



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian terkait

Referensi yang terkait dengan Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV dapat dilihat dari penelitian sebelumnya mengenai “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Penyulang Kampus dengan Menggunakan Penggabungan Metode *Section Technique* dan *Reliability Indeks Assessment* (RIA)”. Latar belakang penelitian dimana metode *Section Technique* yang membagi wilayah penyulang menjadi beberapa bagian dengan LBS maupun *recloser* sebagai pembatasnya. Kemudian didalam perhitungan Indeks keandalannya akan dimasukkan metode RIA. Tujuan penelitian ini adalah menghitung Indeks Keandalan Sistem Penyulang Kampus yang mendekati hasil sebenarnya di lapangan. Hasil akhir dari tiap metode didapat bahwa nilai keandalan penyulang kampus masih memenuhi standar PLN yaitu nilai SAIFI sebesar 3 kali/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI sebesar 1,67 jam/pelanggan/tahun [6].

Penelitian Usulan Perbaikan Kualitas Produk Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) di Pabrik Roti Bariton. Latar belakang penelitian yaitu mengenai kegagalan produksi di perusahaan diakibatkan oleh faktor manusia, mesin, dan lingkungan. Beberapa kegagalan produksi disebabkan oleh cacat produk yaitu cacat bantat, cacat gosong, cacat bentuk, dan cacat ketebalan. Kegagalan yang terjadi dapat mengakibatkan penurunan kualitas produk roti Bariton. Tujuan penelitian ini adalah pengendalian kualitas yang dapat digunakan untuk mengetahui permasalahan peningkatan kualitas. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode tersebut dapat membantu untuk mengidentifikasi dan mendeteksi bentuk kegagalan yang dapat menyebabkan produk menjadi cacat. Hasil dari metode FMEA menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai RPN yang didapat akan menjadi acuan prioritas pengambilan tindakan perbaikan. Hasil dari usulan perbaikan untuk penyebab kegagalan tertinggi, didapatkan nilai RPN baru adalah 42, 36, 54, 72, 30, 14, 18, dan 24 [7].

Penelitian Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) APJ Banyuwangi dengan metode *Reliability Network Equivalent Approach* (RNEA). Latar belakang penelitian yaitu mengevaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV konfigurasi radial yang memerlukan perhitungan cukup rumit dan sangat banyak dengan pendekatan elemen ekuivalen. Tujuan penelitian ini adalah menggambarkan rangkaian ekuivalen



untuk mengganti jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi kedalam bentuk seri dan sederhana. Studi keandalan ini akan mendapatkan nilai indeks titik beban (*load point*) dan indeks sistem.. Hasil studi menunjukkan nilai SAIFI penyulang Bulog adalah sebesar 2,126 (padam/pelanggan/tahun) dan nilai SAIDI sebesar 5,220 (jam/pelanggan/tahun). Kemudian nilai SAIFI penyulang Rogojampi adalah sebesar 2,517 (padam/pelanggan/tahun) dan nilai SAIDI sebesar 6,446 (jam/pelanggan/tahun) [8].

Penelitian Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV di Surabaya dengan menggunakan *Loop Restoration Scheme* (LRS). Latar belakang penelitian dimana metode LRS merupakan sebuah metode pengontrolan sistem distribusi pada *feeder* untuk meningkatkan keandalan. Tujuan penelitian ini adalah sebagai evaluasi untuk mengetahui Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi di Surabaya. Berdasarkan hasil analisa dari penerapan LRS pada sistem distribusi ini didapatkan perbaikan nilai indeks keandalan dari kondisi normal konfigurasi PLN. Indeks nilai keandalan yaitu SAIFI= 0,4797 (*f/cost.year*), SAIDI = 2,1401 (*h/cost.year*) dan CAIDI = 4,461 (*h/cost.interruption*). Hasil analisa evaluasi ini mendapatkan perbaikan indeks keandalan yang cukup signifikan karena pada konfigurasi LRS dilakukan penambahan *Sectional Switch* dan *Automatic Recloser* pada setiap penyulang [9].

Penelitian Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Jaringan Spindel GI Nusa Dua PT. PLN (Persero) Distribusi Bali-UJ Kuta. Latar belakang penelitian yaitu mengetahui indeks keandalan sistem distibusi 20 kV. Tujuan penelitian adalah menganalisa keandalan sistem distribusi jaringan spindel sebagai evaluasi bagi PT. PLN (Persero) Distribusi Bali khususnya Unit Jaringan Kuta dalam memperbaiki kinerja penyulang-penyulang yang ada pada Gardu Induk Nusa Dua. Hasil studi menunjukkan nilai SAIFI untuk WCS adalah 3, GI Nusa Dua adalah 0,911 dan Sistem Bali 1,65, sedangkan nilai SAIDI untuk WCS adalah 100, GI Nusa Dua adalah 54 dan Sistem Bali 61,43 [10].

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa keandalan sistem distribusi 20 kV sangat penting terhadap kualitas pelayanan listrik ke konsumen. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi dan perhitungan indeks keandalan sistem distribusi 20 kV agar dapat mengetahui kondisi sistem distribusi 20 kV. Pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan keandalan sistem distribusi 20 kV, penelitian dilakukan menggunakan beberapa metode untuk menghitung nilai indeks keandalan. Namun penelitian tersebut belum memberikan usulan prioritas penanganan dari gangguan agar keandalan sistem

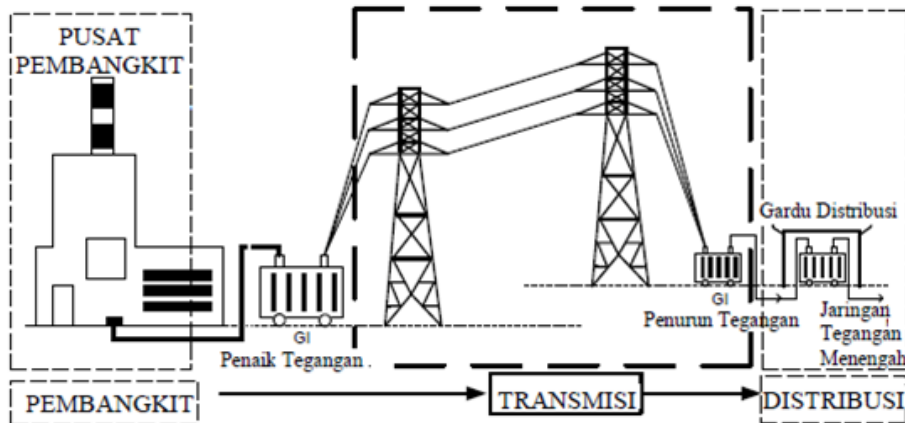


distribusi 20 kV meningkat. Salah satu penelitian terkait ada yang memberikan usulan perbaikan namun objek penelitian tersebut berbeda dengan pembahasan peneliti. Penelitian tersebut membahas mengenai kualitas produk sedangkan penelitian ini membahas mengenai keandalan sistem. Oleh karena itu, pada penelitian ini selain melakukan perhitungan indeks keandalan, juga akan memberikan usulan prioritas penanganan dari beberapa gangguan yang terjadi pada penyulang kulim sehingga akan meningkatkan keandalan sistem jaringan distribusi 20 kV.

## 2.2 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Pusat tenaga listrik umumnya terletak jauh dari pusat bebannya. Energi listrik yang dihasilkan oleh pusat pembangkitan disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan generator pembangkit relatif rendah (6 kV – 24 kV). Maka tegangan ini dinaikkan dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi antara 150 kV – 500 kV. Tujuan peningkatan tegangan ini, selain memperbesar daya hantar dari saluran, juga untuk memperkecil rugi daya dan susut tegangan pada saluran transmisi. Penurunan tegangan dari jaringan tegangan tinggi/ekstra tinggi sebelum ke konsumen dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan di gardu induk (GI), menurunkan tegangan dari 500 kV ke 150 kV atau dari 150 kV ke 70 kV. Kemudian yang kedua dilakukan pada gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20kV [2].

Saluran listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik sampai transformator terakhir sering disebut juga sebagai saluran transmisi, sedangkan dari transformator terakhir sampai konsumen terakhir disebut saluran distribusi atau saluran primer. Ada dua macam saluran transmisi/distribusi PLN yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*). Dari segi estetik, saluran bawah tanah lebih disukai dan juga tidak mudah terganggu oleh cuaca buruk seperti hujan petir, angin, dan sebagainya. Namun saluran kabel bawah tanah jauh lebih mahal dibanding saluran udara. Saluran kabel bawah tanah juga tidak cocok untuk daerah yang rawan banjir karena bila terjadi gangguan akan berbahaya [11].



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik [12]

## 2.3 Sistem Jaringan Distribusi

Tegangan sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20 kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20 kV sering disebut Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah [2].

### 2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV dan 20 kV [13]. Sistem jaringan distribusi primer dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster [2].

#### a. Jaringan Radial

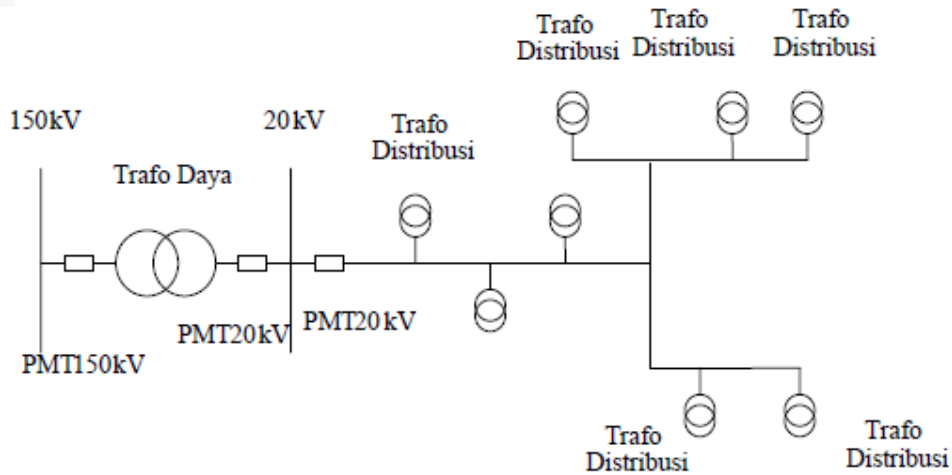
Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.2. adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Gardu distribusi dapat diletakkan dalam bangunan beton atau diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Hak Cipta Diindungi 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.

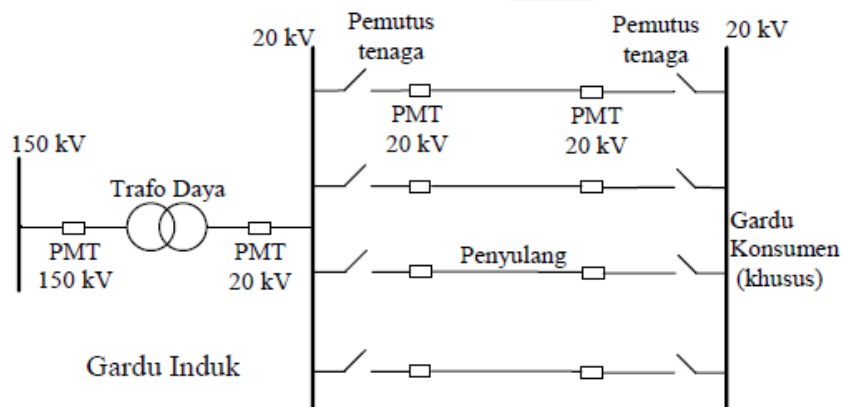


Gambar 2.2. Konfigurasi Jaringan Radial [2]

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

b. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

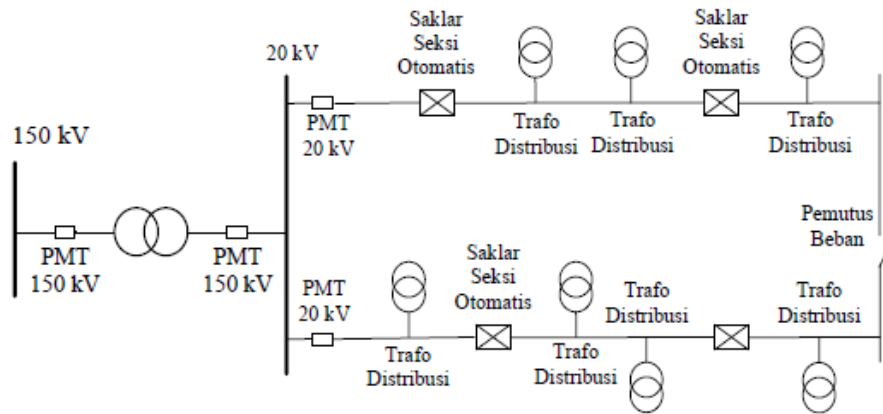
Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 2.3. digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain. Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.



Gambar 2.3. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung [2]

c. Jaringan Lingkar (*Loop*)

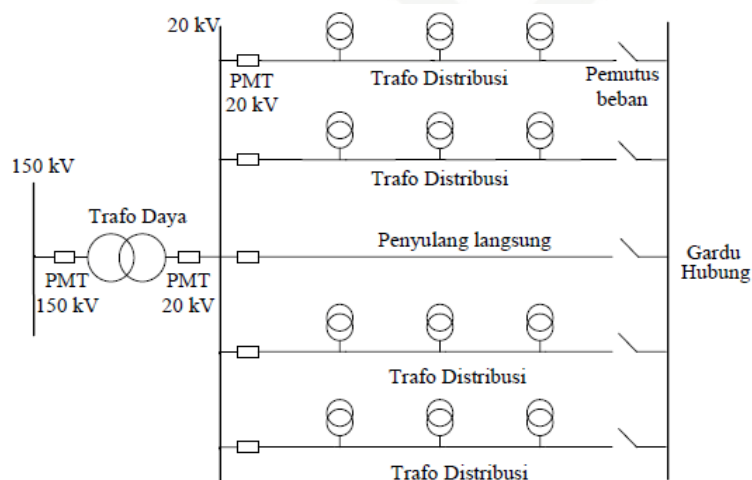
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (*Loop*) seperti Gambar 2.4. dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 2.4. Konfigurasi Jaringan Loop [2]

d. Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.5 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Sistem Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung. 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).



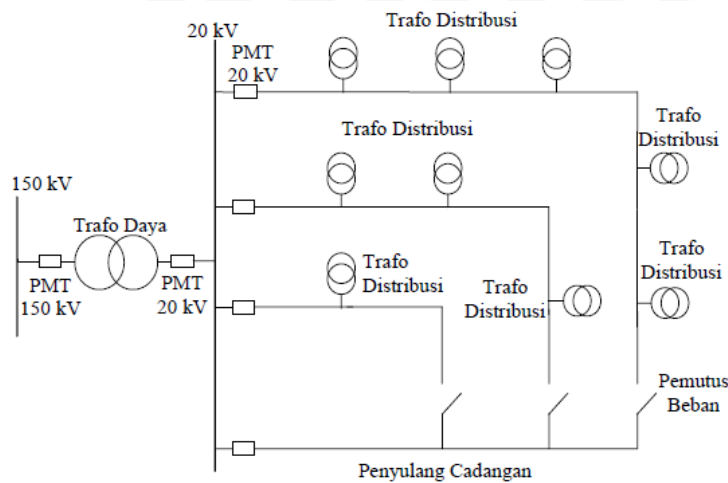
Gambar 2.5. Konfigurasi Jaringan Spindel [2]

- Hak Cipta Diindungi 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.

Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Didalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen Tegangan Rendah (TR) atau Tegangan Menengah (TM).

e. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6. banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kepadatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen



Gambar 2.6. Konfigurasi Sistem Kluster [2]

### 2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut sistem distribusi tegangan rendah merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu - gardu pembagi (trafo distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah 3 sampai 4 % lebih besar dari tegangan nominalnya. Penetapan ini sebanding dengan besarnya nilai tegangan jatuh (*voltage drop*) bahwa rugi-rugi daya pada suatu jaringan adalah 15 %. Dengan adanya pembatasan tersebut, maka stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu [14].

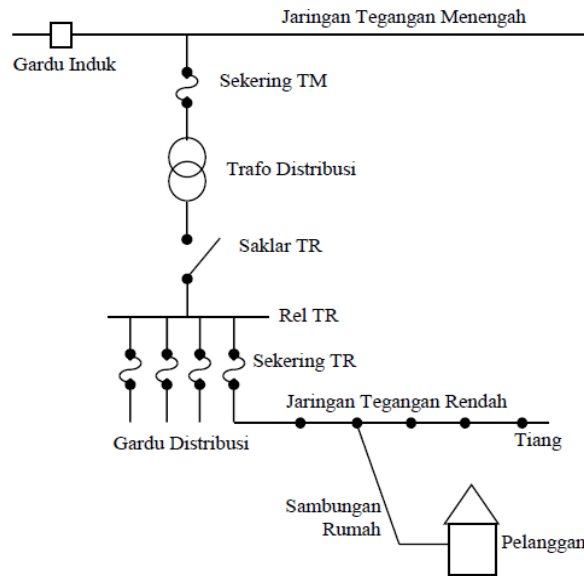
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.



Gambar 2.7. Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen [2]

## 2.4 Persyaratan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam usaha meningkatkan kualitas, keandalan dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut [2]. Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

### 2.4.1 Faktor Keandalan Sistem

- a. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus-menerus. Untuk hal tersebut diperlukan beberapa cadangan yaitu cadangan siap, cadangan panas dan cadangan diam.
  1. Cadangan siap adalah suatu cadangan yang didapat dari suatu pembangkit yang tidak dibebani secara penuh dan dioperasikan sinkron dengan pembangkit lain guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
  2. Cadangan panas adalah cadangan yang disesuaikan dari pusat pembangkit tenaga termis dengan ketel-ketel yang selalu dipanasi atau dari PLTA yang memiliki kapasitas air yang setiap saat mampu untuk menggerakkannya.





3. Cadangan diam adalah cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang tidak dioperasikan tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.

- b. Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat- alat pengaman dan alat pemutus tegangan (*air break switch*) pada setiap wilayah beban.
- c. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan cepat.

#### 2.4.2 Faktor Kualitas Sistem

- a. Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*voltage regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk menjamin kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil.
- b. Tegangan jatuh atau tegangan *drop* dibatasi pada harga 10 % dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu pada daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
- c. Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

#### 2.4.3 Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

- a. Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus terjamin dengan baik. Artinya, untuk daerah padat penduduknya diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.
- b. Keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

#### 2.4.4 Faktor Pemeliharaan Sistem

- a. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.



- b. Pengadaan material listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan spesifikasi material yang dipakai, sehingga bisa dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.

#### 2.4.5 Faktor Perencanaan Sistem

Perencanaan jaringan distribusi harus dirancang semaksimal mungkin, untuk perkembangan dikemudian hari. Perencanaan sistem distribusi hanya bisa dipenuhi bila tersedia modal (investasi) yang cukup besar, sehingga sistem bisa dilengkapi dengan peralatan-peralatan yang mempunyai kualitas tinggi. Selain pemeliharaan sistem yang berkesinambungan sesuai jadwal yang ditentukan, seringkali berakibat fatal pada sistem jaringan justru karena kelalaian dalam cara pemeliharaan yang sebenarnya, disamping perencanaan awal yang kurang memenuhi syarat.

Untuk sistem tenaga listrik yang besar, biaya untuk sistem distribusi bisa mencapai 50 % - 60 % investasi keseluruhan yang diperlukan untuk sistem tenaga listrik. Kemudian sistem distribusi merupakan bagian yang paling banyak mengalami gangguan-gangguan sehingga bisa mengganggu kontinuitas aliran tenaga listrik pada konsumen [2].

#### 2.5 Konstruksi Utama Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna listrik di suatu kawasan, penggunaan Sistem Tegangan Menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT. PLN (Persero) selaku pemegang kuasa usaha utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009 [15]. Dengan ditetapkannya standar Tegangan Menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria enjinereng keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara fase dengan lingkungan dan antara fase dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan Saluran Udara atau ketahanan Isolasi jika menggunakan Kabel Udara Pilin Tegangan Menengah atau Kabel Bawah Tanah Tegangan Menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan konsumen. Ukuran dimensi konstruksi selain untuk pemenuhan syarat pendistribusian daya, juga wajib memperhatikan syarat ketahanan isolasi penghantar untuk keamanan pada tegangan 20 kV. Lingkup Jaringan Tegangan Menengah pada sistem distribusi di Indonesia dimulai dari



terminal keluar (*out-going*) pemutus tenaga dari transformator penurun tegangan Gardu Induk atau transformator penaik tegangan pada Pembangkit untuk sistem distribusi skala kecil, hingga peralatan pemisah/proteksi sisi masuk (*in-coming*) transformator distribusi 20 kV- 231/400V [15].

### 2.5.1 Konstruksi Jaringan Tenaga Listrik Tegangan Menengah

Konstruksi jaringan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dapat dikelompokkan menjadi 3 macam konstruksi [15], sebagai berikut :

#### a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*). Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

#### b. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin. Isolasi penghantar tiap fase tidak perlu di lindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.

#### c. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi



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.

isolasi penghantar per fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan conduit atau bahkan *tunneling* (terowongan beton).

**2.5.2 Komponen Utama Kontruksi SUTM**

Komponen Utama Kontruksi SUTM dapat dikelompokkan sebagai berikut [15].

a. Penghantar

1. Penghantar Telanjang (BC : *Bare Conductor*)

Konduktor dengan bahan utama tembaga (Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat padat , sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987. Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

2. Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (*half insulated single core*)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (*crosslink polyethylene* langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995.

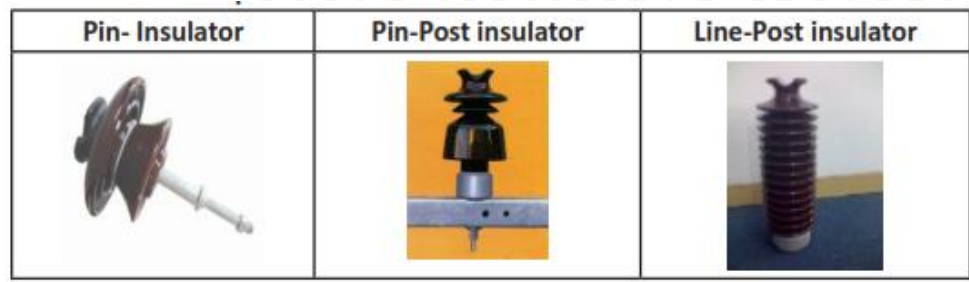
3. Penghantar Berisolasi Penuh (*Three single core*)

XLPE dan berselubung PVC berpenggantungan penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV. Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh memenuhi SPLN 43-52:1995-Kabel.

b. Isolator



Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/*travers* dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah :

1. Isolator Tumpu



Gambar 2.8 Jenis Isolator Tumpu [15]



2. Isolator Tarik

Piringan	Long-Rod	Keterangan
		Material dasar isolator Long-Rod dapat berupa keramik atau gelas atau polimer

Gambar 2.9 Jenis Isolator Tarik [15]

c. Peralatan Hubung (*Switching*)

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudahan operasional harus dipasang Pemutus Beban (*Load Break Switch : LBS*), selain LBS dapat juga dipasangkan *Fused Cut-Out (FCO)*.

Fused Cut-Out	Load Break Switch
	

Gambar 2.10 Contoh Letak Pemasangan FCO dan LBS [15]

d. Tiang

1. Tiang Kayu

SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT. PLN (Persero) bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar penghantar SUTM.

2. Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bilamana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat diwilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarangi 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.



## 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.

3. Tiang Beton
 

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan di seluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil.
- e. Gardu Distribusi (Trafo Distribusi)
  1. Gardu Portal
 

Gardu Portal adalah gardu listrik tipe terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang – kurangnya 3 meter diatas tanah dan ditambahkan *platform* sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel / PHB-TR pada bagian bawah.
  2. Gardu Cantol
 

Gardu Cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN. Gardu Cantol (*Single Pole Mounted distribution substation*), dimana transformator dan panel Tegangan Rendah menjadi satu yang dicantolkan pada tiang dan umumnya adalah transformator jenis *Completely Self Protected* (CSP).
- f. Pengaman
  1. *Over Current Relay* (OCR)
 

*Over Current Relay* atau Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan kenaikan arus yang melewatinya dan juga dapat berdasarkan *setting* waktu yang ditentukan. Pengukuran waktu berhubungan dengan masalah koordinasi pengaman. Terdapat 2 karakteristik Rele arus lebih yaitu :

    - 1.1 Rele arus lebih seketika (*instantaneous over current relay*)
 

Rele arus lebih seketika adalah jenis rele arus lebih yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele yaitu mulai saat rele mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja.
    - 1.2 Rele arus lebih tertentu (*definite time*)
 

Rele arus lebih tertentu adalah jenis rele arus lebih dimana jangka waktu rele mulai *pick-up* sampai selesainya kerja rele dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus *setting* maka waktu kerja rele ditentukan oleh waktu *setting*-nya).

Hak Cipta Diindungi 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. *Ground Fault Relay (GFR)*

*Ground Fault Relay* atau rele hubung tanah berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Terdapat 2 karakteristik Rele hubung tanah yaitu :

### 2.1 Rele hubung tanah seketika (*instantaneous ground floor relay*)

Rele hubung tanah seketika adalah jenis rele hubung tanah yang prinsip kerjanya sama dengan *instantaneous over current relay*.

### 2.2 Rele hubung tanah tertentu

Rele hubung tanah seketika adalah jenis rele hubung tanah yang prinsip kerjanya sama dengan rele arus lebih tertentu.

## 3. *Under Frequency Relay*

*Under Frequency Relay* atau rele frekuensi rendah adalah rele yang bekerja ketika terjadi penurunan frekuensi/telah mencapai nilai frekuensi yang di-*setting*. Rele UFR digunakan pada pengaturan sistem tenaga listrik untuk menjaga kestabilan frekuensi dengan cara digunakan sebagai pelepas beban secara otomatis jika terjadi penurunan frekuensi.

## 4. Pemutus Balik Otomatis (PBO) atau *recloser*

PBO atau *Recloser* adalah pemutus balik otomatis (*Automatic Circuits Recloser*) yang secara fisik mempunyai kemampuan sebagai pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat. Pemutus Balik Otomatis (*PBO/Automatic Circuit Recloser*) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. *Recloser* ini memutus arus dan menutup kembali secara otomatis dengan selang waktu yang dapat diatur sesuai dengan *setting interval recloser*.

## 5. *Lightning Arrester (LA)*

*Lightning Arrester (LA)* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Prinsip kerjanya dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ketanah. LA membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan.



## 2.6 Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 kV

Keandalan sistem jaringan distribusi berkaitan dengan ketersediaan dan kualitas pasokan listrik di setiap jaringan pelanggan. Analisa dari statistik kegagalan pelanggan telah menunjukkan bahwa kegagalan sistem distribusi berkontribusi sebanyak 90% terhadap tersedianya pasokan ke beban [16]. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya evaluasi keandalan sistem distribusi diperoleh. Keandalan 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 dan juga bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks. Dengan demikian keandalan dapat digunakan untuk membandingkan suatu peralatan atau sistem dengan peralatan atau sistem yang lain. Evaluasi keandalan ada dua macam, yaitu penilaian secara kualitatif dan secara kuantitatif [16]. Terdapat lima faktor yang memegang peranan terhadap keandalan suatu sistem jaringan distribusi 20 kV yaitu :

1. Fungsi, Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Kegagalan fungsi dari komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tak terencana (*Unplanned Maintenance*). Fungsi atau kinerja dari suatu komponen terhadap suatu sistem mempunyai tingkatan yang berbeda-beda.
2. Probabilitas, Angka yang menyatakan berapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu sistem atau saluran.
3. Kecukupan *Performance*, Menunjukkan kriteria kontinuitas suatu saluran sistem penyalur tenaga listrik tanpa mengalami gangguan.
4. Waktu, Lama suatu saluran bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama saluran digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadi kegagalan.
5. Kondisi Operasi, Keandalan lingkungan kerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembaban udara dan getaran yang mempengaruhi kondisi operasi.

Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya. Keandalan sistem harus dapat menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan





daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Apabila tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan *manuver* tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya. Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan tergantung kepada jenis sarana penyalur dan peralatan pengaman. Jaringan distribusi sebagai sarana penyalur tenaga listrik mempunyai tingkat kontinuitas tergantung kepada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah mengalami gangguan [17]. Tingkatan-tingkatan tersebut antara lain:

Tingkat 1 : dimungkinkan berjam-jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.

Tingkat 2 : padam beberapa jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lokasi gangguan, melokalisasi dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3 : padam beberapa menit; manipulasi oleh petugas yang jaga di gardu atau dilakukan deteksi atau pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4 : padam beberapa detik; pengamanan atau manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5 : tanpa padam; dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatisasi penuh.

Umumnya jaringan distribusi luar kota (pedesaan) terdiri dari jenis saluran udara dengan sistem jaringan radial mempunyai kontinuitas tingkat 1, sedangkan untuk pelayanan dalam kota susunan jaringan yang dipakai adalah jenis kabel tanah dengan sistem jaringan spindel yang mempunyai kontinuitas tingkat 2 [17].

### 2.5.1 Faktor-Faktor Nilai Keandalan Tahunan

Ada beberapa faktor yang harus diketahui dan dihitung sebelum melakukan perhitungan analisa keandalan [18], antara lain:

#### a. *Mean Time To Failure* (MTTF)

*Mean Time To Failure* (MTTF) adalah waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu sistem [18]. Dirumuskan sebagai berikut:

$$MTTF = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n} \quad (2.1)$$

**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.

**Keterangan :** T = Waktu operasi (*up time*)

N = Jumlah kegagalan

b. *Mean Time To Repair* (MTTR)

*Mean Time To Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap terjadinya kegagalan suatu sistem [18]. Dirumuskan sebagai berikut :

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

**Keterangan :** L = Waktu perbaikan

N = Jumlah lama perbaikan

c. Laju Kegagalan Tahunan

Laju kegagalan adalah frekuensi suatu sistem/komponen gagal bekerja, biasanya dilambangkan dengan  $\lambda$  (lamda). Laju kegagalan dari suatu sistem biasanya tergantung dari waktu tertentu selama sistem tersebut bekerja [18]. Dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda_{th} = \frac{1}{MTTF} \quad (2.3)$$

d. Laju Perbaikan Tahunan

Laju Perbaikan atau *downtime rate* adalah frekuensi lamanya suatu sistem/komponen dalam masa perbaikan (kondisi *OFF*) [18]. Dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{th} = \frac{1}{MTTR} \quad (2.4)$$

**2.5.2 Indeks Keandalan**

Indeks Keandalan merupakan suatu metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi tenaga listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada pelanggan [18]. Indeks ini antara lain adalah sebagai berikut :

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

SAIFI adalah jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu (umumnya tahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah

semua kegagalan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut [18]. Persamaan SAIFI dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k . M_k}{\sum M} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\lambda_k$  = laju kegagalan saluran k

$M_k$  = jumlah pelanggan pada saluran k

$M$  = total pelanggan pada sistem

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

SAIDI adalah nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap pelanggan selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus-menerus untuk semua pelanggan selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah pelanggan yang dilayani selama setahun [18]. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k . M_k}{\sum M} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$\mu_k$  = laju perbaikan saluran k

$M_k$  = jumlah pelanggan pada saluran k

$M$  = total pelanggan pada sistem

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

CAIDI adalah indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun [18].

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.7)$$

## 2.7 Metode Analisis Sistem

Sistem merupakan kumpulan objek yang saling berinteraksi dan bekerjasama untuk mencapai suatu tujuan. Metode-metode analisis sistem digunakan untuk menganalisis adanya kesalahan dalam suatu sistem. Analisis sistem dapat dilakukan secara sederhana



maupun secara kompleks, akan tetapi secara umum analisis sistem akan melibatkan dua kategori pertanyaan [19], sebagai berikut:

a. Pertanyaan yang berkaitan dengan sebab

Sebab adalah suatu kondisi yang akan mengakibatkan munculnya kejadian lain dalam sistem. Sebab merupakan kejadian pertama yang harus dianalisis dengan benar supaya dapat mencegah munculnya kejadian-kejadian lainnya yang tidak diinginkan. Adapun contoh sebuah pertanyaan yang berkaitan dengan sebab yaitu misalnya apa penyebab kereta api bisa bertabrakan.

b. Pertanyaan yang berkaitan dengan akibat

Akibat adalah suatu kondisi yang akan muncul di dalam sistem karena adanya sebab. Analisis kemudian dilakukan untuk mengetahui akibat apa yang muncul jika suatu kondisi awal (sebab) terjadi. Adapun contoh pertanyaan berkaitan dengan akibat misalnya apa yang akan terjadi jika sopir pada saat mengemudi dalam kondisi mabuk.

Beberapa metode yang digunakan untuk melakukan analisis sistem [19], sebagai berikut:

1. *Accident analysis*

*Accident analysis* digunakan untuk mengevaluasi munculnya suatu kejadian yang tidak diinginkan dengan menggunakan skenario-skenario kejadian. Setiap kejadian harus diidentifikasi dan diinvestigasi dengan baik untuk mencari penyebabnya.

2. *Action error analysis*

*Action error analysis* digunakan untuk menganalisis interaksi antara mesin dan manusia. Tujuan *action error analysis* adalah untuk mencari akibat yang ditimbulkan jika manusia membuat kesalahan dalam melaksanakan tugas yang berkaitan dengan mesin-mesin otomatis.

3. *Barrier analysis*

*Barrier analysis* diaplikasikan dengan mengidentifikasi kemungkinan kebocoran aliran energi dan kemudian mengidentifikasi atau memperbaiki penghambat untuk mencegah kerusakan atau kecelakaan karena energi yang berlebihan. *Barrier analysis* akan melakukan analisis kualitatif terhadap sistem, keamanan sistem dan kecelakaan atau kerusakan yang ditimbulkan karena adanya aliran energi yang berlebihan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

4. *Cable failure matrix analysis*  
Digunakan untuk mengidentifikasi resiko-resiko yang berkaitan dengan semua bentuk kerusakan kabel dan berkaitan dengan bentuk, pencegahan kerusakan dan pengamanan kabel. Apabila kabel rusak, maka sistem menjadi terganggu dan kerusakan sistem dapat terjadi. Ketidakcocokan desain kabel dapat mengakibatkan kerusakan dan kecelakaan pada sistem.
5. *Cause consequence analysis*  
Mengkombinasikan teknik analisis *bottom up* dan *top down* dari *even tree analysis* dan *fault tree analysis*. Hasil yang diperoleh adalah didapatkannya skenario penyebab kerusakan yang paling potensial. Merupakan alat untuk mengevaluasi berbagai resiko pada suatu sistem kompleks.
6. *Checklist Analysis*  
*Checklist Analysis* adalah metode perbandingan untuk kriteria atau perangkat yang akan digunakan sebagai memori. Analisis ini menggunakan daftar catatan untuk mengidentifikasi bahaya peralatan, desain atau kekurangan operasional. *Checklist Analysis* dapat digunakan dalam setiap jenis analisis keselamatan, keamanan *review*, inspeksi, survei, atau pengamatan.
7. *Common cause analysis*  
*Common cause analysis* digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan atau peristiwa yang terjadi saat ini dan selalu berulang pada suatu sistem, operasi atau prosedur. *Common cause* akan muncul pada keseluruhan sistem yang terdiri atas perilaku manusia, aktivitas, desain sistem dan semua komponen yang mengakibatkan kejadian berulang.
8. *Critically analysis*  
Tujuan dari *critically analysis* adalah untuk mencari faktor terpenting penyebab kerusakan pada metode *failure modes and effect analysis*. Teknik ini dapat diaplikasikan pada semua sistem, proses, prosedur, dan semua elemen-elemennya.
9. *Even tree analysis*  
*Even tree analysis* memodelkan urutan kejadian mulai dari kejadian-kejadian awal. Metode ini dapat digunakan untuk menyusun, memisahkan dan mengkualifikasi kejadian yang paling penting mulai dari kejadian-kejadian yang paling awal.

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.



#### Hak Cipta Diindungi 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.

### 10. *External Event Analysis*

Tujuan dari *External Event Analysis* adalah untuk memusatkan perhatian pada peristiwa-peristiwa buruk yang berada di luar dari sistem yang diteliti. Hal ini diperlukan untuk lebih berhipotesis dengan jangkauan peristiwa/kejadian yang mungkin memiliki efek pada sistem yang diperiksa.

### 11. *Failure mode and effect analysis (FMEA)*

FMEA merupakan metode analisis induktif untuk mengidentifikasi kerusakan pada sistem. Analisis dapat dilakukan pada komponen-komponen elektrik, elektronik, dan sistem perangkat keras.

### 12. *Failure mode, effect and critically analysis (FMECA)*

Hampir sama dengan *FMEA* akan tetapi ditambahkan dengan nilai kritik.

### 13. *Fault Hazard*

Sebuah teknik sistem keamanan yang merupakan cabang dari *FMEA*. Mirip dengan *FMEA*, namun kegagalan yang dapat membahayakan kemudian dievaluasi. Bahaya dan kegagalan merupakan hal yang berbeda. Kegagalan yang berpotensi bahaya, menandakan kondisi tidak aman. Ketika hasil kegagalan dinyatakan tidak aman kondisi itu dianggap berbahaya. Banyak bahaya yang berkontribusi pada risiko tertentu.

### 14. *Fault tree analysis (FTA)*

*FTA* merupakan metode analisis deduktif untuk mengidentifikasi terjadinya kerusakan pada sistem dengan cara menggambarkan alternatif-alternatif kejadian dalam suatu blok diagram secara terstruktur. Analisis deduktif dapat dilakukan pada semua sistem kompleks.

### 15. *Pareto Chart* (Diagram Pareto)

Diagram Pareto merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan *ranking* tertinggi hingga terendah. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang terpenting untuk segera diselesaikan (*ranking* tertinggi) sampai dengan yang tidak harus segera diselesaikan (*ranking* terendah). Diagram Pareto dibuat berdasarkan data statistik dan prinsip bahwa 20% penyebab bertanggung jawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya.

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan Diagram Pareto untuk penentuan gangguan sistem tertinggi, kemudian metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan metode



*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dalam melakukan analisis gangguan pada sistem jaringan distribusi 20 kV.

## 2.8 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Teknik untuk mengidentifikasi kegagalan (*failure*) dari suatu sistem dengan memakai *fault tree* (FT) diperkenalkan pertama kali pada tahun 1962 oleh *Bell Telephone Laboratories* dalam kaitannya dengan studi tentang evaluasi keselamatan sistem peluncuran *minuteman missile* antar benua. *Boeing company* memperbaiki teknik yang dipakai oleh *Bell Telephone Laboratories* dan memperkenalkan program komputer untuk melakukan analisa dengan memanfaatkan FT baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. *Fault Tree Analysis (FTA)* berorientasi pada fungsi (*functionoriented*) atau yang lebih dikenal dengan “*top down*” *approach* karena analisa ini berawal dari sistem level (*top*) dan meneruskannya ke bawah. Titik awal dari analisa ini adalah mengidentifikasi mode kegagalan fungsional pada *top level* dari suatu sistem atau subsistem. FTA adalah teknik yang banyak dipakai untuk studi yang berkaitan dengan resiko dan keandalan dari suatu *system engineering*. *Event* potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem *engineering* dan probabilitas terjadinya *event* tersebut dapat ditentukan dengan FTA. Sebuah *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem (*system failure*), harus ditentukan terlebih dahulu dalam mengkonstruksikan FTA. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan yang didefinisikan pada *top event*. FT adalah sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menyebabkan awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan. Setelah mengidentifikasi *top event*, *event-event* yang memberi kontribusi secara langsung terjadinya *top event* diidentifikasi dan dihubungkan ke *top event* dengan memakai hubungan logika (*logical link*) seperti gerbang OR (*OR gate*) dan sampai dicapai *event* dasar yang *independent* dan seragam (*mutually independent basic event*). Analisa deduktif ini menunjukkan analisa kualitatif dan kuantitatif dari *system engineering* yang dianalisa. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol grafis yang dipakai untuk menyatakan hubungan disebut gerbang logika (*logika gate*). *Output* dari sebuah gerbang logika ditentukan oleh *event* yang masuk ke gerbang tersebut [20]. Sebuah FTA secara umum dilakukan dalam 5 tahapan, yaitu


1. Mendefinisikan problem dan kondisi batas (*boundary condition*) dari sistem

2. Pengkontruksian *fault tree*
3. Mengidentifikasi minimal *cut set* atau minimal *path set*
4. Analisa kualitatif dari *fault tree*
5. Analisa kuantitatif *fault tree*

Simbol-simbol yang digunakan pada *Fault Tree Analysis* (FTA), dapat dilihat pada

Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Simbol-simbol *Fault Tree Analysis* [20]

No	Nama	Simbol	Deskripsi
1	<i>Top Event</i>		<i>Top Event</i> merupakan kondisi <i>Undesired Event</i> yang selanjutnya dikembangkan menjadi level-level yang lebih rendah.
2	<i>Logic Event AND</i>		<i>Logic Event AND</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi secara bersamaan.
3	<i>Logic Event OR</i>		<i>Logic Event OR</i> . <i>Output event</i> terjadi paling tidak satu <i>input event</i> terjadi.
4	<i>Transferred Event</i>		<i>Transferred Event</i> . Menunjukkan logika yang dibangun dilanjutkan pada bagian lain atau menunjukkan logika yang dibangun merupakan kelanjutan dari suatu bagian logika yang lain.
5	<i>Undeveloped event</i>		<i>Undeveloped event</i> . Merupakan sebuah <i>event</i> yang tidak dapat dikembangkan lebih lanjut dikarenakan ketidakcukupan alasan atau informasi yang tidak dapat diperoleh.
6	<i>Basic Event</i>		<i>Basic event</i> . <i>Event</i> ini adalah kondisi batas paling bawah dari <i>fault tree</i> dan tidak bisa dikembangkan lagi menjadi <i>event-event</i> yang lebih rendah.

## 2.9 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Selama tahun 1970-an, penggunaan FMEA dan teknik terkait menyebar ke industri lainnya. Pada tahun 1971, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) menyiapkan laporan untuk *US Geological Survey* merekomendasikan penggunaan FMEA dalam penilaian eksplorasi minyak lepas pantai. Pada tahun 1973, laporan US





*Environmental Protection Agency* menggambarkan penerapan FMEA untuk instalasi pengolahan air limbah. FMEA sebagai aplikasi untuk HACCP pada Program Luar Angkasa Apollo pindah kemakanan industri secara umum [21].

Industri otomotif mulai menggunakan FMEA pada pertengahan 1970-an. *The Ford Motor Company* memperkenalkan FMEA untuk industri otomotif untuk keselamatan dan pertimbangan peraturan setelah Pinto urusan. *Ford* menerapkan pendekatan yang sama untuk proses (PFMEA) untuk mempertimbangkan proses potensial yang disebabkan kegagalan sebelum meluncurkan produksi. Pada tahun 1993 Industri Otomotif Kelompok Aksi pertama kali diterbitkan standar FMEA untuk industri otomotif. Meskipun awalnya dikembangkan oleh militer, metodologi FMEA sekarang banyak digunakan dalam berbagai industri termasuk pengolahan semikonduktor, pelayanan makanan, plastik, perangkat lunak, dan kesehatan [21].

*Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) adalah salah satu metode analisa kegagalan/potensi kegagalan yang diterapkan dalam pengembangan produk, *system engineering* dan manajemen operasional. Kadang-kadang FMEA diperpanjang untuk FMECA untuk menunjukkan bahwa analisis kekritisan dilakukan juga. FMEA adalah penalaran induktif (logika maju) titik analisis kegagalan dan adalah tugas inti dalam rekayasa keandalan, teknik keselamatan dan rekayasa kualitas. Kegiatan FMEA membantu untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial berdasarkan pengalaman dengan produk sejenis dan proses atau berdasarkan fisika umum dari logika kegagalan. Hal ini banyak digunakan dalam pengembangan dan manufaktur industri di berbagai tahapan siklus hidup produk. Analisis efek mengacu dan mempelajari konsekuensi dari kegagalan-kegagalan pada tingkat sistem yang berbeda.

Analisis fungsional diperlukan sebagai masukan untuk menentukan mode kegagalan yang benar, di semua tingkat sistem. Sebuah FMEA digunakan untuk struktur Mitigasi untuk pengurangan risiko berdasarkan baik kegagalan (modus) pengurangan keparahan efek atau dengan menurunkan probabilitas kegagalan atau keduanya. FMEA adalah prinsip induktif penuh (logika maju) analisis, namun probabilitas kegagalan hanya dapat diperkirakan atau dikurangi dengan memahami mekanisme kegagalan. Idealnya probabilitas ini akan diturunkan menjadi "tidak mungkin terjadi" dengan menghilangkan *root* (akar) yang menyebabkan. Oleh karena itu penting untuk memasukkan dalam FMEA informasi yang tepat tentang penyebab kegagalan (analisis deduktif) [21].



FMEA dilakukan untuk menganalisa potensi kesalahan atau kegagalan dalam sistem atau proses, dan potensi yang teridentifikasi akan diklasifikasikan menurut besarnya potensi kegagalan dan efeknya terhadap proses. Metode ini membantu tim proyek untuk mengidentifikasi *potential failure mode* yang berbasis kepada kejadian dan pengalaman yang telah lalu yang berkaitan dengan produk atau proses yang serupa. FMEA membuat tim mampu merancang proses yang bebas *waste* dan meminimalisir kesalahan serta kegagalan [21]. Berikut gambar 2.8 yang merupakan lembar kerja dari metode FMEA.

FMEA Analysis Worksheet										
Process/Product:										
FMEA Team:										
Team Leader:										
FMEA Process										
Component & Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Controls	Detection	RPN	Recomm'd Action	Response & Target Completion Date

Gambar 2.11 Lembar Kerja FMEA [21]

Perlu dipahami beberapa terminologi yang berhubungan dengan penggunaan *Failure Mode and Effect Analysis* adalah sebagai berikut:

1. **Component**  
Komponen dari sistem atau alat yang dianalisis.
2. **Potential Failure Mode**  
Menggambarkan bentuk kesalahan yang mungkin terjadi selama kegiatan proses sistem.
3. **Failure Effect**  
Dampak atau akibat yang ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti disebutkan dalam *potential failure mode*.
4. **Severity (S)**  
Merupakan tahapan yang akan mengetahui seberapa serius kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *Failure Effect*.  
Berikut nilai skala *severity* yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

Hal-hal yang Dilarang Diadakan/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.

Tabel 2.2 Nilai *Severity* [5]

<i>Rating</i>	<i>Kriteria</i>	<i>Efek</i>
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 *severity* merujuk pada ketetapan standar *Automotive Industry Action Group* (AIAG) dengan modifikasi kriteria dalam penyesuaian objek penelitian Sistem Jaringan Distribusi 20 kV.

5. *Causes*

Kondisi apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada suatu komponen.

6. *Occurance* (O)

Tingkatan kemungkinan terjadinya kegagalan. Berikut nilai skala *Occurance* yang dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai *Occurance* [5]

<i>Peluang</i>	<i>Rating</i>	<i>Kejadian Gangguan Rata-rata</i>	<i>Frekuensi Kejadian (Tahun)</i>
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

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Diarangi 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.

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

7. *Current Controls*

Tindakan ataupun cara bagaimana menanggulangi dan memecahkan masalah yang ada atau mengurangi angka terjadinya kerusakan.

8. *Detection (D)*

Tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dipasang. Berikut nilai skala *Detection* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai *Detection* [5]

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 (RPN)*

RPN adalah indikator kekritisannya untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan moda kegagalan. RPN digunakan oleh banyak prosedur FMEA untuk menaksir resiko yang menggunakan tiga kriteria yaitu *severity*, *occurance* dan *detection*. Angka prioritas RPN merupakan hasil kali rating keparahan (*severity*), kejadian (*occurance*) dan deteksi (*detection*). Nilai RPN yang tinggi akan



#### 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.

membantu memberikan pertimbangan untuk tindakan korektif pada setiap mode kegagalan. Berikut ini merupakan rumus RPN :

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.8)$$

Keterangan :

S = Nilai *Rating Severity*

O = Nilai *Rating Occurance*

D = Nilai *Rating Detection*

Setelah dilakukan perhitungan RPN untuk masing-masing potensi kesalahan maka dapat disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut. Apabila digunakan skala 10 untuk masing-masing *variable* maka nilai tertinggi RPN adalah =  $10 \times 10 \times 10 = 1000$ . Bila digunakan skala 5, maka nilai tertinggi adalah =  $5 \times 5 \times 5 = 125$ . Terhadap nilai RPN tersebut dapat dibuat klasifikasi tinggi, sedang dan rendah atau ditentukan secara umum bahwa untuk nilai RPN di atas 200 (*cut-off points*) harus dilakukan penanganan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan dan dampaknya serta pengendalian deteksinya [23].

### 2.10 SOP Komponen Sistem Jaringan Distribusi 20 kV

Adapun beberapa *Standing Operating Procedures* (SOP) komponen sistem distribusi [24], sebagai berikut:

- a. Mengoperasikan SUTM baru
  1. Tegangan pada jaringan diperiksa dengan peralatan tester sesuai SOP dan Ketentuan K3.
  2. *Cut Out trafo portal* baru yang terpasang dibuka sesuai standar operasi.
  3. Nilai tahanan isolasi SUTM diukur sesuai standar operasi.
  4. Urutan fase SUTM dan kontinuitas jaringan diperiksa sesuai standar operasi.
  5. Pemberian tegangan pada jaringan SUTM baru dilaksanakan sesuai SOP pengoperasian JTM.
- b. Mengoperasikan dan *manuver* jaringan SUTM
  1. Pemasukan dan pelepasan beban pada jaringan SUTM dilaksanakan sesuai dengan *Standing Operation Procedure* (SOP).
  2. Jaringan SUTM yang terganggu dilacak secara fisik, sesuai standar operasi.
  3. Seksi jaringan SUTM yang terganggu dilokalisir dengan membuka peralatan hubung SUTM atau melepas jumper, sesuai standar operasi.



**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.

4. Seksi jaringan SUTM yang terganggu dilokalisir dengan membuka peralatan hubung SUTM atau melepas jumper, sesuai standar operasi.
5. Jaringan SUTM yang terganggu/dilokalisir diperiksa dengan tester untuk memastikan tidak ada tegangan, sesuai prosedur K3 dan standar operasi.
6. Nilai tahanan Isolasi SUTM untuk analisa gangguan diukur sesuai standar operasi.
7. Pemberian tegangan untuk jaringan SUTM, dilaksanakan sesuai SOP.
8. Pembebanan pada jaringan SUTM yang lain dilaksanakan berdasarkan hitungan, sesuai standar operasi.
- c. Mengganti *fuse cut out* pada SUTM
  1. Alat keselamatan kerja dalam keadaan bertegangan digunakan, sesuai dengan prosedur K3.
  2. Tegangan jaringan SUTM diperiksa dengan tester tegangan sesuai standar K3.
  3. Tongkat pengait *cut out* disiapkan dan dibersihkan dengan kain silikon, sesuai dengan prosedur K3.
  4. *Cut-out* dikeluarkan dari tempat kedudukannya dan diperiksa kelayakannya dari pecah/retak sesuai instruksi manual dan standar konstruksi.
  5. *Fuse link cut-out* diperiksa kelayakannya dan diganti sesuai rating standar operasi.
- d. Mengoperasikan penutup balik otomatis (PBO) atau saklar semi otomatis (SSO)
  1. Tegangan pada jaringan SUTM setiap fase diperiksa dengan tester tegangan sesuai prosedur K3.
  2. Pemeriksaan kerja motor mekanik, pisau kontak PBO dan SSO dilaksanakan sesuai instruction manual dan standar operasi.
  3. Pemeriksaan rangkaian elektronik catu daya arus searah PBO dan SSO dilaksanakan sesuai *instruction manual*.
  4. Pemberian tegangan pada jaringan SUTM melalui PBO/SSO dilaksanakan sesuai SOP.
- e. Mengoperasikan *automatic voltage regulator* (AVR) atau *capasitor voltage regulator* (CVR).
  1. Tegangan pada jaringan SUTM setiap fase diperiksa dengan tester tegangan sesuai prosedur K3.


**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. Pemeriksaan kerja motor mekanik pengatur otomatis tegangan AVR dan CVR dilaksanakan sesuai instruksi manual dan standar operasi.
3. Pemeriksaan rangkaian elektronik catu daya arus searah AVR dan CVR dilaksanakan sesuai instruksi manual.
4. Pemeriksaan urutan fase pada terminal (*bushing*) AVR/CVR dilaksanakan sesuai dengan standar operasi.
5. Pemberian tegangan pada jaringan SUTM melalui AVR/CVR dilaksanakan sesuai SOP.
- f. Mengoperasikan instalasi kubikel tegangan menengah dengan trafo distribusi.
  1. Tegangan masuk pada kubikel *incoming* diperiksa dengan melihat nyala lampu indikator sesuai instruksi manual.
  2. Pengoperasian kubikel dan pengaman transformator dilaksanakan sesuai instruksi manual.
  3. Pengoperasian peralatan hubung kubikel dilaksanakan sesuai *Standing Operation Procedure (SOP)*.
  4. Fuse pada pengaman trafo diperiksa kelayakan fisiknya dan rating arus sesuai dengan standar operasi.
  5. Pengoperasian transformator distribusi dilaksanakan sesuai dengan standar operasi.
  6. Bila dalam pengoperasian trafo bertujuan untuk memberikan daya listrik ke pelanggan, maka kWh meter atau APP diperiksa arah putarannya sesuai standar pemasangan APP.
  7. Putaran fase R, S dan T diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksa putaran, sesuai standar operasi.
- g. Mengoperasikan instalasi penyulang (*Feeder*) tegangan menengah gardu induk.
  1. Terminal kabel diperiksa terhadap tegangan balik sesuai prosedur K3 dan SOP.
  2. Pengoperasian instalasi penyulang dilaksanakan sesuai instruksi manual.
  3. Pengoperasian peralatan hubung dilaksanakan sesuai *Standing Operation Procedure (SOP)*.
  4. Pengoperasian instalasi penyulang dilaporkan dengan sarana komunikasi sesuai *Standing Operation Procedure (SOP)*.
  5. Pengoperasian jaringan tegangan menengah dilaksanakan dan dilaporkan sesuai *Standing Operation Procedure (SOP)*.



**Hak Cipta Diindungi 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.
- h. Mengoperasikan peralatan deteksi untuk menentukan titik gangguan kabel.
    1. Bagian jaringan kabel tegangan menengah yang akan dideteksi dibebaskan dari tegangan sesuai prosedur operasi peralatan.
    2. Rangkaian peralatan deteksi dipasang sesuai instruksi manual dan prosedur operasi peralatan.
    3. Pengoperasian peralatan deteksi jaringan kabel dilaksanakan sesuai langkah yang ditetapkan dalam prosedur dan instruksi manual.
    4. Tahanan isolasi dari jaringan kabel gangguan yang akan dideteksi diperiksa sesuai SOP.
    5. Seksi jaringan kabel yang mengalami gangguan diberikan tegangan *impuls* sesuai instruksi manual dan prosedur operasi peralatan.
  - i. Mendeteksi gangguan pada instalasi kubikel dan transformator gardu distribusi.
    1. Tegangan masuk pada kubikel *incoming* diperiksa dengan melihat nyala lampu indikator sesuai instruksi manual.
    2. Pengoperasian kubikel dan kubikel pengaman transformator dilaksanakan tanpa beban dan diperiksa beroperasinya, sesuai instruksi manual.
    3. Pengoperasian peralatan hubung kubikel dilaksanakan sesuai *Standing Operation Procedure (SOP)*.
    4. Fuse pada pengaman trafo diperiksa kelayakan fisiknya dan rating arus sesuai dengan standar operasi.
    5. Saklar utama pada PHB-TR ditutup tanpa beban dan PHB-TR diperiksa beroperasinya, sesuai *instruction manual*.
    6. Fuse pada PHB-TR masing-masing jurusan diperiksa fisik dan rating arusnya, sesuai dengan standar operasi.
    7. Pengoperasian transformator distribusi dilaksanakan sesuai dengan standar operasi.
    8. Putaran fase R, S dan T diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksa putaran, sesuai SOP.