberapa bagian yang kecil dan perseksen, kemudian menghitung perseksen, perhitungan yang dilakukan pada metode ini hanya menggunakan failure rate yang sifatnya masih sangat umum.
4	<i>Monte Carlo</i>	Data laju kerusakan dan data perbaikan pada sistem	Metoda Monte Carlo adalah algoritma komputasi untuk mensimulasikan berbagai perilaku sistem fisika dan matematika. Penggunaan klasik metoda ini adalah untuk mengevaluasi integral definit terutama integral multidimensi dengan syarat dan batasan yang rumit.
5	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>	Singel Liine Diagram Feeder, Jumlah Pelanggan Tiap titik beban, Data panjang salran Penyulang, Data gangguan pada penyulang dan SPLN 59 Tahun 1986.	FMEA merupakan teknik analisa tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem.

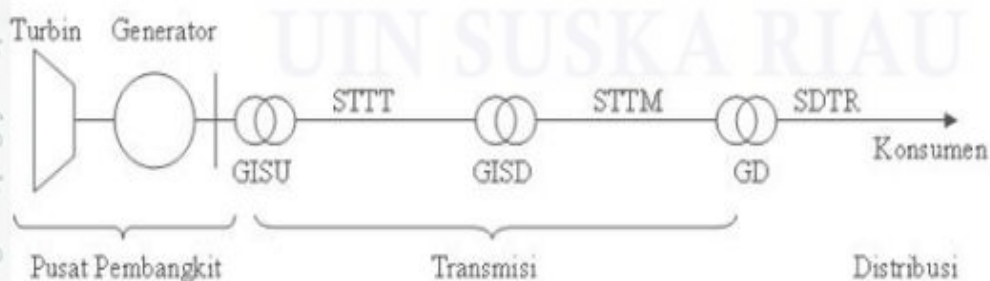
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat – pusat tenaga listrik yang terhubung secara interkoneksi satu dengan yang lainnya melalui jaringan transmisi dan distribusi untuk dapat dipasokan ke pusat listrik yang mempunyai beberapa unit generator yang dipasang dan dirangkai secara paralel. Pada umumnya sistem tenaga listrik yang lengkap memiliki empat unsur, yaitu [9] :

1. Adanya unsur pembangkit tenaga listrik, tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik ini biasanya merupakan Tegangan Menengah (TM).
2. Suatu sistem transmisi lengkap dengan gardu induk. Karena pusat – pusat listrik terletak jauh dari pusat beban, maka dibutuhkan Tegangan Tinggi (TT) atau Tegangan Extra Tinggi (TET) agar pasokan energi listrik tetap konstan sehingga frekuensi dan tegangannya tetap stabil.
3. Adanya saluran distribusi yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran saluran distribusi sekunder dengan Tegangan Rendah (TR).
4. Adanya unsur pemakaian atau utilisasi yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Untuk instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan untuk industri memakai listrik bertegangan tinggi.

Dari penjelasan di atas juga perlu diketahui bahwa sistem tenaga listrik juga terdiri dari satu kesatuan sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 2.1 Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik[9]

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem didistribusi merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penyalur tegangan listrik dari sumber daya yang berkapasitas besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Pada umumnya sistem distribusi di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, yaitu sebagai berikut[10] :

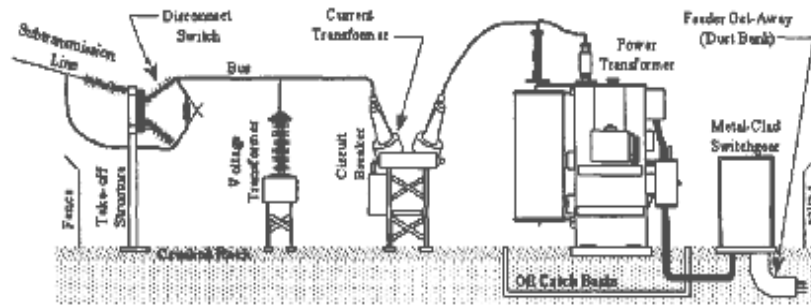
1. Gardu Induk (GI)
2. Saluran Tegangan Menengah (TM)/ Distribusi Primer
3. Gardu Distribusi (GD)
4. Saluran Tegangan Rendah (TR)/ Distribusi Skunder

Gardu induk akan menerima daya dari saluran transmisi kemudian menyalurkan melalui saluran distribusi primer menuju gardu distribusi. Sistem jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi skunder. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan tinggi (20 kV atau 6 kV). Tegangan tersebut diturunkan oleh transformator distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah (220 atau 380 Volt) untuk selanjutnya dialirkan ke konsumen melalui jaringan distribusi.

2.3.1 Gardu Induk Pada Sistem Distribusi

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Biasanya pusat pembangkit tenaga listrik terletak di pingiran kota dan pada umumnya berupa Pusat Pembangkit Tenaga Diesel (PLTD). Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat-pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder[10]

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.



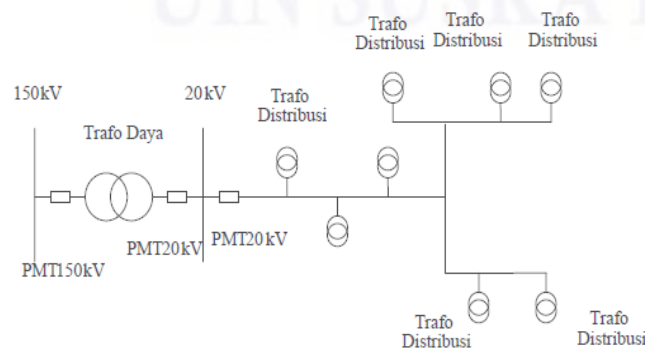
Gambar 2.2 Gardu Induk[10]

2.3.2 Jaringan Distribusi Primer

Sistem distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat *suplai* daya besar (*Bulk Power Source*) atau disebut gardu induk kepusat-pusat beban. Sistem distribusi primer atau sistem distribusi tegangan menengah tersusun oleh penyulang utama (*main feeder*) dan penyulang percabangan (*latera*). Jaringan distribusi di Indonesia adalah jaringan distribusi bertegangan 20 kV. Pada jaringan distribusi primer terdapat empat jenis jaringan distribusi yaitu[10]:

1. Sistem Radial

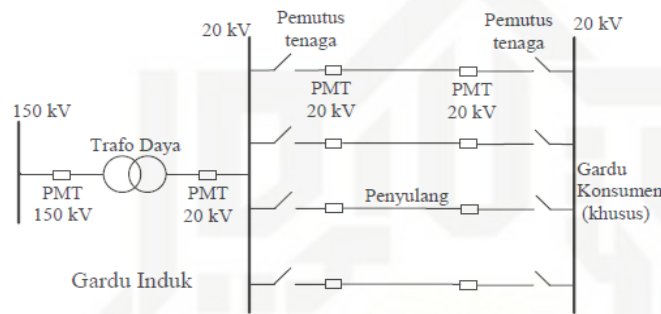
Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bias dalam bangunan beton atau diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih mudah dibanding dengan sistem lain.



Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Radial[10]

2. Sistem Hantaran Penghubung (*tie line*)

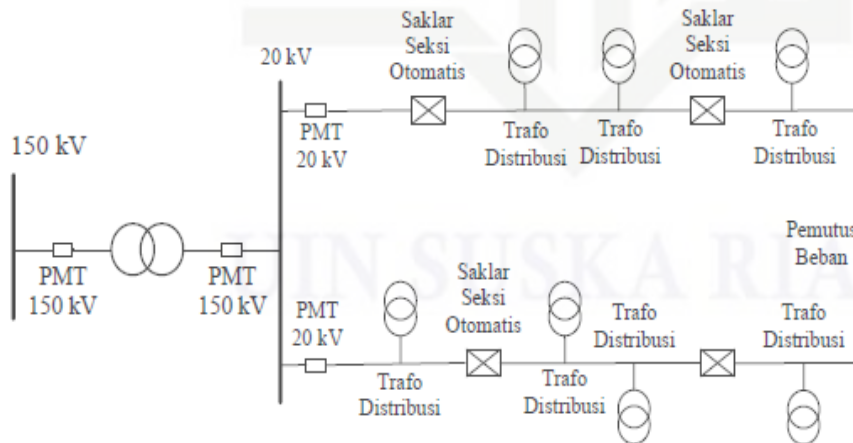
Sistem distribusi *Ti Line* umumnya digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti Bandar udara, rumah sakit dan lain-lain. Sistem ini memiliki dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, dan setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan pindah ke penyulang lain.



Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung[10]

3. Sistem Loop

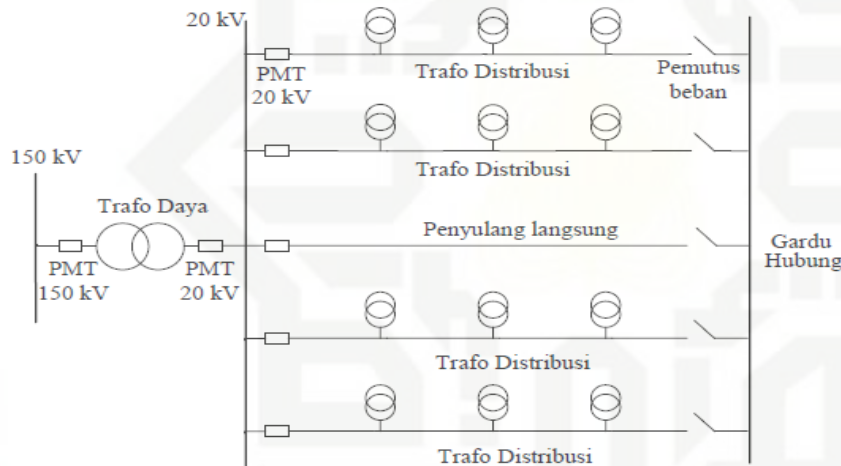
Pada jaringan tegangan menengah struktur lingkaran (*Loop*) dimungkinkan pemasokan dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalan relatif lebih baik.



Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Loop[10]

4. Sistem Spindel

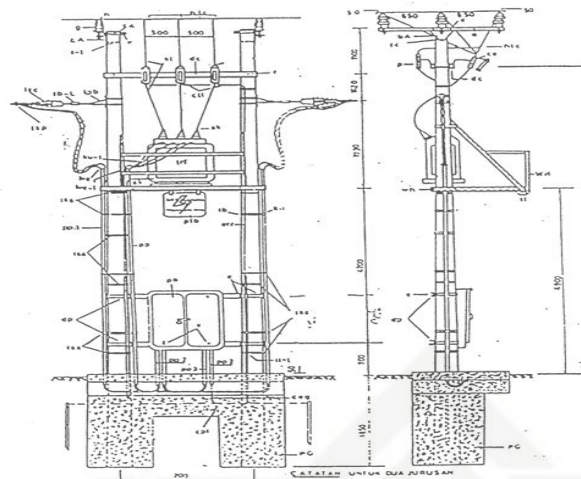
Sistem spindle adalah pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah gardu hubung. Pada sebuah sistem spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah 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) ataupun tegangan menengah (TM).



Gambar 2.6. Konfigurasi Jaringan Spindel[10].

2.3.3 Gardu Distribusi

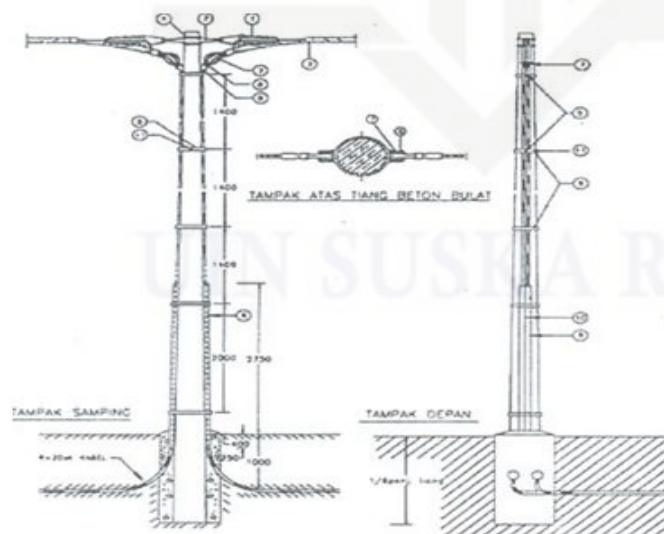
Gardu distribusi berfungsi untuk merubah tegangan listrik dari jaringan primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut juga sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada gardu distribusi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani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



Gambar 2.7 Gardu Distributor Jenis Tiang[11]

2.3.4 Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi, yang bertugas mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari trafo distribusi ke pelanggan. Oleh karena itu, besarnya jaringan untuk distribusi sekunder ini 130/230 volt dan 230 volt untuk sistem lama, atau 230/400 volt untuk sistem baru. Tegangan 130 volt dan 230 volt merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 volt merupakan tegangan fasa dengan fasa[11].



Gambar 2.8 Jaringan Distribusi Sekunder 220 volt[4]

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4 Perbedaan Jaringan Distribusi Dengan Jaringan Transmisi

Pada tabel 2.1 dan gambar 2.8 dan gambar 2.9 dapat diketahui perbedaan antara jaringan transmisi dan jaringan distribusi seperti dibawah ini :

Tabel 2.2 Perbedaan Jaringan Distribusi dengan Transmisi [11].

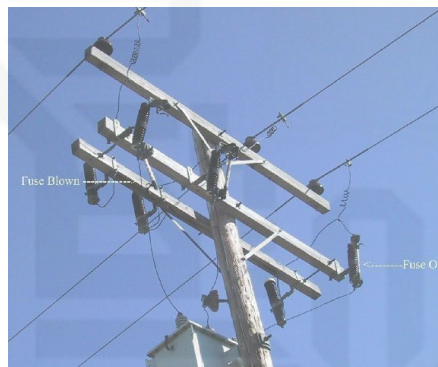
No	Dilihat dari Segi	Jaringan Distribusi	Jaringan Transmisi
1	Letak lokasi jaringan	Dalam kota	Luar kota
2	Tegangan sistem	<30 KV	>30 KV
3	Bentuk jaringan	<i>Radial, Loop, Paralel Interkoneksi</i>	<i>Radial dan Loop</i>
4	Sistem jaringan	Saluran udara dan saluran bawah tanah	Saluran udara dan bawah laut
5	Konstruksi jaringan	Lebih rumit dan beragam	Lebih sederhana
6	Analisa rangkaian	Lebih kompleks	Lebih sederhana
7	Komponen rangkaian yang diperlukan	Komponen R dan L	Komponen R, L dan C
8	Penyangga jaringan	Tiang jaringan	Menara jaringan
9	Tinggi jaringan	Kurang dari 20 m	30 – 200 m
10	Kawat pengantar	BCC, ASC, ACC, dan AAAC	ACSR dan ACAR
11	Kawat tarikan	Dengan kawat tarikan	Tanpa kawat tarikan
12	Isolator jaringan	Jenis pasak (pin) Jenis pos (batang) Jenis gantung Jenis cincing	Jenis gantung
13	Besarnya andongan	0 – 1 m	2 – 5 m
14	Fungsinya	Menyalurkan ke konsumen	Menyalurkan daya ke gardu induk
15	Bahan penyangga	Baja, besi, kayu	Baja
16	Jarak antar tiang	40 -100 m	150 - 350



Gambar 2.9 Jaringan Distribusi dan Jaringan Transmisi [11]

2.5 Saluran Udara (*Overhead Lines*)

Saluran udara disebut juga saluran udara tegangan menengah (SUTM), merupakan saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat – kawat penghantar yang telah dilapisi oleh isolator. Kawat ini dipasang pada tiang – tiang penyangga kaabel distribusi tersebut sesuai pada gambar 2.10 di bawah ini. [12]



Gambar 2.10 Saluran Udara (Overhead Lines [12]

Apabila menggunakan saluran udara (SUTM) ada pertimbangan yaitu keuntungan dan kerugiannya, diantaranya adalah sebagai berikut.

Keuntungan menggunakan saluran udara (SUTM) :

1. Tiang – tiang yang digunakan untuk tumpuan penyaluran kawat saluran udar memiliki fungsi ganda, yaitu selain dapat untuk menyalurkan jaringan distribusi primer juga dapat sekaligus menyalurkan jaringan distribusi skunder serta untuk keperluan tiang trafo distribusi, dengan demikian biaya lebih hemat.
2. Proses pemasangan lebih mudah.

3. Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya apabila ingin menambah beban.
4. Pemeliharannya lebih mudah.
5. Apabila terjadi gangguan lebih mudah terdeteksi.

Kerugian menggunakan saluran udara (SUTM) :

1. Posisinya yang di luar dan terbuka lebih mudah terkena gangguan oleh faktor cuaca, petir, pepohonan dan akses lainnya.
2. Sukar penentuan tempat apabila pas di wilayah yang padat dan bangunannya tinggi – tinggi.
3. Maalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi akan menyebabkan tegangan drop lebih tinggi.
4. Mengganggu pemandangan, alasannya banyaknya tiang – tiang dan kabel – kabel yang terpasang baik itu dari tiang ke tiang maupun ke konsumen langsung.
5. Biaya pemeliharaan yang lebih mahal, karena memerlukan jadwal pengecatan dan penggantian material apabila ada yng mengalami kerusakan

2.6 Gangguan Pada Sistem Jaringan Distribusi

Gangguan adalah kesalahan yang terjadi pada sebuah sistem sehingga menghambat sistem bekerja sebagaimana mestinya. Kesalahan atau gangguan pada sistem ketenagalistrikan sudah pasti akan terjadi, gangguan tersebut bisa berasal dari faktor alam maupun dari kesatuan ketenagalistrikan itu sendiri. Bagian dari sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan adalah kawat transmisinya[10].

Hal tersebut wajar terjadi karena luas dan panjangnya saluran dari pembangkit, hingga distribusi pada umumnya lewat udara yang melalui tiang tiang listrik lebih rentan terhadap gangguan daripada yang ditaruh dalam tanah (*underground*). Terlebih lagi jika salurannya tidak dilindungi isolasi ataupun peralatan proteksi yang tidak memadai, akan sering menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik tersebut Busur tanah yang menetap merupakan gangguan yang sangat ditakuti sebab busur tanah yang padam dan menyala merupakan sumber gelombang berjalan yang mempunyai muka curam yang dapat membahayakan isolasi dari alat-alat instalasi walaupun letaknya jauh dari titik gangguan.

Pada sistem pendistribusian tenaga listrik yang paling sering ditemui adalah hubungan singkat atau konsleting. Besar dari arus hubung singkat itu tergantung dari jenis dan sifat gangguan hubung singkat itu, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metode hubungan netral dari trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenal dari peralatan-peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung singkat itu dan kecepatan beraksi dari alat-alat pengaman. Gangguan hubung singkat itu tidak hanya dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu pula.

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Ditinjau dari volume fisiknya, jaringan distribusi pada umumnya lebih panjang dibanding dengan jaringan transmisi dan jumlah gangguannya dalam kali per 100 km per tahun juga paling tinggi dibandingkan jumlah gangguan pada saluran transmisi.

Secara garis besar jaringan distribusi memiliki dua saluran yaitu Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Untuk JTM mempunyai tegangan antara 3 kV sampai dengan 20 kV. PT. PLN (Persero) pada saat ini hanya mengembangkan tegangan menengah 20 kV. JTM sebagian besar berupa SUTM dan kabel tanah. Pada saat ini juga mulai dikembangkan kabel udara yang isolasinya tidak penuh dengan tujuan untuk mengurangi jumlah gangguan di JTM. Gangguan pada SUTM termasuk tinggi jumlahnya. Gangguan pada SUTM ada yang mencapai angka 100 kali per 100 km per tahun. Sebagian besar gangguan pada SUTM tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon. Gangguan karena petir maupun karena sentuhan pohon sebagian besar bersifat temporer, oleh karenanya penggunaan penutup balik (*recloser*) otomatis akan sangat mengurangi waktu pemutus penyediaan daya (*supply interrupting time*).

2.6.1 Dampak yang Ditimbulkan Oleh Gangguan

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.

2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan listrik baik PLN maupun konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan[13]

2.6.2 Penyebab Gangguan pada SUTM maupun SKTM

a. Pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)

1. Alam (Petir, Pohon, Angin, Hujan, Panas)
2. Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran
3. Manusia, binatang dan benda-benda asing

b. Pada SKTM (Saluran Kabel Tegangan Menengah)

1. Gangguan dari luar (*External Fault*)

Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran air dan lain-lain. Kendaraan yang lewat di atasnya, impuls petir lewat saluran udara, binatang dan deformasi tanah..

2. Gangguan dari dalam (*Internal Fault*)

Tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan dan beban lebih.

2.6.3 Klarifikasi Gangguan

1. Macam-macam gangguan
 - a. Gangguan tiga fasa degan atau tanpa ke tanah.
 - b. Gangguan fasa ke fasa, tanpa ke tanah.
 - c. Gangguan satu fasa ke tanah.
 - d. Gangguan dua fasa ke tanah

Pada gangguan satu fasa ke tanah, gangguan arusnya sering lebih besar dari arus gangguan fasa tiga. Hal ini terutama dapat terjadi bila titik netral dari generator atau trafo dari sistem tersebut ditanahkan langsung. Jenis gangguan yang biasanya terdapat dalam praktek ialah gangguan satu fasa ketanah dan yang terbanyak terjadi. Pada gangguan satu fasa ke tanah biasanya terdapat tahanan hubung singkatnya. Meskipun gangguan satu fasa ketanah sering terjadi, perhitungan tiga fasa simetris sering digunakan untuk analisa hubung singkat[13].

2. Sifat-sifat gangguan

- a. Gangguan permanen Gangguan ini ditandai dengan bekerjanya kembali PMT untuk memutus daya listrik. Gangguan permanen baru dapat diatasi setelah penyebab gangguannya dihilangkan.
- b. Gangguan Temporer (*Mmomentary interruption*) Gangguan ini ditandai dengan normalnya kerja PMT setelah dimasukkan kembali. Pada gangguan temporer dapat diatasi setelah penyebab gangguan hilang dengan sendirinya setelah PMT trip.

2.7 Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Keandalan sistem distribusi merupakan kemampuan keberhasilan suatu sistem atau bagian dari sistem untuk memberikan hasil yang lebih baik pada preode dan waktu tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan suatu sistem, haruslah adanya pemeriksaan suatu sistem melalui perhitungan maupun analisa terhadap keberhasilan suatu kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau pada priode tertentu[14].

Dalam menghitung indeks keandalan sistem distribusi perlu diketahui beberapa hal yaitu dengan mengetahui standar indeks keandalan sistem pada SUTM radial SPLN 68-2 tahun 1986 dimana untuk nilai SAIFI adalah 3,2 kali pertahun dan SAIDI adalah 21 jam/tahun.

2.8 Faktor – Faktor Nilai Keandalan

Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisa sistem keandalan, antara lain[14] :

1. *Mean Time To Failure (MTTF)*

Mean Time To Failure (MTTF) adalah waktu rata – rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu sitem, dirumuskan sebagai berikut :

$$MTTF = \frac{T1+T2+T3.....Tn}{n}..... (2.1)$$

Dimana :

T = Waktu operasi (up time)

N = Jumlah kegagalan

2. Mean Time To Refair (MTTR)

Mean Time To Refair (MTTR) adalah waktu rata – rata yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan terhadap terjadinya kegagalan terhadap suatu sistem, dirumuskan sebagai berikut :

$$MTTR = \frac{L1+L2+L3.....Ln}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

L = Waktu perbaikan

N = Jumlah perbaikan

3. Laju Kegagalan

Laju Kegagalan adalah frekuensi suatu komponen/sistem gagal bekerja biasanya dilambangkan dengan huruf λ (lamda). Laju kegagalan suatu sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja, dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \dots\dots\dots (2.3)$$

4. Laju Perbaikan.

Laju perbaikan atau downtime rate adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam kondisi perbaikan (kondisi OFF), dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.9 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Dalam proses pendistribusian energi listrik yang sangat penting dalam menentukan kinerja sistem adalah tingkat keandalan. Hal ini dapat dilihat saejauh mana suplai energi listrik akan disalurkan secara kontiniu kepusat – pusat beban atau konsumen. Beberapa definisi ini diberikan untuk memahami faktor – faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi[15], yaitu :

1. Pemadaman / *interruption of suplay* yaitu terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, yang diakibatkan oleh satu atau lebih dari komponen yang sedang mengalami gangguan.
2. Keluar / *Outage* adalah keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagai mana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu outage dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih bergantung pada konfigurasi sistem.
3. Lama keluar *outage duratiion* adalah priode dari saat permulaan komponen mengalami outage sampai dengan saat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama pemadaman / *Interruption Duration* adalah waktu dari saat permulaan terjadinya emadaman sampai pada saat menyala kembali.
5. Jumlah total konsumen terlayani / *Total Number Of Costumer Servid* adalah jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan priode laporan akhir.
6. Priode Laporan adalah priode laporan yang diasumsikan selama satu tahun.

2.10 Metode *Section Technique*

Metode *Section Technique* adalah metode yang melakukan analisa keandalan dengan cara memecah sistem dalam bagian-bagian yang lebih kecil atau *section* terlebih dahulu, sehingga kemungkinan terjadi kesalahan dalam perhitungan dapat diminimalkan, serta waktu dalam penyelesaiannya membutuhkan waktu lebih lebih singkat[14].

Dalam metode *Section Technique* diasumsikan kegagalan peralatan tidak saling berhubungan, peralatan masing-masing dapat dianalisa secara terpisah. Jika kegagalan peralatan saling dihubungkan, maka perhitungan keandalan sistem menjadi lebih kompleks. Maka untuk menyederhanakan perhitungan tersebut dengan mengasumsikan bahwa setiap kegagalan tidak saling berhubungan.

Section Technique merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisa suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari suatu peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dari gangguan individual peralatan secara sistematis diidentifikasi dengan penganalasiaan apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing peralatan dianalisa dari semua titik beban (*load point*). Indeks keandalan yang dihitung adalah

indeks-indeks titik beban (*load point*) dan indeks-indeks sistem baik secara *section* maupun keseluruhan. Indeks *load point* antara lain :

- a. Frekuensi gangguan (*failure rate*) untuk setiap load point λ_{LP} , merupakan penjumlahan laju kegagalan terhadap load point, dengan persamaan:

$$\lambda_{LP} = \sum_{i=K} \lambda_i \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

λ_i = Laju kegagalan

K = Semua panjang saluran yang berpengaruh terhadap *Load Point*

- b. *Unavailability* titik beban (U_{lp}) merupakan Lama/durasi gangguan tahunan rata-rata untuk *load point* U_{lp} , dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_{lp} = \sum_i \lambda_i \cdot r \dots\dots\dots(2.6)$$

- c. Untuk menentukan waktu perbaikan (r)

$$r = \frac{U}{\lambda} \dots\dots\dots(2.7)$$

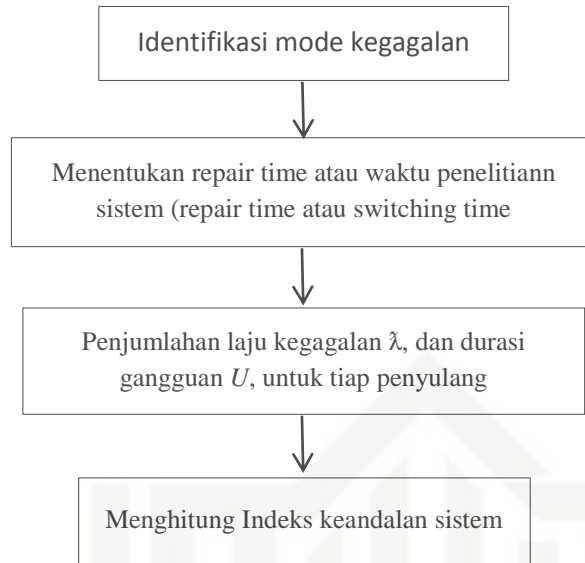
Dimana :

r = Waktu perbaikan (*repair time* atau *switching time*)

2.11 Metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA)

FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) merupakan suatu bentuk pendekatan yang melibatkan *bottom – up*, yang mana metode FMEA ini bertujuan untuk mengidentifikasi mode – mode penyebab kegagalan suatu sistem. Serta dampak – dampak yang timbulkan oleh suatu sistem yang mengalami keruakan [16]

Dalam penelitian ini tidak akan membahas mengenai data keandalan peralatan, studi ini akan terfokus dengan informasi keandalan sistem berdasarkan mode kegagalan dan efek kegagalan yang dialami sistem itu sendiri. Prosedur metode FMEA akan di terangkan dalam bentuk diagram alir (flowchart), seperti dibawah ini :



Gambar 2.11 Diagram alir (flowchart) FMEA[19]

Struktur algoritma dari metoda FMEA adalah sebagai berikut[16] :

1. Masukan data topologi jaringan, data konsumen dan data gangguan.
2. Menentukan waktu penelitian sistem jaringan dstribusi.
3. Menjumlahkan frekuensi kegagalan λ dan durasi gangguan U , setiap penyulang.
4. Menghitung nilai indeks keandalan CAIDI untuk mengetahui tingkat keandalan tiap penyulang.

Tahapam – tahapan proses penggunaan metoda FMEA[17] :

1. Identifikasi mode – mode kegagalan potensial selama proses / failure mode.
2. Identifikasi akibat kegagalan yang dialami pelanggan / failure effect
3. Tentukan nilai ‘severiti’.
4. Identifikasi penyebab – penyebab keagalan / causes.
5. Tentukan nilai ‘detection’.
6. Identifikasi pengendalian proses ‘detection’ dan ‘pervention’ / curren process control’.
7. Tentukan nilai ‘detection’
8. Hitung nilai RPN untuk menentukan prioritas tindakan yang harus diambil.
9. Tentukan ‘action’ yang harus diambil.
10. Hitung nilai ‘occurance’, ‘detection’ dan RPN yang baru.

Tabe 2.3 Lembar kerja FMEA[17]

<i>Component And fuction</i>	<i>Potential Failure mode</i>	<i>Potential Effect of Failure</i>	<i>S F V</i>	<i>Potential Cause of Failure</i>	<i>O C C</i>	<i>Curent controls</i>	<i>D F T</i>	<i>R P N</i>	<i>Recomm ended and action</i>

Keterangan :

1. *Component And fuction* : *Component and fuction* berisikan tentang komponen - komponen dan fungsi-fungsi dari bagian-bagian yang dilakukan analisa, dengan tujuan untuk memenu proses analisa.
2. *Potential Failure Mode*: *Potential Failure Mode* berisikan tentang jenis-jenis potensi kegagalan dari sebuah system.
3. *Potential Effect Of Failure*: *Potential Effect Of Failure* berisikan tentang akibat-akibat yang akan ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti yang disebutkan dalam *failure mode*.
4. *Severity*: *Severiy* adalah apabila suatu kegagalan pernah terjadi maka dalam melakukan penilaian akan jauh lebih mudah, tetapi jika suatu kegagalan itu belum pernah terjadi maka penilaian yang dilakukan hanya mampu dilakukan dengan perkiraan. *Severit* juga menunjukkan seberapa parahkah jika terjadi kegagalan. . Skala yang digunakan dalam penentuan nilai *severity* adalah 1 sampai dengan 10, dimana skala 1 untuk kejadian dengan efek yang sangat kecil dan skala 10 untuk kejadian atau kegagalan yang mempunyai efek yang sangat tinggi.

Tabel 2.4 Nilai *Severity*(17)

Rating	Kriteria	Efek
1	Tidak ada efek terhadap sistem.	Tidak Ada
2	Sistem dapat beroperasi normal, efek dari gangguan tidak mengganggu kinerja sistem.	Sangat Minor
3	Sistem dapat beroperasi normal, efek dari gangguan tidak mengganggu kinerja sistem, namun operator menyadari adanya gangguan.	Minor
4	Sistem dapat beroperasi normal, namun ada gangguan sesaat. Pelanggan tidak merasakan efeknya.	Sangat Rendah
5	Sistem dapat beroperasi, namun ada gangguan sesaat. Pelanggan merasakan efeknya.	Rendah

6	Sistem dapat dioperasikan, namun ada gangguan sesaat. Pelanggan merasakan pemadaman listrik sesaat.	Sedang
7	Sistem tidak dapat beroperasi karena gangguan besar. Pemadaman listrik terhadap pelanggan.	Tinggi
8	Sistem tidak dapat beroperasi karena gangguan permanen, hilangnya fungsi komponen sistem. Pemadaman listrik terhadap pelanggan.	Sangat Tinggi
9	Kegagalan sistem sangat tinggi, dapat merusak sistem dan berbahaya dengan adanya tanda-tanda kerusakan	Berbahaya dengan peringatan
10	Kegagalan sistem sangat tinggi, dapat merusak sistem dan berbahaya dengan adanya tanda-tanda kerusakan	Berbahaya tanpa ada peringatan
Keterangan : Penetapan <i>severity</i> merujuk pada ketentuan standar <i>Automotive Industry Action Group</i> (AIAG) dengan modifikasi kriteria dalam penyesuaian objek penelitian Sistem Jaringan Distribusi 20 kV.		

5. *Potential Causes Of Failure: Potential Causes Of Failure* berisikan tentang hal-hal yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu system.
6. *Occurrent (OCC) : Occurrence* merupakan tingkat seberapa sering terjadinya gangguan atau terjadinya kegagalan, atau dapat juga disebut sebagai tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Skala yang digunakan dalam menganalisa adalah 1 sampai dengan 10, dimulai dari 1 untuk kejadian dengan frekuensi yang jarang terjadi sampai dengan 10 untuk kejadian yang sering terjadi

Tabel 2.5 Nilai *Occurance*(17)

Peluang	Rating	Kejadian Gangguan Rata-rata	Frekuensi Kejadian (Tahun)
Sangat Kecil	1	Tidak Pernah gagal	<1
	2	1 per 1 Tahun	1
Rendah	3	1 per 6 Bulan	2
	4	1 per 3 Bulan	3-4
Sedang	5	1 per 2 Bulan	5-6
	6	1 per 1 Bulan	7-12
Tinggi	7	1 per 3 Minggu	13-16
	8	1 per 2 Minggu	17-24
Sangat Tinggi	9	1 per 1 Minggu	25-48
	10	1 per 1 Hari	>48
Keterangan : Penetapan <i>occurrence</i> merujuk pada ketentuan standar <i>Automotive Industry Action Group</i> (AIAG) dengan modifikasi kriteria dalam penyesuaian objek penelitian Sistem Jaringan Distribusi 20 kV.			

7. *Current Control* : *Current Control* menunjukan metode control apa yang sudah diterapkan untuk mengantisipasi terjadinya failure mode atau mendeteksi jika terjadi *failure mode*.
8. *Detection* : *Detection* merupakan nilai dari seberapa besar kemungkinan bahwa current control bias mendeteksi kegagalan (*Failure Mode*). Menggunakan skala 1 dengan keakuratan menunjukan kegagalan yang sedang terjadi dan skala 10 menunjukan tidak ada alat control yang mendeteksi kegagalan.

Tabel 2.6 Nilai *Detection*[17]

Rating	Kriteria	Efek
1	Kendali pasti dapat mendeteksi gangguan.	Pasti
2	Sangat Tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan.	Sangat Tinggi
3	Tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan.	Tinggi
4	Cukup tinggi terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan	Cukup tinggi
5	Sedang terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan.	Sedang
6	Rendah terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan.	Rendah
7	Kecil terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan	Kecil
8	Sangat kecil terdapat kendali untuk mendeteksi gangguan.	Sangat Kecil
9	Sedikit kendali untuk mendeteksi gangguan.	Sedikit
10	Tidak ada kendali untuk mendeteksi gangguan.	Tidak terdeteksi

Keterangan : Penetapan *detection* merujuk pada ketetapan standar *Automotive Industry Action Group* (AIAG) dengan modifikasi kriteria dalam penyesuaian objek penelitian Sistem Jaringan Distribusi 20 kV.

9. *Risk Priority Number*: *Risk Priority Number* merupakan data yang menyatakan hasil perkalian yang dilakukan antara *severity*, *occurrence*, dan *detection* sebagai mana dirumuskan dengan $RPN = Severity \times Occurrence \times Detections$. Hasil dari nilai RPN dapat digunakan untuk menentukan proses dan *failure mode* yang paling menjadi prioritas guna pengambilan tindakan perbaikan atau maintenance. Nilai dari RPN menunjukan keseriusan dari potensi *failure*, semakin tinggi nilai RPN yang diperoleh maka menunjukan semakin tinggi pula eror yang terjadi pada *system*, begitu pula dengan sebaliknya.

Pada perhitungan indeks keandalan sistem diasumsikan hanya berada pada kondisi imperfect switching dikarenakan dalam suatu eandalan semua komponen yang ada pada jaringan distribusi berpengaruh terhadap keandalan jaringan distribusi. Ada tiga cara langkah untuk mendapatkan nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI[5]. Yaitu :

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

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah jumlah rata keagalan yang terjadi perpelanggan yang dilayani persatuan waktu (umumnya tahunan). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua keaglan dalam satu tahu dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut. Persamaan untuk SAIFI dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k \cdot M_k}{\sum M} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

λ_k = Laju keagalan saluran

M_k = Jumlah pelanggan pada saluran

M = Total pelanggan pada saluran

2. SAIDI (*Sistem Average Interuption Duration Index*)

SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*) adalah nilai rata-rata dari lamanya keggalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya keagalan secara terus menerus untuk selama pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama setahun. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k M_k}{\sum M} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

M_k = Laju perbaikan saluran

M_k = Jumlah pelanggan pada saluran

M = Total pelanggan pada saluran

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

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration*) adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan waktu rata - rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \dots\dots\dots (2.10)$$

Berikut ini tabel data kegagalan untuk Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) sesuai standar PLN No. 59 Tahun 1985 mengenai “Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV” yang meliputi nilai *failure rate*, *repair time*, dan *switching time*(18):

Tabel 2.7 Data indeks kegagalan SUTM

Saluran Udara	
Sustained failure rate (λ /jam/tahun)	0,2
Momentary failure rate (λ /jam/tahun)	0,003
Repair time (r) (jam)	3
Switching time (rs) (jam)	0,15

Nilai *failure rate*, *repair time*, dan *switching time* komponen yang terdapat didalam sistem distribusi dapat dilihat pada tabel dibawah ini[18]:

Tabel 2.8 Data indeks kegagalan peralatan

Komponen	λ (unit/tahun)	r (jam)	Rs (jam)
Trafo	0,005	10	0,15
CB	0,004	10	0,15
Sectionalizer	0,003	10	0,15

Parameter-parameter yang umum dihitung untuk mengetahui keadaan suatu sistem, antara lain *failure rate* dan *unavailability* (U). Parameter yang dihitung untuk sistem distribusi adalah parameter dan U pada setiap titik beban (*load point*) pada jaringan sistem distribusi tersebut.