

BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi tentang penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya dan terdapat penjelasan mengenai tentang teori yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini. Landasan teori tersebut meliputi teori dalam sistem Keandalan, *Boiler*, *Fault Tree Analysis*, dan *Failure Mode and Effect Analysis*.

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan suatu pencarian teori serta referensi yang sesuai dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan. Teori dan referensi tersebut didapat dari jurnal penelitian terdahulu, buku, paper serta sumber lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Alfi Syahri, 2012), yaitu Analisa keandalan PLTG di PT.PLN Teluk Lembu. Metode yang digunakan dalam penelitiannya adalah metode *Fault Tree Analysis*. Pada Penelitian ini dilakukan analisa keandalan PLTG berdasarkan data sekunder yaitu data gangguan yang terjadi pada komponen-komponen PLTG. Data ini akan dikelompokkan berdasarkan letak gangguannya sehingga akan lebih mudah dalam membuat diagram pohon berikut perhitungan probabilitas kegagalannya. Diagram pohon inilah yang akan digunakan untuk analisa keandalan secara kualitatif dengan menentukan nilai minimal *cut set* dari sistem. Analisa kuantitatif dapat dilakukan dengan mengitung nilai *probabilitas* kegagalan berdasarkan data-data gangguan sehingga didapatkan nilai keandalan sebesar 99.212 % untuk PLTG unit 1 dan 99.6639 untuk PLTG unit 2.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Luluk Kristianingsih dan Ali Musyafa, 2013), yaitu analisis *safety system* dan manajemen resiko pada *steam boiler*. Penelitian ini menggunakan metode HAZOP dalam menganalisa keandalan pada komponen boiler. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa resiko paling besar terjadi pada *boiler* adalah kebakaran. Sehingga menunjukkan bahwa analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode HAZOP mampu mengurangi resiko kecelakaan kerja dari kegagalan *steam boiler*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Weta Hary, dkk 2013), yaitu Analisis keandalan *boiler* dengan metode *failure mode and effect analysis*. Banyak kegagalan yang

terjadi pada *boiler* membuat kegiatan perawatan harus disusun dengan baik agar peralatan tidak menimbulkan efek yang besar. Oleh karena itu digunakan suatu perangkat lunak yang berbasis PHP dan MySQL, dimana aplikasi tersebut digunakan untuk mengolah informasi mengenai tentang keandalan *boiler* dengan menggabungkan metode FMEA. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini belum bisa menunjukkan hubungan secara spesifik tentang keandalan dengan metode FMEA. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa analisis kuantitatif yang dilakukan menunjukkan bahwa keandalan pada *boiler* mengalami penurunan keandalan selama masa operasi. Penurunan nilai keandalan tersebut dipengaruhi oleh kerusakan peralatan. Sedangkan pada analisis menggunakan metode FMEA kegagalan yang terjadi pada komponen *boiler* memiliki tingkat *saverity*, *occurence*, dan *detection* yang berbeda-beda sesuai dengan penyebab dan dampak yang ditimbulkan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Faula Arina, dkk 2013), yaitu digunakan teknik *reliability block diagram* (RBD) sebagai penentuan keandalan pada mesin *boiler*. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan *reliability* dari setiap komponen mesin *boiler*, nilai *reliability* sistem mesin *boiler* berdasarkan RBD, dan *reliability* mesin boiler dengan konfigurasi *redundant*. Data yang diolah adalah data waktu antara kerusakan (TBF) dari setiap komponen *boiler* dari periode Januari sampai desember 2010 untuk menentukan nilai MTTF. Berdasarkan hasil penelitian yang didapat bahwasanya nilai dari *reliability* mesin boiler dengan konfigurasi *redundant* adalah 0.7509.

Berdasarkan referensi yang telah dikumpulkan, penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang keandalan *boiler* seperti yang telah dilakukan sebelumnya, namun penelitian ini memiliki perbedaan yaitu menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dan metode *Failure Mode and Effect Analysis* serta menentukan jenis perawatan yang akan digunakan pada *boiler* berdasarkan jenis kegagalan yang terjadi.

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan adalah probabilitas atau peluang sistem dapat berfungsi seperti yang diharapkan untuk rentang waktu tertentu dibawah kondisi yang ditetapkan (Ferdinand dkk, 2002).

Konsep analisa keandalan adalah bertolak dari pemikiran layak atau tidaknya suatu sistem melakukan fungsinya. Keandalan atau *reliability* dapat diartikan sebagai peluang bahwa sebuah komponen akan mampu melaksanakan sebuah fungsi yang spesifik dalam suatu kondisi operasi dan periode waktu tertentu. keandalan merupakan salah satu ukuran

keberhasilan sistem pemeliharaan yang digunakan untuk menentukan jadwal perawatan. Konsep keandalan sangat berguna pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan penggantian peralatan dan komponen mesin.

Fungsi keandalan adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan *reliability* dengan waktu, karena nilai fungsi dari *reliability* merupakan probabilitas, maka nilai fungsi *reliability* R bernilai $0 \leq R \leq 1$. Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat bekerja dengan baik selama $[0, t]$. Secara umum fungsi keandalan dinyatakan persamaan berikut:

$$R(t) = 1 - F(t), t \geq 0 \tag{2.1}$$

Ukuran performa suatu komponen mesin dinyatakan dalam sebuah notasi peluang. Pemenuhan tersebut bukan bersifat *deterministik*, sehingga tidak dapat diketahui dengan pasti terjadi atau tidak. Oleh sebab itu, kita harus menggunakan peluang dimana sebuah komponen akan sukses atau gagal dalam batasan tertentu karena tidak mungkin untuk menyatakannya secara pasti.



Gambar 2.1 *Bathtub Curve*

Sumber: (Priyanta 2000)

Nama kurva tersebut disesuaikan dengan bentuk kurva, dimana kurva tersebut menyatakan tiga hal yaitu:

1. *Infant Mortality Stage*: pada tahap awal pengembangan produk, terdapat beberapa *part*, material, proses yang tidak terpantau oleh bagian *quality control*. Item yang tidak standard ini kemudian rusak lebih cepat dari pada total waktu hidup produk. Saat masalah ini muncul dan perlahan diperbaiki, tingkat kerusakan populasi akan menurun dan menstabilkan populasi.

2. *On Average Stage*: saat stabilisasi populasi selesai, laju kerusakan produk menjadi konstan. Namun, kita tidak dapat memprediksikan secara pasti kapan kerusakan terjadi karena terjadinya kerusakan tersebut secara random.
3. *Aging and Wearout Stage*: saat masa pemakaian produk meningkat, beberapa mekanisme kegagalan potensial dapat terjadi namun tidak secara random. Faktanya, kerusakan tersebut berdasarkan waktu atau siklus dan mengarah pada penuaan dan keausan. Dengan demikian, laju kerusakan akan mulai naik dan umur pakai produk mendekati akhir.

Waktu terjadinya kerusakan tiap peralatan merupakan variabel *random*. Sebelum menghitung nilai probabilitas keandalan suatu mesin atau peralatan maka perlu diketahui secara statistik distribusi kerusakan peralatan tersebut. Distribusi kerusakan berdasarkan interval waktu kerusakannya. Distribusi eksponensial digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang konstan untuk sistem yang beroperasi secara kontinu (Imron dkk, 2013).

Pola distribusi eksponensial secara luas digunakan dalam kehandalan dan perawatan. Hal ini dikarenakan distribusi ini mudah digunakan untuk berbagai tipe analisis dan memiliki laju kegagalan yang konstan selama masa pakai. Fungsi keandalan dapat digunakan dengan persamaan berikut:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$R(t)$: Fungsi keandalan

e : Eksponensial

λ : Laju kerusakan

t : Waktu beroperasi dari perbaikan sampai kerusakan kembali

Dimana Nilai $e = 2,718 \dots$

2.2.1 Pemodelan Keandalan Sistem

Pemodelan keandalan sistem terbagi dalam dua jenis yaitu, (Priyanta, 2000).

1. Pemodelan sistem seri, yaitu dimana sistem dapat melaksanakan fungsinya atau beroperasi jika semua komponen dalam sistem tersebut beroperasi, jika salah satu komponen mengalami kerusakan maka secara keseluruhan sistem mengalami kerusakan. Sistem seri dapat digambarkan sebagai berikut:

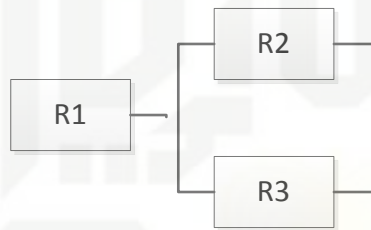


Gambar 2.2 Model Keandalan Sistem Seri

Jika Keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem seri adalah

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n \quad (2.3)$$

2. Pemodelan sistem paralel, yaitu dimana sistem dapat melaksanakan fungsinya jika minimal satu komponen dari penyusunnya beroperasi, sistem paralel gagal bila seluruh komponen penyusunnya gagal. Sistem seri dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Model Keandalan Sistem Paralel

Jika Keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem seri adalah

$$R_p = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (2.4)$$

Ada beberapa istilah yang berhubungan dengan keandalan sistem, yaitu (Ferdinand dkk, 2002).

1. Komponen, merupakan bagian dari suatu sistem.
2. *Failure* (kegagalan), merupakan suatu kerusakan perangkat atau sistem sehingga tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
3. *Failure rate* (laju kerusakan), menunjukkan jumlah kegagalan atau kerusakan selama waktu pakai.
4. *Mean time between failure* (MTBF), adalah nilai rata-rata waktu diantara dua kejadian kegagalan untuk suatu komponen atau sistem, mempunyai satuan jam atau tahun.
5. *Mean time to failure* (MTTF), adalah nilai rata-rata waktu sistem untuk menuju kegagalan.
6. *Mean time to repair* (MTTR), adalah nilai rata-rata waktu untuk perbaikan suatu element dalam suatu sistem untuk kembali beroperasi.

7. Keandalan adalah peluang bahwa perangkat dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan setelah waktu yang ditentukan.
8. *Availability* (ketersediaan), adalah kemampuan suatu sistem dapat beroperasi sebagai mana mestinya pada suatu saat atau waktu yang ditentukan.
9. *Unavailability* (ketidak tersediaan), adalah probabilitas sistem tidak dapat beroperasi. Mempunyai satuan menit per tahun.
10. *Down time system* (DTS), merupakan waktu rata-rata suatu sistem tidak melakukan fungsinya seperti yang diinginkan.

2.3 Ketersediaan (*Availability*)

Availability adalah kemampuan suatu sistem dapat beroperasi sebagaimana mestinya pada suatu saat atau waktu yang ditentukan. Analisa rekayasa ketersediaan merupakan suatu metodologi yang dapat membantu para peneliti dalam memperbaiki produktivitas dari sebuah *plant* (Priyanta, 2000).

Dalam menentukan ketersediaan didapatkan dari dua faktor yaitu, *mean time to repair* (MTTR) atau waktu rata-rata mengerjakan perbaikan dan *mean time between failure* (MTBF) atau rata-rata waktu beroperasinya komponen tanpa mengalami kerusakan (Dieter, 2000). Berikut persamaan yang digunakan dalam menentukan *availability*:

Laju kegagalan

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah kegagalan}}{\text{Total waktu operasi (jam)}} \quad (2.5)$$

MTBF (*mean time Between failure*)

$$MTBF = \frac{\text{Total waktu operasi (Jam)}}{\text{Jumlah kegagalan (Jam)}} \quad (2.6)$$

MTTR (*mean time to refair*)

$$MTTR = \frac{\text{Lama perbaikan}}{\text{Jumlah kerusakan}} \quad (2.7)$$

Ketersediaan

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.8)$$

Nilai dari *availability* adalah 0% sampai dengan 99,9%. semakin tinggi nilai *availability* suatu komponen maka semakin tinggi kualitas komponen atau sistem tersebut. Nilai standar *availability* untuk industri adalah 90% atau lebih (Betrianis, 2005).

2.4 Boiler

Boiler adalah mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentrasfer energi-energi kimia menjadi kerja atau usaha (Muin, 1988). *Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversi energi kimia atau potensial dari bahan bakar *fosil* maupun *non fosil* menjadi energi panas.

Air adalah media yang digunakan untuk mengalirkan panas kesuatu proses. Jika air di didihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, hingga menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik (Winanti dkk, 2006).

Boiler pada dasarnya terdiri dari bumbung atau *drum* yang tertutup pada ujung dan pangkalnya, dimana pada bagian dalam drum terdapat pipa-pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air atau gas panas.

Steam pada suatu pabrik kelapa sawit merupakan suatu sumber utama yang dibutuhkan untuk proses pengolahan buah kelapa sawit, dan juga digunakan sebagai kebutuhan pembangkit tenaga listrik guna menggerakkan peralatan dalam pabrik. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut dipilih sistem seri dengan sistem *bypass*, dimana *steam* yang dihasilkan boiler dipakai untuk menggerakkan turbin dan sebagian dipakai untuk proses pengolahan buah kelapa sawit.

Boiler umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME, terutama untuk penggunaan *boiler* pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material yang digunakan sebagai bahan pembuatan *boiler* seperti tembaga, kuningan, dan besi cor. Namun bahan-bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industri.

Sistem *boiler* terdiri dari tiga sistem, yaitu (UNEP, 2008):

1. Sistem Air Umpan (*Feed Water System*)

Merupakan suatu sistem yang menyediakan air umpan *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*.

2. Sistem *Steam*

Merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengumpul dan mengontrol produksi *steam*. *Steam* dialirkan melalui *steam* pemipaan ke titik pengguna.

3. Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)

Merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengatur dan menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

2.4.1 Jenis *Boiler*

Berdasarkan mekanisme fluida yang mengalir dalam pipa, maka *boiler* yang digunakan pada industri diklasifikasikan menjadi dua, yaitu (Muin, 1988):

1. *Fire Tube Boiler*

Boiler jenis ini pada bagian tubenya dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. Tube-tubanya langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan *horizontal* dari gas pembakaran diantara *furnace* dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada *furnace* dihitung sebagai pass pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala besar.

Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan *boiler* ada didalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam*.

2. *Water Tube Boiler*

Pada *water tube boiler*, air umpan *boiler* mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam *drum*. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar pembentuk *steam* pada daerah uap *drum*. *Boiler* ini digunakan jika kebutuhan *steam* dan tekanan sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit. *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas *steam* diatas 20000 kg/jam dengan tekanan yang sangat tinggi.

2.4.2 Komponen instrumentasi *boiler*

Instrumentasi adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur dan pengendalian dalam suatu sistem. *Boiler* tersusun dari berbagai macam komponen dengan fungsinya masing-masing, yaitu (Effendy, 2013):

2.4.2.1 *Blowdown Valve*

Blowdown adalah pembuangan *steam* yang difungsikan untuk menjaga *purity steam* sebelum dirubah menjadi *superheated steam*, hal ini dimaksudkan agar kualitas *steam superheated* yang masuk ke dalam turbin sesuai dengan kebutuhan turbin sehingga tidak mengganggu material penyusun turbin. Selain itu, *blowdown* juga berfungsi untuk membuang endapan yang tidak terlarut *Total Dissolved Solids (TDS)* yang melebihi

ambang batas yang telah ditetapkan serta untuk membuang kelebihan air yang berada di dalam *water drum*. Pola perlakuan *blowdown* lebih baik dengan frekuensi yang tinggi dari pada dilakukan dengan periode yang lama untuk sekali *blowdown*.

Pengaturan kuantitas *flow steam* yang dikeluarkan melalui *blowdown* tergantung dari pola pengoperasiannya, pada bagian pembangkit pembuangan *blowdown steam* dilakukan secara otomatis yaitu dengan memanfaatkan sinyal dari sensor TDS di dalam boiler drum untuk membuka *blowdown valve*. Hal ini sangat efektif karena steam yang dibuang sesuai dengan jumlah TDS yang terdeteksi sehingga dapat menghemat biaya produksi.



Gambar 2.4. *Blowdown Valve*
(Sumber: Effendy 2013)

2.4.2.2 *Dearator Pump*

Dearator adalah alat pemanas air umpan *boiler* yang berfungsi untuk menghilangkan gas seperti *oksigen*, *carbon dioksida*, dan *ammonia* yang terlarut dalam air. *Dearator* dilengkapi dengan pipa injeksi *steam* dengan temperatur air mencapai 90 °C sampai 100 °C, yang menyebabkan air akan terbebas dari gas O₂ dan CO₂ dan keluar dari *dearator* sehingga bisa di *supply* ke *steam drum*.

2.4.2.3 *Distributor Conveyor*

Conveyor adalah suatu sistem mekanik yang berfungsi untuk memindahkan barang dari satu tempat ke tempat lain. *Conveyor* banyak dipakai di industri sebagai alat transportasi barang yang jumlahnya sangat banyak dan berkelanjutan.

Distributor Conveyor merupakan suatu jenis *conveyor* yang digunakan untuk mengangkut bahan padat maupun serabut. Alat ini pada dasarnya terbuat dari pisau yang terpilin

mengelilingi sumbu sehingga berbentuk sekrup. *Distributor Conveyor* ini berfungsi sebagai alat pengangkut dan membagi bahan bakar kedalam ruang pembakaran.



Gambar 2.5. *Distributor Conveyor*
(Sumber: Effendy 2013)

2.4.2.4 *Elektric Pump*

Elektric Pump adalah alat yang berfungsi untuk menyuplai air umpan *boiler* ke *steam drum* yang digerakkan oleh tenaga listrik.

2.4.2.5 *Forced Draft Fan*

Forced Draft Fan adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan udara yang digunakan untuk menyemburkan api pada proses pembakaran bahan bakar di dalam *furnace* sehingga menghasilkan proses pembakaran yang baik dengan tekanan tinggi 15 kw.

2.4.2.6 *Induced Draft Fan*

Induced Draft Fan adalah alat yang berfungsi untuk untuk menyemburkan udara yang digunakan untuk mengatur penyempuran bahan bakar di dalam *burnace*.

2.4.2.7 *Manometer atau Pressure Gauge*

Manometer atau *pressure gauge* berfungsi sebagai alat untuk menunjukkan besarnya tekanan *steam* didalam *drum* maupun pada *superheater*. Manometer yang digunakan adalah jenis *bourdon*. Pada pemasangan manometer ini digunakan pipa angsa (*sympnon pipe*) untuk menghindari kesalahan pengukuran karena tekanan dan temperatur tinggi yang langsung dihubungkan dengan manometer.

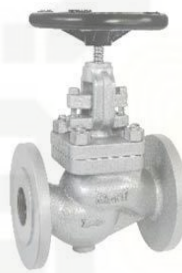
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan 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 2.6. Manometer
 (Sumber: Effendy 2013)

2.4.2.8 Main Steam Valve

Main Steam Valve atau keran uap induk berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran *steam* yang akan digunakan untuk proses *supply steam* ke bagian stasiun *power plant* untuk memutar turbin.



Gambar 2.7. Main Steam valve
 (Sumber: Effendy 2013)

2.4.2.9 Safety Valve

Safety valve berfungsi sebagai pengaman *boiler* yang akan bekerja bila terdapat tekanan lebih pada *boiler* atau tekanan pada *boiler* melebihi batas tekanan yang diijinkan. *Valve* ini terdiri dari dua jenis, yaitu *valve* pengaman uap basah dan *valve* pengaman uap kering. *Safety valve* ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah diatur pada tekanan 21 kg/cm² sedangkan untuk *valve* pengaman uap kering diatur pada tekanan 20.5 kg/cm².

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.



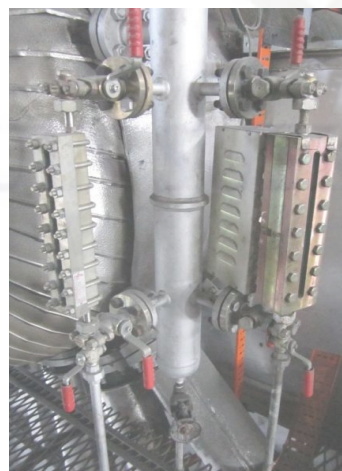
Gambar 2.8. *Safety valve*
 (Sumber: Effendy 2013)

2.4.2.10 *Turbin Pump*

Turbin Pump adalah alat yang berfungsi untuk menyuplai air umpan *boiler* ke *steam drum* yang digerakkan oleh *steam*.

2.4.2.11 *Water Level Gauge*

Pada pengoperasian *boiler* sebagai peralatan utamanya harus ada alat pengukur ketinggian air didalam *boiler* yaitu *water level gauge*. Level air didalam *steam drum* harus dijaga agar tetap berada pada standar *level* air yang telah ditentukan. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan ketinggian air dalam ketel selama *boiler* sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca. Jenis *water level gauge* yang dapat digunakan yaitu *sight glass* dengan mengetahui *level* air dari tabung kaca. *Sight glass* ini dilengkapi dengan alat pengontrol air otomatis yang akan membunyikan *bell* dan menyalakan lampu merah pada waktu kekurangan air. Pada waktu kelebihan air *bell* juga akan berbunyi dan lampu hijau yang akan menyala.



Gambar 2.9. *Water Level Gauge*
 (Sumber: Effendy 2013)

2.5 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault Tree Analysis adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisa keandalan dari segi kuantitatif. Metode ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1962, metode ini menggambarkan bagaimana suatu kerusakan dapat terjadi dan peluang yang menyebabkan terjadinya kerusakan dalam bentuk diagram pohon (Putra, 2014). Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak atau *top event* kemudian merinci sebab-sebab suatu *top event* sampai pada suatu kegagalan dasar.

Dengan metode *fault tree analysis* ini akan dapat diketahui kegagalan-kegagalan yang menjadi penyebab terjadinya *undesired event*, dan probabilitas terjadinya *undesired event* tersebut. Untuk mencari penyebab terjadinya *undesired event* tersebut adalah dengan menganalisis secara kualitatif, dan sedangkan untuk mencari probabilitas adalah dengan cara menganalisis secara kuantitatif. Dengan melakukan analisis kuantitatif, maka dapat diketahui bagian mana dari komponen mesin yang mengalami kegagalan.

Untuk menganalisis kegagalan dari komponen dengan metode *fault tree analysis*, perlu diuraikan kegagalannya dalam bentuk Pohon kegagalan atau *fault tree* dari komponen yang akan dianalisis. *Fault tree* adalah model grafis dari kegagalan pada sistem dan kombinasinya yang menghasilkan terjadinya *undesired event* (Wulandari, 2011). Kegagalan yang terjadi pada suatu sistem tersebut bisa dikarenakan kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikannya, dan kegagalan yang terjadi akibat faktor *internal* maupun *eksternal* dari sistem tersebut.

Pada satu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* dan masing-masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan oleh bagian-bagian dari komponen dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan lainnya. Pada *fault tree*, *undesired event* yang akan dianalisis disebut juga dengan *top event*.

2.5.1 Simbol dan istilah dalam *Fault Tree Analysis*

Simbol dan istilah yang digunakan dalam *fault tree analysis*, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang, dan simbol transfer.

2.5.1.1 Simbol Kejadian

Simbol kejadian adalah simbol yang berisi keterangan kejadian pada sistem atau komponen, yaitu:

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.

a. *Basic Event*

Simbol yang berbentuk lingkaran digunakan untuk menyatakan *basic event* atau *primary event* atau kegagalan mendasar yang tidak perlu dicari penyebabnya, atau *basic event* ini merupakan batas akhir penyebab suatu kegagalan.



Gambar 2.10 *Basic Event*

(Sumber: Wulandari 2011)

b. *Undeveloped Event*

Simbol yang berbentuk *diamond* digunakan untuk menyatakan *undeveloped event* atau kejadian yang tidak berkembang, yaitu suatu kejadian kegagalan tertentu yang tidak dicari penyebabnya baik karena kejadian tidak cukup berhubungan atau karena tidak tersedia informasi yang terkait dengan kegagalan suatu komponen.

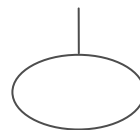


Gambar 2.11 *Undeveloped Event*

(Sumber: Wulandari 2011)

c. *Conditioning Event*

Simbol yang berbentuk oval digunakan untuk menyatakan *conditioning event*, yang menyatakan suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang. Kejadian *output* terjadi jika kejadian *input* terjadi dan memenuhi suatu kondisi tertentu.

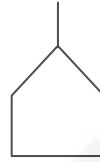


Gambar 2.12 *Conditioning Event*

(Sumber: Wulandari 2011)

d. *External Event*

Simbol yang berbentuk rumah digunakan untuk menyatakan *external event*, yang menyatakan kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak termasuk dalam kejadian kegagalan.



Gambar 2.13 *External Event*

(Sumber: Wulandari 2011)

e. *Intermediate Event*

Simbol yang berbentuk persegi panjang yang berisi tentang kejadian yang muncul dari kombinasi kejadian-kejadian *input* gagal yang masuk ke gerbang.



Gambar 2.14 *Intermediate Event*

(Sumber: Wulandari 2011)

2.5.1.2 Simbol Gerbang

Simbol gerbang digunakan untuk menunjukkan hubungan diantara kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output* dengan kata lain, kejadian output disebabkan oleh kejadian *input* yang yang berhubungan dengan cara tertentu. simbol gerbangnya yaitu (Wulandari, 2011):

a. Gerbang OR

Gerbang OR digunakan untuk menyatakan bahwa kejadian yang akan muncul terjadi jika satu atau lebih kejadian kegagalan yang merupakan inputnya terjadi. Kejadian A terjadi jika *basic event* B terjadi, *basic event* C tidak terjadi. Kejadian A juga terjadi jika *basic event* C terjadi, *basic event* B tidak terjadi. Kejadian A terjadi jika kedua *basic event* terjadi.

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.

- b. Gerbang AND
 Gerbang AND digunakan untuk menunjukkan kejadian *output* yang muncul hanya jika semua *input* terjadi. Kejadian A terjadi jika kejadian B terjadi, Kejadian C juga terjadi pada satu waktu.
- c. Gerbang INHIBIT
 Gerbang INHIBIT yang dilambangkan dengan segi enam, merupakan kasus khusus dengan gerbang AND. *Output* disebabkan oleh satu *input*, tetapi juga harus memenuhi kondisi tertentu sebelum *input* dapat menghasilkan *output*.
- d. Gerbang EXCLUSIVE OR
 Gerbang EXCLUSIVE OR adalah gerbang OR dengan kasus tertentu, yaitu kejadian *output* muncul jika tepat satu kejadian ikut muncul.
- e. Gerbang PRIORITY AND
 Gerbang PRIORITY AND adalah gerbang AND dengan syarat dimana kejadian *output* muncul hanya jika semua kejadian *input* muncul dengan urutan tertentu.

2.5.1.3 Simbol Transfer

- a. *Triangle-in*
Triangle-in atau *transfers in* merupakan titik dimana *sub-fault tree analysis* bisa dimulai sebagai kelanjutan pada *transfers-out*



Gambar. 2.15 Simbol *Triangle-in*
 (Sumber: Wulandari 2011)

- b. *Triangle-out*
Triangle-out atau *transfers out*, merupakan titik dimana *fault tree analysis* dipecah menjadi *sub-fault tree analysis*.



Gambar. 2.16 Simbol *Triangle-out*
 (Sumber: Wulandari 2011)

2.5.2 Aturan Dalam Membangun *Fault Tree Analysis*

Untuk membangun *fault tree analysis* dari kegagalan dari suatu komponen sistem dibutuhkan aturan, yaitu (Pandey, 2005):

1. Aturan I : Tulis semua pernyataan yang dimasukkan ke dalam simbol kejadian sebagai kesalahan, tentukan apa kegagalan dan kapan kegagalan tersebut muncul.
2. Aturan II : jika jawaban dari pertanyaan, apakah kegagalan disebabkan kegagalan komponen? Adalah ya, masukkan kejadian tersebut sebagai kondisi kegagalan komponen. jika jawabannya tidak, masukkan sebagai kondisi kegagalan sistem.
3. Aturan III : kondisi kegagalan sistem menggunakan gerbang AND, OR, atau INHIBIT, atau tidak menggunakan gerbang sama sekali.
4. Aturan IV : kondisi kegagalan komponen selalu menggunakan gerbang OR.
5. Aturan V : *Non gate-to-gate*. Gerbang *input* harus mendefinisikan kejadian kesalahan secara tepat, dan gerbang tidak boleh secara langsung dihubungkan dengan gerbang yang lain.
6. Aturan VI : *Non miracle*. Jika fungsi normal dari komponen membuat barisan kesalahan, maka diasumsikan komponen tersebut berfungsi secara normal.
7. Aturan VII : Dalam gerbang OR, *input* tidak menyebabkan *output*.
8. Aturan VIII: Di gerbang AND definisikan hubungan sebab.
9. Aturan IX : Gerbang INHIBIT menyatakan hubungan antara satu kesalahan dengan kesalahan lain, tetapi harus disertai kondisi.

5.5.3 Langkah-Langkah Membangun *Fault Tree Analysis*

1. Langkah I : Menentukan tujuan yang akan dicapai dari FTA.
2. Langkah II : Mendefinisikan *top event*.
3. Langkah III: Mendefinisikan batasan,dan cakupan dari sistem atau komponen yang akan dianalisis.
4. Langkah IV: Memulai membuat *fault tree* dari atas. Disini akan diselidiki kejadian apa saja yang bisa mengakibatkan *top event* terjadi.
5. Langkah V : Menganalisa FTA secara kualitatif dan kuantitatif.

2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Dalam mengevaluasi perancangan dalam suatu sistem dari segi kehandalan maka, *failure mode and effect analysis* (FMEA) merupakan suatu metode yang sangat digunakan untuk menganalisa kegagalan suatu sistem. Sejarah penggunaan FMEA berawal pada tahun 1950-an oleh militer Amerika Serikat ketika teknik tersebut digunakan dalam merancang dan mengembangkan sistem kendali penerbangan (Priyanta, 2000). Kemudian FMEA mulai digunakan oleh perusahaan *Ford* pada tahun 1980-an. *Automotive Industry Action Group* (AIAG) dan *American Society for Quality Control* (ASQC) menetapkannya sebagai standar metodologi formal pada industri pada tahun 1993. Saat ini FMEA merupakan salah satu *core tools* dalam ISO/TS 16949:2002 (McDermott, 2009).

Menurut para ahli defenisi mengenai tentang *failure mode and effect analysis* (FMEA) memiliki arti yang cukup luas dan apabila dievaluasi lebih lanjut memiliki arti dan makna yang sama. Defenisi FMEA tersebut disampaikan oleh beberapa ahli yaitu:

Menurut Roger D. Leitch, *failure mode and effect analysis* adalah analisa teknik yang apabila dilakukan dengan tepat dan waktu yang tepat akan memberikan nilai yang besar dalam membantu proses pembuatan keputusan dari *engineer* selama perancangan dan pengembangan. Analisa tersebut bisa dikatakan sebagai analisa *button up*, seperti dilakukan pemeriksaan pada proses produksi tingkat awal dan mempertimbangkan kegagalan sistem yang merupakan hasil dari keseluruhan bentuk kegagalan yang berbeda.

Menurut John Moubray, *failure mode and effect analysis* adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan.

Sedangkan menurut Mochamad T. Sujarwadi, *failure mode and effect analysis* adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineer* untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya.

Failure mode and effect analysis adalah salah satu metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan yang terjadi dalam sebuah sistem, desain, atau pelayanan dengan mengidentifikasi kegagalan (Stamatis, 1995). *Failure mode and effect analysis* merupakan metode kualitatif yang menerapkan suatu metode pentabelan yang dapat mempermudah peneliti dalam menganalisis kegagalan. FMEA dilakukan untuk menganalisa potensi kegagalan dan potensi yang teridentifikasi akan dikelompokkan

menurut besarnya potensi kegagalan dan efeknya terhadap proses. Metode ini membuat para engineer dapat mengidentifikasi kegagalan yang berpatokan kepada kejadian dan pengalaman yang telah lalu sehingga dapat merancang sistem dengan baik dan meminimalisir kegagalan pada sistem.

Tujuan utama FMEA adalah untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan model kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen dan menganalisis dampaknya terhadap keandalan dari sistem tersebut. Metode FMEA ini merupakan metode pendekatan yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu *engineering* dalam mendefinisikan mode kegagalan dan efek yang dihasilkan.

Dalam FMEA dapat dilakukan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN), dimana berfungsi untuk menentukan tingkat kegagalan tertinggi. Nilai RPN merupakan hubungan antara tiga variabel yaitu, tingkat keparahan (*severity*), tingkat frekuensi kejadian (*occurrence*), dan tingkat deteksi kegagalan (*detection*) yang menunjukkan besarnya tingkat resiko yang mengarah pada tindakan perbaikan pada sistem, berikut tiga variabel dari RPN yaitu:

1. *Severity*

Saverity adalah tingkat keparahan dari efek yang ditimbulkan oleh model kegagalan terhadap keseluruhan sistem (Febriani, 2007). *Severity* adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko, yaitu dengan menghitung seberapa besar dampak kejadian kegagalan dalam mempengaruhi *output* proses. Nilai *rating severity* antara 1 sampai 10. Dimana nilai 1 menunjukkan kondisi terbaik dan nilai 10 menunjukkan kondisi terburuk yang diberikan jika kegagalan yang terjadi memiliki dampak yang sangat besar terhadap sistem.

2. *Occurrence*

Occurrence adalah sebuah penilaian terhadap tingkat keseringan terjadinya kerusakan secara mekanis yang yang terjadi pada mesin (Kusuma, 2009). *Occurrence* berhubungan dengan estimasi jumlah kegagalan kumulatif yang muncul akibat suatu penyebab tertentu pada mesin atau sistem. Nilai *rating occurrence* antara 1 sampai 10. Dimana nilai 10 yang diberikan jika kegagalan yang terjadi memiliki nilai kumulatif yang tinggi atau sering terjadi.

3. *Detection*

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan untuk mendeteksi atau mengontrol kegagalan yang terjadi. Nilai *rating detection* diberikan antara 1

sampai 10. Dimana nilai 10 yang diberikan jika tidak bisa mendeteksi kegagalan tersebut (Sumantri, 2013). Penilaian tingkat *detection* sangat penting dalam menentukan potensi penyebab yang dapat menimbulkan kerusakan serta melakukan tindakan perbaikan.

2.6.1 Tujuan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Secara umum tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA), yaitu (Henley, 1992):

1. Membantu dalam pemilihan desain alternatif yang memiliki keandalan dan keselamatan potensial yang tinggi selama fase desain.
2. Menjamin bahwa semua bentuk mode kegagalan yang dapat diperkirakan berikut dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.
3. Membuat *list* kegagalan potensial, serta mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkannya.
4. Mengembangkan kriteria awal untuk rencana dan desain pengujian serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem.
5. Sebagai basis analisis kualitatif keandalan dan ketersediaan.
6. Sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain.
7. Sebagai dasar untuk menentukan prioritas perawatan.

2.6.2 Langkah-langkah dalam Penerapan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Ada beberapa langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam menganalisis penentuan *failure mode and effect analysis* (FMEA), yaitu:

Tabel 2.1 Langkah Kerja Metode FMEA

Langkah 1	Peninjauan kembali proses
Langkah 2	Pembahasan mede-mode kegagalan potensial
Langkah 3	Membuat daftar akibat-akibat yang berpotensi dari masing-masing mode kegagalan
Langkah 4	Menentukan nilai <i>severity</i> untuk masing-masing akibat
Langkah 5	Menentukan nilai <i>occurence</i> untuk setiap mode kegagalan

Langkah 6	Menentukan nilai <i>detection</i> untuk setiap mode atau akibat kegagalan
Langkah 7	Menghitung nilai prioritas resiko (<i>risk priority number</i>) untuk setiap mode kegagalan
Langkah 8	Prioritaskan mode-mode kegagalan yang perlu mendapatkan tindakan korektif
Langkah 9	Mulai bertindak menghapus dan mengurangi resiko mode kegagalan yang tinggi
Langkah 10	Mengkalkulasi untuk menghasilkan RPN dengan mengurangi atau menghapus mode kegagalan

Sumber: McDermott (2009)

Penjelasan dari langkah kerja dalam penerapan *failure mode and effect analysis* dari tabel diatas:

1. Peninjauan kembali proses
Yaitu melakukan kembali proses kerja dari *boiler*, bagian-bagian komponen atau alat yang mengalami kegagalan untuk dilakukan tindakan analisis.
2. Pembahasan mode-mode kegagalan potensial
Yaitu mengetahui bentuk kegagalan yang terjadi pada komponen *boiler*.
3. Membuat daftar akibat-akibat yang berpotensi dari masing-masing mode kegagalan.
Yaitu membahas tentang akibat atau dampak dari mode kegagalan yang terjadi pada *boiler*.
4. Menentukan nilai *severity* untuk masing-masing akibat
Yaitu menentukan nilai dari *severity* atau tingkat keparahan untuk mendapatkan efek, kriteria, dan peringkat keparahan pada suatu komponen *boiler*.
5. Menentukan nilai *occurrence* untuk setiap mode kegagalan
Yaitu menentukan nilai dari *occurrence* untuk mendapatkan kriteria dan peringkat dari masing-masing komponen *boiler*.
6. Menentukan nilai *detection* untuk setiap mode atau akibat kegagalan
Yaitu menentukan nilai dari *detection* untuk mendapatkan kriteria dan peringkat dari masing-masing komponen *boiler*.
7. Menghitung nilai prioritas resiko (*risk priority number*) untuk setiap mode kegagalan

- Yaitu melakukan perhitungan dengan mengalikan nilai dari *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari masing-masing komponen *boiler*.
8. Prioritaskan mode-mode kegagalan yang perlu mendapatkan tindakan korektif
Yaitu setelah dilakukan perhitungan nilai RPN untuk masing-masing potensi kegagalan maka disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut dari yang terbesar.
 9. Mulai bertindak menghapus dan mengurangi resiko mode kegagalan yang tinggi
Yaitu menurunkan kegagalan dengan melakukan penanganan khusus dengan melakukan pencegahan yang berupa perawatan secara rutin dan melakukan perbaikan untuk mengurangi kegagalan dari komponen.
 10. Mengkalkulasi untuk menghasilkan RPN dengan mengurangi atau menghapus mode kegagalan
Yaitu melakukan perhitungan ulang nilai RPN setelah dilakukan perbaikan, yang bertujuan untuk menurunkan resiko kegagalan berikutnya. Apabila belum bisa tercapai perlu dilakukan penanganan yang lebih lanjut.

2.6.3 Menentukan Nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*

Untuk mendapatkan nilai peringkat atau kriteria keandalan dalam metode FMEA, maka perlu dilakukan penetapan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* sesuai dengan kejadian yang terjadi dilapangan.

1. Nilai *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko, yaitu dengan menghitung seberapa besar tingkat keparahan atau dampak kejadian kegagalan dalam mempengaruhi *output* proses. Dampak tersebut memiliki *range* nilai mulai dari skala 1 sampai 10, dimana nilai 10 merupakan nilai yang terburuk. Tabel *severity* ini merupakan mengutip dari panduan standar *Automotive Industry Action Group* (AIAG) yang menggambarkan industri otomotif, sedangkan objek penelitian yang digunakan oleh penulis adalah *boiler*. Sehingga dilakukan modifikasi dari tabel *severity* AIAG untuk menggambarkan kejadian yang berkaitan dengan boiler.

Berikut tabel dari kriteria dan nilai rating dari *severity* :

Tabel 2.2 *Severity* dalam FMEA

Efek	Kriteria <i>Severity</i>	Peringkat
Berbahaya tanpa adanya peringatan	Kegagalan yang menghasilkan efek yang sangat berbahaya.	10
	Dapat menggagalkan sistem.	
	Kegagalan terjadi tanpa adanya peringatan terlebih dahulu.	
	Tidak ada tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	
	Dapat membahayakan operator <i>boiler</i> .	
Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan yang menghasilkan efek yang sangat berbahaya.	9
	Dapat menggagalkan sistem.	
	Dapat membahayakan operator <i>boiler</i> .	
	Adanya tanda-tanda kerusakan sebelumnya.	
Sangat Tinggi	<i>Boiler</i> tidak dapat dioperasikan karena ada gangguan besar pada komponen dari <i>boiler</i> .	8
	100% komponen harus dibongkar.	
Tinggi	<i>Boiler</i> tidak dapat dioperasikan karena komponen <i>boiler</i> kehilangan fungsi utamanya.	7
Sedang	<i>Boiler</i> dapat beroperasi, tetapi dapat merusak komponen <i>boiler</i> .	6
	Mengalami pemborosan bahan baku untuk proses berikutnya, karena tidak ada output yang dihasilkan.	
	Ada komponen yang tidak berfungsi.	
Rendah	<i>Boiler</i> dapat beroperasi dengan aman tetapi mengalami penurunan <i>performansi</i> secara bertahap akibat ada gangguan pada komponen.	5
	Mengalami pemborosan bahan baku untuk proses berikutnya.	
Sangat rendah	Gangguan minor pada lini produksi dengan efek yang sangat rendah.	4
	<i>Boiler</i> dapat beroperasi dengan normal, namun settingan mengalami perubahan.	
	Hasil produksi akhir <i>steam</i> tidak sesuai.	
Kecil	<i>Boiler</i> dapat beroperasi dengan normal, namun ada gangguan kecil, operator menyadari adanya gangguan.	3
	Sedikit berpengaruh pada kinerja boiler.	
Sangat Kecil	Mesin dapat beroperasi dengan normal, efek dari gangguan tidak mengganggu jalannya operasi <i>boiler</i> .	2

- 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.

Tabel 2.2 *Severity* dalam FMEA (Lanjutan)

Efek	Kriteria <i>Severity</i>	Peringkat
Tidak Ada Efek	Tidak ada efek sama sekali atau bentuk kegagalan tidak memiliki pengaruh pada mesin maupun proses produksi <i>steam</i> .	1
Catatan: Tingkat <i>severity</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effect analysis</i> dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek dan kejadian di lapangan.		

Sumber: Gaspersz (2002)

2. Nilai *Occurrence*

Occurrence merupakan sebuah penilaian terhadap tingkat keseringan terjadinya kerusakan selama masa sistem berjalan. Proses penentuan untuk nilai *occurrence* menggunakan tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 *Occurrence* dalam FMEA

<i>Probability of Failure</i>	<i>Occurrence</i>	Frekuensi Kejadian (Tiga Tahun)	Peringkat
Sangat Tinggi	1 per 10 hari	> 109	10
	1 per 20 hari	55 sampai 108	9
Tinggi	1 per 30 hari	36 sampai 54	8
	1 per 50 hari	21 sampai 35	7
Sedang	1 per 60 hari	11 sampai 20	6
	1 per 100 hari	6 sampai 10	5
Rendah	1 per 1 tahun	3 sampai 5	4
	1 per 2 tahun	2	3
Terkontrol	1 per 3 tahun	1	2
	Tidak pernah sama sekali	< 1	1
Catatan: Tingkat <i>occurrence</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effect analysis</i> dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek dan kejadian di lapangan.			

Sumber: Gaspersz (2002)

3. Nilai *Detection*

Detection adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Proses penentuan untuk nilai *detection* menggunakan tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 *Detection* dalam FMEA

Deteksi	Kriterian <i>Detection</i>	Peringkat
Tidak Terdeteksi	Tidak bisa terdeteksi dan menimbulkan kerusakan yang parah.	10
Sedikit	Terdeteksi sedikit karena kontrol sulit mendeteksi gangguan.	9
Sangat Kecil	Terdeteksi kecil komponen <i>boiler</i> tidak dapat beroperasi.	8
Kecil	Terdeteksi kecil, komponen <i>boiler</i> berhenti beroperasi.	7
Rendah	Terdeteksi rendah karena ada komponen <i>boiler</i> yang tidak berfungsi atau rusak dilakukan pergantian alat.	6
Sedang	Terdeteksi sedang karena ada komponen <i>boiler</i> yang mengalami gangguan, dilakukan tindakan perbaikan.	5
Cukup Tinggi	Terdeteksi cukup tinggi, komponen-komponen <i>boiler</i> mengalami perubahan setingan dan dilakukan tindakan pengecekan dan kalibrasi alat.	4
Tinggi	Terdeteksi tinggi, karena adanya peringatan <i>alarm</i> kerusakan yang dipasang pada komponen <i>boiler</i> .	3
Sangat Tinggi	Deteksi sangat tinggi, terdeteksi alat kontrol, dan Perawatan rutin dilakukan.	2
Pasti	Pasti terdeteksi kerusakan.	1
Catatan: Tingkat <i>detection</i> diadopsi dari standar <i>reference manual potential failure mode and effect analysis</i> dari AIAG, dilakukan modifikasi kriteria untuk menyesuaikan objek dan kejadian di lapangan.		

Sumber: Gaspersz (2002)

4. Nilai *Risk Priority Number* (RPN)

Setelah mendapatkan nilai *Saverity*, *occurrence*, dan *detection* komponen mesin *boiler* maka akan diperoleh nilai RPN. RPN merupakan produk matematis dari keseriusan dari *effect saverity*, kemungkinan terjadi *cause* akan menimbulkan kegagalan yang berhubungan dengan *effect occurrence*, dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi pada pelanggan atau *detection*. Nilai RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.9)$$

Keterangan:

- S : *Saverity*
 O : *occurrence*
 D : *detection*

Nilai dari RPN tersebut digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang serius, sebagai acuan ke arah tindakan perawatan pada sistem yang mengalami kegagalan.

Komponen yang memiliki nilai RPN tertinggi harus mendapatkan penanganan yang pertama, selain itu perhatian harus diberikan kepada sistem yang memiliki nilai *severity* tertinggi 9 atau 10 tanpa melihat nilai RPNnya.

Semakin kecil nilai RPN maka semakin baik tingkat keandalan sistem tersebut. Pada metode *failure mode and effect analysis* sebuah sistem dikatakan handal apabila nilai RPN nya kecil dari 200, namun apabila nilai RPN lebih dari 200 maka perlu adanya penanggulangan terhadap sistem tersebut (McDermott, 2009).

2.7 Diagram Pareto

Diagram pareto dikembangkan oleh seorang ahli ekonomi Italia yang bernama Vilfredo Frederigo Pareto pada akhir abad ke-19, merupakan pendekatan *logic* dari tahap awal pada proses perbaikan suatu situasi yang digambarkan dalam bentuk histogram yang dikenal sebagai konsep *vital few and the trivial many* untuk mendapatkan penyebab utamanya (Gaspersz, 1998). Diagram pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kegagalan yang terjadi. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang paling tinggi serta diletakkan pada sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit ditunjukkan oleh grafik batang yang terakhir yang terendah pada sisi paling kanan. Dengan bantuan diagram pareto, kegiatan akan lebih efektif dengan memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak yang paling besar terhadap kejadian meninjau berbagai gambar.

Prinsip pareto juga dikenal sebagai aturan 80-20, yang menyatakan bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80% dari pada efeknya disebabkan oleh 20% dari penyebabnya. Prinsip ini diajukan oleh pemikir manajemen bisnis M. Juran, yang menamakannya berdasarkan ekonom Italia Vilfredo Pareto, yang pada tahun 1906 mengamati bahwa 80% dari pendapatan di Italia dimiliki oleh 20% dari jumlah populasi.

Dalam implementasinya, prinsip 80 per 20% ini dapat diterapkan untuk berbagai hal, yaitu (Devani. 2015):

1. 80% dari keluhan pelanggan muncul dari 20% produk atau jasa
2. 80% dari keterlambatan jadwal timbul dari 20% dari kemungkinan penyebab penundaan.
3. 20% produk atau jasa mencapai 80% dari keuntungan
4. 20% dari tenaga penjualan memproduksi 80% dari pendapatan perusahaan
5. 20% dari cacat sistem menyebabkan 20% masalah.

Pada suatu diagram pareto akan dapat diketahui, suatu faktor merupakan faktor yang paling prioritas dibandingkan faktor-faktor lainnya, karena faktor tersebut berada pada urutan terdepan, terbanyak atau pun tertinggi pada deretan jumlah faktor yang di analisa. Diagram pareto juga bisa digunakan untuk dapat menentukan pangkal persoalan berdasarkan analisa dengan mempertimbangkan beberapa sudut pandang.

Untuk membuat grafik diagram pareto, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai persentasi kumulatif menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Persentasi total keseluruhan} = \frac{\text{Nilai RPN}}{\text{RPN total}} \times 100 \% \quad (2.10)$$

2.8 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan adalah suatu aktifitas yang dilakukan secara berkala dengan tujuan untuk melakukan pergantian kerusakan pada peralatan. Fungsi pertama dari perawatan adalah untuk melindungi peralatan-peralatan agar dapat beroperasi secara normal dan juga untuk mencegah kerusakan dini. Secara garis besar perawatan terbagi dua yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* (Priyanta, 2000).

2.8.1 *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan pada *interval* waktu yang sudah ditentukan. Dengan melakukan perawatan *preventive* mengandung maksud untuk mengurangi probabilitas kegagalan atau penurunan performansi dari suatu sistem.

2.8.2 *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance adalah perawatan yang dilakukan setelah sistem mengalami kegagalan, dan perawatan ini dimaksudkan untuk mengembalikan sistem kepada keadaan dimana sistem tersebut dapat melakukan fungsinya kembali.