



TESIS - BM185407

**ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN PADA BOILER
DENGAN METODE *FAILURE MODE EFFECT
ANALYSIS***

Studi Kasus: Pembangkit Listrik Tenaga Uap

**ANGGY ISWANTO
09211850016041**

**Dosen Pembimbing:
Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E., Ph.D.**

**Departemen Manajemen Teknologi
Fakultas Bisnis Dan Manajemen Teknologi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Manajemen Teknologi (M.MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Anggy Iswanto

NRP: 09211850016041

Tanggal Ujian: 21 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. **Prof. Ir. Suparno, M.S.I.E., Ph.D.**
NIP: 194807101976031000



.....

Penguji:

1. **Prof. Dr. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc**
NIP: 195908171987031002



.....

2. **Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc.**
NIP: 195904301989031001

Kepala Departemen Manajemen Teknologi

Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi



Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP

NIP: 196912311994121076

ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN PADA BOILER DENGAN METODE *FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS*

Studi Kasus: Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Nama Mahasiswa : Anggy Iswanto

NRP Mahasiswa : 09211850016041

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E., Ph.D.

ABSTRAK

Perawatan didalam suatu industri perlu untuk diperhatikan dalam upaya menjaga agar kondisi fasilitas produksi dapat tetap beroperasi dengan baik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ merupakan salah satu pembangkit swasta (*Independent Power Producer/IPP*), PLTU XYZ menjual listrik kepada Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai konsumen utama. Permasalahan yang dihadapi oleh PLTU XYZ yang saat ini sering terjadi adalah *unplanned downtime* pada Boiler sehingga mengakibatkan nilai *availability* mengalami penurunan. Dari data *unplanned downtime* selama tahun 2019 menunjukkan bahwa sering dilakukan proses pemberhentian pada boiler dengan total waktu selama 39 hari. Untuk itu diperlukan upaya analisa penyebab kerusakan untuk mengurangi *unplanned downtime* pada boiler dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Sebelum dilakukan proses analisa, langkah awal yang perlu dilakukan adalah indentifikasi gejala untuk mengetahui akar penyebab masalah menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Setelah diketahui akar penyebab masalah, selanjutnya dilakukan proses analisa dengan diagram pareto untuk mengetahui masalah yang paling sering terjadi. Metode FMEA digunakan untuk menentukan prioritas kerusakan pada boiler dengan mengukur nilai dari *Risk Priority Number* (RPN) dengan cara melakukan *ranking* kriteria yaitu: *Severity* (S), *Occurrence* (O), *Detection* (D). Dari hasil analisa dan pembahasan didapatkan tiga kerusakan kritis dengan nilai RPN *tube leak* sebesar 405, *slagging* dan *fouling* sebesar 270, dan *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) sebesar 40. Usulan prioritas perbaikan adalah *tube leak* dengan melakukan tindakan *tube coating* dan *water canon*.

Kata kunci: Boiler, *Unplanned Downtime*, *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS CAUSE OF THE FAILURE ON BOILER USING FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS METHOD

A Case Study: Steam-Electric Power Plant

Student Name : Anggy Iswanto
Student ID : 09211850016041
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.IE., Ph.D

ABSTRACT

Maintenance in an industry needs to be considered in an effort to maintain the condition of production facilities in order to operate properly. The XYZ Steam Power Plant (PLTU) is one of the Independent Power Producers (IPP), XYZ PLTU sells electricity to the State Electricity Company (PLN) as the main consumer. The problem faced by the XYZ PLTU which often happens now is unplanned downtime in Boilers resulting in decreased availability. Unplanned downtime data for 2019 shows that the boiler is often stopped by a total of 39 days. For this reason, analysis cause of failure are needed to reduce unplanned downtime in boilers using the Failure Mode Effect Analysis (FMEA) method. Before the analysis cause of failure, the first step that needs to be done is to identify the symptoms to find out the root cause of the problem using the Fault Tree Analysis (FTA) method. After knowing the root cause of the problem, then the analysis process is carried out with a Pareto diagram to find out the most common problems. The FMEA method is used to determine the priority of failure on boiler by measuring the value of the Risk Priority Number (RPN) by ranking criteria, namely: Severity (S), Occurrence (O), Detection (D). From the results of the analysis and discussion there were three critical failure with a tube leak RPN of 405, slagging and fouling of 270, and submerged scrapper chain conveyor (SSCC) of 40. The Proposed priority of repairs is tube leak by carrying out the action of tube coating and water canon.

Keywords: Boiler, Unplanned Downtime, Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah memberikan kekuatan sehingga saya dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Analisa Penyebab Kerusakan Pada Boiler Dengan Metode *Failure Mode Effect Analysis*” Studi Kasus: Pembangkit Listrik Tenaga Uap”. Dalam menyelesaikan proposal tesis ini, penulis juga dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Nyoman Pujawan., M.Eng., Ph.D., CSCP selaku Kepala Departemen Magister Manajemen Teknologi FBMT-ITS Surabaya.
2. Bapak Prof. Ir. Suparno, M.S.I.E., Ph.D selaku Dosen Pembimbing dalam penelitian dan penyusunan proposal tesis ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Magister Manajemen Teknologi FBMT-ITS Surabaya.
4. Segenap jajaran direksi, manajemen, karyawan yang telah bersedia memberikan ijin untuk melakukan penelitian di perusahaan tempat Bapak dan Ibu bekerja.
5. Kedua orang tua dan adik atas doa, dukungan, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
6. Rekan – rekan kuliah MMT ITS yang selalu menjadi teman diskusi setiap adanya permasalahan.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis atas segala bantuannya sehingga proposal tesis ini dapat diselesaikan.

Kami menyadari bahwa penulisan proposal ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang membangun demi kesempurnaan proposal ini.

Surabaya, 21 Januari 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	7
2.2 Boiler	9
2.2.1 <i>Economizer</i>	10
2.2.2 <i>Superheater</i>	10
2.2.3 <i>Reheater</i>	10
2.3 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	11
2.4 <i>Reliability (Keandalan)</i>	13
2.4.1 Distribusi Kerusakan.....	13
2.4.2 <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	14
2.4.3 <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	15
2.5 <i>Availability (Ketersediaan)</i>	15
2.6 Diagram Pareto	16
2.7 <i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>	16
2.7.1 <i>Ranking Severity (S)</i>	19
2.7.2 <i>Ranking Occurrence (O)</i>	20
2.7.3 <i>Ranking Detection (D)</i>	21
2.8 Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Gambaran Umum Penelitian	25

3.2	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	26
3.3	Pengumpulan Data.....	27
3.4	Pengolahan Data.....	27
3.5	Analisa dan Pembahasan.....	28
3.6	Kesimpulan dan Saran	28
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA		29
4.1	Pengumpulan Data.....	29
4.2	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	30
4.3	Jenis Kerusakan.....	31
4.4	Penyebab Kerusakan.....	32
4.5	Efek Kerusakan	34
4.6	Kontrol Kerusakan.....	34
4.7	Diagram Pareto.....	35
4.8	Menghitung Keandalan.....	36
4.9	Menghitung <i>Availability</i>	41
4.10	Biaya Perawatan	41
4.11	<i>Failure Mode Effect Analysis</i> (FMEA).....	43
BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN		45
5.1	Analisa Kerusakan Kritis Pada Boiler	45
5.2	Analisa <i>Reliability</i> Dan <i>Availability</i>	45
5.3	Analisa Biaya Perawatan	46
5.4	Analisa <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	47
5.5	Analisa <i>Failure Mode Effect Analysis</i> (FMEA)	48
5.6	Usulan Perbaikan.....	49
BAB 6 PENUTUP		51
6.1	Kesimpulan	51
6.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		55
BIODATA PENULIS		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Nilai Availability PLTU XYZ Bulan Maret – Mei 2019.....	2
Gambar 2.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	7
Gambar 2.2 Boiler Sub-kritikal	9
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	26
Gambar 4.1 Diagram Pareto Unplanned Downtime	36
Gambar 4.2 Fault Tree Analysis (FTA) Unplanned Downtime	31

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Unplanned Downtime Boiler Tahun 2019.....	2
Tabel 1.2 Hasil Produksi Steam	3
Tabel 2.1 Simbol Fault Tree Analysis (FTA).....	12
Tabel 2.2 Failure Mode Effect Analysis (FMEA) untuk Perawatan	18
Tabel 2.3 Lanjutan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) untuk perawatan.....	18
Tabel 2.4 Ranking Kriteria Severity (S)	19
Tabel 2.5 Ranking Kriteria Occurrence (O).....	20
Tabel 2.6 Ranking Kriteria Detection (O).....	21
Tabel 2.7 Posisi Penelitian	24
Tabel 4.1 Data Unplanned Downtime Boiler Tahun 2018 – 2019.....	29
Tabel 4.2 Summary Unplanned Downtime Per Tahun.....	30
Tabel 4.3 Waktu Kerusakan Dan Perbaikan Boiler Tahun	37
Tabel 4.4 Penentuan Distribusi Untuk Time To Failure (TTF).....	37
Tabel 4.5 Penentuan Distribusi Untuk Time To Repair (TTR).....	38
Tabel 4.6 Nilai Parameter Time To Failure (TTF)	38
Tabel 4.7 Nilai Parameter Time To Repair (TTR)	38
Tabel 4.8 Nilai Keandalan (R(t)).....	39
Tabel 4.9 Nilai MTTF Dan MTTR.....	41
Tabel 4.10 Nilai Availability (A(t)).....	41
Tabel 4.11 Biaya Perbaikan Tube Leak	42
Tabel 4.12 Biaya Pembersihan Slagging dan Fouling	42
Tabel 4.13 Biaya Perbaikan Submerged Scrapper Chain Conveyor (SSCC)	43
Tabel 4.14 Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Perawatan Boiler	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

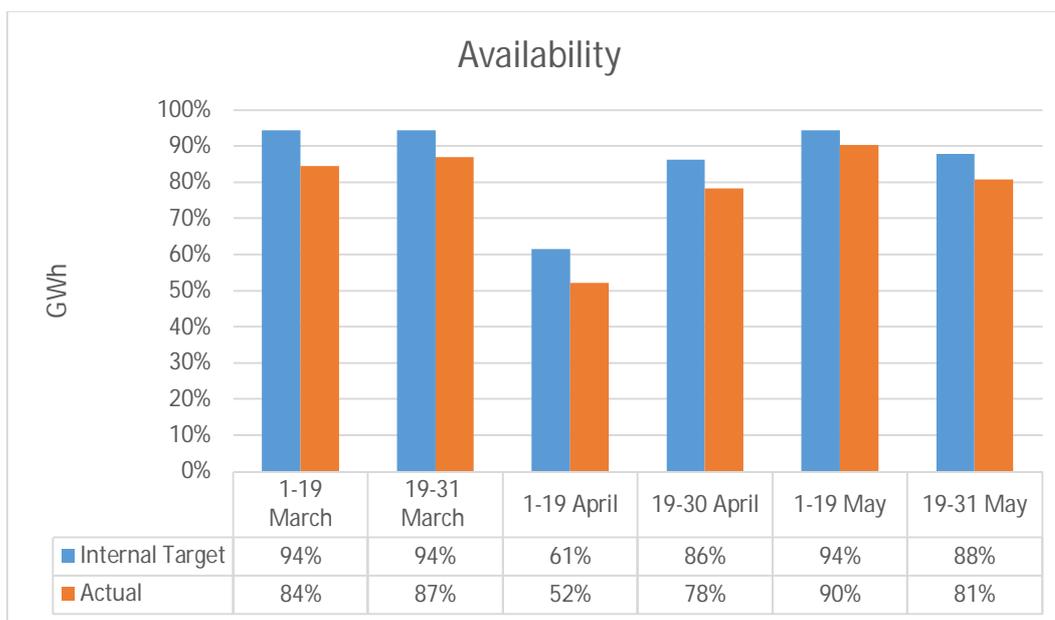
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perawatan didalam suatu industri sangat penting untuk diperhatikan dalam upaya menjaga agar kondisi fasilitas produksi atau mesin yang digunakan dapat beroperasi dengan baik. Fasilitas produksi atau mesin tidak selalu dapat dipergunakan setiap saat, dikarenakan terjadi kerusakan atau kegagalan pada fasilitas produksi atau mesin. Pada saat terjadi kerusakan atau kegagalan maka secara otomatis akan mengakibatkan terganggunya proses produksi dan bahkan proses produksi akan terhenti sehingga sangat dimungkinkan target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan tidak tercapai dan pada akhirnya perusahaan akan mengalami kerugian. Al-Turki (2011) menyatakan bahwa proses perawatan yang dilakukan oleh suatu perusahaan sangat mempengaruhi ketersediaan (*availability*) fasilitas produksi, laju produksi, kualitas produk akhir (*end product*), ongkos produksi, dan keselamatan operasi.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ merupakan pembangkit swasta (*Independent Power Producer/IPP*) yang beroperasi sejak tahun 1998 hingga saat ini, dengan total kapasitas pembangkit sebesar 2×615 MW yang mensuplai listrik untuk seluruh pulau Jawa dan Bali. PLTU XYZ menjual listrik kepada PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang menjadi konsumen utama, dengan nilai kontrak yang telah disepakati bersama. Upaya untuk menjaga ketersediaan (*availability*) pembangkit listrik sesuai dengan target yang ditetapkan oleh perusahaan menjadi tujuan utama. Akan tetapi menurut data *availability* pada bulan Maret hingga bulan Mei 2019 menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi dan target produksi yang ditetapkan oleh perusahaan tidak tercapai.



Gambar 1.1 Grafik Nilai *Availability* PLTU XYZ Bulan Maret – Mei 2019
 Sumber: Hasil Pengolahan Data Nilai *Availability*

Gambar 1.1 menjelaskan bahwa selama bulan Maret hingga bulan Mei 2019 nilai dari *availability* untuk kedua unit pembangkit tidak mencapai target yang ditetapkan oleh perusahaan. Salah satu penyebab menurunnya *availability* adalah waktu pemberhentian (*downtime*), didalam sistem pembangkit listrik dilakukan *downtime* apabila terjadi kerusakan dan perlu proses perawatan terhadap fasilitas produksi. Salah satu fasilitas produksi yang dimiliki PLTU adalah boiler, fasilitas ini digunakan untuk mengubah fase air menjadi fase uap dengan cara memanaskan air menjadi uap. Sebagian besar *downtime* yang dilakukan oleh PLTU XYZ diakibatkan oleh kerusakan pada boiler.

Tabel 1.1 *Unplanned Downtime* Boiler Tahun 2019

Unit	Bulan	Waktu (Hari)	Waktu (Jam)
A	Februari	4	48
	Maret	4	48
	Juni	6	72
B	Januari	5	60
	April	6	72
	Juli	4	48
	September	10	120
Total		39	468

Sumber: Data *Unplanned Downtime* PLTU XYZ

Nilai *availability* PLTU XYZ banyak dipengaruhi oleh pemberhentian terhadap boiler, Tabel 1.1 menunjukkan bahwa selama tahun 2019 sering terjadi *unplanned downtime* pada boiler. Apabila ditotal ada 39 hari dengan total 468 jam terjadi pemberhentian terhadap boiler untuk dilakukan proses perawatan pada boiler. Tentu banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *unplanned downtime* boiler salah satu penyebabnya adalah limbah yang dihasilkan oleh proses produksi berupa debu halus (*fly ash*) dan debu kasar (*bottom ash*). Limbah ini dihasilkan pada saat pembakaran batu bara didalam boiler sehingga sering kali menjadi masalah seperti menempel pada dinding boiler, mengakibatkan pembakaran didalam boiler terjadi tidak sempurna dan berakibat terhadap hasil produksi yang mengalami penurunan kualitas.

Tabel 1.2 Hasil Produksi *Steam*

Category	Actual	Target	Losses
Load	587.5 MW	610 MW	22.5 MW
Flow	2.040,3 t/h	2.125,3 t/h	85 t/h
Pressure	166.2 bar	173.1 bar	6.9 bar
Temp	522.5 °C	544.2 °C	21.7 °C

Sumber: Data Produksi *Steam* Boiler PLTU XYZ

Tabel 1.2 menunjukkan bahwa PLTU XYZ mengalami penurunan produktivitas produksi dimana saat ini hanya mampu menghasilkan 587.5 MW dibandingkan dengan target produksi yaitu *full load* sebesar 610 MW dan *losses* yang dihasilkan sebesar 22.5 MW. Hal ini mengidentifikasi bahwa proses produksi belum memenuhi target yang telah ditetapkan perusahaan, oleh sebab itu maka diperlukan suatu tindakan agar dapat meningkatkan produktivitas produksi secara maksimal. Melakukan analisa penyebab kerusakan untuk mengurangi *unplanned downtime* pada boiler dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) perlu dilakukan, sebelum dilakukan analisa langkah awal adalah melakukan identifikasi gejala untuk mengetahui akar penyebab masalah dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) sehingga diketahui masalah yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime*. Dari masalah yang telah diketahui kemudian dilakukan analisa dengan diagram pareto untuk mengetahui masalah yang paling sering terjadi.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan akan ada evaluasi terhadap proses perawatan yang dilakukan pada boiler dan menentukan perencanaan perawatan yang tepat serta dapat mengurangi terjadinya *unplanned downtime* pada boiler. Dimana saat ini untuk perawatan boiler dalam kegiatan operational belum maksimal sehingga sering terjadi *unplanned downtime* secara terus menerus. Maka kedepan akan ada evaluasi terhadap proses perawatan, sebagai dasar untuk menentukan perencanaan perawatan boiler.

1.2 Rumusan Masalah

Dari beberapa uraian latar belakang rumusan masalah didalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan perencanaan perawatan boiler pada sistem PLTU XYZ?
2. Apa saja penyebab masalah yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* boiler pada sistem PLTU XYZ?
3. Bagaimana cara agar dapat mengurangi *unplanned downtime* boiler pada sistem PLTU XYZ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai didalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tindakan perawatan boiler dengan melakukan analisa interval waktu perawatan.
2. Melakukan identifikasi penyebab masalah yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* boiler.
3. Melakukan perbaikan untuk mengurangi *unplanned downtime* boiler dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Manajemen perusahaan dapat mengetahui faktor yang menyebabkan terjadinya *unplanned downtime* pada boiler
2. Manajemen perusahaan dapat mengetahui cara agar dapat mengurangi terjadinya *unplanned downtime* pada boiler.

3. Bagi khalayak umum dapat digunakan sebagai referensi pengembangan penelitian selanjutnya mengenai *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).

1.5 Batasan Masalah

Batasan daalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada proses perawatan yang ada pada boiler pada sistem PLTU XYZ.
2. Data kerusakan yang digunakan adalah data kerusakan dimulai dari tahun 2018 hingga 2019.
3. Penelitian ini dilakukan sampai tahap penyusunan rekomendasi perbaikan, tidak dilakukan sampai implementasi perbaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. BAB 1 Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan, rumusan masalah, manfaat serta batasan penelitian.
2. BAB 2 Dasar Teori
Bab ini berisi teori-teori ilmiah yang mendukung penelitian, berasal dari studi dan tinjauan pustaka dari berbagai macam referensi dan literatur.
3. BAB 3 Metode Penelitian
Bab ini berisi tentang alur penelitian, cara pengumpulan data, metode pengolahan data serta tata cara pemecahan masalah dalam menyelesaikan permasalahan.

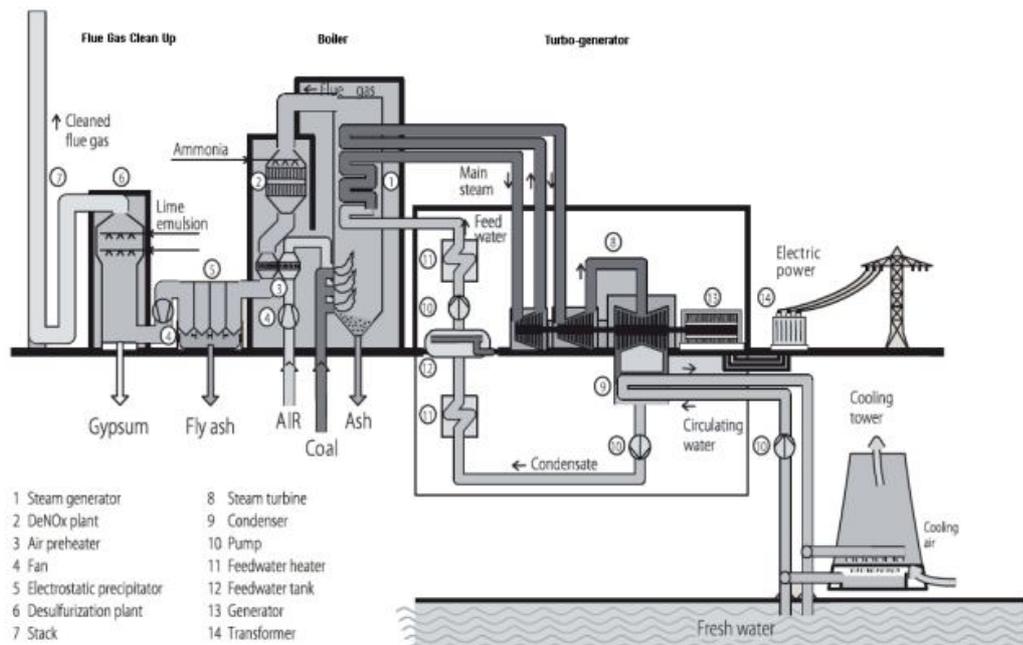
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebuah pembangkit listrik yang membakar batu bara untuk menghasilkan listrik. Pada sistem PLTU ada peralatan pulveriser yang berfungsi menggiling batu bara menjadi bubuk halus untuk dibakar didalam boiler, panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran batu bara digunakan untuk memanaskan air. Dari proses pemanasan air akan menghasilkan uap pada suhu dan tekanan yang tinggi, uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi mekanis. Kemudian energi mekanis diubah menjadi energi listrik menggunakan generator, prinsip perubahan ini berdasarkan hukum farady tentang induksi elektromagnetik. Uap yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin dirubah kembali menjadi air melalui proses kondensasi, air hasil kondensasi kemudian dipompa kembali menuju boiler untuk dilakukan proses pemanasan ulang (Rasul 2013).



Gambar 2.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
Sumber: Rasul (2013)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa terdapat tiga jenis turbin didalam sistem PLTU, yaitu: *high pressure turbine*, *intermediate turbine*, dan *low pressure turbine*. Uap yang telah digunakan untuk menggerakkan *high pressure turbine* dipanaskan kembali didalam boiler untuk menghasilkan uap dengan suhu yang diinginkan, kemudian uap digunakan untuk menggerakkan *intermediate turbine* dan *low pressure turbine*. Dari beberapa tahap penggunaan uap pada PLTU dilakukan proses kondensasi untuk mengubah uap kembali menjadi air, proses ini berulang secara terus menerus untuk menghasilkan listrik. Air yang digunakan didalam proses produksi merupakan air yang sama, apabila terjadi pengurangan akibat *losses* air akan ditambah sesuai dengan kebutuhan.

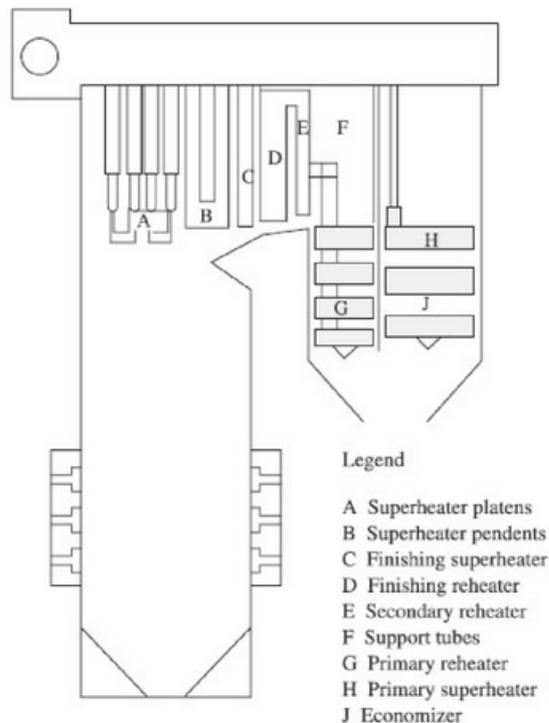
Umumnya PLTU dibagi menjadi tiga area utama, yaitu: boiler, generator, dan gas buang. Boiler membakar batu bara untuk memanaskan air sehingga menghasilkan uap, pembakaran didalam boiler terhubung dengan pulveriser dan alat untuk memasok udara. Termasuk juga didalamnya terdapat *economizer* sebagai pemanasan awal, *superheater* dan *reheater* yang terdiri dari pipa – pipa didalam boiler. Uap yang dihasilkan oleh proses produksi digunakan untuk menggerakkan turbin, seperti yang terdapat pada Gambar 2.1 generator dihubungkan dengan turbin menggunakan *coupling*, fungsi dari generator adalah mengubah energi mekanis yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik. Kemudian listrik yang dihasilkan akan dikirim melalui transformer menuju jaringan distribusi, fungsi dari transformer adalah untuk menaikkan tegangan listrik sesuai dengan jaringan transmisi jarak jauh. Uap yang dihasilkan akan diubah kembali menjadi air melalui *condenser* menggunakan air pendingin.

Pembakaran batu bara didalam boiler menghasilkan gas buang yang terdiri dari nitrogen (N_2), carbon dioxide (CO_2) dan air (H_2O), gas buang ini membawa polutan udara diantaranya *sulfur oxide* (SO_x) dan *nitrogen oxide* (NO_x) tergantung pada teknologi pembakaran yang digunakan. Area gas buang terdiri dari peralatan untuk mengolah gas buang diantaranya peralatan De NO_x digunakan untuk menghilangkan NO_x , *electrostatic precipitator* (ESP) untuk menghilangkan debu dan *flue gas desulfurization* (ESP) untuk menghilangkan SO_x dari gas buang. Ada sejumlah energi panas yang tersisa dari gas buang kemudian dihilangkan menggunakan *Air Heater*.

2.2 Boiler

Boiler yang digunakan pada PLTU XYZ adalah jenis boiler tabung air (*steam drum*) atau biasa disebut dengan sub-kritikal. Fungsi dari *steam drum* adalah memisahkan air dengan uap yang dihasilkan oleh proses pembakaran didalam boiler. Menurut Nag P.K (2001) boiler sub-kritikal adalah jenis boiler yang memiliki tabung air (*steam drum*) dan biasanya beroperasi pada tekanan uap antara 130 dan 180 bar. Kebanyakan PLTU memiliki jenis boiler *steam drum* dengan tekanan air 170 hingga 180 bar, yang menghasilkan uap super panas sekitar 540 – 560 °C dengan satu atau dua tahap pemanasan ulang. Kapasitas uap boiler yang mampu dihasilkan berkisar antara 120 hingga 1300 kg/s dengan output unit pembangkit mulai dari 125 hingga 1300 MW.

Didalam sistem PLTU pada umumnya memiliki satu boiler per turbin, sehingga dapat menyederhanakan sistem perpipaan di unit pembangkit. Sistem perpipaan didalam boiler terdiri dari beberapa bagian yang terintegrasi menjadi satu yaitu: *furnace*, *economizer*, *superheater*, *reheater*, dan *preheater*. Gambar 2.2 menunjukkan desain dari boiler jenis *steam drum*.



Gambar 2.2 Boiler Sub-kritikal
Sumber: Nag P.K (2001)

2.2.1 Economizer

Economizer adalah bagian boiler yang mentransfer panas untuk menaikkan suhu air sehingga menghasilkan air bertekanan tinggi hingga mencapai suhu jenuh yang sesuai dengan tekanan boiler. pemanasan ini dilakukan pada sisi gas buang yang keluar dari hasil pembakaran pada *superheater*, gas buang memiliki suhu sekitar 370 hingga 540 °C. Memanfaatkan gas buang ini untuk pemanasan air sebelum masuk boiler dapat meningkatkan efisiensi dan ekonomi yang lebih baik. *Economizer* didesain untuk memanaskan air boiler dibagian *outlet* dengan memanfaatkan panas sekitar 20% dari total panas yang dihasilkan.

2.2.2 Superheater

Superheater adalah bagian boiler yang mentransfer panas ke uap jenuh untuk dinaikkan suhunya, hal ini dapat meningkatkan efisiensi dari siklus secara keseluruhan. Selain itu untuk mengurangi kadar air pada tahap terakhir turbin dengan demikian dapat meningkatkan efisiensi internal turbin. Dalam boiler dengan tekanan tinggi lebih dari 40% total panas yang diserap dalam pembentukan uap yang terjadi pada *superheater*. Maka area yang lebih luas diperlukan untuk pembentukan uap dengan tekanan tinggi. *Superheater* biasanya memiliki tiga bagian didalam boiler yaitu dua disisi *furnace* dan satu pada sisi *backpass* boiler.

2.2.3 Reheater

Desain dari *reheater* memiliki persamaan dengan *superheater* dengan suhu yang dihasilkan sama dengan tekanan uap sekitar 20 sampai 25%. Diameter *tube* yang lebih besar sehingga mampu untuk mengurangi kehilangan tekanan pada *reheater*. Uap yang telah digunakan pada *high pressure turbine* dipanaskan ulang pada *reheater* kemudian kembali menuju *intermediate turbine* dan *low pressure turbine*. *Reheater* biasanya memiliki dua bagian yaitu satu disisi *furnace* dan satu disisi *backpass* boiler.

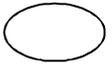
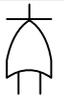
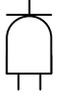
2.3 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Fault tree analysis (FTA) adalah proses deduktif dimana dengan peristiwa yang tidak diinginkan berada pada puncak kejadian (Modarres 1999). Cara ini digunakan untuk mengetahui peristiwa yang terjadi dan menyimpulkan secara sistematis. Misalnya: sebuah peristiwa seperti “kegagalan untuk mengirim sinyal pada sikuit A”, proses deduksi dilakukan sehingga pohon kesalahan mengetahui semua kegagalan yang mengakibatkan proses terjadinya peristiwa puncak. Didalamnya menganalisa pohon kesalahan dimungkinkan untuk memasukkan mode kegagalan yang diakibatkan oleh kesalahan manusia dan perangkat lunak serta hubungan antara keduanya selama beroperasinya sistem. Pohon kesalahan sendiri adalah representasi grafis dari berbagai kombinasi kegagalan yang mengarah kepada terjadi peristiwa puncak.

Pohon kesalahan tidak harus mengandung semua mode kegagalan yang mungkin terjadi pada komponen atau unit sistem. Hanya mode kegagalan yang berkontribusi terhadap keberadaan peristiwa puncak yang terjadi. Maka peristiwa kesalahan yang muncul pada struktur pohon kesalahan mungkin tidak lengkap, hanya peristiwa – peristiwa penting yang dapat dimasukkan. Namun keputusan untuk memasukkan peristiwa kegagalan tidak sembarangan, hal ini harus dipengaruhi oleh prosedur pohon kesalahan, desain sistem dan operasi, riwayat operasi, data kegagalan yang tersedia, dan pengalaman melakukan analisa.

Pohon kesalahan itu sendiri adalah model logis dengan demikian mewakili karakterisasi kualitatif dari logika sistem. Ada banyak algoritma untuk mengevaluasi pohon kesalahan, salah satunya adalah konsep pohon kesalahan adalah dengan menggunakan metode aljabar Boolean. Untuk memahami simbol dari logika pohon kesalahan dapat dilihat pada Tabel 2.1, dimana terdapat tiga jenis simbol yaitu: simbol kejadian, simbol gerbang, dan simbol transfer

Tabel 2.1 *Simbol Fault Tree Analysis (FTA)*

PRIMARY EVENT SYMBOLS	
	BASIC EVENT – A basic event requiring no further development
	CONDITIONING EVENT – Specific condition or restrictions that apply to any logic gate (used primary with PRIORITY AND and INHIBIT gate)
	UNDEVELOPED EVENT – An event which is not further developed either because it is of insufficient consequence or because information is unavailable
	EXTERNAL EVENT – An event which is normally expected to occur
INTERMEDIATE EVENT SYMBOLS	
	INTERMEDIATE EVENT – An event that occurs because of one or more antecedent causes acting through logic gates
GATE SYMBOLS	
	AND – Output occurs if all of the input events occur
	OR – Output occurs if at least one of the input events occurs
	EXCLUSIVE OR – Output occurs if exactly one of the input events occurs
	PRIORITY AND – Output occurs if all of the input events occur in a specific sequence (the sequence is represented by a CONDITIONING EVENT drawn to the right of the gate)
	PRIORITY AND – Output occurs if all of the input events occur in a specific sequence (the sequence is represented by a CONDITIONING EVENT drawn to the right of the gate)
	Not – OR – Output occurs if at least one the input events does not occur
	Not – AND – Output occurs if all of the input events do not occur
Transfer Symbols	
	TRANSFER IN – Indicates that the tree is developed further at the occurrence of the corresponding TRANSFER OUT (e.g., on another page)
	TRANSFER OUT – Indicates that this portion of the tree must be attached at the corresponding TRANSFER IN

Sumber: Modarres (1999)

2.4 Reliability (Keandalan)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah item akan menampilkan atau melaksanakan tugas yang telah ditetapkan dengan memuaskan untuk periode waktu yang ditentukan, yang digunakan berdasarkan kondisi tertentu. Tingkat keandalan sebuah sistem mempunyai arti bahwa probabilitas sebuah sistem untuk dapat menjalankan fungsinya, artinya karena nilai keandalan ini dalam bentuk probabilitas maka nilainya berkisar antara 0 hingga 1 (Ebeling Charles 1997).

Jika $R(t)$ menyatakan fungsi keandalan dari komponen atau suatu sistem sebagai fungsi waktu maka hubungan antara fungsi keandalan $R(t)$ dan distribusi kerusakan kumulatif atau $F(t)$ dihubungkan oleh sebuah persamaan sebagai berikut.

$$R(t) = 1 - F(t) = \Pr(T \geq t) \text{ untuk } t > 0 \quad (2.1)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2.2)$$

Dengan:

$F(t)$ = Fungsi kumulatif dari t

$\Pr(T \geq t)$ = Probabilitas suatu sistem berfungsi diatas periode waktu t

$f(t)$ = Fungsi peluang densitas dari t

2.4.1 Distribusi Kerusakan

Distribusi kerusakan adalah informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Distribusi kerusakan suatu peralatan memiliki bentuk yang berbeda – beda, distribusi kerusakan yang umum digunakan adalah distribusi Eksponensial, Weibull, Normal, dan Lognormal, dimana distribusi kerusakan ini dapat memenuhi berbagai fase kerusakan (Ebeling Charles 1997).

1. Distribusi Weibull

Distribusi yang paling banyak digunakan dalam teknik perhitungan keandalan adalah distribusi Weibull. Adanya parameter – parameter dalam distribusi Weibull membuat bentuk – bentuk perilaku kerusakan dapat lebih mudah dimodelkan. Distribusi Weibull dapat digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun menurun (Ebeling Charles 1997). Adapun fungsi peluang densitas distribusi Weibull adalah sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} (t)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}, \text{ untuk } t \geq 0; \beta, \theta > 0 \quad (2.3)$$

Dan fungsi keandalan dari distribusi Weibull adalah sebagai berikut:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.4)$$

Dengan:

t = Waktu kerusakan

θ = Parameter skala dari distribusi

β = Parameter bentuk dari distribusi

2. Distribusi Normal

Distribusi Normal digunakan untuk kerusakan yang mengalami kelelahan dan aus. Karena ada hubungannya dengan distribusi Lognormal, maka dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas Lognormal (Ebeling Charles 1997). Fungsi peluang densitas distribusi Normal adalah sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right], \text{ untuk } -\infty < t < \infty \quad (2.5)$$

Dan fungsi keandalan dari distribusi Normal adalah sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.6)$$

Dengan:

t = Waktu kerusakan

μ = *Mean*

σ = *Standard Deviation*

Nilai $\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$ didapat dari tabel fungsi Normal

2.4.2 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata – rata atau waktu rata – rata terjadinya kerusakan (Ebeling Charles 1997). Perhitungan nilai MTTF untuk distribusi Weibull dan distribusi Normal adalah sebagai berikut.

1. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.7)$$

Dengan:

θ = Parameter skala dari distribusi

β = Parameter bentuk dari distribusi

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapat dari tabel fungsi Gamma

2. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (2.8)$$

Dengan:

μ = *Mean*

2.4.3 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time To Repair (MTTR) adalah nilai rata – rata atau waktu rata – rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan terhadap suatu komponen atau peralatan yang mengalami kerusakan (*breakdown*) (Ebeling Charles 1997). Perhitungan nilai MTTR untuk distribusi Weibull adalah sebagai berikut.

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.6)$$

Dengan:

θ = Parameter skala dari distribusi

β = Parameter bentuk dari distribusi

Nilai $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ didapat dari tabel fungsi Gamma

2.5 Availability (Ketersediaan)

Analisa *availability* (ketersediaan) dilakukan untuk memastikan suatu peralatan memiliki probabilitas yang tinggi untuk beroperasi, sehingga dapat mencapai tujuan yang ditetapkan (Modarres 1999). Ketersediaan suatu peralatan dapat dianggap sebagai kombinasi dari keandalan dan perawatan, oleh karena itu apabila tidak ada perawatan atau perbaikan yang dilakukan maka keandalan dapat dikatakan sebagai ketersediaan.

Secara matematis keterersediaan suatu peralatan adalah ukuran dari waktu peralatan dalam kondisi beroperasi dengan total atau waktu kalender. Definisi ketersediaan secara umum adalah probabilitas dari suatu peralatan, ketika digunakan dalam kondisi dan lingkungan yang ideal (misalnya: suku cadang,

pekerja, peralatan diagnosis, prosedur, dll) serta beroperasi pada waktu tertentu. Menurut Luh Ade (2016) *availability* sistem dapat diukur menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$A(t) = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (2.7)$$

Dengan:

$A(t)$ = *Availability*

MTBF = *Mean Time Between Failure*

MTTF = *Mean Time To Failure*

MTTR = *Mean Time To Repair*

2.6 Diagram Pareto

Diagram pareto bisa disebut juga dengan susunan grafik atau bagan primer dan sekunder, yaitu suatu histogram dengan urutan frekuensi kejadian yang menunjukkan tentang berapa banyak hasil yang disebabkan oleh jenis atau kategori dengan penyebab yang diketahui. Diagram pareto dibuat dengan kepentingan untuk mengetahui masalah kualitas dan peningkatan kualitas dari suatu proyek. Diagram ini dapat digunakan untuk menganalisa masalah kualitas dan menentukan faktor utama dari masalah kualitas (Yang and Wu 2014).

Diagram pareto digambar dengan dua sistem koordinasi persegi panjang, koordinat kiri menunjukkan frekuensi yang mewakili nilai kumulatif dari frekuensi. Menurut beberapa pengamat analisis menggunakan diagram pareto dapat memahami faktor utama yang mempengaruhi kualitas.

2.7 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Failure mode effect analysis (FMEA) adalah teknik atau metode yang digunakan untuk menganalisa keandalan, metode ini bersifat induktif. Dalam prakteknya metode ini digunakan untuk semua aspek analisa kegagalan sistem dari konsep hingga implementasi. Analisa FMEA dilakukan untuk mengetahui penyebab yang mengakibatkan terjadi peristiwa atau kegagalan sistem, menentukan dampak yang ditimbulkan, dan merekomendasikan metode untuk meminimalkan kegagalan (Modarres 1999).

FMEA melakukan penggabungan terhadap suatu abstraksi seperti fungsi sistem, sub sistem, atau komponen. Analisa mengasumsikan bahwa kegagalan telah

terjadi, efek potensial yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut, kemudian mengidentifikasi potensi penyebabnya. Dari setiap mode kegagalan dan efek yang dihasilkan kemudian dilakukan peringkat resiko dengan cara melakukan perhitungan terhadap nilai *risk priority number* (RPN). Peringkat biasanya ditentukan berdasarkan pada probabilitas terjadinya kegagalan, tingkat keparahan dari efek yang ditimbulkan dan kemampuan untuk mendeteksi. Kegagalan yang memiliki resiko tertingga dalam peringkat ini mewakili area dengan resiko yang terbesar, dan penyebabnya harus dikurangi.

Menurut Chong, Ng, and Goh (2016) ada 5 langkah dalam menerapkan prosedur perawatan dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), yaitu:

1. *Structure analysis*, langkah ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi dan mengklasifikasi semua hubungan antara semua komponen dari peralatan.
2. *Function analysis*, melakukan analisis terhadap fungsi semua komponen peralatan beserta hubungan dengan komponen yang lainnya.
3. *Failure analysis*, melakukan analisis kerusakan setiap komponen yang ada diperalatan, pada langkah ini dilakukan identifikasi, pengamatan dan menganalisis dokumen terkait kerusakan komponen peralatan kemudian membuat kemungkinan terjadinya kerusakan dan mencari faktor yang menyebabkan kerusakan itu terjadi. Dengan cara membuat tabel pengamatan seperti pada Tabel 2.1.
4. *Measure analysis*, melakukan pengukuran terhadap kerusakan yang terjadi dengan cara melibatkan peringkat RPN dan membuat pencegahan saat ini dan tindakan deteksi.
5. *Optimization*, pengoptimalisasian dan meminimalkan resiko dengan tindakan tambahan serta memberi peringkat terhadap tindakan yang telah dilakukan kemudian menerapkan tindakan perbaikan.

Tabel 2.2 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) untuk Perawatan

Item/ function	Potensial failure mode	Potensial effect(s) of failure	Severity	Potensial cause(s)/ failure mechanism(s)	Occurrence	Current design controls	Detection	RPN	Recommended actions

Sumber: Modarres (1999)

Sebelum desain diselesaikan dan proses produksi dilakukan, seorang *engineer* memiliki kendali penuh terhadap perubahan design yang mungkin terjadi. Tiga jenis control yang perlu dipertimbangkan, yaitu: 1. Mencegah penyebab atau mengurangi laju kejadian, 2. Mendeteksi penyebab dan mengarahkan pada tindakan korektif, 3. Mendeteksi mode kegagalan.

Tabel 2.3 Lanjutan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) untuk perawatan

Responsibility and target completion date	Action result				
	Actions taken	Severity	Occurrence	Detection	RPN

Sumber: Modarres (1999)

Kolom *action result* tidakan korektif yang dilakukan bersama, dengan memperkirakan *severity*, *occurrence*, dan *detection* yang akan ditimbulkan oleh proses perbaikan.

Tidak seperti FMEA pada umumnya yang hanya menilai kegagalan pada bagian – bagian mesin yang berdampak pada kualitas produk, FMEA Perawatan digunakan sebagai penilaian peralatan kinerja yang dipengaruhi oleh *unplanned downtime* atau keselamatan dan biaya perawatan. *Risk Priority Number* (RPN) digunakan untuk memprioritaskan potensi kegagalan, formula untuk digunakan untuk mengukur RPN adalah:

$$RPN = Occurrence (O) \times Severity(S) \times Detection(D) \quad (2.4)$$

Dengan:

Occurrence (O) = seberapa sering terjadinya penyebab dan kerusakan

Severity (S) = seberapa serius dampak yang ditimbulkan

Detection (D) = seberapa sulit diketahui kerusakan tersebut

Skala yang diberikan pada masing – masing nilai O, S dan D adalah 1 hingga 10, semakin besar nilai RPN dari potensi kerusakan maka semakin tinggi resiko akibat kerusakan tersebut. Apabila telah diperoleh hasil RPN masing setiap kerusakan diberi peringkat dari nilai yang tertinggi kemudian diberikan tindakan perbaikan.

2.7.1. Ranking Severity (S)

Ranking Severity digunakan untuk memberikan indikator kualitatif dari potensi efek terburuk yang dihasilkan dari mode kegagalan. Berikut adalah peringkat berdasarkan kriteria *severity* yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ranking Kriteria *Severity (S)*

Ranking	Effect	Criteria: Severity of Effect	
1	None	Process parameter variability within specific limits. Adjustment or other process controls can be done during normal maintenance	Low maintenance costs/delivery impact
2	Very Minor	Process parameter variability within specific limits. Adjustment or other process controls can be done during production. No downtime.	
3	Minor	Downtime up to 10 minutes.	
4	Very Low	Downtime of between 10 to 30 minutes.	Medium maintenance costs/delivery impact
5	Low	Downtime of between 30 minutes and 1 hour.	
6	Moderate	Downtime of between 1 hour and 2 hours.	
7	High	Downtime of between 2 hours and 4 hours.	
8	Very High	Downtime of more than 4 hours	High maintenance costs/delivery impact
9	Hazardous – with warning	High severity ranking – Affect operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non compliance and government regulation with warning	
10	Hazardous – without warning	Very high severity ranking – Affect operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non compliance and government	

Sumber: Chong et al. (2016)

2.7.2 Ranking Occurrence (O)

Ranking occurrence adalah kemungkinan terjadinya penyebab kegagalan yang akan terjadi, peringkat didasarkan pada frekuensi kegagalan yang diperkirakan. Berikut adalah peringkat berdasarkan kriteria *occurrence* yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Ranking Kriteria *Occurrence* (O)

Ranking	Criteria: Possible number of failure within hours of operation	OR	Criteria: Possible number of failures within cycles of operation	OR	Criteria: The reliability based on users required time
1	1 in 25000		1 in 900000 cycle		R(t) = 98% MTBF is 50 times greater than User's required time
2	1 in 10000		1 in 900000		R(t) = 95% MTBF is 20 times greater than User's required time
3	1 in 5000		1 in 540000		R(t) = 90% MTBF is 10 times greater than User's required time
4	1 in 2500		1 in 360000		R(t) = 85% MTBF is 6 times greater than User's required time
5	1 in 1000		1 in 270000		R(t) = 78% MTBF is 4 times greater than User's required time
6	1 in 350		1 in 180000		R(t) = 60% MTBF is 2 times greater than User's required time
7	1 in 80		1 in 90000		R(t) = 37% MTBF is equal to User's required time
8	1 in 24		1 in 36000		R(t) = 20% MTBF is about 60% of User's required time
9	1 in 8		1 in 900		R(t) = 5% MTBF is about 30% of User's required time
10	1 in 1		1 in 90		R(t) < 1% MTBF is about 30% of User's required time

Sumber: Chong et al. (2016)

2.7.3 Ranking Detection (D)

Ranking detection adalah kemampuan kontrol pada desain yang diusulkan untuk mendeteksi potensi penyebab kegagalan, sebelum sistem produksi dijalankan. Berikut adalah peringkat berdasarkan kriteri *detection* yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Ranking Kriteria *Detection* (O)

Ranking	Effect	Criteria: Severity of Effect	
1	None	Process parameter variability within specific limits. Adjustment or other process controls can be done during normal maintenance	Low maintenance costs
2	Very Minor	Process parameter variability within specific limits. Adjustment or other process controls can be done during production. No downtime.	
3	Minor	Downtime up to 10 minutes.	
4	Very Low	Downtime of between 10 to 30 minutes.	Medium maintenance costs
5	Low	Downtime of between 30 minutes and 1 hour.	
6	Moderate	Downtime of between 1 hour and 2 hours.	
7	High	Downtime of between 2 hours and 4 hours.	
8	Very High	Downtime of more than 4 hours	High maintenance costs
9	Hazardous – with warning	High severity ranking – Affect operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non compliance and government regulation with warning	
10	Hazardous – without warning	Very high severity ranking – Affect operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non compliance and government	

Sumber: Chong et al. (2016)

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan metode yang berbeda juga. Chen (2013) melakukan penelitian mengenai penerapan TPM, dimana salah satu pilar dari TPM adalah serangkaian kegiatan kerja langsung dan sistematis pada persoalan yang dihadapi. Dalam upaya menjalankan program dan menghadapi persoalan tersebut, metode yang digunakan ada dua yaitu *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan *Root Cause Analysis* (RCA). Kedua metode ini digunakan untuk memenuhi tujuan perusahaan dengan mengurangi biaya produksi serta dapat mempromosikan karyawan dan untuk meningkatkan produktivitas peralatan. Strategi ini digunakan sebagai pelatihan terhadap karyawan untuk meningkatkan kemampuan teknis mereka.

Saleem et al. (2017) melakukan penelitian mengenai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada mesin *tyre curing press* untuk mengurangi jumlah *downtime* dan biaya pada saat dilakukan perawatan, masalah yang dihadapi adalah waktu pemberhentian peralatan dan kerugian yang diakibatkan oleh kualitas yang buruk sehingga perusahaan sulit untuk mencapai target produksi. Penelitian ini menghasilkan penilaian OEE sesudah dan sebelum diperbaiki penyebab dari kerusakan mesin. Metode yang digunakan untuk memperbaikinya adalah FMEA, hasil dari penelitian ini FMEA membantu meningkatkan kinerja industri dan daya saing produksi.

Mariajayaprakash and Senthilvelan (2013) melakukan penelitian tentang mendeteksi kegagalan dan optimalisasi penggunaan boiler pada pabrik gula dengan metode FMEA dan Taguchi, masalah yang dihadapi adalah pemberhentian boiler yang tidak terjadwal di pabrik gula sehingga mengakibatkan menurunnya hasil produksi. Penelitian ini menghasilkan kualitas dari proses dapat ditingkatkan dengan metode Taguchi dengan menekan biaya serendah mungkin dan parameter yang mempengaruhi terhadap kualitas proses produksi adalah bahan bakar.

Amran and Lewanskiky (2016) melakukan penelitian tentang implementasi FMEA sebagai perawatan preventif penelitian ini dilakukan pada fasilitas yang dimiliki oleh UKM di Indonesia wilayah bagian timur, masalah yang dihadapi adalah bagaimana penanganan pemeliharaan fasilitas UKM yang paling tepat.

Penelitian ini berfokus pada kerusakan mesin biogester, penetas telur, genset gas, *handcraft*, dan motor roda tiga. Penelitian ini menghasilkan jadwal perawatan preventif yang paling tepat untuk peralatan UKM, dengan 3 kategori yaitu: *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*, dan *combination of task* untuk masing – masing peralatan.

Fitriyan (2016) melakukan penelitian tentang analisis risiko kerusakan peralatan dengan menggunakan metode FMEA untuk meningkatkan kinerja pemeliharaan prediktif pada pembangkit listrik yang dilakukan disalah satu pembangkit listrik milik negara, masalah yang dihadapi adalah bagaimana melakukan analisis resiko kerusakan peralatan pada pembangkit listrik dan bagaimana melakukan pemeliharaan prediktif agar kinerja dari keandalan mesin dapat meningkat. Hasil yang diperoleh menunjukkan peralatan yang memiliki resiko yang paling tinggi adalah *transformer* dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) 480. Langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan keandalan dengan pemeliharaan prediktif menggunakan teknologi dan alat ukur yaitu: pengambilan data vibrasi, MCSA, IR *thermography* maupun analisis minyak pelumas.

Ludvianto Pebri Handoko (2019) melakukan penelitian tentang evaluasi perbaikan kesalahan sistem (*bug*) dengan metode FMEA pada aplikasi android di PT. Aku Pintar Indonesia, masalah yang dihadapi adalah kesalahan sistem apa yang terjadi pada aplikasi android Aku Pintar dan bagaimana tindakan yang tepat dengan mempertimbangkan kepuasan pelanggan. Penelitian ini mengidentifikasi 9 kesalahan sistem pada bagian administrasi dan 47 kesalahan sistem pada bagian fitur. Hasil dari penelitian ini adalah *risk mapping* administrasi level ekstrem membutuhkan waktu 40 jam, level tinggi tidak terjadi pada kesalahan sistem, level moderat membutuhkan waktu 16 jam, level rendah membutuhkan waktu waktu 4 jam, sedangkan bagian fitur level ekstrem membutuhkan waktu 16 jam, level tinggi membutuhkan waktu 16 jam, level moderat membutuhkan waktu 8 jam, dan level rendah membutuhkan waktu 4 – 8 jam.

Dari penjelasan yang telah dipaparkan sebelumnya maka hasil dari rangkuman penelitian yang telah dilakukan beserta metode penelitiannya berhubungan dengan topik perawatan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.7 Posisi Penelitian

No	Tahun	Penulis	Judul	Metode
1	2011	Chee-Cheng Chen	Perencanaan Program <i>Autonomous Preventive Maintenance</i>)	<i>Root Cause Analysis (RCA)</i> dan <i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>
2	2016	Faizan Saleem	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> pada Mesin <i>Tyre Curing Press</i>	<i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i> dan <i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>
3	2013	A. Mariajayaprakash	Deteksi Kegagalan dan Optimalisasi Boiler pada Pabrik Gula	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i> dan Taguchi
4	2016	Tiena Gustina Amran	Implementasi FMEA untuk Perawatan Preventif.	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i> , <i>Best Practice</i> , dan <i>Preventive Maintenance</i>
5	2016	Rama Fitriyan	Analisis Risiko Kerusakan Peralatan dengan Menggunakan Metode FMEA untuk Meningkatkan Kinerja Pemeliharaan Prediktif pada Pembangkit Listrik	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>
6	2019	Lutvianto Pebri Handoko	Evaluasi Perbaikan Kesalahan Sistem (<i>Bug</i>) dengan Metode FMEA pada Aplikasi Android	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>
7	2019	Anggi Iswanto	Analisa Penyebab Kerusakan Pada Boiler Dengan Metode <i>Failure Mode Effect Analysis</i>	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i> dan <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>

BAB 3

METODOTOGI PENELITIAN

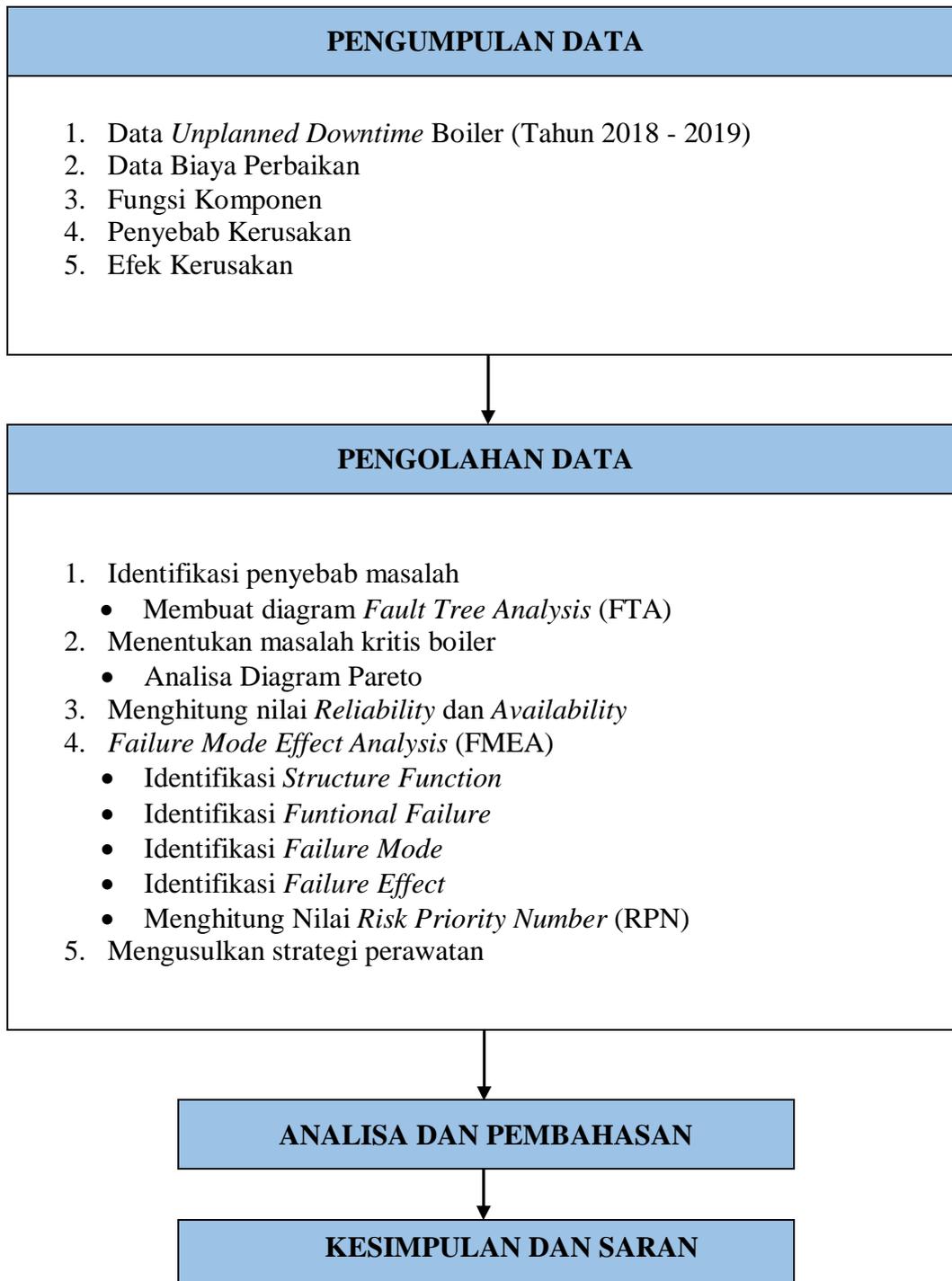
Pada Bab 3 akan dijelaskan tentang metodologi penelitian yang akan digunakan, penelitian diperlukan suatu metode atau langkah – langkah yang detail agar supaya penelitian dapat terstruktur dan mendapatkan hasil yang benar. Langkah – langkah penelitian dimaksudkan untuk mempermudah dan memahami mengenai penelitian yang dilakukan.

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah mengenai evaluasi terhadap efektifitas serta pemeliharaan yang tepat pada boiler di sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ. Penelitian dilakukan dengan langkah awal melakukan pengumpulan data, data yang dikumpulkan adalah data kerusakan pada boiler yang terjadi pada tahun 2018 hingga tahun 2019, data pemeliharaan pada boiler, data biaya perbaikan, data fungsi komponen, data penyebab kerusakan komponen, data efek kerusakan komponen. Dari beberapa data yang telah didapat kemudian dilakukan pembuatan *worksheet* terhadap *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Langkah selanjutnya dari masing – masing data dilakukan penilaian terhadap nilai *Risk Priority Number* (RPN), dari hasil RPN yang telah didapat selanjutnya dilakukan peringkat dari nilai yang tertinggi hingga terendah kemudian dilakukan rekomendasi perbaikan. Sebelum dilakukan analisa penyebab kerusakan dengan metode FMEA, langkah pertama melakukan identifikasi akar masalah dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Dari hasil identifikasi akar masalah dilakukan analisis menggunakan diagram pareto.

3.2 Flowchart Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bagan alir atau *flowchart* penelitian, agar mudah dipahami langkah – langkah penelitian yang dilakukan. *Flowchart* penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk dilakukan analisa pada penelitian ini berupa data sekunder yang didapatkan langsung dari perusahaan dan data primer hasil wawancara dengan *boiler engineer*. Data tersebut diambil selama tahun 2018 hingga tahun 2019 yang meliputi:

1. Data *unplanned downtime* yang terjadi pada boiler berupa data waktu yang dibutuhkan untuk proses perbaikan.
2. Data biaya yang dilakukan saat perbaikan pada proses *unplanned downtime*.
3. Data komponen kerusakan dengan fungsi dari masing – masing komponen.
4. Penyebab dari kerusakan.
5. Efek yang terjadi apabila terjadi kerusakan.

3.4 Pengolahan Data

Data yang telah didapatkan kemudian dilakukan pengolahan atau perhitungan data, proses pengolahan didasarkan pada *history* kerusakan, serta hasil diskusi dengan *boiler engineer* karena dianggap lebih mengetahui proses perawatan boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ yang saat ini dilakukan.

Sebelum dilakukan proses perbaikan langkah awal yang dilakukan adalah indentifikasi akar masalah dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengetahui penyebab dari masalah, kemudian dari masalah yang telah diketahui dilakukan analisa menggunakan diagram pareto untuk mengetahui masalah yang sering terjadi pada Boiler. Analisa penyebab kerusakan dengan cara *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dimulai dengan proses analisa fungsi komponen, penyebab dari kerusakan komponen, akibat dari kerusakan komponen, kemudian menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan penilaian dari masing – masing skala yaitu: *occurrence* (O), *severity* (S), dan *detection* (D).

Sebelum dilakukan penilaian RPN dilakukan perhitungan tingkat keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) dengan cara menentukan distribusi menggunakan bantuan *software* minitab. Data dari masing – masing kerusakan berupa nilai *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) akan diketahui distribusi yang sesuai kemudian dilakukan perhitungan nilai *reliability* dan *availability* menggunakan persamaan berdasarkan distribusi kerusakan.

Dari hasil perhitungan *reliability* dan *availability* kemudian dilakukan penilaian terhadap tingkat RPN untuk mengetahui peringkat nilai dari masing – masing kerusakan dimulai dari nilai tertinggi sampai nilai terendah, hal ini untuk mengetahui tingkat prioritas masalah yang harus diperbaiki. Langkah terakhir dilakukan rekomendasi perbaikan yang paling tepat untuk memperbaiki masalah yang terjadi.

3.5 Analisa dan Pembahasan

Hasil dari pengolahan data yang didapatkan kemudian dilakukan analisa dan pembahasan lebih mendalam, dengan cara membandingkan hasil yang didapat dengan data hasil referensi lainnya dan menyesuaikan dengan teori yang telah dituliskan pada bab 2. Analisa dan pembahasan ini bertujuan untuk menjawab permasalahan dan tujuan yang dimaksudkan, analisa dan pembahasan dilakukan dengan detail agar nantinya usulan perbaikan yang harus dilakukan jelas dan tepat berdasarkan hasil pengolahan data.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Dari semua proses yang telah dilakukan pada penelitian ini, langkah terakhir adalah menarik kesimpulan dari seluruh hasil yang didapatkan. Kesimpulan tersebut juga berisi tentang jawaban atas permasalahan dan tujuan awal dari penelitian, selanjutnya juga memberikan saran yang membangun atas apa yang telah dilakukan pada penelitian ini. Agar supaya kedepannya dapat disempurkan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh para peneliti dengan topik yang terkait.

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dilakukan pengumpulan data kerusakan yang terjadi pada boiler akibat *unplanned downtime*, dari data tersebut kemudian dianalisa menggunakan diagram pareto untuk mengetahui kerusakan yang kritis berdasarkan lama waktu perbaikan. Setelah didapatkan data yang dibutuhkan kemudian langkah selanjutnya adalah mengolah data dengan metode yang telah ditentukan.

4.1 Pengumpulan Data

Data *unplanned downtime* boiler yang diambil adalah data kerusakan dimulai dari tahun 2018 hingga tahun 2019, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ memiliki dua unit pembangkit yaitu: unit A dan unit B dengan masing – masing boiler yang berbeda, data yang diambil merupakan data hasil akumulasi kerusakan boiler dari kedua unit pembangkit. Untuk mempermudah dalam penampilan data disajikan berdasarkan kerusakan yang terjadi yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* pada boiler. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data *Unplanned Downtime* Boiler Tahun 2018 – 2019

Kerusakan	Frekuensi Kerusakan	<i>Unplanned Downtime</i> (Jam)
<i>Tube</i>	10	1176
<i>Slagging dan Fouling</i>	8	888
<i>Auxiliary Equipment</i>	6	476

Sumber: Data *Unplanned Downtime* Boiler PLTU XYZ

Nilai *unplanned downtime* menunjukkan total lamanya kerusakan yang terjadi selama periode waktu tahun 2018 hingga tahun 2019. Data yang ditampilkan merupakan data total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses perbaikan, selama proses perbaikan unit pembangkit secara otomatis tidak bisa melakukan

produksi listrik. Jika dibuat secara lebih ringkas maka waktu yang dibutuhkan untuk proses perbaikan per tahun dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Summary Unplanned Downtime Per Tahun*

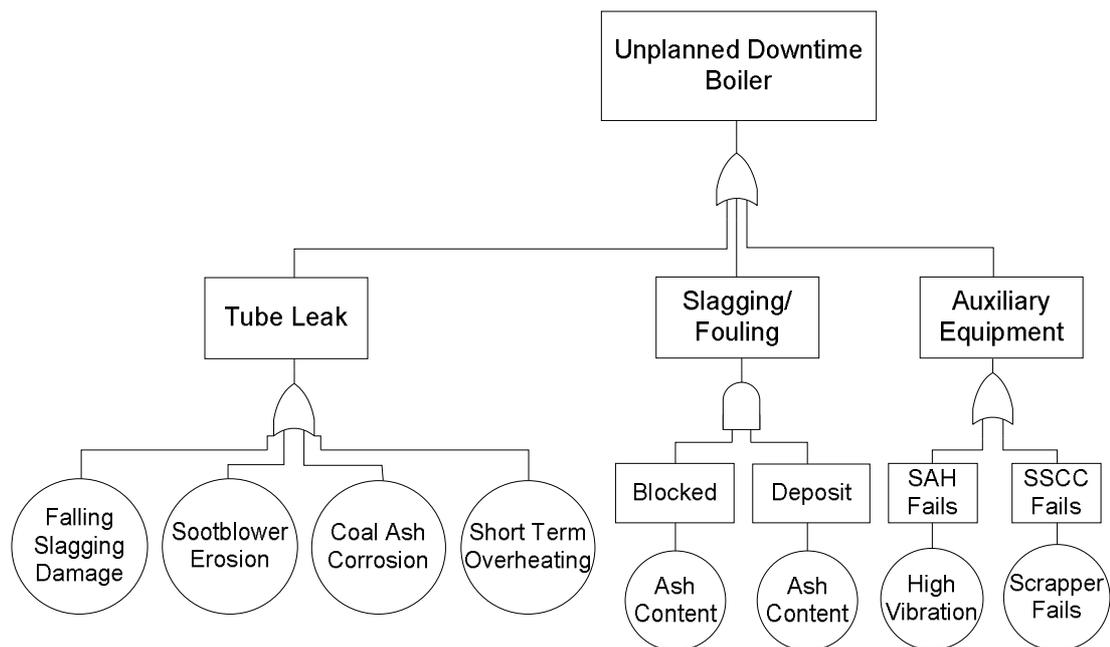
Tahun	Total <i>Unplanned Downtime</i> (Jam)
2018	1052
2019	1488

Sumber: Data *Unplanned Downtime* Boiler PLTU XYZ

Total *unplanned downtime* adalah jumlah lamanya waktu perbaikan untuk setiap kerusakan yang terjadi selama setahun dalam satuan jam. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa dari tahun 2018 hingga 2019 total waktu *unplanned downtime* mengalami peningkatan yaitu dari 1052 jam (tahun 2018) menjadi 1488 jam (tahun 2019). PLTU XYZ melakukan *unplanned downtime* pada salah satu unit pembangkit, dengan tetap menjalankan satu unit hal ini agar *supply* listrik tetap dapat terjaga.

4.2 *Fault Tree Analysis (FTA)*

Untuk mengetahui akar penyebab masalah kerusakan yang terjadi pada boiler dilakukan indentifikasi dengan menggunakan *Fault Tree Analysis (FTA)*, Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari indentifikasi FTA pada boiler yang mengalami *unplanned downtime*.



Gambar 4.1 *Fault Tree Analysis (FTA) Unplanned Downtime*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa terdapat tiga jenis kerusakan yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* pada boiler, yaitu: kerusakan *tube leak*, kerusakan *slagging* dan *fouling*, kerusakan *auxiliary equipment*. Dari ketiga kerusakan tersebut dapat dianalisa penyebab kerusakan dengan metode FTA.

4.3 Jenis Kerusakan

Ada tiga jenis kerusakan yang terjadi pada boiler, yang dapat mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime*. Kerusakan ini berdasarkan data yang telah ditampilkan pada sub bab sebelumnya.

1. *Tube Leak*

Bagian utama didalam boiler terdiri dari beberapa *tube*, air dan uap melewati *tube* dengan suhu dan tekanan yang tinggi sehingga dapat mengakibatkan kebocoran pada *tube*. Kebocoran pada *tube* dibagi menjadi dua kategori berdasarkan tingkat keparahan, pertama kebocoran kecil pada *tube* yang kedua kobocoran besar atau *tube* pecah. Seorang operator dapat mengetahui terjadinya kerusakan ini dengan cara mendengarkan suara mendesis diarea sekitar boiler.

2. *Slagging* dan *Fouling*

Slagging dan *fouling* adalah suatu fenomena deposisi abu pada masing – masing daerah radiasi dan konveksi pada boiler. *Slagging* dan *fouling* ini dapat menutupi permukaan pipa boiler yang mengakibatkan perpindahan panas dari gas pembakaran kedalam air atau uap didalam pipa menjadi

3. *Auxiliary Equipment*

a. *Submerged Scrapper Chain Conveyor (SSCC)*

Pembakaran batu bara didalam boiler menghasilkan limbah padat berupa *bottom ash*, limbah ini kemudian dibuang melalui sistem konveyor yang berfungsi untuk mentransport limbah *bottom ash* menuju ke penampungan. Sistem ini disebut dengan *Submerged Scrapper Chain Conveyor (SSCC)* yang berada dibawah boiler dan berhubungan langsung dengan proses pembakaran.

b. *Secondary Air Heater (SAH)*

Secondary air heater (SAH) adalah salah satu bagian dari komponen *air heater* yang berfungsi untuk memberikan tekanan positif pada boiler dan mengontrol udara serta oksigen yang dibutuhkan pada proses pembakaran didalam boiler, sehingga diharapkan menghasilkan pembakaran yang sempurna dan efisien. Udara yang digunakan berasal dari *forced draft fan (FD Fan)*.

4.4 **Penyebab Kerusakan**

Penyebab kerusakan didasarkan pada kegagalan yang terjadi akibat *unplanned downtime* boiler, penyebab dari kerusakan ini diperoleh dari kegagalan yang telah terjadi sehingga dapat dianalisa penyebab dari kegagalan tersebut. Berikut adalah penyebab kerusakan berdasarkan pada masing – masing kegagalan yang terjadi.

1. *Tube Leak*

a. *Falling Slag Damage*

Terbentuknya *slagging* pada sisi *furnace* akan mengakibatkan kebocoran pada *tube*, hal ini dikarenakan *tube* tertimpa *slagging* yang sudah menumpuk menjadi keras apabila menjatuhkan *tube* yang ada dibawahnya *tube* akan pecah.

b. *Sootblower Erosion*

Fungsi utama dari *sootblower* adalah untuk menghilangkan *slagging* dan *fouling* yang terdapat pada permukaan *tube*, apabila dilakukan dalam jangka waktu yang cukup lama akan mengakibatkan menipisnya permukaan *tube* sehingga terjadi kebocoran pada *tube* tersebut.

c. *Coal Ash Corrosion*

Pembakaran yang dilakukan didalam boiler akan menghasilkan limbah *fly ash*, limbah ini bersifat asam sehingga mudah menempel pada permukaan *tube* apabila dibiarkan akan mengakibatkan korosi pada *tube* yang berdampak pada kebocoran *tube*.

d. *Short Term Overheating*

Panas berlebih yang terjadi pada proses pembakaran didalam disebabkan oleh kurangnya pendingin, dimana air yang digunakan pada proses pembakaran tidak mengalir secara sempurna atau terjadi *blocked*. Apabila terjadi dalam waktu yang cukup lama *tube* akan mengalami *overheating* sehingga mengakibatkan kebocoran pada *tube*.

2. *Slagging dan Fouling*

Kandungan batu bara (*ash content coal*) merupakan penyebab dari terbentuknya *slagging* dan *fouling* didalam boiler, *ash content coal* secara alami telah terkandung dalam batu bara. Setiap batu bara memiliki *ash content coal* yang berbeda tergantung jenis batubara yang digunakan, kadungan *ash content coal* yang tinggi maka akan semakin mudah untuk menimbulkan *slagging* dan *fouling*.

3. *Auxiliary Equipment*

a. Kerusakan *Scraper*

Kerusakan ini disebabkan oleh *scraper* yang tidak mampu berjalan akibat menumpuknya limbah *bottom ash* diatas konveyor.

b. FD Fan mengalami vibrasi

Kerusakan ini terjadi akibat vibrasi yang terjadi pada FD Fan, sehingga mengakibatkan temperatur dari gas buang menjadi tinggi melebihi desain dari boiler.

4.5 Efek Kerusakan

Efek kerusakan timbul akibat dari kegagalan yang terjadi sehingga mengakibatkan beberapa proses produksi berjalan tidak normal. Berikut adalah efek berdasarkan jenis kerusakan pada boiler.

1. *Tube Leak*

Efek dari kebocoran *tube* mengakibatkan kebocoran pada *tube* yang lainnya (*secondary damage*), hal ini dikarenakan air atau *steam* yang keluar dari *tube* yang bocor akan menimpa *tube* yang lain.

2. *Slagging dan Fouling*

Efek yang ditimbulkan dari *slagging* dan *fouling* mengakibatkan transfer panas berkurang sehingga efisiensi boiler akan menurun dan juga mengakibatkan *de-rating* pada unit.

3. *Auxiliary Equipment*

- a. *Submerged Scrapper Chain Conveyor (SSCC)*

Efek yang ditimbulkan oleh kerusakan *Submerged Scrapper Chain Conveyor* (SSCC) akan mengakibatkan proses pembuangan limbah *bottom ash* akan berhenti sehingga proses pembakaran di boiler harus dihentikan.

- b. *Secondary Air Heater (SAH)*

Kerusakan pada *Secondary Air Heater* (SAH) akan mengakibatkan proses pembakaran didalam boiler menjadi tidak sempurna, karena suplai udara dari FD Fan terganggu.

4.6 Kontrol Kerusakan

Kontrol kerusakan didasarkan pada bagaimana cara mengontrol kerusakan sesuai dengan desain atau cara kerja dari sebuah sistem. Berikut adalah cara untuk mengontrol kerusakan boiler.

1. *Tube Leak*

- a. *Sootblower*

Sootblower adalah suatu peralatan yang digunakan untuk membersihkan *slag* dan abu dari dinding boiler serta dibagian lainnya, yaitu: *economizer*, *reheater*, dan *superheater*. *Sootblower* digunakan untuk mencegah terjadinya *falling slag damage*.

b. *Errosion shield*

Errosion shield adalah suatu tindakan pencegahan untuk mengurangi terjadinya *sootblower erosion*, yang dilakukan dengan cara melapisi *tube* menggunakan bahan material *carbon steal*.

c. *Blowdown*

Blowdown adalah pembuangan sejumlah kecil air boiler dengan maksud menjaga tingkat maksimum dari padatan terlarut dan terendap pada tingkat yang diizinkan. Sistem *blowdown* digunakan untuk mencegah terjadinya deposit didalam *tube* sehingga mengurangi terjadinya *short term overheating*.

2. *Slagging dan Fouling*

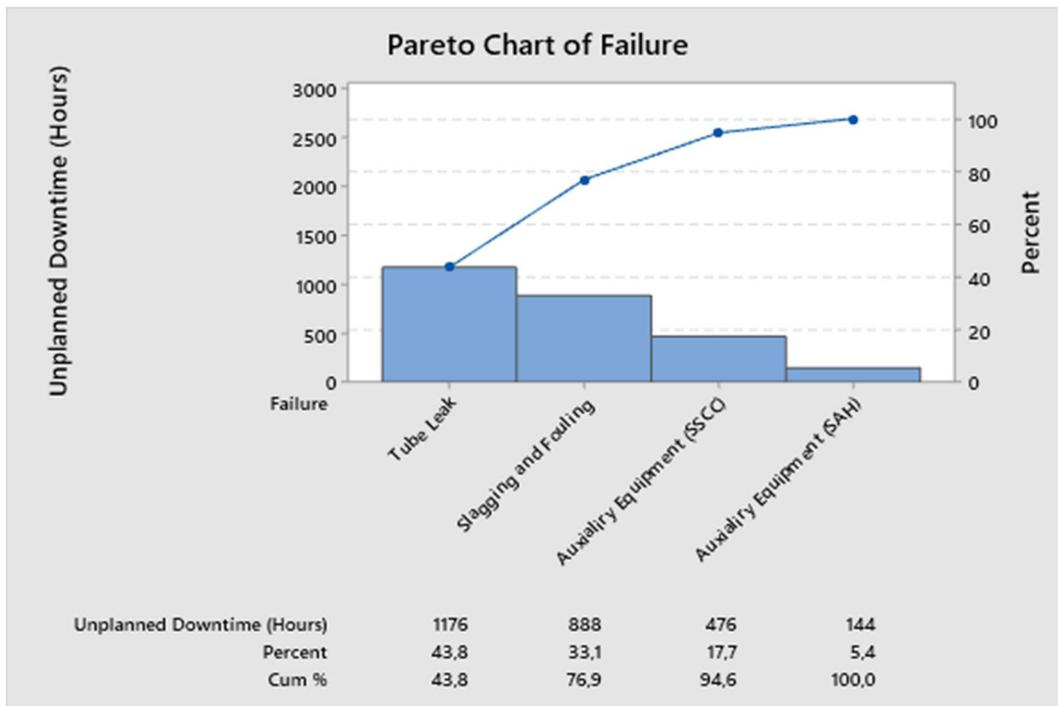
Permasalahan *slagging* dan *fouling* disebabkan oleh *ash content coal* dimana kondisi tidak dapat dihindari, pencegahan yang dapat dilakukan dengan cara mengontrol temperatur boiler dibawah *ash fusion temperature*.

3. *Auxiliary Equipment*

Permasalahan yang terjadi pada *auxiliary equipment* dilakukan tindakan perawatan yang ditangani langsung oleh departemen *maintenance* dengan periode dan metode yang ditentukan.

4.7 Diagram Pareto

Untuk mengetahui komponen atau bagian boiler yang paling sering mengalami kerusakan berdasarkan lama waktu perbaikan dilakukan pembuatan diagram pareto dari keseluruhan kerusakan yang terjadi. Analisa ini didasarkan pada data kerusakan yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* pada boiler, dengan analisa diagram pareto akan didapat kerusakan yang kritis sehingga proses perbaikan menjadi lebih fokus dan tepat.



Gambar 4.2 Diagram Pareto *Unplanned Downtime*

Gambar 4.2 menunjukkan beberapa kerusakan dengan urutan nilai *unplanned downtime* dari yang tertinggi hingga terendah, dari kerusakan tersebut terdapat tiga kerusakan utama yang mengakibatkan *unplanned downtime* pada boiler. Ketiga kerusakan tersebut adalah kerusakan *tube leak* dengan total downtime sebesar 1176 jam, kerusakan *slagging* dan *fouling* sebesar 888 jam, *auxiliary equipment* (SSCC) sebesar 476 jam, dan *auxiliary equipment* (SAH).

4.8 Menghitung Keandalan

Untuk mengetahui tingkat keandalan suatu peralatan dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai dari keandalan boiler, dengan cara menghitung nilai keandalan berdasarkan distribusi yang sesuai dengan data yang diperoleh. Tabel 4.3 menunjukkan waktu terjadinya kerusakan dan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan. Waktu yang disajikan digunakan untuk mengetahui nilai dari *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) dari masing – masing kerusakan yang telah ditentukan pada analisa diagram pareto sebelumnya.

Tabel 4.3 Waktu Kerusakan Dan Perbaikan Boiler Tahun

Kerusakan	<i>Time To Failure (TTF)</i>	<i>Time To Repair (TTR)</i>
<i>Tube Leak</i>	2448	144
	2864	72
	3504	144
	3504	120
	168	120
	6384	72
	3024	120
	5208	120
	2088	120
	72	144
<i>Slagging dan Fouling</i>	5928	120
	1848	96
	2280	96
	3720	72
	552	120
	5184	120
	5592	144
	5040	120
SSCC	2448	120
	1464	140
	6384	120
	6792	96

Sumber: Data *Unplanned Downtime* Boiler PLTU

Untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan data yang diperoleh, maka dilakukan, uji kecocokan menggunakan *software* minitab. Hasil yang didapat disajikan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Penentuan Distribusi Untuk *Time To Failure (TTF)*

Kerusakan	Distribusi
<i>Tube Leak</i>	Normal
<i>Slagging dan Fouling</i>	Normal
SSCC	Weibull

Sumber: Hasil Analisa *Software* Minitab

Tabel 4.5 Penentuan Distribusi Untuk *Time To Repair* (TTR)

Kerusakan	Distribusi
<i>Tube Leak</i>	Weibull
<i>Slagging dan Fouling</i>	Weibull
SSCC	Weibull

Sumber: Hasil Analisa *Software* Minitab

Untuk menghitung keandalan (*reliability*) diperlukan nilai parameter berdasarkan distribusi yang telah ditentukan sebelumnya, nilai parameter ini didapatkan dari analisa menggunakan *software* Minitab. Hasil dari nilai parameter untuk masing – masing distribusi ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Parameter *Time To Failure* (TTF)

Kerusakan	Distribusi	Parameter
<i>Tube Leak</i>	Normal	<i>Mean</i> (μ) = 2926,4 <i>Standard Deviation</i> (σ) = 1858,21
<i>Slagging dan Fouling</i>	Normal	<i>Mean</i> (μ) = 3768 <i>Standard Deviation</i> (σ) = 1866,18
SSCC	Weibull	<i>Scale</i> (θ) = 4834,28 <i>Shape</i> (β) = 1,92221

Sumber: Hasil Analisa *Software* Minitab

Tabel 4.7 Nilai Parameter *Time To Repair* (TTR)

Kerusakan	Distribusi	Parameter
<i>Tube Leak</i>	Weibull	<i>Scale</i> (θ) = 127,201 <i>Shape</i> (β) = 6,17163
<i>Slagging dan Fouling</i>	Weibull	<i>Scale</i> (θ) = 119,357 <i>Shape</i> (β) = 6,39991
SSCC	Weibull	<i>Scale</i> (θ) = 125,787 <i>Shape</i> (β) = 8,90907

Sumber: Hasil Analisa *Software* Minitab

Parameter yang digunakan untuk menghitung nilai keandalan adalah parameter TTF, perhitungan dilakukan berdasarkan penentuan distribusi. Pada persamaan 4.1 untuk distribusi Normal dan persamaan 4.2 untuk distribusi Weibull.

Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \theta \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (4.1)$$

$$R(t) = 1 - \theta \left(\frac{730 - 2926,4}{1858,21} \right)$$

$$R(t) = 1 - \theta(-1,18)$$

$$R(t) = 1 - 0,1190$$

$$R(t) = 0,88$$

Distribusi Weibull

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (4.2)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{730}{4834,28}\right)^{1,92221}}$$

$$R(t) = e^{-(0,149)^{1,92221}}$$

$$R(t) = e^{-0,02641}$$

$$R(t) = 0,97$$

Perhitungan dilakukan berdasarkan waktu yang berbeda semakin lama waktu maka tingkat keandalan akan semakin menurun. Hasil nilai keandalan dari masing – masing kerusakan ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Nilai Keandalan (R(t))

Kerusakan	Waktu (t)	Keandalan (R(t))
<i>Tube Leak</i>	730	0,88
	1460	0,78
	2190	0,65
<i>Slagging dan Fouling</i>	730	0,94
	1460	0,89
	2190	0,79
SSCC	730	0,97
	1460	0,90
	2190	0,80

Untuk mengetahui nilai MTTF maka dilakukan perhitungan dengan cara memasukan nilai parameter yang didapat dari analisa menggunakan *software* minitab, nilai parameter tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.6. Untuk mengetahui nilai MTTF dari masing – masing kerusakan digunakan persamaan 4.3 untuk distribusi Normal dan persamaan 4.4 untuk distribusi Weibull.

Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (4.3)$$

$$MTTF = 2926,4$$

Distribusi Weibull

$$MTTF = 4834,28 \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,92221} \right) \quad (4.4)$$

$$MTTF = 4834,28 \cdot \Gamma(1 + 0,52)$$

$$MTTF = 4834,28 \cdot \Gamma(1,52)$$

$$MTTF = 4834,28 \times 0,88704$$

$$MTTF = 4288,199 \text{ Jam}$$

Untuk mengetahui nilai MTTR dari masing – masing kerusakan dilakukan menggunakan nilai parameter TRR yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, perhitungan dilakukan dengan perasamaan 4.7 untuk distribusi Weibull.

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 127,201 \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{6,71763} \right)$$

$$MTTR = 127,201 \cdot \Gamma(1 + 0,14)$$

$$MTTR = 127,201 \cdot \Gamma(1,14)$$

$$MTTR = 127,201 \times 0,93642$$

$$MTTR = 119,113 \text{ Jam}$$

Hasil dari perhitungan nilai MTTF dan MTTR ditunjukkan pada Tabel 4.9, nilai ini digunakan sebagai parameter untuk menghitung nilai ketersediaan (*availability*) dari masing – masing kerusakan yang terjadi.

Tabel 4.9 Nilai MTTF Dan MTTR

Kerusakan	MTTF	MTTR
Tube Leak	2926,4	119,113
<i>Slagging dan Fouling</i>	3768	111,374
SSCC	4288,199	119,113

4.9 Menghitung *Availability*

Untuk mengetahui nilai ketersediaan (*availability*) dari masing – masing kerusakan dilakukan perhitungan dengan menggunakan nilai MTTF dan MTTR untuk menghitung *availability* menggunakan persamaan 4.4. Hasil dari perhitungan nilai *availability* ditunjukkan pada Tabel 4.10.

$$A(t) = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (4.4)$$

$$A(t) = \frac{2926,4}{2926,4+119,113}$$

$$A(t) = 0,96$$

Tabel 4.10 Nilai *Availability* (A(t))

Kerusakan	Availability (A(t))
<i>Tube Leak</i>	0,96
<i>Slagging dan Fouling</i>	0,97
SSCC	0,97

4.10 Biaya Perawatan

Manajemen perawatan yang diterapkan di PLTU XYZ memiliki dua strategi, yaitu perawatan untuk jangka panjang (*long term maintenance*) dilakukan oleh departemen *engineering* dan perawatan untuk harian (*daily maintenance*) dilakukan oleh departemen *maintenance*. Untuk perawatan pada boiler dilakukan oleh departemen *engineering*. Biaya perawatan untuk setiap kali dilakukan perbaikan memiliki nilai yang berbeda tergantung pada setiap kerusakan yang terjadi. Berikut adalah rincian biaya perbaikan pada masing – masing kerusakan.

1. Kerusakan Pada *Tube*

Setiap kali terjadi kerusakan pada *tube* maka akan dilakukan proses pembersihan *slagging* dan *fouling* agar supaya lebih aman saat dilakukan proses perbaikan. Tabel 4.11 adalah biaya perbaikan *tube leak*

Tabel 4.11 Biaya Perbaikan Tube Leak

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Memasang dan melepas <i>scaffolding</i> serta membersihkan SHDP dan FSH	522.800,00
2	Membersihkan RRH dan LTSH	141.700,00
3	Memperbaiki dan mengelas <i>tube</i>	263.600,00
4	Mengganti <i>lower drum gasket</i>	8.500,00
Total		936.600,000

Sumber: Data Perawatan di PLTU XYZ

2. Kerusakan *Slagging* dan *Fouling*

Apabila terjadi *slaging* dan *fouling* pada boiler maka biaya perbaikan tidak termasuk penggaian *tube*. Tabel 4.12 adalah biaya yang dibutuhkan untuk membersihkan *slagging* dan *fouling*.

Tabel 4.12 Biaya Pembersihan *Slagging* dan *Fouling*

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Memasang dan melepas <i>scaffolding</i> serta membersihkan SHDP dan FSH	522.800,000
2	Membersihkan RRH dan LTSH	141.700,000
3	Mengganti <i>lower drum gasket</i>	8.500,000
Total		673.000,000

Sumber: Data Perawatan di PLTU XYZ

3. Kerusakan *Auxiliary Equipment*

Biaya perawatan pada *auxiliary equipment* didasarkan pada kerusakan SSCC karena memiliki waktu kerusakan yang lebih lama dibandingkan dengan yang lainnya. Tabel 4.13 menunjukkan biaya untuk perbaikan SSCC.

Tabel 4.13 Biaya Perbaikan Submerged Scrapper Chain Conveyor (SSCC)

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Mengganti SSCC <i>Scrapper</i>	12.000,000
Total		12.000,000

Sumber: Data Perawatan di PLTU XYZ

4.11 *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Dari hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan kemudian dilakukan proses perbaikan dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), dari beberapa masalah yang telah didapat kemudian dilakukan analisa dengan metode FMEA. Berikut adalah hasil dari analisa FMEA terhadap boiler yang ditunjuka pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Failure Mode Effect Analysis Perawatan Boiler

System: Steam Power Plant
 Sub System: Boiler
 Component: Coal Combustion
 Model Year / Vehicle(s):
 Design Responsibility: Boiler Engineer
 Key Date
 FMEA Number:
 Page_1_of_2_
 Prepared by: Anggy I
 FMEA Date (Orig): ____/19.12____(Rev.) ____

Item/function	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	Severity	Potential cause(s) / failure mechanism(s)	Occurence	Current control design	Detection	R P N	Recommended actions	Responsibility and target completion date	Action Results				
											Action taken	Severity	Occurence	Detection	R P N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tube	Tube Leak	Kebocoran pada pipa yang lain	9	Falling slag damage	5	Sootblower	9	405	Tube coating dan water cannon	Jan-20	Engineering	9	3	1	27
				Sootblower erosion	3	Errrosion shield	6	162	Sootblower management intellegent						
				Coal ash corrosion	3				Life tube assesment						
				Short term overheating	1	Blowdown	5	45	Control water quality						
Slagging dan fouling	Terjadi blocked dan deposit pada pipa	Transfer panas berkurang	9	Ash content coal	5	Mengontrol temperatur boiler dibawah ash fusion temperatur	6	270	Penambahan bahan kimia untuk menakkan ash fusion temperatur						
Auxiliary Equipment	SSCC tidak berfungsi	Tidak dapat membuang limbah batu bara	5	Scrapper rusak	2	Preventive maintenance	4	40	Meningkatkan preventive maintenance						

BAB 5

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap hasil pengambilan dan pengolahan data. Analisa dilakukan pada tiap sub bab yang telah disajikan pada bab sebelumnya.

5.1 Analisa Kerusakan Kritis Pada Boiler

Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data kerusakan yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime* pada boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ pada tahun 2018 hingga tahun 2019, nilai *unplanned downtime* yang paling besar menjadi nilai penting dalam menentukan kerusakan kritis yang terjadi pada boiler. Kerusakan yang memiliki frekuensi dan waktu terbesar menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan kerusakan yang kritis. Penentuan kerusakan kritis ditentukan dengan mengolah data *unplanned downtime* pada boiler dengan cara menganalisa menggunakan *software* minitab dengan cara menampilkan diagram pareto. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa terdapat tiga kerusakan kritis yang terjadi pada boiler, yaitu: kerusakan *tube leak* dengan total waktu kerusakan sebesar 1176 jam dengan presentase 43,8 %, kerusakan *slagging* dan *fouling* sebesar 888 jam dengan presentase 33,1 %, dan kerusakan *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* sebesar 476 jam dengan presentase 17,7 %.

5.2 Analisa Reliability Dan Availability

Dari hasil perhitungan tingkat keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) yang telah dilakukan didapat nilai tingkat *reliability* dan *availability* dari masing – masing kerusakan yang terjadi pada boiler. Nilai dari tingkat *reliability* (R(t)) ini kemudian dijadikan dasar untuk melakukan penilaian terhadap tingkat *Risk Priority Number (RPN)* pada masing – masing yang telah ditentukan sebelumnya, hasil *reliability* yang didapat berdasarkan kerusakan

dengan waktu operasi yang ditentukan sebesar 730 jam menunjukkan bahwa kerusakan *tube leak* memiliki $R(t) = 0,88$, kerusakan *slagging* dan *fouling* $R(t) = 0,94$, dan kerusakan SSCC $R(t) = 0,97$. Nilai untuk kerusakan *tube leak* memiliki tingkat keandalan yang paling rendah yaitu sebesar $R(t) = 0,88$ selama waktu 730 jam. Hal ini menunjukkan bahwa selama waktu 730 jam keandalan dari boiler pada saat beroperasi sebesar 0,88%, semakin tinggi yang diberikan maka tingkat keandalan dari boiler akan semakin menurun.

Nilai untuk *availability* ($A(t)$) ditentukan berdasarkan nilai yang didapat dari *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR). Hasil dari perhitungan menunjukkan nilai dari *availability* kerusakan *tube leak* sebesar $A(t) = 0,96$, kerusakan *slagging* dan *fouling* $A(t) = 0,97$, kerusakan SSCC $A(t) = 0,76$. Nilai *availability* dari masing – masing kerusakan memiliki selisih yang tidak besar antara kerusakan satu dengan yang lainnya, hal ini dikarenakan nilai dari MTTF dan MTTR memiliki nilai yang hampir sama.

5.3 Analisa Biaya Perawatan

Perawatan yang dilakukan pada boiler di PLTU XYZ membutuhkan biaya yang harus dikeluarkan, biaya ini berdasarkan pada jenis kerusakan yang terjadi pada boiler. Besarnya biaya yang dikeluarkan pada saat perbaikan dipengaruhi biaya tenaga kerja, hal ini dikarenakan proses perbaikan yang dilakukan pada boiler di PLTU XYZ dilakukan oleh pihak kedua yaitu kontraktor. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk proses perbaikan hanya biaya tenaga kerja, untuk biaya material dan peralatan lainnya sudah tersedia oleh pihak perusahaan sendiri sehingga tidak perlu mengeluarkan biaya tambahan.

Kerusakan yang memerlukan biaya perbaikan yang paling besar adalah kerusakan *tube leak*, hal ini dikarenakan sebelum melakukan perbaikan terhadap *tube* perlu dilakukan pembersihan atau perbaikan *slagging* dan *fouling* agar tidak berbahaya terhadap pekerja yang hendak melakukan perbaikan pada *tube*. Sehingga biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan *tube leak* adalah total biaya antara *slagging* dan *fouling* dengan *tube leak* yaitu sebesar Rp. 936.600,000, biaya untuk perbaikan pada saat kerusakan sebesar Rp. 673.000,000, dan biaya untuk perbaikan SSCC sebesar Rp. 12.000,000. Total biaya yang diperlukan untuk perbaikan digunakan sebagai penilaian terhadap rangking RPN untuk masing – masing kerusakan.

5.4 Analisa *Fault Tree Analysis* (FTA)

Pada bab sebelumnya telah dilakukan analisa dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) jenis kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh beberapa kejadian yang timbul sebelum kerusakan. Berdasarkan analisa FTA didapat bahwa ada beberapa kejadian yang timbul sebelum terjadi kerusakan pada boiler, dari ketiga kerusakan yang memiliki penyebab yang paling banyak adalah kerusakan *tube leak* terdapat empat jenis penyebab kegagalan yaitu : *falling slagging damage*, *soot blower erosion*, *coal ash corrosion*, *short term overheating*. Dari keempat penyebab tersebut *falling slagging damage* adalah penyebab yang paling sering terjadi sehingga mengakibatkan *tube leak*.

Penyebab kerusakan yang terjadi pada *slagging* dan *fouling* adalah kandungan dari batu bara berupa *ash content*, kandungan abu yang terdapat pada batubara ini tidak dapat dihindari karena sudah terkandung secara alami pada batubara. *Ash content* yang terdapat pada batubara akan mengalami akan meleleh apabila *temperature* didalam boiler meningkat, sehingga akan abu akan menepel pada *tube* yang terdapat pada boiler akibatnya akan timbul *slagging*. Didalam *ash content* terdapat silika yang terkandung didalamnya, silika ini akan berikatan satu sama lainnya didalam boiler dan akan memnempel pada *tube* sehingga semakin lama akan mengeras dan akan menimbulkan *fouling*.

Penyebab kerusakan yang terjadi pada *auxialiry equipment* mengakibatkan proses produksi pada boiler menjadi terganggu, kerusakan ini terjadi diakibatkan oleh gagalnya operasi dari sistem pendukung boiler. ada dua jenis kerusakan yang terjadi pada *auxiliary equipment* yaitu kerusakan pada *secondary air heater* (SAH) dan kerusakan pada SSCC. Penyebab kerusakan yang terjadi pada SAH adalah terjadinya vibrasi pada *Force Draft Fan* (FD FAN) dikarenakan temperatur pada boiler tinggi sehingga mengakibatkan vibrasi pada FD FAN. Penyebab kerusakan pada SSCC adalah pada saat terjadi penumpukan batubara diatas konveyor yang menumpuk terlalu banyak sehingga mengakibatkan beban konveyor menjadi besar dan mengakibatkan konveyor berhenti beroperasi.

5.5 Analisa *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Dari analisa berdasarkan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) didapatkan bahwa tingkat didapat nilai dari RPN untuk masing – masing kerusakan. Kerusakan pada *tube leak* memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 405, kerusakan *slagging* dan *fouling* memiliki nilai 270, dan kerusakan pada *auxiliary equipment* (SSCC) memiliki nilai 40. Penilaian ini dilakukan berdasarkan dari hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, yang terdiri dari potensi kerusakan yang terjadi, efek yang ditimbulkan dari kerusakan, penyebab kerusakan, tingkat *reliability*, biaya kerusakan, serta kontrol kerusakan yang dilakukan oleh desain boiler.

Kerusakan *tube leak* memiliki penyebab kerusakan yang paling banyak, yaitu: penyebab *falling slag damage*, penyebab *sootblower erosion*, penyebab *coal ash corrosion*, penyebab *short term overheating*. Kontrol dari penyebab kerusakan *falling slagging damage* adalah sistem *sootblower*, kontrol dari penyebab kerusakan *sootblower erosion* adalah *erosion shield*, penyebab kerusakan *coal ash corrosion* tidak memiliki kontrol secara desain hal ini dikarenakan kerusakan tersebut sulit untuk dihindari, kontrol penyebab kerusakan *short term overheating* adalah sistem *blowdown*. Penyebab kerusakan *slagging* dan *fouling* adalah *ash content coal*, kontrol penyebab kerusakan adalah mengontrol temperatur boiler dibawah *ash fusion temperature*. Penyebab kerusakan *auxiliary equipment* (SSCC) adalah *scrapper* mengalami kerusakan, kontrol penyebab kerusakan adalah melakukan *preventive maintenance*.

Dari ketiga kerusakan yang telah dilakukan penilihaian maka yang menjadi fokus perbaikan adalah kerusakan pada *tube leak* karena memiliki nilai RPN yang lebih tinggi dari pada kerusakan yang lainnya, dari Tabel 4.14 menunjukkan bahwa kerusakan *tube leak* dengan penyebab kegagalan *falling slag damage* yang mempunyai nilai RPN tertinggi. Maka dari hasil penilaian RPN penyebab kegagalan *falling slag damage* yang akan menjadi fokus perbaikan, usulan perbaikan dapat diperkirakan tingkat dari RPN dengan beberapa penilaian yang sama dengan RPN. Beberapa usulan perbaikan tidak memiliki tingkat RPN karena pada prakteknya masih belum akan dilakukan untuk proses perbaikan, maka

kedepan apabila telah dilakukan perencanaan perbaikan dapat diberikan nilai untuk masing – masing tingkat RPN.

5.6 Usulan Perbaikan

Dari hasil analisa FMEA ada beberapa usulan rekomendasi perbaikan, hasil usulan ini didapatkan dari hasil wawancara dengan *boiler engineer* yang menangani perawatan boiler di PLTU XYZ. Berikut adalah usulan perbaikan untuk masing – masing kerusakan.

1. *Tube Leak*

Usulan perbaikan kerusakan *tube leak* ada empat yaitu:

- a. *Tube coating* dan *water canon* yaitu pemberian lapisan pada dinding boiler dan penyeprotan air untuk mengurangi terbentuknya *slagging*.
 - b. *Sootblower management intelegent* yaitu mengatur proses kerja dari *sootblower* sehingga dapat diatur penggunaannya sesuai kebutuhan agar tidak mengakibatkan *sootblower erosion*.
 - c. *Life tube assestment* (uji material) yaitu proses uji terhadap kondisi *tube* apakah masih dalam kondisi baik atau tidak agar mengurangi terbentuknya *coal ash corrosion*. Pengujian dilakukan dengan pengujian pada beberapa *tube* sebagai sampel.
 - d. *Control water quality* yaitu mengontrol kualitas air boiler yang digunakan untuk pembakaran sehingga mengurangi terjadinya *short term overheating*.
2. Usulan perbaikan untuk kerusakan *slagging* dan *fouling* adalah penambahan bahan kimia (*inject chemical*) untuk menaikkan *ash fusion temperature*, tindakan ini dilakukan mengurangi terbentuknya *slagging* dan *fouling* didalam boiler.
 3. Sebagian besar kerusakan yang terjadi pada SSCC ditangani oleh departemen *maintenance* dimana kegiatan yang dilakukan adalah *preventive maintenance*, usulan perbaikan yaitu dengan meningkatkan tindakan *preventive maintenance*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

PENUTUP

Pada bab ini akan dirumuskan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa analisa yang sudah dilakukan. Selain itu diberikan saran dan masukan yang membangun agar kedepan dapat ditingkatkan dan dikembangkan oleh peneliti selanjutnya dengan topik yang sama.

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan serta analisa dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perawatan pada boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) XYZ hanya dilakukan pada saat terjadi kerusakan, dari hasil penelitian maka usulan perbaikan dilakukan berdasarkan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dari masing – masing kerusakan. Dimana untuk kerusakan pada *tube leak* nilai MTTF sebesar 2926,4 jam, kerusakan *slagging* dan *fouling* sebesar 3768 jam, kerusakan *Submerged Scrapper Chain Conveyor* (SSCC) sebesar 4288,199 jam.
2. Dari analisa *Fault Tree Analysis* (FTA) didapatkan bahwa terdapat tiga kerusakan yang mengakibatkan terjadinya *unplanned downtime*, kerusakan *tube leak* diakibatkan oleh *falling slagging damage*, *sootblower erosion*, *coal ash corrosion*, dan *short term over heating*, kerusakan *slagging* dan *fouling* disebabkan oleh *ash content coal*, dan kerusakan SSCC disebabkan oleh kerusakan pada *scraper*.
3. Berdasarkan hasil analisa *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) didapatkan bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi adalah kerusakan *tube leak* dengan nilai RPN sebesar 450, kerusakan *slagging* dan *fouling* sebesar 270, dan kerusakan SSCC sebesar 40. Dari hasil RPN tertinggi yang didapat pada kerusakan *tube leak* maka menjadi prioritas

utama untuk dilakukan perbaikan, usulan perbaikan *tube leak* adalah dengan melakukan *tube coating* dan *water cannon* dimana nilai RPN yang didapat pada tindakan ini sebesar 27.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka ada beberapa saran yang membangun yaitu sebagai berikut:

1. Hasil usulan penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat menjadi pertimbangan di PLTU XYZ dalam melakukan proses perbaikan pada saat terjadi *unplanned downtime* pada boiler sehingga dapat mengurangi tingkat kerusakan.
2. Diharapkan ada penelitian lanjutan mengenai usulan perawatan pada boiler berdasarkan jenis perawatannya, sehingga dapat menjadi pembandingan dan peningkatan terhadap penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Turki, Umar. 2011. "A Framework for Strategic Planning in Maintenance." *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Amran, Tiena Gustina and Eldona Lewanskiky. 2016. "Implementasi FMEA Untuk Perawatan Preventif (Studi Kasus: Fasilitas Usaha Kecil Menengah)." *Nasional Teknologi Informasi* (September 2012).
- Chen, Chee Cheng. 2013. "A Developed Autonomous Preventive Maintenance Programme Using RCA and FMEA." *International Journal of Production Research*.
- Chong, K. E., K. C. Ng, and G. G. G. Goh. 2016. "Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Integration of Maintenance Failure Mode and Effect Analysis (Maintenance-FMEA) in a Semiconductor Manufacturer: A Case Study." *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2016-Janua*:1427–31.
- Ebeling Charles. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill Education.
- Fitriyan. 2016. "Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Menggunakan Metode Fmea Untuk Meningkatkankinerja Pemeliharaan Prediktif Pada Pembangkit Listrik." *Analisis Risiko Kerusakan Peralatan Dengan Menggunakan Metode Fmea Untuk Meningkatkankinerja Pemeliharaan Prediktif Pada Pembangkit Listrik* 5(July):1–8.
- Ludvianto Pebri Handoko. 2019. "Evaluasi Perbaikan Sistem (Bugfix) Dengan Metode Failure Mode & Effect Analysis Pada Aplikasi Android Di Pt Aku." *Magister Manajemen Teknologi*.
- Luh Ade, Arista. 2016. "Analisis Reliabilitas Dan Availabilitas Pada Mesin." *Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)* 4(1):7–12.
- Mariajayaprakash, A. and T. Senthilvelan. 2013. "Failure Detection and Optimization of Sugar Mill Boiler Using FMEA and Taguchi Method." *Engineering Failure Analysis* 30:17–26.
- Modarres, Mohammad. 1999. *Reliability Engineering and Risk Analysis*. Marcel Dekker, Inc.
- Nag P.K. 2001. *Power Plant Engineering*. Boston : McGraw-Hill.
- Rasul, Mohammad. 2013. *Thermal Power Plants - Advanced Applications*. by InTech.
- Saleem, Faizan, Salman Nisar, Muhammad Ali Khan, Sohaib Zia Khan, and Mohammad Aslam Sheikh. 2017. "Overall Equipment Effectiveness of Tyre Curing Press: A Case Study." *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.

Yang, Xiyun and Xiaoning Wu. 2014. "Study on the Effects of Tilted Angle for Power Generation of PV Modules Based on Pareto Chart." *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS (2)*:710–13.

LAMPIRAN

A. Data *Unplanned Downtime*

1. Total *Unplanned Downtime* Tahun 2018 – 2019

Tahun	Total <i>Unplanned Downtime</i> (Jam)
2018	1052
2019	1488

2. Nilai *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR)

Kerusakan	<i>Time To Failure</i> (TTF)	<i>Time To Repair</i> (TTR)
<i>Tube Leak</i>	2448	144
	2864	72
	3504	144
	3504	120
	168	120
	6384	72
	3024	120
	5208	120
	2088	120
	72	144
<i>Slagging dan Fouling</i>	5928	120
	1848	96
	2280	96
	3720	72
	552	120
	5184	120
	5592	144
	5040	120
SSCC	2448	120
	1464	140
	6384	120
	6792	96

B. Biaya Perbaikan

1. Biaya Perbaikan *Tube Leak*

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Memasang dan melepas <i>scaffolding</i> serta membersihkan SHDP dan FSH	522.800,00
2	Membersihkan RRH dan LTSH	141.700,00
3	Memperbaiki dan mengelas <i>tube</i>	263.600,00
4	Mengganti <i>lower drum gasket</i>	8.500,00
Total		936.600,00

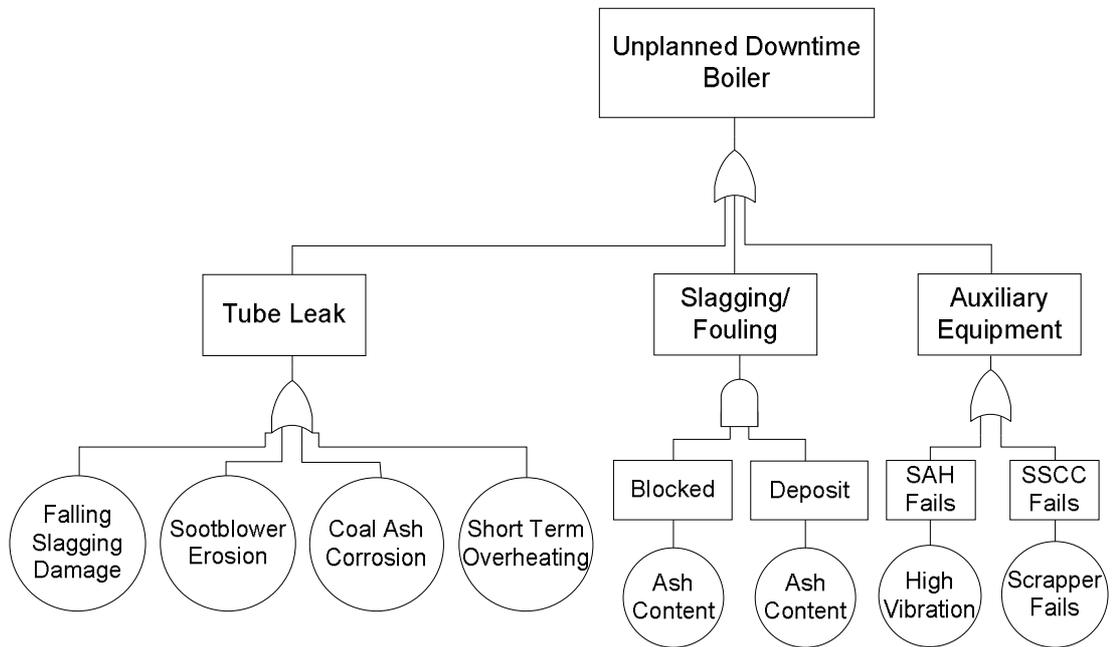
2. Biaya Perbaikan *Slagging dan Fouling*

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Memasang dan melepas <i>scaffolding</i> serta membersihkan SHDP dan FSH	522.800,000
2	Membersihkan RRH dan LTSH	141.700,000
3	Mengganti <i>lower drum gasket</i>	8.500,000
Total		673.000,000

3. Biaya Perbaikan

No	Deskripsi Pekerjaan	Biaya Pekerja (RP)
1	Mengganti SSCC <i>Scrapper</i>	12.000,000
Total		12.000,000

C. Analisa Fault Tree Analysis (FTA)



Halaman sengaja dikosongkan ini

BIODATA PENULIS



Anggy Iswanto adalah nama dari penulis tesis ini. Penulis lahir dari orang tua Bapak Aji Permana dan Ibu Suhaitut sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis dilahirkan di Desa Binor Kecamatan Paiton Kabupaten Probolinggo pada tanggal 07 Mei 1994. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN Wedelan Jepara, SMPN 1 Paiton, SMKN 1 Kraksaan, D3 – Politeknik Negeri Malang, dan D4 – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, hingga akhirnya bisa menempuh masa kuliah S2 di Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi, Jurusan Manajemen Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis pernah bekerja di salah satu unit pembangkit listrik tenaga uap swasta, saat ini penulis fokus pada sistem dan perawatan pembangkit listrik tenaga uap. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email anggyiswanto1@gmail.com.

Halaman sengaja dikosongkan ini