

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang terkait dengan Metode *Fault Tree Analysis* Dan *Failure Mode And Effect Analysis* sebagai acuan maupun sebagai referensi penelitian dapat dilihat yaitu :

“Analisis Pengendalian Kualitas Dan Efektivitas Dengan Integrasi Konsep *Failure Mode & Effect Analysis* Dan *Fault Tree Analysis* Serta *Overall Equipment Effectiveness*”. Pengukuran efektivitas dengan metode *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* dan konsep *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* serta *Fault Tree Analysis (FTA)* diharapkan mampu meningkatkan volume produksi dan meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Metode OEE didasarkan pada tiga faktor yaitu: *availability*, *performance* dan *quality*. Nilai OEE didapatkan dengan mengalikan ketiga faktor. Konsep FMEA dilakukan penentuan rating keparahan, kejadian serta rating deteksi. Perhitungan RPN yang merupakan hasil kali dari ketiga rating tersebut menunjukkan tingkat resiko suatu kegagalan. Konsep FTA dilakukan dengan menggunakan Gerbang OR untuk mengetahui probabilitas kejadian kegagalan. Dari analisis diperoleh nilai OEE *Paper Machine* dua tahunan : tahun pertama sebesar 60%,naik menjadi 83% pada tahun kedua. *Cutter Asahi* tahun pertama nilai OEE sebesar 67%, tahun kedua naik 73%. Penyebab utama dari OEE yang rendah adalah *drop power energy* PLN. Hasil identifikasi FMEA diperoleh nilai RPN tertinggi yaitu 245 pada proses *Paper Machine*, dengan mode kegagalan yaitu *dirty*, dengan penyebab utama kotoran terlarut dalam proses produksinya serta *screen* tidak berfungsi maksimal. Untuk mengatasi penyebab tersebut perlu dilakukan pengecekan dan pembersihan secara rutin jalannya proses dan *screen* oleh operator *Paper Machine*. Hasil identifikasi FTA mengindikasikan bahwa probabilitas kegagalan tertinggi pada bagian *Paper Machine* yaitu 0,01145. (Susetyo, 2009) .

“Analisis Keandalan Pada Boiler PLTU dengan Menggunakan Metoda *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa peralatan-peralatan yang ada pada unit boiler dan system pendukungnya berdasarkan tingkat keandalan yang paling kecil didukung dengan *Risk Priority Number (RPN)* yang didapat dari analisa kualitatif. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*. Metode ini digunakan untuk menganalisa keandalan secara kualitatif yaitu dengan menemukan kegagalan yang terjadi pada system

serta efek yang ditimbulkan dan meminimalkan efek yang akan terjadi. Dari hasil penelitiannya didapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk nilai terbesar adalah *Gendbank Waltube* dengan nilai RPN 160, *Main Burner* 140, *Boiler Insulation* 48 dan nilai terkecil adalah *Furnace* sebesar 21 (Wahyunugraha, 2013) .

“Analisis Susut Energi Pada Sistem Jaringan Distribusi Di PT. PLN APJ Yogyakarta UPJ Wonosari Unit Semanu”. Dalam penelitian dapat mengungkapkan mengapa nilai susut energi di UPJ Wonosari unit Semanu cukup besar, ditinjau dari panjang jaringan & beban puncak khususnya nilai susut energi pada Sistem Jaringan Distribusi. Analisis susut energi yang terjadi pada sistem jaringan distribusi radial di PLN APJ Yogyakarta UPJ Wonosari unit Semanu menunjukkan bahwa, *feeder* satu memiliki panjang jaringan 32,94 Km dengan nilai susut energi 855,751 Kwh, *feeder* dua panjang jaringan 21,9 Km dengan susut energi 917,072 Kwh, *feeder* tiga panjang jaringan 54,66 Km dengan susut energi 679,275 Kwh, *feeder* empat panjang jaringan 66,9 Km dengan nilai susut energi 1.616,97 Kwh, *feeder* lima panjang jaringan 66,4 Km dengan nilai susut energi 1.475,89 Kwh. Nilai susut energi relatif semakin besar, apabila jaringan semakin panjang (Daniel, 2013).

“*Analysis Of Power Losses Calculation In Medium Voltage Network Of Feeder Serimpi, Pam 1 And Pam 2 At Network Area Gambir PT.PLN (PERSERO) Distribution JAKARTA RAYA AND TANGERANG*”. Pada penelitian ini membahas perhitungan rugi-rugi energi secara teoritis untuk mendapatkan nilai rugi-rugi energi jaringan distribusi sebagai pembandingan terhadap nilai rugi-rugi hasil pengukuran lapangan. Sumber dari PLN Evaluasi Rugi-rugi di jaringan PLN distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. Berdasarkan hasil perhitungan rugi daya (losses) JTM pada penyulang / *feeder* dengan menggunakan 2 metode, kedua perhitungan tersebut tidak terdapat perbedaan yang signifikan yaitu menghasilkan rugi daya yang kecil. Sesuai hasil perhitungan pada penyulang serimpi memiliki rugi- rugi daya pertahun dengan metode 1 sebesar 0,43% sedangkan metode 2 sebesar 1,84% sehingga selisih persentase rugi daya pertahunnya sebesar 1,41%, pada penyulang PAM 1 memiliki rugi-rugi daya pertahun dengan metode 1 sebesar 0,08% sedangkan metode 2 sebesar 0,14% sehingga selisih persentase rugi daya pertahunnya sebesar 0,06%, dan penyulang PAM 2 memiliki rugi-rugi daya pertahun dengan metode 1 sebesar 0,04% sedangkan metode 2 sebesar 0,15% sehingga selisih persentase rugi daya pertahunnya sebesar 0,11%. (Kasim, dkk 2009).

“Usulan Pengendalian Kualitas Produk Isolator Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Fault Tree Analysis (FTA)”. Metode failure mode and effect analysis (fmea) merupakan suatu prosedur untuk mengidentifikasi kegagalan produk berdasarkan potential cause. Fmea berfungsi untuk menentukan nilai *risk priority number* (RPN) yang selanjutnya akan diidentifikasi lebih lanjut menjadi fokus utama dalam menentukan akar permasalahan tersebut dapat ditentukan usulan perbaikan dan pengendalian agar dapat membantu perusahaan untuk mengurangi resiko kegagalan produksi (Adianto, dkk 2015).

Berdasarkan kajian tinjauan pustaka diatas, yang telah menjelaskan tentang beberapa sumber yang terkait dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) peneliti mengambil kesimpulan bahwasannya metode *Fault Tree Analysis* (FTA) metode analisis sistem yang digunakan adalah dengan pendekatan *top down* yang dimulai dari *top level event* yang telah didefinisikan, kemudian mencari kejadian penyebab dan atau kombinasinya sampai pada kejadian yang paling dasar, sehingga diperoleh kejadian paling dasar dari penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik, langkah selanjutnya adalah menentukan *minimal cut set* untuk mendapatkan kejadian dasar (*basic event*) penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik. Output dari *minimal cut set* yang terdiri dari beberapa *basic event* penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik akan digunakan sebagai input untuk tahap FMEA. metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) memiliki beberapa keunggulan, seperti dalam menentukan tingkat kerusakan dan menentukan prioritas perbaikan yang harus dilakukan pada kerusakan sistem jaringan distribusi maka akan dilihat nilai *risk priority number* (RPN). Nilai RPN diperoleh dari pertimbangan akibat yang ditimbulkan dari kerusakan jaringan (*severity*), frekuensi kerusakan jaringan (*occurance*), dan metode pengendalian kerusakan jaringan (*detection*). Keunggulan lain dari metode metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) adalah Hemat biaya, Karena sistematis maka penyelesaiannya tertuju pada potensial *causes* (penyebab yang potensial) sebuah kegagalan / kesalahan. Hemat waktu, karena lebih tepat pada sasaran Berdasarkan perihal yang menjelaskan tentang keunggulan metode *Failure Mode And Effect Analysis* ( FMEA ) (Idham, 2014). Oleh sebab itu penulis sangat tertarik untuk melakukan penelitian pada Tugas Akhir dengan tema “Analisis *Losses* Energi Listrik Pada Jaringan Distribusi Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* Dan *Failure Mode And Effect Analysis*” dengan studi kasus Di PT. PLN (PERSERO) Rayon DURI-RIAU, mengingat belum pernah ada penelitian yang

mengangkat tema tersebut maka penulis dan pihak PT. PLN (PERSERO) Rayon DURI-RIAU yakin hasil dari penelitian yang dilakukan akan memberikan kontribusi yang baik terhadap instansi.

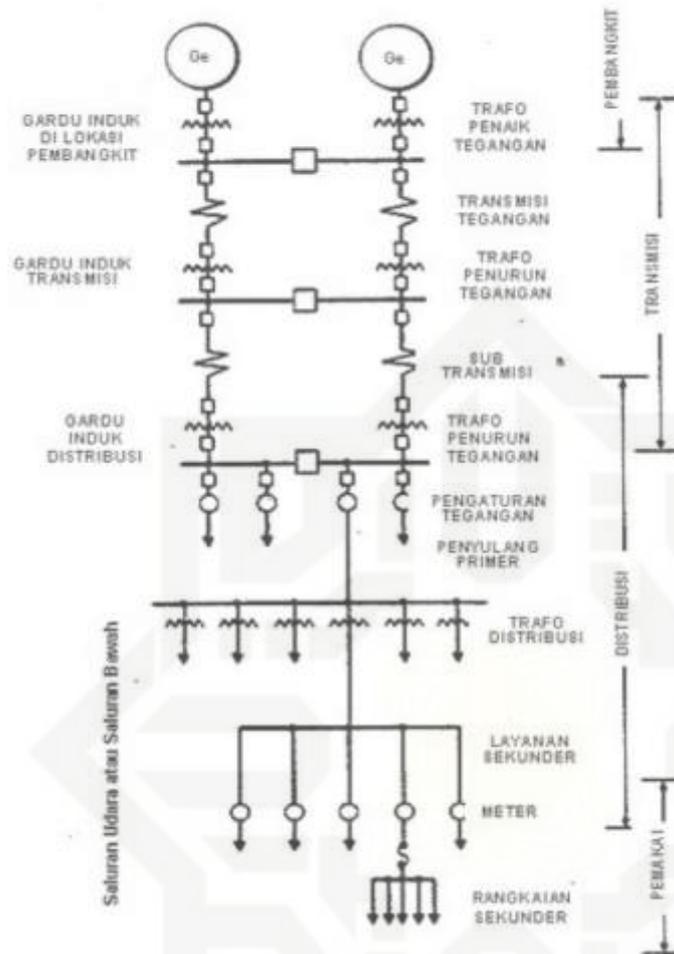
## 2.2 Sistem Distribusi (Operasi Sistem Tenaga Listrik)

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV, dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20KV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt atau 220/127 Volt, kemudian disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui sambungan rumah. (Marsudi, 2006)

Sistem distribusi adalah semua bagian dari sistem tenaga listrik yang terletak diantara sumber daya besar dan jaringan pelayanan pelanggan. Sistem distribusi dapat dibagi dalam dua sub bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

Makin besar suatu sistem tenaga listrik makin banyak unsur yang harus dikoordinasikan serta yang harus diamati, sehingga diperlukan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian serta analisa operasi sistem yang cermat.

## 2.2.1 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.1 Pembagian / pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik (Sumber Suhadi, dkk 2008)

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar Pembagian / pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik:

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

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. (Suhadi, 2008)

### 2.2.2 Gardu Induk

GI atau Gardu Induk adalah suatu instalasi listrik yang dikhususkan untuk tegangan tertentu mulai dari TET (Tegangan Extra Tinggi), TT dan TM. Secara umum gardu induk terdiri dari bangunan, peralatan-peralatan dan fasilitas-fasilitas lain. Gardu induk berfungsi untuk menerima daya listrik dari jaringan transmisi/sub transmisi dan menurunkan tegangan menjadi tegangan distribusi primer (JTM). Jadi pada bagian ini terjadi penurunan tegangan tinggi atau pun tegangan extra tinggi ke tegangan menengah 20 kV. (Marsudi, 2006)

### 2.2.3 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi di rancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat (Dahlan, 2010).

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

1. Jenis pemasangannya :
  - a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantola)
  - b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kiosb)
2. Jenis Konstruksinya :
  - a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
  - b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
  - c. Gardu Kios
3. Jenis Penggunaannya :
  - a. Gardu Pelanggan Umum
  - b. Gardu Pelanggan Khusus

Macam-macam Gardu Distribusi :

- a. Gardu Hubung

Gardu Hubung disingkat GH atau Switching Subtation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kountinuitas

pelayanan. Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (Remote Terminal Unit). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC Supply dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (Load Break switch –LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah. Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh. Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

#### b. Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya  $\leq 100$  kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

#### c. Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonry wall building). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

#### d. Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu

distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

#### e. Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah  $\pi$  section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM. Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa T section dengan satu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan Gardu Antena. Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (ACOS : Automatic Change Over Switch) atau secara remote control.

#### f. Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini dilengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan. Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero). Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.

#### g. Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur link type expulsion) dan Lightning Arrester (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

## 2.3 Transformator

Transformator atau trafo adalah peralatan yang berfungsi mengkonversi (merubah) arus atau tegangan bolak-balik dari nilai tertentu menjadi nilai yang lain. Kontruksi dasar transformator adalah sebuah inti atau teras besi terdiri dari keping-keping besi tipis yang disekat satu dengan lain yang dililiti oleh 2 bagian kumparan konduktor. Satu sisi kumparan bagian tegangan rendah (primer) kawatnya tebal dan jumlah lilitannya sedikit, kawatnya tipis dan jumlah kumparan (lilitannya) banyak. (Sulasno, 2009)

### 2.3.1 Jenis-jenis Transformator

#### A. Transformator Berdasarkan pasangan kumparan.

Transformator dapat dibedakan berdasarkan pasangan kumparan atau lilitannya yaitu :

- a. Transformator satu belitan.
- b. Transformator dua belitan.
- c. Transformator 3 belitan.

Transformator satu belitan, lilitan primer merupakan bagian dari lilitan sekunder atau sebaliknya, trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai auto trafo atau trafo hemat. Transformator dua belitan mempunyai dua belitan, yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, primer dan sekunder berdiri sendiri. Sedangkan pada transformator tiga belitan mempunyai belitan primer, sekunder dan tertier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda. (Sulasno, 2009)

#### B. Transformator Berdasarkan Fungsinya

Menurut fungsinya transformator dibagi atas:

1. Transformator daya
2. Transformator pengukuran
3. Transformator elektronik
4. Transformator distribusi

#### 1. Transformator daya

Transformator daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya. Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (*steep-up*) dan menurunkan tegangan (*steep-down*). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi. Trafo berfungsi sebagai *steep-up* pada sistem dimana tegangan keluaran lebih tinggi dari pada tegangan masukan

(misalnya pada pengiriman/penyaluran daya) dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai *step-down* jika tegangan keluaran lebih rendah dari pada tegangan masukan (misalnya menerima/mengeluarkan daya). (Sulasno,2009)

## 2. Transformator Pengukuran

Transformator ukur dibedakan sebagai trafo arus dan trafo tegangan, trafo ini digunakan untuk mengukur arus atau tegangan yang besar yang tidak mungkin dapat diukur langsung dihubungkan pada Ampere meter atau voltmeter. (Sulasno, 2009)

- a. Transformator Tegangan Fungsinya adalah mentransformasikan besaran Tegangan Tinggi ke besaran Tegangan Rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya / proteksinya.
- b. Transformator Arus (Current Transformer- CT) adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya. (Dahlan, 2010)

## 3. Transformator Elektronik

Transformator ini prinsipnya sama seperti transformator daya, tapi kapasitas daya reaktif sangat kecil, yaitu kurang 300 VA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik. (Sulasno, 2009)

## 4. Transformator distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan listrik utama yang berperan penting untuk penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer yang merupakan tegangan menengah menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder. Trafo Distribusi yang umum digunakan adalah trafo step down 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena terjadi drop tegangan maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt. (Kawihing dkk, 2013)

Transformator distribusi pada dasarnya sama dengan transformator daya, bedanya adalah tegangan rendah pada trafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi. Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan untuk mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan. (Sulasno, 2009)

## 2.4 Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan Tegangan Menengah adalah Jaringan Distribusi Primer yang berfungsi untuk menghubungkan gardu induk sebagai suplay tenaga listrik dengan gardu-gardu distribusi. Sistem tegangan menengah yang digunakan di Distribusi Wilayah Duri adalah 20 kV. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Jaringan ini mempunyai struktur/pola sedemikian rupa sehingga dalam pengoperasiannya mudah dan handal diantaranya : (Suhadi 2008)

### a. Sistem/ pola Radial

Pola ini merupakan pola yang paling sederhana dan umumnya banyak digunakan di daerah pedesaan/sistem yang kecil. Umumnya menggunakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Sistem Radial tidak terlalu rumit, tetapi memiliki tingkat keandalan yang rendah.

### b. Sistem/pola Open Loop

Merupakan pengembangan dari sistem radial, sebagai akibat dari diperlukannya kehandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasang dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi, karena hal ini diperlukan untuk manuver beban pada saat terjadi gangguan.

### c. Sistem/pola Close Loop

Sistem close loop ini layak digunakan untuk jaringan yang dipasang dari satu gardu induk, memerlukan sistem proteksi yang lebih rumit biasanya menggunakan rele arah (Bidirectional). Sistem ini mempunyai kehandalan yang lebih tinggi dibanding sistem yang lain

### d. Sistem/pola Spindel

Sistem ini banyak digunakan untuk pasokan listrik di perkotaan (khususnya kota besar). Memiliki Kehandalan yang realitif tinggi karena disediakan satu expres feeder/penyulangtanpa beban dari gardu induk sampai gardu hubung. Biasanya pada tiap penyulang terdapat gardu tengah (middle point) yang berfungsi untuk titik manufer apabila terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

e. Sistem/pola Cluster

Sistem cluster sangat mirip dengan sistem spindel, juga disediakan satu feeder khusus tanpa beban(feeder expres) (Aprilian dkk, 2013) .

#### 2.4.1 Panel Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM)

Berikut ini adalah Komponen Utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap yang lazim disebut dengan Kubikel-TM, yaitu:

- a. Pemisah – *Disconnecting Switch* (DS) Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.
- b. Pemutus beban – *Load Break Switch* (LBS) Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.
- c. Pemutus Tenaga - *Circuit Breaker* (CB) Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (*Over Current Relay*) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban.
- d. LBS - TP (*Transformer Protection*) Transformator distribusi dengan daya  $\leq 630$  kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (*High Rupturing Capacity*). (Dahlan, 2010)

#### 2.5 Jaringan Tegangan rendah

Jaringan tegangan rendah adalah jaringan distribusi sekunder yang bermula dari transformator distribusi sampai ke kWh meter konsumen berdasarkan penempatan jaringan, jaringan tegangan rendah dibedakan menjadi dua: (Kawihing, 2013)

1. Saluran udara Tegangan Rendah (SUTR)
2. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

##### 2.5.1 Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)

Panel Hubung Bagi (PHB) tegangan rendah gardu atau Rak TR. PHB terpasang pada gardu distribusi pada sisi tegangan rendah atau sisi hulu dari instalasi tenaga listrik. Fungsinya adalah sebagai alat penghubung sekaligus sebagai pembagi tenaga listrik ke instalasi pengguna tenaga listrik(konsumen). Kapasitas PHB yang digunakan harus disesuaikan dengan besarnya trafo distribusi yang digunakan. PHB TR terdiri dari beberapa jurusan yang akan dibagi- bagi ke pelanggan. PHB TR terhubung dengan trafo

pada sisi sekunder menggunakan kabel singel core TR dengan diameter 240mm<sup>2</sup>. (Kawihing, 2013)

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. (Dahlan, 2010)

Pengaman arus lebih (Over Current) jurusan disisi Tegangan Rendah pada PHB-TR dibedakan atas :

- a. No Fused Breaker (NFB) No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepas beban.
- b. Pengaman Lebur (Sekering) Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup.

### 2.5.2 Beberapa Komponen Jaringan Tegangan Rendah

Komponen jaringan tegangan rendah adalah peralatan yang digunakan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR), sehingga JTR dapat menjalankan fungsinya sebagai penyalur energi ke pelanggan. Komponen pada JTR antara lain:

#### 1. Kabel Schoen

Kabel Schoen digunakan untuk menghubungkan rel pada hubung bagi dengan penghantar kabel tegangan rendah (kabel obstyg). Kabel Schoen dipres pada kabel obstyg dan dibaut rel panel hubung bagi.

#### 2. Konektor

Konektor Adalah peralatan yang digunakan untuk menghubungkan (meng-connect) penghantar dengan penghantar. Misal antara kabel iobstyg dan TIC-AI, TIC-AI dengan SR (Sambungan Rumah).

### 2.6 Rugi-Rugi Pada Jaringan Distribusi

Rugi-rugi pada jaringan distribusi adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan (Ns) dengan energi listrik yang terpakai (NI).

Penyebab-penyebab terjadinya rugi-rugi pada jaringan distribusi :

- a. Terjadi rugi-rugi pada saluran (penghantar)
- b. Kesalahan pada pengukuran
- c. Beban tidak seimbang dan kawat netral mengalir arus
- d. Kontak pada sambungan tidak baik (loss contact)
- e. Penggunaan tenaga listrik yang tidak terukur.
- f. Variasi tegangan pelayanan

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Juga sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi masalah

Dalam pengoperasian sistem distribusi, masalah yang utama adalah mengatasi gangguan karena jumlah gangguan dalam sistem distribusi adalah relatif banyak dibandingkan dengan jumlah gangguan pada bagian sistem yang lain. Disamping itu masalah tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih dan rugi-rugi dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisa secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem dan juga untuk melakukan tindakan-tindakan penyempurnaan pemeliharaan dan penyempurnaan operasi sistem distribusi.

## 2.7 Konsep Pareto

Diagram pareto adalah diagram yang dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi Italia yang bernama Vilfredo Pareto, pada abad ke-19. Diagram pareto digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya, dan yang paling besar disebelah kiri ke yang paling kecil disebelah kanan. Susunan tersebut akan membantu kita untuk menentukan pentingnya atau prioritas kategori kejadian-kejadian atau sebab-sebab kejadian yang dikaji. Kegiatan akan lebih efektif dengan memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak yang paling besar terhadap kejadian daripada meninjau berbagai sebab pada suatu ketika. Berbagai diagram pareto dapat digambarkan dengan menggunakan data yang sama, tetapi digambarkan secara berlainan. Dengan cara menunjukkan data menurut frekuensi terjadinya, biaya, dan waktu terjadinya, dapat diungkapkan berbagai prioritas penanganannya, tergantung pada kebutuhan spesifik.

Dengan demikian, kita tidak dapat begitu saja menentukan nilai yang terbesar dalam diagram pareto sebagai persoalan yang terbesar. Kegunaan diagram pareto sebagai berikut:

1. Menunjukkan prioritas sebab-sebab kejadian atau persoalan yang perlu ditangani. Diagram pareto dapat membantu untuk memusatkan perhatian pada persoalan utama yang harus ditangani dalam upaya perbaikan.
2. Menunjukkan hasil upaya perbaikan.

Sesudah dilakukan tindakan korektif berdasarkan prioritas, kita dapat mengadakan pengukuran ulang dan membuat diagram pareto, jika terdapat pembahan dalam diagram pareto, maka tindakan koreksi ada efeknya.

3. Menyusun data menjadi informasi yang berguna.

Diagram pareto dapat menyaring sejumlah data menjadi informasi yang signifikan.

Untuk mengidentifikasi penyebab terbesar yang terjadi dapat digunakan pareto digram. Pareto digunakan untuk menstratifikasi data ke dalam kelompok-kelompok dari yang terbesar sampai terkecil. Dengan bentuknya berupa diagram batang, pareto berguna untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian atau penyebab masalah yang paling umum.

(Idham, 2014)

Analisis pareto digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi tipe- tipe yang tak sesuai. Suatu contoh dari diagram pareto yang digunakan dalam produksi batang kecil. Tipe-tipe kecacatan yang tak sesuai yang muncul terlalu jarang untuk diidentifikasi secara terpisah. Langkah-langkah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi tersebut adalah :

1. Identifikasi tipe-tipe yang tak sesuai. Jika data bagan kenadali yang dulu telah dikategorikan, membuat daftar bagan ini sangat mudah. bila belum ada, suatu prosedur pengumpulan data yang baru, harus dibuat dan data dikumpulkan selama beberapa waktu sebelum analisis dilakukan.
2. Tentukan frekuensi untuk berbagai kategori.
3. Daftar ketidaksesuaian menurut frekuensinya secara menurun. Setiap ketidaksesuaian yang berbeda didaftar secara terpisah.
4. Hitung persentase frekuensi untuk setiap kategori dan frekuensi kumulatifnya.
5. Buat skala untuk diagram pareto. Skala pada sisi kiri menunjukkan frekuensi kejadian yang sebenarnya, sedangkan untuk bagian kanan menunjukkan frekuensi kumulatif.
6. Tebarkan balok frekuensi pareto ini dan frekuensi kumulatifnya. Jika diagram pareto tersebut dibuat mengikuti langkah-langkah yang ditunjukkan, ia akan

mengalihkan perhatian kepada ketidaksesuaian yang paling tinggi frekuensinya meskipun tidak harus yang paling penting. Bila daftar ini berisi beberapa yang dapat dipandang biasa-biasa saja, suatu skema pembobotan harus digunakan untuk memodifikasi hitungan dan pengurutan frekuensi ini mengikuti langkah 2 dan 3.

## 2.8 Metode *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 minoteman misile 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. FTA lebih menekankan pada “top – down approach”, karena analisa ini barawal dari sistem top level dan meneruskannya ke bawah. Karena FTA adalah bagian dari analisis sistem, maka akan diuraikan terlebih dahulu mengenai analisis sistem. (Rachman, 2015)

Sistem merupakan kumpulan obyek-obyek 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, sebagai berikut:

### 1. Pertanyaan yang berkaitan dengan sebab.

Sebab adalah suatu kondisi yang akan mengakibatkan munculnya kejadian lain dalam sistem. Sebab merupakan kejadian awal yang harus di analisis dengan baik untuk mencegah munculnya kejadian-kejadian berikutnya yang tidak diinginkan. Adapun contoh pertanyaan yang berkaitan dengan sebab misalnya apa penyebab kereta api bisa bertabrakan.

### 2. 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 sebab misalnya apa yang akan terjadi jika sopir pada saat mengemudi dalam kondisi mabuk.

Beberapa metode yang digunakan untuk melakukan analisis sistem, 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, jadi analisis ini langsung melakukan koreksi jika terjadi suatu kegagalan.

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 merupakan suatu untuk melakukan analisis kualitatif terhadap sistem, keamanan sistem dan kecelakaan atau kerusakan yang ditimbulkan karena adanya aliran energi yang berlebihan.

4. *Cable failure matrix analysis.*

Digunakan untuk mengidentifikasi resiko-resiko yang berkaitan dengan semua bentuk kerusakan kabel dan berkaitan dengan bentuk, pencegahan kerusakan dan pengaman kabel. Apabila kabel rusak, maka sistem menjadi terganggu dan kerusakan sistem dapat terjadi. Ketidacocokan 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 yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi berbagai resiko pada suatu sistem yang kompleks.

6. *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.

#### 7. *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.

#### 8. *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.

#### 9. *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.

#### 10. *Failure mode, effect and critically analysis (FMCEA).*

Hampir sama dengan FMEA akan tetapi ditambahkan dengan nilai kritik.

#### 11. *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. (Priyanta, 2000)

Titik awal analisa FTA adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada *top level* suatu sistem. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen– komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika. Dari diagram *fault tree* ini dapat disusun *cut set* dan *minimal cut set*. *Cut set* yaitu serangkaian komponen system, apabila terjadi kegagalan dapat berakibat kegagalan pada sistem. Sedangkan *minimal cut set* yaitu *set minimal* yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem.

FTA menggunakan langkah-langkah terstruktur dalam melakukan analisis pada sistem. Adapun langkah-langkah FTA, yaitu:

#### 1. Mengidentifikasi kejadian/peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*)

Langkah pertama dalam FTA ini merupakan langkah penting karena akan mempengaruhi hasil analisis sistem. Pada tahap ini, dibutuhkan pemahaman tentang sistem dan pengetahuan tentang jenis-jenis kerusakan (*undesired event*) untuk mengidentifikasi akar permasalahan sistem. Pemahaman tentang sistem dilakukan dengan mempelajari semua informasi tentang sistem dan ruang lingkungannya.

## 2. Membuat pohon kesalahan.

Setelah permasalahan terpenting teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menyusun urutan sebab akibat pohon kesalahan. Pada tahap ini, *cause and effect* diagram dapat digunakan untuk menganalisis kesalahan dan mengeksplorasi keberadaan kerusakan-kerusakan yang tersembunyi. Pembuatan pohon kesalahan dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol Boolean. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistensi pohon kesalahan.

## 3. Menganalisis pohon kesalahan.

Analisis pohon kesalahan diperlukan untuk memperoleh informasi yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-perbaikan apa yang harus dilakukan pada sistem. Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

### a. Menyederhanakan pohon kesalahan.

Tahap pertama analisis pohon kesalahan adalah menyederhanakan pohon kesalahan dengan menghilangkan cabang-cabang yang memiliki kemiripan karakteristik. Tujuan penyederhanaan ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisis sistem lebih lanjut.

### b. Menentukan peluang munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*).

Setelah pohon kesalahan disederhanakan, tahap berikutnya adalah menentukan peluang kejadian paling penting dalam sistem. Pada langkah ini, peluang semua input dan logika hubungan digunakan sebagai pertimbangan penentuan peluang.

### c. Mereview hasil analisis.

Review hasil analisis dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan pada sistem.

Output yang diperoleh setelah melakukan FTA adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh akar permasalahan sebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem. (Priyanta, 2000)

Grafik enumerasi akan menggambarkan bagaimana kerusakan bisa terjadi, penggambaran grafik enumerasi menggunakan simbol-simbol boolean. Grafik enumerasi ini merupakan pohon kesalahan (*fault tree*) yang akan dianalisis berdasarkan peluang masing-masing penyebab kesalahan. Grafik enumerasi disebut pohon kesalahan (*fault tree*) karena susunannya seperti pohon, yaitu mengerucut pada satu kejadian serta semakin ke bawah dipecah menjadi cabang- cabang kejadian yang lain.

Simbol-simbol dalam FTA adalah simbol-simbol gate. Simbol gate digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun simbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1 Simbol-simbol *Fault Tree Analysis* (Priyanta, 2000)

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 Metode *Failure Mode and Effect Analysis* ( FMEA )

FMEA merupakan metode analisis induktif untuk mengidentifikasi kerusakan produk dan atau proses yang paling potensial dengan mendeteksi peluang, penyebabnya, efek, dan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat kepentingan kerusakan. Analisis induktif merupakan analisis yang dimulai dari penyebab-penyebab kerusakan dan bagaimana kerusakan bisa terjadi. Metode FMEA akan mendefinisikan segala sesuatu yang rusak dan mengapa kerusakan bisa terjadi (*failure modes*) serta mengetahui efek dari setiap kerusakan pada sistem (*failure effect*). (Priyanta, 2000)

Metode FMEA dapat digunakan untuk mereview desain produk, proses atau sistem dengan mengidentifikasi kelemahan-kelemahan yang ada dan kemudian menghilangkannya. Beberapa bagian penting yang ada dalam metode FMEA sebagai berikut:

1. *Failure mode* adalah bagian FMEA yang digunakan untuk mengetahui bagaimana suatu sistem dapat mengalami kerusakan.
2. *Failure effect* adalah bagian FMEA yang digunakan untuk mengetahui pengaruh terjadinya kerusakan pada sistem.
3. *Cause of failure* adalah bagian FMEA yang digunakan untuk mengetahui penyebab kerusakan pada sistem.
4. *Risk evaluation* adalah bagian FMEA yang digunakan untuk mengetahui masalah terpenting yang harus diperhatikan dan mendapatkan prioritas penyelesaian. (Priyanta, 2000)

### 2.9.1 Tujuan FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*)

Terdapat banyak variasi didalam rincian *failure modes and effect analysis* (FMEA), tetapi semua itu memiliki tujuan untuk mencapai :

1. Mengenal dan memprediksi potensial kegagalan dari produk atau proses yang dapat terjadi.
2. Memprediksi dan mengevaluasi pengaruh dari kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada.
3. Menunjukkan prioritas terhadap perbaikan suatu proses atau sub sistem melalui daftar peningkatan proses atau sub sistem yang harus diperbaiki.



- b. Mencari akibat atau efek terjadinya kerusakan pada sistem.

Kerusakan elemen atau komponen sistem kemungkinan akan memberikan pengaruh pada sistem dan dapat mengakibatkan fungsi sistem dengan baik. Akibat atau efek kerusakan sistem harus dipahami dengan baik sehingga solusi permasalahan yang tepat dapat diperoleh.

- c. Mengidentifikasi metode atau cara untuk mengendalikan potensi terjadinya kerusakan pada sistem.

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui metode atau cara untuk mengendalikan setiap potensi gangguan.

- d. Menentukan *severity* terjadinya kerusakan pada sistem.

*Severity* adalah sebuah penilaian pada tingkat keseriusan suatu efek atau akibat dari potensi kegagalan pada suatu komponen yang berpengaruh pada suatu hasil kerja mesin yang dianalisa atau diperiksa.. *Severity* kerusakan pada sistem dibedakan menjadi 10 skala (Idham, 2014), adapun kategori yang digunakan, sebagai berikut:

Tabel 2.2 Skala *Severity* (idham, 2014)

Efek	Kriteria (Dampak Kerusakan Yang Terjadi)	Skala
Tidak Ada	Bentuk kegagalan tidak memiliki pengaruh	1
Sangat Kecil	Sistem dapat beroperasi dengan baik, dengan gangguan yang sangat minimal.	2
Kecil	Sistem dapat beroperasi dengan baik, namun masih ada tanda-tanda beberapa kerusakan-kerusakan minor dari mesin.	3
Sangat Rendah	Sistem dapat beroperasi dengan baik, namun masih ada tanda-tanda kerusakan-kerusakan minor dari sistem.	4
Rendah	Sistem dapat beroperasi pada penurunan tingkat performa sehingga hasil kerja mesin tidak memuaskan.	5
Sedang	Sistem dapat dioperasikan, namun ada gangguan minor, dan beberapa alat tidak dapat dioperasikan.	6
Tinggi	Sistem tidak dapat beroperasi dengan optimal karena adanya gangguan minor, tingkat performa menurun.	7
Sangat Tinggi	Sistem tidak dapat beroperasi dengan optimal karena ada gangguan mayor, tingkat performa menurun sehingga hasil kerja yang dihasilkan tidak memuaskan. Hilangnya fungsi utama mesin.	8

Bahaya Dengan Tanda-Tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem, dan membahayakan sistem, dengan adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya	9
Bahaya Tanpa Tanda-Tanda	Kegagalan sangat tinggi, dapat menggagalkan sistem dan membahayakan sistem, tetapi tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	10

e. Menentukan frekuensi terjadinya kerusakan pada sistem. (*Occurrence*)

*Occurrence* adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi atau Penghitungan frekuensi kerusakan untuk mengetahui seberapa sering kerusakan terjadi pada sistem. Dengan memperkirakan kemungkinan *occurrence* pada skala 1 sampai 10 (Idham, 2014), kategori skala-skala tersebut, sebagai berikut:

Tabel 2.3 Skala *Occurrence* (idham, 2014)

Kejadian Gangguan Rata-Rata	Frekuensi Kejadian (Tahun)	Skala	Peluang
Tidak Pernah gagal	<1	1	Sangat Kecil
1 per 1 Tahun	1	2	
1 per 6 Bulan	2	3	Rendah
1 per 3 Bulan	3-4	4	
1 per 2 Bulan	5-6	5	Sedang
1 per 1 Bulan	7-12	6	
1 per 3 Minggu	13-16	7	Tinggi
1 per 2 Minggu	17-24	8	
1 per 1 Minggu	25-48	9	Sangat Tinggi
1 per 1 Hari	>48	10	

f. Menentukan kemungkinan pengendalian suatu kerusakan.

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan / mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Kemungkinan pengendalian suatu kerusakan dapat ditentukan berdasarkan kemampuan prosedur atau desain tambahan pengendalian proses atau sistem dalam mendeteksi keberadaan kerusakan. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut. Kemungkinan pengendalian suatu kerusakan tidak berjalan dapat dibedakan menjadi 10 skala (Idham, 2014), kategori skala-skala tersebut sebagai berikut:

Tabel 2.4 Skala *Detection* (idham,2014)

<i>Detection</i>	Kriteria (Tingkat Kesulitan Perbaikan Kerusakan)	<i>Skala</i>
Hampir Pasti	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan hampir pasti .	1
Sangat Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat tinggi.	2
Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan tinggi	3
Agak Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sedang sampai tinggi.	4
Sedang	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sedang.	5
Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan rendah.	6
Sangat Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat rendah.	7
Jarang	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat rendah.	8
Sangat Jarang	Alat pengontrol saat ini sangat sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan	9
Hampir Tidak Mungkin	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi	10

- g. Melakukan analisis tingkat kepentingan terjadinya kerusakan pada sistem.

Tingkat kepentingan ditentukan berdasarkan *severity* kerusakan, frekuensi kerusakan, dan peluang kerusakan terdeteksi. Analisis tingkat kepentingan ditentukan oleh nilai RPN (*risk priority number*). RPN merupakan produk matematis dari keseriusan effects (*Severity*), kemungkinan terjadinya cause akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan effects (*Occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi pada pelanggan (*Detection*). RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S * O * D. \text{ (Idham, 2014)}$$

Semakin kecil nilai RPN maka semakin baik tingkat kerusakan system tersebut, begitu juga sebaliknya apabila nilai RPN tinggi maka semakin bermasalah system tersebut. Pada metode Failure Mode And Effect Analysis sebuah system dikatakan handal apabila nilai RPN kecil dari 200 ( Priyanta 2000 ), apabila nilai RPN lebih dari 200 maka perlu adanya penanggulangan atau perlu diadakan tindakan, baik berupa maintenance ataupun penggantian perangkat.

Nilai RPN kemudian menjadi pertimbangan dalam menentukan tingkat kepentingan suatu kerusakan. Apabila suatu kerusakan memiliki frekuensi tinggi, efek yang signifikan pada performansi sistem dan sulit terdeteksi pasti akan memiliki nilai RPN yang tinggi. (Rimantho, 2010)

- h. Mengidentifikasi area penting kerusakan dalam sistem dan kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan.

Pada metode FMEA solusi permasalahan dilakukan berdasarkan analisis tingkat kepentingan suatu kerusakan. Kerusakan yang memiliki nilai RPN tinggi mempunyai prioritas penyelesaian yang lebih tinggi. Solusi permasalahan kemudian dilakukan dengan menganalisis penyebab kerusakan dan melakukan perbaikan.

Output yang diperoleh setelah langkah-langkah FMEA dilakukan adalah dapat mengetahui tingkat kepentingan setiap permasalahan yang ada dalam sistem berdasarkan *severity* permasalahan, frekuensi munculnya permasalahan serta kemungkinan terdeteksinya permasalahan. Penyelesaian permasalahan yang diharapkan adalah dapat mencegah terjadinya kerusakan dengan mempertimbangkan tingkat kepentingan kerusakan 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.