



TUGAS AKHIR – 184835

**STRATEGI PERAWATAN *BOILER TUBING* DENGAN
METODE *RISK BASED MAINTENANCE* PADA PLTU
SEBALANG**

**DEASY SARASWATI
NRP.
0211154000011**

Dosen Pembimbing
Suwarno, S.T.,M.Sc., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA - 2020**



TUGAS AKHIR - TM184835

**STRATEGI PERAWATAN *BOILER TUBING* DENGAN
METODE *RISK BASED MAINTENANCE* PADA PLTU
SEBALANG**

DEASY SARASWATI
NRP. 0211154000011

Dosen Pembimbing
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 198005202005001003

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA – 2020**



FINAL PROJECT – TM184835

**BOILER TUBING MAINTENANCE STRATEGY USING
RISK BASED MAINTENANCE METHOD FOR SEBALANG
STEAM GENERATED POWER PLANT**

**DEASY SARASWATI
NRP. 0211154000008**

**Advisor Lecturer
Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 198005202005001003**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA – 2020**

**STRATEGI PERAWATAN *BOILER TUBING* DENGAN
METODE *RISK BASED MAINTENANCE* PADA PLTU
SEBALANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DEASY SARASWATI
NRP. 021 11540 000 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)
(NIP. 198005202005001003)
2. Putu Suwarta, S.T., M.Sc. (Penguji 1)
(NIP. 198203032009121007)
3. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T. (Penguji 2)
(NIP. 198604012015041001)
4. Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 3)
(NIP. 197801152003122002)

SURABAYA
Januari 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua penulis, Papa Sigit Widhiartono dan Mama Dewi Mariyam Wijaya
2. Bapak Suwarno, S.T, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu meluangkan waktu, mencurahkan ilmu, dan memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Para dosen penguji, Putu Suwarta S.T., M.Sc., Ari Kurniawan Saputra, S.T.,M.T., dan Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D yang telah memberikan saran dan kritik pada Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember sekaligus dosen wali yang telah banyak memberikan perhatian dan motivasi kepada penulis.
5. Teman-teman Ajojing, Fidela Atika Marendha, Elisa Bidari, Riza Umami, Rozy Aini Hirowati, dan Rida Arifah, yang selalu menghibur dan memberikan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Kepada civitas academica teknik mesin terutama bu Sri, Cak Bud dan Mas Reza
7. Terimakasih kepada warga vibrasi yang telah mengisi hari-hari saya dengan gelak tawa.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

STRATEGI PERAWATAN *BOILER TUBING* DENGAN METODE *RISK BASED MAINTENANCE* PADA PLTU SEBALANG

Nama Mahasiswa : Deasy Saraswati
NRP : 0211154000011
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : **Suwarno, S.T., MSc., PhD**

ABSTRAK

PLTU Sebalang merupakan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga uap, PLTU Sebalang terletak di provinsi Lampung. PLTU Sebalang menggunakan teknologi boiler Circulating Fluidized Bed (CFB), boiler dengan teknologi CFB (*Circulating Fluidized Bed*) memanfaatkan udara bertekanan tinggi untuk menciptakan kondisi fluidisasi terhadap bed material yang terdiri dari pasir, abu bahan bakar, dan sorbent (*limestone*). Berdasarkan data kondisi unit PLTU menunjukkan bahwa beberapa komponen boiler sering mengalami gangguan yang mengakibatkan komponen berhenti beroperasi. Data kegagalan yang digunakan pada unit I dan II, data yang terlampir merupakan data dalam kurun waktu 6 tahun. Kegagalan yang terjadi pada komponen *boiler tubing* ini membuat tingkat produktivitas pembangkit menurun yang berdampak pada bertambahnya biaya *maintenance*, sehingga pada penelitian ini perlu diadakannya strategi untuk mengembalikan tingkat produktivitas pembangkit dengan cara mencari akar permasalahan serta diperlukan strategi perawatan yang tepat yang ditetapkan berdasarkan dari moda kegagalan yang akan di telaah pada penelitian ini.

Untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi, penelitian akan dilakukan beberapa tahap. Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi masalah, dilanjutkan dengan perumusan masalah. Berdasarkan hasil yang didapat dari tahapan sebelumnya maka akan dilakukan studi literatur. Kemudian penelitian memasuki tahap pengumpulan data yang dilanjutkan dengan pengolahan data untuk melakukan analisis terhadap kegagalan yang terjadi pada komponen terkait menggunakan metode *Risk Based Maintenance*. Sedangkan metodologi untuk menganalisis risiko kegagalan yang digunakan pada komponen *boiler* adalah *Root Cause Failure Analysis* (RCFA). Setelah mendapatkan mode kegagalan serta dampak yang dihasilkan maka tahapan selanjutnya adalah menentukan tingkat risiko kegagalan yang ada menggunakan *risk matrix* berdasarkan

standar AS/NZS 4360, dan tahapan terakhir yang dilakukan adalah menentukan metode perawatan yang tepat pada *boiler tubing*.

Berdasarkan analisis data, didapatkan informasi bahwa terdapat kadar Fe dan Fosfat yang melebihi batas, sehingga menyebabkan kegagalan sebagaimana diketahui bahwa kadar Fe yang tinggi memicu terjadinya korosi. Sedangkan kadar Fe yang tinggi dapat ditemukan dalam pembentukan deposit, apabila deposit dibiarkan dalam waktu yang lama maka dapat menyebabkan *overheating*. Penambahan injeksi kimia berupa fosfat yang kurang tepat juga menjadi salah satu penyebab kegagalan yang terjadi pada boiler tubing, yaitu *acid phosphate corrosion*. Ketika melakukan analisis risiko kegagalan, didapatkan kesimpulan bahwa komponen yang memiliki risiko kegagalan tertinggi adalah superheater, dikarenakan kegagalan yang terjadi dalam rentan tahun 2012-2018 terjadi sebanyak enam kegagalan dan konsekuensi yang dihasilkan dapat mengakibatkan komponen superheater kehilangan fungsi utama dan kegagalan produksi sebesar 75%. Untuk meminimalisir terjadinya risiko kegagalan yang tinggi maka dapat difokuskan perawatan pada kualitas *feedwater*, monitoring siklus kimia pada boiler, serta water treatment yang sesuai. Serta direkomendasikan manajemen data yang teratur demi menunjang strategi perawatan yang efektif pada PLTU Sebalang.

Kata kunci : *Boiler Tubing, Risk Based Maintenance, Circulating Fluidized Bed Boiler, Standar AS/NZS 4360*

BOILER TUBING MAINTENANCE STRATEGY USING RISK BASED MAINTENACE METHOD FOR SEBALANG STEAM GENERATED POWER PLANT

Student name : Deasy Saraswati
NRP : 0211154000011
Department : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Advisor Lecturer : Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Sebalang power plant is a steam generated power plant, Sebalang power plant located in the province of Lampung. Sebalang power plant is using boiler technology Circulating Fluidized Bed (CFB). Boiler technology with CFB (Circulating Fluidized Bed) utilize high pressure air to create the fluidization conditions of bed material consist of sand, fuel ash and sorbent (limestone). Based on the data from the power plant unit conditions indicate that some components of the boiler are often fail resulting the component to stop operating . From the failure data used in the units I and II, data attached is the data within a period of 1 year. Failures in the components of the boiler tubing makes the level of productivity of plants decreases which impact on the increase in the cost of maintenance, therefore in this study need strategize in order to restore the level of productivity of plants by finding the root of the problem and the need for a appropriate treatment strategy which are determined based on the mode of failure will be reviewed in this study.

To resolve the issues involved, the research will be carried out in several stages. The first stage is done in this research is to identify the problem, followed by the formulation of the problem. Based on the results obtained from previous stages will be made for the literature studies. Later the study entered the data collection stage followed by data processing to conduct an analysis of failures in the related components use Risk Based Maintenance method. The methodology for analyzing the risk of failure used to analyze failures in boiler components is the Root Cause Failure Analysis (RCFA). After getting the mode of failure and the resulting impact then the next stage is to determine the level of risk of failure using risk matrix based on the standard AS / NZS 4360, and the last stage is to determine the appropriate method of treatment of the boiler tubing.

Based on data analysis, it was found that the information of Fe and phosphate levels that exceed the limit, resulting in failure as it is known that a high Fe content trigger corrosion. Meanwhile, the

high Fe content can be found in the formation of the deposit, if the deposit is left in a long time, it can cause overheating. The addition of a chemical injection is less precise form of phosphate is also one of the causes of failures in the boiler tubing, which is the acid phosphate corrosion. When analyzing the risk of failure, it was concluded that the components having the highest risk of failure is the superheater, due to failures in the years of 2012-2018 occurred six times and the consequences resulted is the failure could result in loss of the main functions of the superheater components and of production failure by 75%. To minimize the high risk of failure the treatment can be focused on the quality feedwater treatment, monitoring chemical cycles in the boiler, as well as the appropriate water treatment. Regular data management is recommended as well in order to support an effective treatment strategy in Sebalang power plant.

Keywords: *Boiler Tubing, Risk Based Maintenance, Circulating Fluidized Bed Boiler, AS/NZS 4360 standard*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Circulating Fluidized Bed Boiler</i>	5
2.1.1 Prinsip Kerja <i>Circulating Fluidized Bed Boiler</i>	5
2.1.2 Siklus air dan udara pada boiler (<i>Steam and Water Cycle</i>).....	6
2.1.3 Kegagalan pada CFB	9
2.1.4 Kegagalan Pada <i>Tube</i>	10
2.2 Risiko.....	15
2.3 <i>Risk Based Maintenance</i>	15
2.3.1 Penilaian risiko (<i>Risk Assesment</i>)	17
2.3.2 Perencanaan pemeliharaan berdasarkan risiko	24
2.4 RCFA (Root Cause Failure Analysis).....	24
2.4.1 Prosedur RCFA	27
2.5 <i>Maintenance Boiler</i>	28
2.5.1 <i>Reactive Maintenance</i>	28
2.5.2 <i>Proactive Maintenance</i>	29

2.5.3 Perawatan Preventif (<i>Preventive Maintenance</i>)	30
2.5.4 Perawatan Korektif (<i>Corrective Maintenance</i>)	30
2.6 Tujuan Perawatan	30
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.2 Diagram Alir Pengolahan Data	35
3.3 Metodologi	37
3.3.1 Identifikasi Masalah	37
3.3.2 Perumusan Masalah	37
3.3.3 Studi Literatur	37
3.3.4 Pengumpulan Data.....	38
3.3.5 Pengolahan Data	38
3.3.6 Rekomendasi	38
BAB 4	39
4.1 Manajemen Perawatan pada PLTU Sebalang	40
4.1.1 Kegiatan Perawatan pada PLTU Sebalang.....	42
4.2 Analisis Data	44
4.2.1 Analisis sistem Boiler PLTU Sebalang	45
4.3 Analisis data pada Boiler tubing.....	48
4.3.1 Analisis data pada Economizer	49
4.3.2 Analisis Data Pada Waterwall Tube.....	51
4.3.3 Analisis Data Pada Steam Drum	53
4.3.4 Analisis Data Pada Superheater Tube.....	56
4.4 Analisis Risiko Kegagalan pada Boiler Tubing ...	59
4.5 Rekomendasi kegiatan perawatan komponen siklus air dan uap PLTU Sebalang	60
BAB 5	65
5.1 Kesimpulan	65

5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Proses Circulating Fluidized Bed Boiler	6
Gambar 2. 2 Corrosion Fatigue pada boiler tube (Dooley and McNaughton,1995)	11
Gambar 2. 3 Creep pada Boiler tube (Dooley and McNaughton,1995)	12
Gambar 2.4 Fly ash erosi pada boiler tube (Dooley and McNaughton,1995)	13
Gambar 2.5 Hydrogen damage pada tube boiler (Dooley and McNaughton,1995)	14
Gambar 2. 6 Proses Risk Assesment	18
Gambar 2. 7 Metodologi analisa risiko.....	20
Gambar 4. 1 Outline Analisis dan Pembahasan	39
Gambar 4. 2 Subsistem Utama Pada Sistem CFB Boiler PLTU Sebalang	45
Gambar 4. 3 Komponen Pada Subsistem Pembakaran CFB Boiler PLTU Sebalang	45
Gambar 4. 4 Komponen Pada Subsistem Pengaturan Pemanas Permukaan di PLTU Sebalang	46
Gambar 4. 5 Komponen Pada Subsistem Pengolahan Uap dan Air CFB Boiler PLTU Sebalang.....	46
Gambar 4. 6 Komponen Pada Subsistem Gas Buang dan Udara PLTU Sebalang	47
Gambar 4. 7 Komponen Pada Subsistem Pendukung Sistem CFB Boiler PLTU Sebalang	47
Gambar 4. 8 Diagram pareto pada steam and water cycle PLTU Sebalang	48
Gambar 4. 9 Pengamatan pH boiler unit 1, pH sering di bawah batas minimum yang	50
Gambar 4. 10 Hasil XRD pada area economizer, steam drum dan turbin.....	51
Gambar 4. 11 Data sampling pH, PO ₄ , SiO ₂ , Fe(O) yang dilakukan pada boiler unit 2 Januari 2018.....	52
Gambar 4. 12 Fenomena Phospate Hideout terlihat Lonjakan Kadar Fosfat	54
Gambar 4. 13 Data sampling kadar pH, PO ₄ , SiO ₂ , Fe(O) yang dilakukan pada boiler unit 1	57

Gambar 4. 14 Pengamatan data sampling pH pada boiler unit 1
Februari 201858

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ukuran kualitatif dari likelihood menurut standar AS/NZS 4360, 2010.....	21
Tabel 2. 2 Ukuran kualitatif dari consequence menurut standar AS/NZS 4360, 2010.....	22
Tabel 2. 3 Ukuran kualitatif penilaian risiko menurut standar AS/NZS 4360	23
Tabel 4. 1 Desain dasar boiler.....	44
Tabel 4. 2 Data Desain Economizer pada kondisi BMCR Load	49
Tabel 4. 3 Data Desain Water Wall Tube.....	51
Tabel 4. 4 Laju abrasive waterwall tube.....	53
Tabel 4. 5 Data Desain Steam Drum.....	53
Tabel 4. 6 Data lokasi injeksi kimia	54
Tabel 4. 7 List sample internal deposit unit 1	55
Tabel 4. 8 Bukti Deposit pada Area Steam Drum.....	55
Tabel 4. 9 Data desain High Temperature Superheater pada kondisi BMCR Load	56
Tabel 4. 10 Sampling Deposit Superheater	58
Tabel 4. 11 Risiko Kegagalan Pada Boiler Tubing	59
Tabel 4. 12 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Economizer.....	61
Tabel 4. 13 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk steam drum.....	62
Tabel 4. 14 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Waterwall	63
Tabel 4. 15 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Superheater.....	64

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini kebutuhan energi listrik masyarakat Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan kebutuhan energi listrik ini beriringan dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk, laju pertumbuhan penduduk ini merupakan dampak pada pertumbuhan ekonomi masyarakat. Ini dibuktikan dengan pembuatan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) yang telah dibuat oleh perusahaan listrik negara (PLN) untuk kebutuhan tahun 2015-2024. Listrik di Indonesia mengalami defisit yang sangat besar, terutama PT.PLN (Persero) yang berada di wilayah Lampung yang memiliki defisit listrik sebesar 165 MW di tahun 2018. Program pembangunan pembangkit listrik dengan total 35.000 MW hingga tahun 2019 direncanakan dengan asumsi pertumbuhan ekonomi 7% dan pertumbuhan listrik di atas 8,5% per tahun. Sehingga dikembangkan Pembangkit listrik thermal berkapasitas 2 x 100 MW yakni Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Lampung atau dikenal dengan nama PLTU Sebalang pada unit 1 dan unit 2 yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah batubara.

Boiler yang digunakan di PLTU Sebalang Provinsi Lampung Selatan menggunakan teknologi CFB (*Circulating Fluidized Bed*) sebagai proses pembakaran bahan bakarnya, sistem pembakarannya menggunakan proses aliran atau fluidized yaitu memanfaatkan udara yang bertekanan tinggi (*primary air*) hingga mencapai kondisi fluidisasi, komponen berupa bed material yang terdiri dari pasir, abu bahan bakar, dan *sorbent (limestone)* yang disembur dengan udara bertekanan tinggi dari FD Fan melalui *nozzle* pada sebuah *combustor* yang kemudian saling bertabrakan dengan bahan bakar batu bara yang disemburkan ke dalam *combustor* melalui *coal feeding*. Batu bara

yang digunakan sebagai bahan bakar utama merupakan batu bara berkalori rendah dengan tambahan batu kapur. Batu kapur mengontrol emisi gas buang sehingga udara pembakaran pada PLTU ini menjadi lebih ramah lingkungan. Selanjutnya abu sisa pembakaran yang bercampur partikel lain dan sebagian *bed material* di dorong ke dalam *cyclone* sehingga membentuk sebuah fluidisasi dan kembali ke *combustor* melalui *seal pot* atau *return duct*. Kondisi fluidisasi ini dapat mengefektifkan proses pencampuran antara bahan bakar dan udara serta membantu proses perpindahan panas ke *waterwall tube* yang ada pada dinding *furnace*.

PLTU Sebalang memiliki beberapa komponen untuk menghasilkan listrik, yaitu *boiler*, turbin, kondensor, pompa, *feedwater heater*, dan *deaerator*. Pada peralatan tersebut terjadi kegagalan fungsional, kegagalan fungsional ini diakibatkan oleh gangguan berupa *creep*, korosi, dan erosi yang pada umumnya peralatan yang gagal ini merupakan kegagalan pada tube.

Berdasarkan apa yang terjadi, sering kali ditemukan kegagalan fungsi alat sehingga mengakibatkan proses produksi menjadi terganggu. Proses produksi yang tidak mencapai standar selalu memengaruhi kemampuan produktifitas sistem karena mengurangi produksi, serta meningkatkan biaya perawatan di PLTU. Risiko kegagalan yang terjadi pada peralatan dapat menimbulkan potensi bahaya, potensi berbahaya yang bersumber pada suatu peralatan operasional industri dapat disebabkan oleh berbagai macam hal, baik dari segi operasi, segi desain, maupun dari segi lain yang menyangkut peralatan tersebut. Risiko kegagalan ini didefinisikan kombinasi dari kemungkinan suatu peristiwa yang terjadi selama periode waktu tertentu dan konsekuensi yang berkaitan dengan kegagalan yang terjadi. Kegagalan pada komponen boiler tubing dapat mengurangi keandalan komponen, mengganggu siklus proses produksi pada pembangkit, untuk menghindari hal tersebut maka dapat dilakukan pengklasifikasian risiko kegagalan boiler tubing dari skala ringan hingga berat, sehingga diperoleh komponen yang

memiliki risiko kegagalan tinggi untuk menentukan kegiatan perawatan yang tepat. Kegunaan dari menentukan tindakan perawatan yang tepat adalah untuk mengurangi risiko kegagalan yang ada dan konsekuensi yang ditimbulkan dan juga untuk mengurangi biaya kerugian yang dihasilkan dari kegagalan sistem boiler.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang menjadi objek pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penilaian risiko kegagalan yang terjadi pada komponen di *Circulating Fluidized Bed Boiler*?
2. Bagaimana cara meminimalkan risiko kegagalan yang tepat untuk *Circulating Fluidized Bed boiler* dengan metode *Risk Based Maintenance*?
3. Bagaimana akar risiko kegagalan yang terjadi pada komponen boiler tubing?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kategori risiko kegagalan yang terjadi pada komponen di *Circulating Fluidized Bed Boiler*.
2. Menentukan cara meminimalkan risiko kegagalan yang tepat untuk boiler dengan teknologi *Circulating Fluidized Bed* dengan metode *Risk Based Maintenance*.
3. Mengetahui akar risiko kegagalan yang terjadi pada komponen boiler tubing.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan terhadap sistem boiler dengan teknologi *Circulating Fluidized Bed* di PLTU Sebalang Provinsi Lampung Selatan.
2. Sistem yang diamati pada *Circulating Fluidized Bed boiler* adalah sistem uap dan air (*steam and water system*)

3. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data *History Maintenance* pada sistem boiler dari tahun 2012 hingga tahun 2019.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan panduan untuk melakukan penilaian risiko kegagalan pada komponen CFB Boiler
2. Memberikan informasi mengenai strategi perawatan untuk meminimalisir kegagalan pada sistem CFB boiler secara *general*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

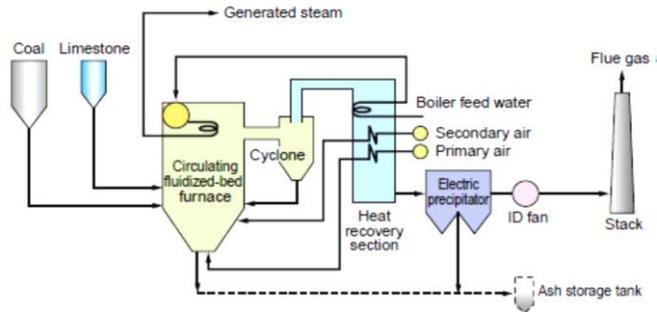
2.1 *Circulating Fluidized Bed Boiler*

Boiler adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah air menjadi uap yang biasanya terdapat pada suatu perangkat pembangkit. Boiler atau ketel uap ini merupakan suatu bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas dari uap air keluaran boiler tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Konsep dasar dari boiler CFB adalah boiler stoker (fluidisasi) dimana batu bara dibakar di atas rantai berjalan dan diberi hembusan udara dari sisi bawah sehingga batu bara membara di atas rantai berjalan tersebut. Setelah dilakukan repowering dan redesigning maka didapatkanlah boiler dengan type CFB.

2.1.1 Prinsip Kerja *Circulating Fluidized Bed Boiler*

Prinsip kerja dari *boiler* dengan teknologi *circulating fluidized bed* adalah memanfaatkan udara bertekanan tinggi untuk menciptakan kondisi fluidisasi (kondisi dimana bed material dan batubara tetap melayang di dalam furnace) terhadap *bed material* yang terdiri dari pasir, abu bahan bakar, dan *sorbent (limestone)*. Kondisi fluidisasi ini dapat mengefektifkan proses pencampuran antara bahan bakar dan udara, serta membantu proses perpindahan panas ke pipa-pipa air yang terdapat pada dinding *furnace*. Udara pembakaran pada *Circulating Fluidized Bed (CFB) Boiler* terdiri dari dua jenis, yaitu *primary air* dan *secondary air*. *Primary air* selain difungsikan sebagai udara fluidisasi juga digunakan sebagai udara pembakaran, sedangkan *secondary air* adalah udara yang khusus digunakan untuk pembakaran dan diumpungkan pada ketinggian tertentu dari *furnace*. Selain itu pada CFB boiler juga

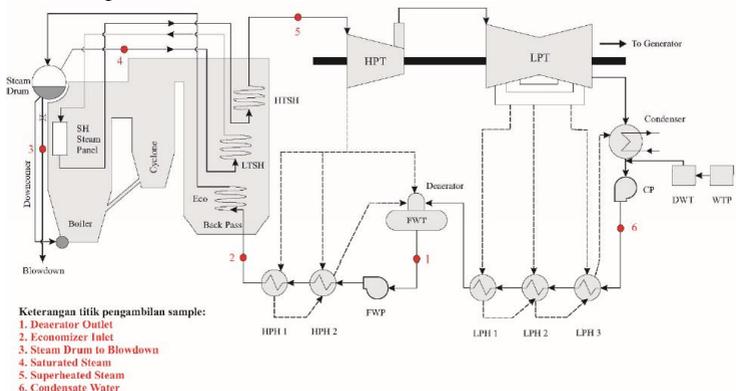
dilengkapi dengan *cyclone* yang difungsikan sebagai pemisah antara *flue gas* dan partikel *solid* (*bed material* dan bahan bakar) yang terikut keluar *furnace*. Sehingga partikel solid tersebut dapat disirkulasikan kembali ke dalam *furnace* untuk menjaga temperatur dan ketinggian *bed material*, maupun untuk meningkatkan *residence time* bahan bakar (Bambang Sudarmanta, 2017).



Gambar 2.1 Aliran Proses Circulating Fluidized Bed Boiler

2.1.2 Siklus air dan udara pada boiler (*Steam and Water Cycle*)

Adapun komponen-komponen yang dilewati oleh siklus air dan udara pada boiler adalah:



Gambar 2.1 Komponen pada *steam and water cycle*

a. Economizer

Economizer merupakan *Heat Exchanger* (penukar kalor) yang dipasang pada saluran *feedwater* sebelum masuk ke *steam drum*. Konstruksi economizer berupa sekelompok pipa-pipa kecil yang disusun berlapis-lapis. Karena temperatur gas panas lebih tinggi dari temperatur air pengisi maka gas panas memberikan panas kepada *feedwater* sehingga temperatur menjadi tinggi dan diharapkan mendekati titik didihnya, akan tetapi jangan melampaui titik didih karena akan menyebabkan terbentuknya uap di dalam pipa economizer yang merupakan dampak dari overheating pada pipa tersebut.

b. Steam drum

Steam drum merupakan bejana yang terdiri dari 2 bagian, yaitu tempat menampung air yang datang dari economizer dan uap hasil penguapan dari *waterwalltube*. Level air didalam *steam drum* harus dijaga agar selalu konstan (kira-kira separuh dari tinggi drum) agar tidak terjadi kegagalan yang tidak diinginkan. Pengaturan level didalam *steam drum* dilakukan dengan mengatur besarnya pembukaan *flow feedwater control valve*. Apabila level air yang terdapat pada steam drum terlalu rendah/tidak terkontrol akan menyebabkan terjadinya *overheating* pada pipa-pipa boiler, sedangkan apabila level drum terlalu tinggi, kemungkinan butir-butir air terbawa menuju *superheater* sehingga *superheater* dapat mengalami kegagalan berupa korosi.

c. Waterwall

Waterwall berfungsi sebagai pemanas air dengan bidang yang luas sehingga mempercepat proses penguapan. Waterwall juga berfungsi untuk mencegah penyebaran panas dari furnace ke udara luar dan untuk lebih menjamin agar panas tersebut tidak terbuang ke udara melalui *walltube*, maka pada bagian di sisi luar *walltube* dipasang dinding isolasi yang biasanya terbuat dari mineral fiber.

d. Low Temperature Superheater

Kegunaan dari Low Temperature Superheater ini adalah menaikkan temperatur uap jenuh yang berasal dari *steam drum* dan waterwall. Temperatur pada komponen ini ditingkatkan

menggunakan flue gas (gas buang hasil pembakaran). Suhu pada Low Temperature Superheater dapat mencapai 368°C.

e. High Temperature Superheater

High temperature superheater berfungsi untuk menaikkan temperature uap superheat menjadi uap superheat yang benar benar kering dan sudah tidak mengandung air melalui media pemanasan berupa flue gas hasil pembakaran didalam ruang bakar boiler pada tingkat ke tiga. Temperature uap superheat setelah HTS ini adalah 510°C.

f. Turbin

Turbin pada komponen boiler CFB ini terdiri dari 3 bagian yaitu low pressure turbin, *intermediate* turbin dan high pressure turbin. High pressure turbine mengekspansikan uap utama yang dihasilkan dari superheater dengan tekanan 169 kg/cm² dan temperatur sekitar 538 °C kemudian uap keluar dari High Pressure Turbine 41 kg/cm² dengan temperatur 336°C, lalu dipanaskan kembali pada bagian reheater pada boiler untuk menaikkan entalpi uap. Uap reheater lalu di ekspansikan di dalam intermediate pressure turbine. Intermediate pressure turbine mengekspansikan uap reheat dengan tekanan 39 kg/cm² dan temperatur sebesar 538°C, sedangkan uap keluaranya bertekanan 8 kg/cm² dan suhunya sekitar 330°C. Sedangkan jenis turbin yang terakhir adalah low pressure turbine. Low pressure turbine mengekspansikan uap bertekanan 8kg/cm² dan temperatur 330°C, tekanan uap keluar dari low pressure turbine pada tekanan 56 mmHg.

g. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin yaitu uap yang telah digunakan untuk memutar turbin. Kondensor terbuat dari plat baja berbentuk silinder yang diletakkan secara mendatar dan didalamnya dipasang pipa-pipa pendingin yang terbuat dari kuningan paduan. Kondensor memerlukan air pendingin untuk mengubah uap menjadi air. Beberapa PLTU memanfaatkan air laut sebagai pendingin kondensor, akan tetapi ada beberapa PLTU lain menggunakan cooling tower untuk

mendinginkan air kondensor yang diputar terus menerus dalam sistem tertutup (closed loop).

h. Low Pressure Heater, High Pressure Heater

Setelah melewati condensate pump. Memiliki fungsi untuk menaikkan temperatur secara bertahap atau sebagai pemanas lanjut yang mendapat panas dari uap ekstraksi turbin. Air mengalir dari sisi masuk water box melalui pipa-pipa berbentuk U ke sisi luar water box dan selanjutnya ke pemanas berikutnya. Tipe pemanas ini adalah shell and tube heat exchanger.

i. Deaerator

Deaerator berfungsi untuk memanaskan dan menghilangkan gas dan udara terlarut dalam *feedwater* menggunakan komponen kimia hydrazine untuk mengikat O_2 *volatile*. Udara dan gas dapat menyebabkan korosi di dalam tube air uap boiler. Rancangan deaerator yang banyak dipakai terdiri dari bejana penyimpan mendatar yang besar dan di atasnya dipasang satu atau lebih unit-unit pembuang udara, ini serupa dengan pemanas kontak langsung. Sebelum *feedwater* memasuki bagian pembuang udara, *feedwater* tersebut lewat melalui *vent condensor*.

2.1.3 Kegagalan pada CFB

Idealnya, CFB *boiler* adalah teknologi yang relatif stabil dan presentase timbulnya masalah nilainya sangat kecil dalam pengoperasiannya, namun ada beberapa CFB *boiler* yang mengalami permasalahan berupa pemberhentian sistem operasi yang tidak diharapkan. Akibatnya, kemampuan produksi pada boiler berkurang. Berbagai letak modus kegagalan yang terjadi pada CFB *boiler*. Presentase kerusakan yang terjadi pada boiler (M.Mobin, et.all 2013)

40% : *Furnace waterwall tubing*

30% : *Superheater tube*

15% : *Reheater tubes*

10% : Economizer

5% : *Burner tubes*

Berdasarkan kegagalan tersebut maka dapat diketahui bahwa komponen-komponen yang rentan pada CFB Boiler adalah pada bagian siklus air dan uap. Sehingga pada bagian siklus air dan uap merupakan bagian yang harus diberi perhatian lebih dalam pengoperasiannya dan dalam perawatannya agar dapat meminimalisir persentase kegagalan yang terjadi. Mayoritas pemadaman paksa boiler disebabkan oleh kegagalan komponen boiler, salah satunya adalah kegagalan pada boiler tube, kegagalan pada boiler tube merupakan penyebab utama dari pemadaman paksa pada PLTU. Bahkan di Amerika Serikat, dampak dari biaya yang diakibatkan oleh pemadaman paksa serta biaya perawatan yang dihabiskan untuk boiler tube mencapai lima milyar dolar per tahun.

2.1.4 Kegagalan Pada Tube

Tube boiler mengalirkan uap dan air yang bertekanan dan bertemperatur tinggi. *Tube boiler* memiliki masa pakai yang terbatas dan dapat gagal karena beragam mekanisme kegagalan. Kuisioner telah disebar di sebuah konferensi internasional tentang kegagalan *tube boiler* pada pembangkit, didapatkan hasil mekanisme kegagalan seperti ini:

(Dooley McNaughton)

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| a. Corrosion fatigue | : 84% |
| b. High temperature creep | : 80% |
| c. Fly ash erosion | : 73% |
| d. Hydrogen damage | : 41% |
| e. Super critical water wall cracking | : 34% |

a. Corrosion Fatigue

Corrosion fatigue disebabkan oleh gabungan dari tekanan termal akibat siklus beban dan kondisi air boiler yang korosif. Dalam lingkungan seperti itu, retakan yang biasanya terbentuk dalam jangka waktu yang lama di lokasi-lokasi dengan tekanan tinggi, seperti *tube attachments*, akan memulai dan menyebar dengan kecepatan yang sangat cepat. Saat tabung *waterwall* dipanaskan, mereka akan mengembang. Ekspansi terbesar di setiap

tabung akan terjadi di *fireside*. Karena sisi dingin dari tabung berada pada suhu yang lebih rendah, dia akan mengalami tingkat ekspansi peredam yang sepadan. Sebagai hasil dari ekspansi diferensial ini, sisi api dari setiap tabung yang diberikan mengalami tekanan tekan, sedangkan sisi dingin mengalami tegangan tarik.

Tekanan ini tidak bermasalah selama tabung mampu mengembang dan berkontraksi secara bebas. Namun, jika tabung ditahan dalam beberapa cara, misalnya dengan sambungan yang dilas, tekanan tambahan dimasukkan ke *fireside* atau sisi dingin tabung. Jika tegangan tarik ini cukup besar dan boiler dapat mengalami siklus termal yang berulang, keretakan dapat terjadi. Retakan dari sisi uap yang membentuk lubang sebagai akibat dari pembersihan oksigen, atau sepanjang retakan pada lapisan pelindung oksida besi sebagai akibat dari tegangan siklik. Retakan ini juga bisa menjadi anodik dan cenderung menjadi korosi lokal. Jika kondisi ini bertahan, lubang dangkal atau retakan oksida dapat meluas melintasi dinding tabung, yang pada akhirnya menyebabkan kebocoran *pinhole* atau kegagalan ledakan total.



Gambar 2. 2 *Corrosion Fatigue* pada boiler tube (Dooley and McNaughton, 1995)

b. Creep

Komponen mengalami kegagalan creep berada pada suhu tinggi terjadi setelah paparan suhu jangka panjang, dan biasanya di atas batas maksimum yang dapat diterima bahan. Jenis paparan ini mungkin merupakan akibat langsung dari kondisi desain, atau dapat terjadi saat kondisi yang tidak direncanakan, seperti penumpukan deposit internal atau penyumbatan, siklus pendingin

yang tidak memadai , atau suhu gas pembakaran yang berlebih, menyebabkan suhu komponen berada di atas suhu desain. Awalnya, kerusakan terjadi melalui deformasi dalam cakupan yang kecil. Dalam komponen berdinding tebal, kegagalan creep umumnya adalah hasil dari kerusakan lokal. Ini terjadi karena retakan berkembang di lokasi kritis, seperti pada konsentrasi tegangan, dan menyebar sehingga menyebabkan kegagalan. Paling sering, kerusakan yang terkait dengan creep muncul pada sambungan tube.



Gambar 2. 3 *Creep pada Boiler tube (Dooley and McNaughton,1995)*

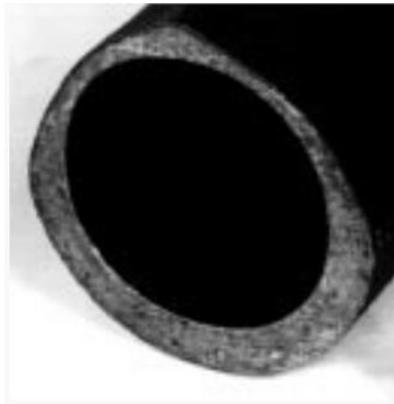
c. *Fly ash erosion*

Partikel *fly ash* yang terbawa dalam gas buang mengikis tabung, penyangga, dan jalur gas lainnya struktur di boiler batu bara bubuk. Dalam pulverized-coal boiler , partikel *fly ash* dalam gas buang tabung dapat berdampak pada permukaan boiler dalam kecepatan tinggi. Dampaknya adalah meningkatkan laju pemborosan di *fireside*, akhirnya mengarah pada *stress-rupture*. Tergantung pada tingkat pemborosan, tabung dapat gagal dalam salah satu dari dua mode:

- a. Tingkat pemborosan yang cepat menyebabkan dinding terkikis secara cepat dan terjadi *thinning*,
- b. Tingkat pemborosan yang lebih lambat menyebabkan kegagalan ketebalan dinding akibat creep yang merupakan kerusakan efek gabungan dari peningkatan suhu dan dinding tabung yang lebih tipis (*thinning*).

Tabung yang mengalami penipisan akibat *fly ash erosion* terjadi melalui dua mekanisme:

Fly ash berdampak langsung pada permukaan logam dan menghilangkan logam dengan keausan abrasif, atau menghilangkan kerak pada *fireside*, yang mana logam dasar terpapar dan mempercepat proses oksidasi. Kontribusi dari mekanisme ini berubah seiring kenaikan suhu logam, dengan mekanisme peluruhan kerak menjadi dominan pada suhu di atas 800° F (430°C). Erosi pada *fireside* paling sering terjadi pada unit yang membakar batu bara dengan kadar abu yang tinggi dan mengandung bahan abu bersifat abrasif, seperti kuarsa (SiO₂).



Gambar 2.4 *Fly ash erosion* pada boiler tube (Dooley and McNaughton, 1995)

d. *Hydrogen damage*

Hydrogen damage berasal dari kondisi pH rendah yang bersifat asam, baik di area tertentu atau dalam air kimia pada boiler secara keseluruhan, yang menyebabkan korosi dan selanjutnya terjadi difusi hidrogen ke dalam tabung baja. Dalam kondisi pH rendah, pelindung permukaan oksida dari baja tabung pecah sehingga memaparkan dasar logam untuk mudah terserang korosi. Reaksi korosi menghasilkan hidrogen pada permukaan logam,

yang berdifusi ke dalam baja dan bereaksi dengan besi karbida (Fe_3C) untuk membentuk gas metana. Reaksi pembentukan gas metana ini juga menghasilkan melemahnya area tersebut karena terjadi peristiwa dekarburisasi lokal baja. Molekul metana berukuran besar, yang mana tidak mudah berdifusi melalui kisi logam, sehingga terperangkap di batas butir. Sebagai gas yang terakumulasi, sehingga membentuk tekanan, dan terbentuk celah internal yang terhubung seiring waktu menyebabkan retakan melalui dinding.



Gambar 2.5 *Hydrogen damage pada tube boiler (Dooley and McNaughton, 1995)*

e. Supercritical water wall cracking

Supercritical water wall cracking adalah salah satu penyebab utama kegagalan tabung boiler pada unit superkritis. Hal ini disebabkan oleh dua proses pelengkap yang memungkinkan suhu permukaan tabung boiler untuk mencapai kisaran creep:

1. Penumpukan endapan secara bertahap pada permukaan tabung bagian dalam
2. Pengelupasan kerak dari permukaan *fireside*.

Deposit internal terbentuk dari produk korosi memasuki boiler melalui air umpan (*feedwater*). Dalam beberapa kasus, kegagalan diawali dengan peningkatan penurunan tekanan boiler

akibat aliran kendala dari deposit internal tabung. Keretakan dinding air biasanya terlokalisasi. Selain itu, retak biasanya terbatas pada kisaran kecil di boiler, biasanya dalam rentang batas di tingkat burner dengan zona *heat flux* maksimum. Daerah yang terkena dampak ditandai oleh banyaknya retakan yang berjarak dekat. Dalam banyak kasus, tetapi tidak semua, kasus retakan itu tidak menembus ketebalan dinding. Jenis retak ini sering tidak diamati hingga boiler superkritis telah beroperasi selama beberapa tahun. Namun, setelah keretakan terdeteksi dan diperbaiki, ia dapat kembali dalam hitungan bulan.

2.2 Risiko

Risiko merupakan hal yang erat kaitannya dengan kehidupan kita sehari-hari. Setiap tindakan yang kita lakukan, pasti akan memiliki dampak (risiko) keputusan yang kita ambil juga berdasarkan risiko. Risiko adalah kombinasi dari kemungkinan suatu peristiwa yang terjadi selama periode waktu tertentu dan memiliki konsekuensi yang umumnya negatif, dan konsekuensi tersebut berkaitan dengan kejadiannya (API 580, 2009). Jadi kita dapat menilai bahwa suatu peristiwa tersebut dikategorikan sebagai suatu risiko, ketika kejadian tersebut terjadi secara berulang dalam kurun waktu tertentu. Risiko yang berkaitan dengan ketidakpastian ini terjadi karena kurang atau tidak terdapat ketersediannya cukup informasi mengenai apa yang sedang terjadi. Risiko didefinisikan sebagai kombinasi antara *probability* dan *consequence*. Semakin tinggi kemungkinan terjadinya suatu kejadian tersebut, maka risikonya juga akan semakin tinggi.

2.3 Risk Based Maintenance

Merupakan suatu metode kuantitatif hasil yang menggunakan strategi pendekatan risiko untuk mencapai jadwal *maintenance* yang optimal. RBM bertujuan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan akibat kegagalan yang terjadi pada fasilitas operasi. Nilai kuantitatif dari risiko merupakan dasar untuk memprioritaskan kegiatan *maintenance* dan inspeksi (Khan dan

Haddara, 2004). *Risk based maintenance* terdiri dari 2 tahapan utama, yaitu:

- a. Penilaian risiko (*Risk Assesment*)
- b. Perencanaan pemeliharaan berdasarkan risiko

Tujuan utama dalam *Risk Based Maintenance* (RBM) adalah untuk mengurangi keseluruhan risiko yang dapat terjadi sebagai akibat dari kegagalan yang tidak terduga pada fasilitas operasi. Kegiatan inspeksi dan pemeliharaan diprioritaskan berdasarkan risiko terukur yang disebabkan oleh kegagalan komponen, sehingga keseluruhan risiko dapat diminimalisir menggunakan pemeliharaan berbasis risiko. Komponen berisiko tinggi diperiksa dan biasanya dilakukan *maintenance* dengan frekuensi dan ketelitian yang lebih tinggi dan dipertahankan untuk mencapai kriteria risiko yang dapat ditoleransi.

Dalam metode pemeliharaan berbasis risiko (RBM) terdapat 5 perspektif :

a. Analisis bahaya (Hazard analysis)

Analisis bahaya merupakan langkah awal yang sistematis untuk mengetahui adanya bahaya dalam suatu siklus, serta merupakan landasan dari program pencegahan kecelakaan dan pengendalian risiko. Tanpa melakukan identifikasi bahaya tidak mungkin melakukan pengelolaan risiko dengan baik (Ramli, 2010). Analisa bahaya dilakukan untuk mengidentifikasi skenario kegagalan yang terjadi pada suatu sistem yang melibatkan komponen-komponen dalam sistem yang ada. Skenario kegagalan dikembangkan berdasarkan karakteristik operasional sistem, kondisi fisik serta kondisi lingkungan di mana operasi terjadi, dan sistem geometri.

Pengidentifikasian bahaya sebelum bahaya tersebut menyebabkan kegagalan adalah inti seluruh kegiatan pencegahan kegagalan (Siswanto, 2009). Pengidentifikasian bahaya merupakan kegiatan subjektif, ukuran bahaya yang teridentifikasi akan berbeda antara satu orang dengan orang lainnya yang tergantung pada pengalaman orang yang bersangkutan. Teknik pengidentifikasian bahaya bertujuan untuk mengurangi potensi

bahaya yang terjadi serta mengukur kemungkinan kegagalan yang terjadi (Ridley, 2006).

b. Penilaian kemungkinan (*Likelihood assesment*).

Tujuannya di sini adalah untuk menghitung terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan. Penilaian kemungkinan disimpulkan berdasarkan frekuensi kegagalan atau probabilitas kegagalan terjadi untuk periode waktu yang telah ditentukan. Ini merupakan parameter penting dalam penentuan kategori risiko.

c. Penilaian konsekuensi (*Consequence assesment*)

Tujuannya di sini adalah untuk mengukur kemungkinan konsekuensi dari skenario kegagalan yang dapat dipercaya (*credible*). Konsekuensi yang timbul adalah kerugian terhadap produksi, kehilangan aset, serta kerugian yang terjadi terhadap lingkungan, dan kerugian terhadap kesehatan dan keselamatan. Dalam beberapa literatur, kerugian produksi ditetapkan sebagai kerugian kinerja dan kerugian operasional.

d. Estimasi risiko (*Risk estimation*)

Berdasarkan hasil analisa konsekuensi dan analisa probabilistik kegagalan, risikonya diperkirakan untuk masing-masing unit.

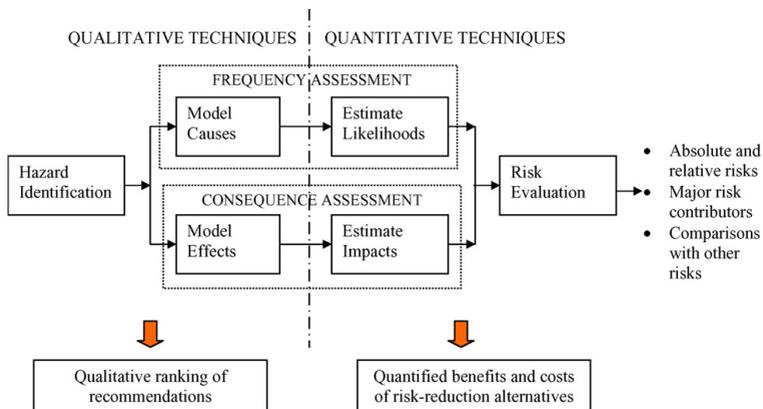
e. Penerimaan risiko (*Risk acceptance*)

Risiko yang dihitung dibandingkan dengan kriteria penerimaan risiko. Apabila ada risiko sebuah unit / komponen melebihi kriteria penerimaan, maka diperlukan perencanaan pemeliharaan untuk mengurangi risiko yang terjadi.

2.3.1 Penilaian risiko (*Risk Assesment*)

Dari dua tahapan utama pemeliharaan berbasis risiko, penilaian risiko adalah tahapan yang terpenting, karena keputusan pemeliharaan akan dibuat berdasarkan risiko yang dinilai sebagai inti dari tahapan ini. Risiko dapat didefinisikan sebagai “kerugian atau kerusakan yang diperkirakan akan terjadi yang terkait dengan kemungkinan terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan”. Bahaya merujuk pada sumber kehilangan atau kerusakan. Risiko adalah probabilitas terjadinya kehilangan atau kerusakan. Teknik yang

canggih digunakan untuk mengidentifikasi operasi berisiko tinggi dan untuk mengidentifikasi cara untuk mengurangi risiko kecelakaan pada operasi ini. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8 , penilaian risiko melibatkan tidak lebih dari mengidentifikasi potensi ancaman, memperkirakan *likelihood* (jumlah kejadian / interval waktu), dan memperkirakan konsekuensi (dampak / peristiwa). Kombinasi estimasi ini mewakili risiko (dampak / interval waktu) yang terkait dengan aktivitas yang dievaluasi. Karena semakin banyak industri mengalami banyak kecelakaan yang terungkap, semakin penting dikaitkan dengan penilaian risiko.



Gambar 2. 6 Proses Risk Assesment

Rimington (1993) menjelaskan bahwa penilaian risiko merupakan cara yang menggunakan pendekatan terhadap bahaya dengan pandangan untuk menentukan apa yang melebihi batas tinggi dan apa yang kurang berisiko. Ini membantu untuk mengoptimalkan risiko dan manfaat. Pendekatan penilaian risiko menentukan analisa konsekuensi, dan upaya untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut :

- Apa yang salah?

- Bagaimana bisa salah?
- Seberapa besar kemungkinan kejadiannya?
- Apa akibatnya?

Penilaian risiko dapat bersifat kuantitatif atau kualitatif. Penilaian risiko kuantitatif dilakukan dengan estimasi frekuensi dan konsekuensinya. Penilaian risiko kuantitatif hanya sesuai di mana itu masuk akal dan praktis, masuk akal bahwa biaya melakukan kegiatan tersebut tidak lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pemecahan masalah, dan praktis dalam hal ketersediaan informasi dan data. Penilaian risiko kualitatif berlaku ketika risikonya kecil dan sudah diketahui. Hasilnya diwakili dalam bentuk matriks risiko di mana matriks menggambarkan probabilitas dan konsekuensi.

a. Metodologi analisa risiko

Tixier et al (2002) mendapatkan 62 metodologi analisa risiko yang berasal dari referensi yang bervariasi. Mirip dengan surveynya, di sini metodologi analisa risikonya dan juga tekniknya dikategorikan dari beragam referensi menjadi deterministik, probabilistik, dan kombinasi dari pendekatan deterministik dan probabilistik. Deterministik merupakan metode yang mempertimbangkan produk, peralatan, dan kuantifikasi konsekuensi untuk berbagai target seperti orang, lingkungan dan peralatan. Pendekatan ini mengasumsikan terjadinya bahaya dan konsekuensinya diketahui dan terjadi pada kurun waktu tertentu. Metode probabilistik didasarkan pada probabilitas atau frekuensi penampakan situasi berbahaya atau pada kejadian yang berpotensi mengalami kecelakaan. Metodologi-metodologi yang dikategorikan dalam kelompok deterministik dan kuantitatif merupakan bagian utama indeks bahaya, yang digunakan untuk menilai risiko dengan cepat dan mudah. Sebagian besar teknik dikategorikan dalam kelompok probabilistik dan kuantitatif diterapkan untuk mengukur probabilitas skenario kecelakaan dan kegagalan paling buruk.

Method types	Deterministic	Probabilistic	Deterministic and probabilistic
Qualitative	Action error analysis [14], checklist [15], concept hazard analysis [15], goal oriented failure analysis [14], hazard and operability (HAZOP) [15-22], failure mode effect analysis (FMEA) [15,19], human hazard operability (HumanHAZOP) [23], hazard identification system (HAZID) [24], master logic diagram [25], optimal hazard and operability (OptHAZOP) [15,26], plant level safety analysis (PLSA) [27], preliminary risk analysis [14], process hazard analysis (PHA) [28-30], reliability block diagram (RBD) [14], task analysis [14], Whatif? analysis [14,15,18], sneak analysis [31], risk matrix [32-34]	Delphi technique [14], expert judgment [35], rapid ranking [36]	Maximum credible accident analysis, [15,37-40], safety culture hazard and operability (SCHAZOP) [23], structural reliability analysis (SRA) [14]
Quantitative	Accident hazard index [41], chemical runaway reaction hazard index [42], Dow's chemical exposure index (CEI) [43,15], Dow's fire and explosion index (FED) [44,15], fire and explosion damage index (FEDI) [15], hazard identification and ranking (HIRA) [15], instantaneous fractional annual loss (IFAL) [15], reactivity risk index (RRI) [45], safety weighted hazard index (SWeHI) [46], toxic damage index (TDI) [15]	Event tree analysis (ETA) [14,15,47,48], fault tree analysis (FTA) [14,15,48], petri nets [48], probabilistic fault tree (PROFAT) [49], fuzzy fault tree analysis [50,51], risk integral [52]	Method organised systematic analysis of risk (MOSAR) [14], quantitative risk analysis (QRA) [9,15,45,53-55], rapid risk analysis [15,56-59], probabilistic risk analysis (PRA) [15,60], international study group on risk analysis (ISGRA) [15], optimal risk assessment (ORA) [15,61], IDEF methodology [62]
Semi-quantitative	Domino effect analysis [15,63], layers of protection analysis (LOPA) [64], predictive risk index [65], world health organization (WHO) [15], risk priority number [14]	IAEA-TECDOC-727 [66,67], maintenance analysis [14], semi-quantitative fault tree analysis [68], short cut risk assessment [14,69]	Safety analysis [15], failure mode effect criticality analysis (FMECA) [15], facility risk review (FRR) [19,70]

Gambar 2. 7 Metodologi analisa risiko

1. Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif menitikberatkan pada pemahaman gambaran secara umum, data yang dihasilkan berupa skala deskriptif yaitu berupa kata-kata tertulis untuk menjelaskan besarnya potensi risiko yang ada. Skala pada kualitatif diberi nilai untuk menggambarkan derajat konsekuensi maupun probabilitas dari risiko yang ada. Nilai yang didapatkan berdasarkan jenis analisa kualitatif ini adalah bahwa hal itu memungkinkan adanya penilaian risiko dengan tidak tersedianya data kuantitatif yang terperinci. Keakuratan dari analisa secara kualitatif juga berdasarkan pada latar belakang dan keahlian dari para analis risiko (*expert judgement*) dan anggota tim. Meskipun pendekatan kualitatif kurang presisi dibandingkan dengan segi pendekatan yang lebih kuantitatif, akan tetapi pendekatan ini lebih efektif. Metode ini secara umum dapat menyediakan dasar dalam pemrioritasan tingkat risiko. Pendekatan semi-kuantitatif menggunakan data berupa pengalaman dan penilaian dari auditornya mengenai objek yang akan dinilai. Pada akhirnya analisa kualitatif ini memberikan gambaran secara umum

mengenai risiko kegiatan untuk diberi nilai skala agar penggambaran risiko dapat dilakukan secara tepat.

Tabel 2. 1 Ukuran kualitatif dari likelihood menurut standar AS/NZS 4360, 2010

Tingkat	Kriteria	Penjelasan
1	Rare (jarang sekali)	Risiko kegagalan jarang sekali muncul/terjadi kurang dari 2 kali dalam kurun waktu 5 tahun.
2	Unlikely (kecil kemungkinannya)	Risiko kegagalan terjadi 2-3 kali dalam kurun waktu 5 tahun.
3	Moderate (sedang)	Risiko kegagalan terjadi lebih dari 3 atau kurang dari 4 kali dalam kurun waktu 5 tahun
4	Likely (Mungkin terjadi)	Risiko kegagalan terjadi 4-5 kali dalam 5 tahun
5	Almost certain (hampir pasti)	Risiko kegagalan terjadi lebih dari 5 kali dalam 5 tahun

Tabel 2. 2 Ukuran kualitatif dari *consequency* menurut standar AS/NZS 4360, 2010

Tingkat	Kriteria	Penjelasan
1	Insignificant	Sistem beroperasi dan aman, terjadi sedikit gangguan peralatan tidak berarti. Potensi bahaya serta kerusakan/kerugian properti yang ditimbulkan hampir tidak ada. Tidak berpengaruh secara signifikan. Korban
2	Minor	Sistem tetap beroperasi dan aman, gangguan mengakibatkan sedikit penurunan performansi atau kinerja sistem terganggu. Kerusakan/ kerugian yang ditimbulkan minor.
3	Moderate (sedang)	Sistem dapat beroperasi. Kegagalan dapat mengakibatkan mesin kehilangan fungsi utamanya dan atau dapat menimbulkan kegagalan produk.
4	Major	Sistem tidak dapat beroperasi. Kegagalan dapat menyebabkan terjadinya banyak kerusakan fisik dan sistem. Dapat menimbulkan kegagalan produk, dan atau tidak memenuhi persyaratan peraturan keselamatan kerja. Kerusakan/kerugian yang ditimbulkan bersifat major.
5	Catastrophic	Sistem tidak layak operasi, keparahan yang sangat tinggi bila kegagalan mempengaruhi sistem yang aman, melanggar peraturan keselamatan kerja. Kerusakan/kerugian yang ditimbulkan bersifat ekstrim dan menimbulkan kerugian finansial yang sangat besar.

Setelah menentukan likelihood dan consequence berdasarkan tabel 2.1 dan tabel 2.2 maka nilai keduanya dapat dikalikan untuk

mendapatkan gambaran dari risiko kegagalan yang terjadi. Untuk menentukan risiko kegagalan yang terjadi, maka dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Ukuran kualitatif penilaian risiko menurut standar AS/NZS 4360

		Severity				
		Insignifi- cant(1)	Minor (2)	Mode rate (3)	Major (4)	Catastr ophic (5)
Likeli- hood	Rare (1)	R = 1x1 = 1	R=1x 2=2	R =1x3 = 3	R=1x 4 = 4	S = 1x5=15
	Unlik- ely (2)	R = 2x1 = 2	R=2x 2=4	S=2x 3=6	S =2x4 = 8	S = 2x5=10
	Mode rate (3)	R = 3x1= 3	S =3x2 =6	S=3x 3=9	T=3x 4=12	T = 3x5=15
	Likel- y (4)	R = 4x1=4	S= 4x2= 8	T=4x 3=12	T=4x 4=16	T = 4x5= 20
	Almo- st Certa- in (5)	S = 5x1=5	S=5x 2= 10	T= 5x3=1 5	T=5x 4=20	T = 5x5= 25

Keterangan :

R (Rendah) : Nilai 1-4

S (Sedang) : Nilai 5-10

T (Tinggi) : Nilai 12-25

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas analisa risiko adalah:

1. Identifikasi bahaya dan menganalisa konsekuensi awal:

- analisa bahaya awal;
- data dan informasi;
- metode

2. Estimasi risiko:

- metode
- estimasi frekuensi
- estimasi konsekuensi
- analisa fungsi (mengidentifikasi fungsi kritis sistem)
- analisa ketidakpastian dan sensitivitas

3. Hasil:

- kualitatif.
- kuantitatif.

2.3.2 Perencanaan pemeliharaan berdasarkan risiko

Perencanaan pemeliharaan bertujuan untuk menurunkan risiko guna memenuhi kriteria yang dapat diterima dan untuk mengurangi probabilitas kegagalan. Risiko yang masuk dalam kategori tinggi dan sedang harus diutamakan dan lebih diperhatikan, karena apabila kegagalan dalam kategori tinggi diabaikan maka dapat menimbulkan kegagalan yang lebih kompleks dalam sistem. *Monitoring* dan kontrol yang lebih signifikan terhadap komponen yang berisiko tinggi dapat mengurangi biaya *maintenance*.

2.4 RCFA (Root Cause Failure Analysis)

Root Cause Failure Analysis (RCFA) adalah langkah demi langkah metodologi yang mengarah ke penyebab utama (atau akar penyebab) kegagalan. Jika akar penyebab kegagalan tidak ditunjukkan secara tepat waktu, kegagalan akan terjadi lagi, biasanya menyebabkan kegagalan produksi dan meningkatkan biaya pemeliharaan. RCFA merupakan cara yang terstruktur untuk tiba pada akar penyebab, sehingga memudahkan dalam penyebab dan gejala-gejala tidak hanya terkait dengan itu (Gulati, 2012). *Root Cause Failure Analysis* bukan hanya untuk mendefinisikan satu metode. Ada 4 (empat) klasifikasi metode RCFA yang dapat diaplikasikan yaitu:

1. *Safety based* RCFA digunakan untuk kasus kegagalan yang berhubungan dengan *safety, health, and environment*

2. *Production based RCFA* digunakan untuk mengidentifikasi kualitas produk, dan produksi yang berhubungan dengan produk
3. *Process based RCA* digunakan untuk mengidentifikasi masalah pada proses, termasuk sistem bisnis
4. *Asset based RCFA* digunakan untuk analisa kegagalan pada mesin atau sistem permesinan pada area *maintenance*.

Prinsip umum dari RCFA adalah

- a. Bertujuan korektif mengukur di akar penyebab lebih efektif daripada hanya memperbaiki gejala-gejala dari masalah.
- b. Untuk menjadi efektif, RCFA harus dilakukan secara sistematis, dan kesimpulan harus didukung oleh data.
- c. Biasanya ada lebih dari satu akar penyebab masalah tertentu.

Root Cause Failure Analysis adalah metode pemecahan masalah dengan menggunakan metode langkah demi langkah untuk menemukan penyebab dasar kegagalan. RCFA adalah proses untuk mengidentifikasi penyebab sebenarnya dari kegagalan tertentu dan menggunakan informasi tersebut untuk menetapkan tindakan *maintenance*. RCFA membutuhkan penyelidikan awal untuk menganalisa sifat dan frekuensi kegagalan memutuskan apakah akan melakukan RCFA atau tidak. Setelah diputuskan, maka proses dimulai dengan pengumpulan data yang komprehensif mengenai kegagalan termasuk bukti fisik dan teknis, dilanjutkan dengan analisis data yang dikumpulkan, menemukan akar penyebab kegagalan dan berakhir dengan menawarkan solusi untuk mencegah kekambuhan. (Hussin et al, 2016)

Beberapa faktor penting untuk melakukan RCFA berhasil diidentifikasi dan dikelompokkan dan digabungkan menjadi lima kategori yaitu (Hussin et al., 2016):

- *Management support*. Proses RCFA membutuhkan dukungan kuat dari manajemen atas keberhasilan pelaksanaannya. Manajemen harus menyadari dari setiap aspek proyek investigasi kegagalan dan memungkinkan tim investigasi untuk mengakses semua data dan informasi yang diperlukan sehingga tidak cukup

waktu untuk menyelesaikan penyelidikan, mendorong tim investigasi untuk menerapkan tindakan pencegahan / pencegahan dan tindak lanjut. Semua sumber yang dibutuhkan untuk pelaksanaan RCFA harus diberikan kepada tim untuk mendapatkan hasil yang efektif. Manajemen harus memberi wewenang kepada tim RCFA untuk mengambil keputusan demi mencegah terulangnya kegagalan serupa.(Hussin et al., 2016)

- *Resources*. Sumber daya diperlukan untuk menyelesaikan investigasi RCFA secara efektif. Alasan utama mengapa organisasi bersedia mengeluarkan sumber daya mahal di RCFA adalah menghindari kegagalan. Sebelum melakukan RCFA, perlu memastikan bahwa semua sumber daya yang dibutuhkan seperti uang, waktu dan orang tersedia. Anggota tim penyelidik harus terampil dan terlatih di bidangnya masing-masing karena profesional yang terampil untuk proses RCFA. Pembentukan tim dengan memilih anggota yang kompetitif dan berpengalaman dari berbagai departemen organisasi mendukung investigasi RCFA. (Hussin et al., 2016)

- *Data and information*. RCFA membutuhkan data dan informasi yang memadai untuk menganalisis dan menyelidiki penyebab kegagalan yang potensial. Efektivitas RCFA sangat tergantung pada ketersediaan data dan kemampuan tim RCFA yang akurat dan komprehensif untuk menganalisis data dengan benar. Data dan informasi membantu menganalisa alasan mengapa mesin atau peralatan gagal dan untuk memahami masalah secara mendalam. Data untuk kegagalan tertentu dapat diperoleh dari laporan kegagalan sebelumnya, catatan peralatan, wawancara, pengamatan, data proses, data faktor lingkungan, laporan analisis, bukti fisik dan catatan perawatan. Informasi atau data yang tidak mencukupi dapat menyebabkan analisis yang tidak adekuat untuk mengidentifikasi penyebab yang mendasarinya.(Hussin et al., 2016)

- *Failure data management system/database*. Sistem pengelolaan / pelaporan kegagalan data kegagalan atau kegagalan sangat diinginkan untuk mencatat data investigasi dan pelaporan

kegagalan yang dapat diakses dengan mudah dan cepat untuk menghindari pengulangan kegagalan dengan meninjau laporan kegagalan / investigasi sebelumnya dan data dari database. Kegagalan database mendukung penyidik untuk mengakses laporan RCFA sebelumnya, rincian kegagalan, mengidentifikasi akar penyebab kegagalan dan pelacakan solusi yang diimplementasikan yang akan mendukung analisis jenis kegagalan serupa.

2.4.1 Prosedur RCFA

Terdapat tujuh langkah umum dalam sebuah investigasi untuk mendapatkan akar permasalahan dari suatu analisa kegagalan (RCFA). Ketujuh langkah tersebut antara lain (Zavagnin, 2008):

- *Scoping*

Metode RCFA dimulai dengan *scoping* dari kegagalan. Dimulai dengan mengevaluasi konsekuensi dari kegagalan dan risikonya. Mengevaluasi risiko berarti mengidentifikasi konsekuensi apa yang bisa terjadi jika kegagalan tersebut terulang, serta frekuensi atau probabilitas kejadian tersebut terulang. Melakukan *scoping* memungkinkan kita untuk memahami konsekuensi terburuk untuk kemudian menghilangkan atau mengelolanya. Scoping dapat digunakan untuk mengetahui apakah suatu kegagalan dianggap besar atau kecil. Apabila kegagalan yang terjadi tergolong kecil, maka biasanya langkah analisa dan mitigasi dapat langsung dilakukan tanpa melibatkan pihak eksternal (dari luar), hanya pihak internal saja. Namun, untuk kegagalan yang kompleks terkadang diperlukan gabungan antara pihak internal dan external yang merupakan orang yang ahli dan berpengalaman di bidang tersebut.

- *Preserving Evidence and Collecting data*

Tahapan menjaga bukti dan mengumpulkan data adalah langkah yang penting dalam RCFA. Tanpa tahapan ini, hasil yang didapatkan adalah akar permasalahan yang tidak tepat, dimana akan menyebabkan kerugian dan memungkinkan terjadinya kembali kegagalan yang sama. Pada suatu kejadian kegagalan, kebanyakan orang biasanya hanya berfokus pada perbaikan dan penggantian material yang rusak saja agar proses dapat bekerja

kembali seperti semula, tanpa berpikir untuk mencegah kegagalan tersebut terjadi lagi dan bukti-bukti dan data yang telah dikumpulkan hilang begitu saja.

- *Organizing the Analysis*

Tahapan selanjutnya adalah membentuk sebuah tim untuk menganalisa kegagalan yang terjadi untuk merumuskan suatu RCFA.

- *Analyzing*

Langkah yang selanjutnya adalah analisis. Tahapan analisis membutuhkan pengetahuan mengenai apa saja yang dapat dikontrol dan hasil dari suatu pengontrolan dan respon.

- *Documenting, Implementing, Confirming* Mengkomunikasikan analisis melibatkan tiga tahap

1. Ringkasan kejadian kegagalan, akar penyebab, dan rekomendasi terkait yang keluar dari analisis
2. Rekomendasi mana yang dipilih selama evaluasi, bagaimana penerapannya, kapan, dan oleh siapa
3. Apakah rekomendasi yang diimplementasikan berhasil atau tidak.

2.5 Maintenance Boiler

Jenis-Jenis perawatan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Dhillon,2002)

2.5.1 Reactive Maintenance

Reactive Maintenance merupakan jenis *maintenance* yang bisa disebut juga sebagai *Breakdown Maintenance, fix-when-fail, run to failure*, atau *repair maintenance*. Saat menggunakan perawatan jenis ini, perawatan hanya dilakukan pada kondisi ketika terjadi kerusakan pada mesin yang menyebabkan mesin tersebut tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Dengan jenis perawatan ini, diasumsikan bahwa kemungkinan terjadinya kerusakan pada setiap komponen, sistem, ataupun bagian di dalam mesin memiliki peluang kemungkinan yang sama. Saat hanya jenis perawatan ini digunakan, maka akan terjadi *unplanned*

maintenance dengan jumlah yang sangat tinggi dan tingginya penggantian jumlah suku cadang pada komponen.

Reactive Maintenance apabila diterapkan pada boiler, maka peralatan yang sesuai untuk diterapkan menggunakan metode ini adalah kegagalan pada *tube*, kegagalan pada *refractory* pada kasus tertentu, aglomerasi, dan *loopseal de-fluidization*.

2.5.2 Proactive Maintenance

Proactive maintenance merupakan strategi untuk menghindari kegagalan komponen melalui metode *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. Pada metode *preventive maintenance* kemungkinan terjadinya kegagalan pada interval yang spesifik diestimasi dan dilakukan tindakan sesuai keperluan. Perawatan dengan metode ini dilakukan secara periodik atau terjadwal. Sedangkan pada metode *predictive maintenance* perawatan dilakukan berdasarkan kondisi fisik peralatan, meliputi temperatur, tekanan, dan sebagainya. Metode ini disebut juga *condition based maintenance* (Arjunwadkar, 2016).

Beberapa prosedur *proactive maintenance* pada CFB boiler diuraikan sebagai berikut:

- *Fluidization Uniformity Test*

Material *bed* terfluidisasi pada kondisi yang dingin hingga tercapai kondisi fluidisasi yang stabil. Setelah itu kondisi material *bed* dapat mengindikasikan kualitas fluidisasi. Material *bed* yang mengalir secara uniform membentuk permukaan datar yang mengindikasikan *pressure drop* konstan.

- *Particle Size Distribution Monitoring*

Ukuran partikel *bed* mempengaruhi beberapa proses operasi CFB boiler, diantaranya penyerapan panas, efisiensi pembakaran, emisi, efisiensi *cyclone*, dan temperatur *bed*. Maka dari itu perlu dilakukan monitoring terkait ukuran partikel *bed* dan kalibrasi *limestone crusher* secara periodik.

- *Pressure drop Test of Distribution Nozzle*

Pressure drop disekitar *nozzle* mempengaruhi hidrodinamis dan operasional CFB boiler. Jika *pressure drop* menurun dapat menyebabkan erosi pada *orifice nozzle*, kebocoran pada *wind box*,

dan *back shifting* pada material *bed*. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian *pressure drop* disekitar *nozzle*.

- *Fluidized Bed Pressure drop Test*

Pressure drop disekitar *bed* yang terfluidisasi dapat berpengaruh pada suspensi densitas pada *furnace* bagian atas, koefisien perpindahan panas, sejumlah karbon yang berubah menjadi abu, serta konsumsi bahan bakar cadangan. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian *pressure drop* disekitar *bed*.

- *Monitoring Pressure drop Across Furnace and Cyclone*

Pressure drop yang lebih tinggi dibanding ketetapan desain dapat diakibatkan oleh ukuran partikel lebih kecil dari yang direkomendasikan. Hal ini dapat menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar cadangan. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian *pressure drop* disepanjang *furnace* dan *cyclone* untuk mengetahui perubahan laju perpindahan panas dan perubahan distribusi ukuran partikel.

2.5.3 Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Perawatan preventif adalah perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan. Ruang lingkup perawatan jenis ini meliputi inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan, dan penyetelan sehingga fasilitas produksi selama beroperasi terhindar dari kerusakan.

2.5.4 Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perawatan korektif adalah perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas produksi sehingga sesuai standar yang dapat diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik.

2.6 Tujuan Perawatan

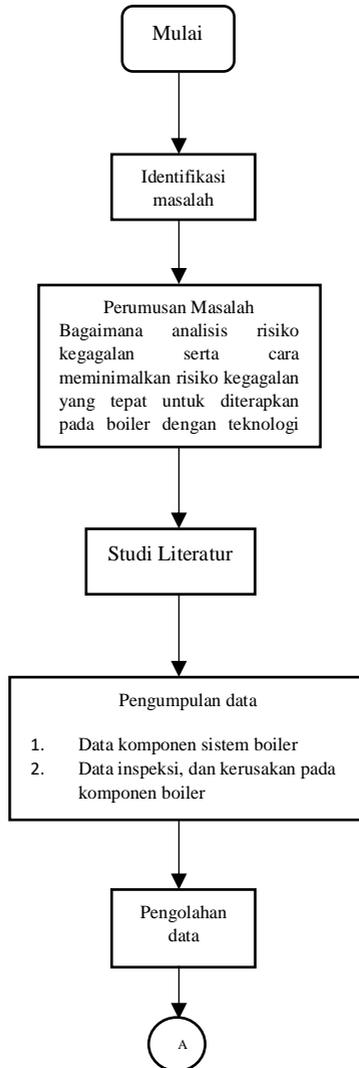
Tujuan dilakukannya perawatan adalah sebagai berikut (Ngadiyono, 2010):

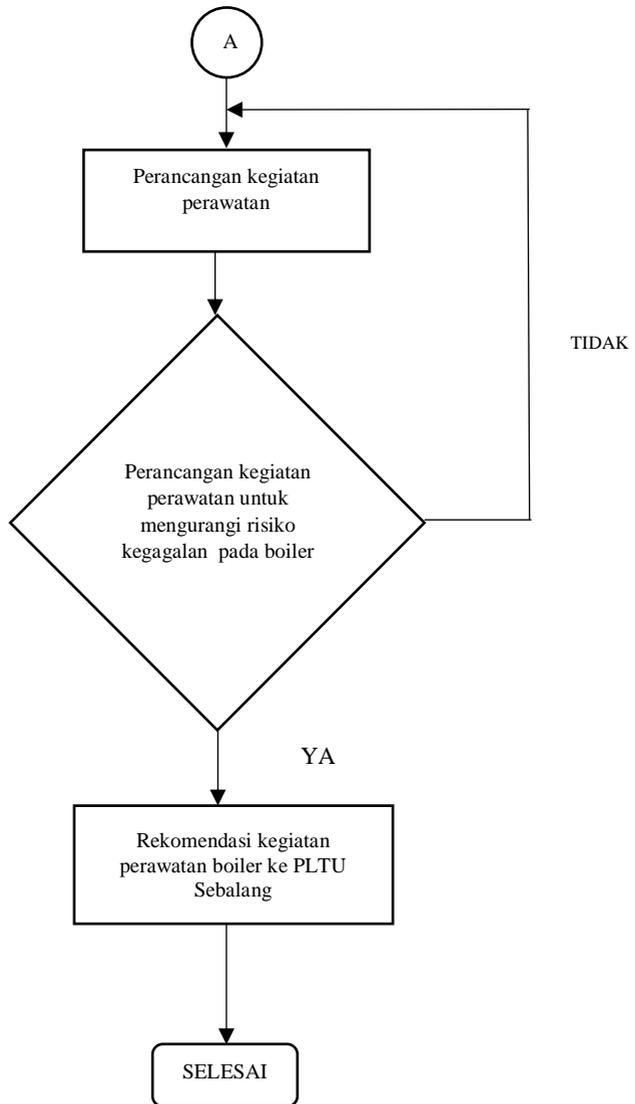
- Menjamin kemampuan fasilitas produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai fungsinya.
- Menjamin fasilitas produksi dalam kondisi yang optimum saat beroperasi.
- Memperpanjang umur penggunaan fasilitas produksi.
- Menjamin keselamatan pengguna fasilitas produksi.
- Membantu mengurangi penggunaan dan penyimpanan yang diluar batas kebijakan perusahaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

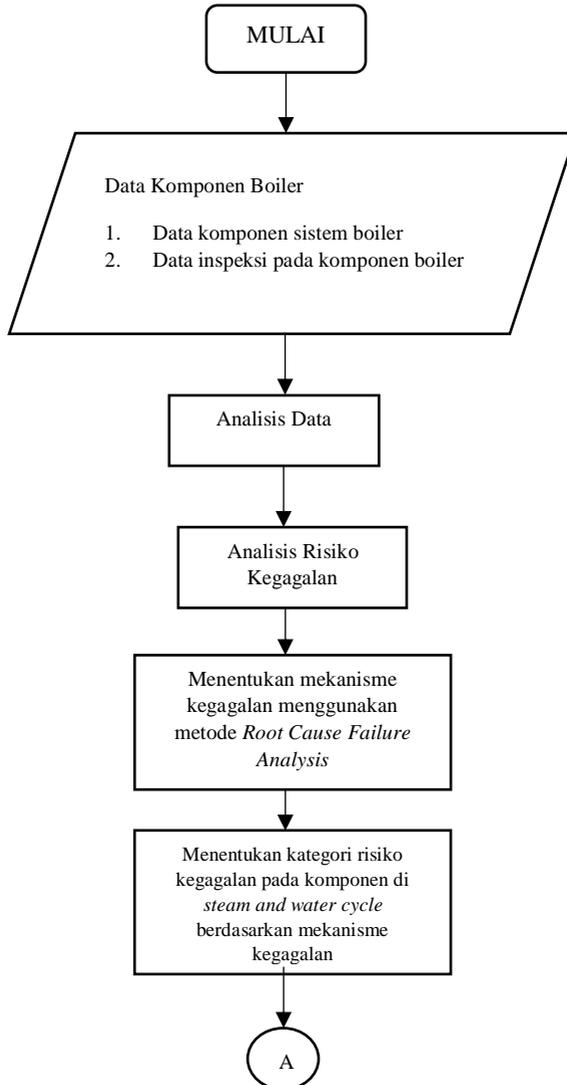
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

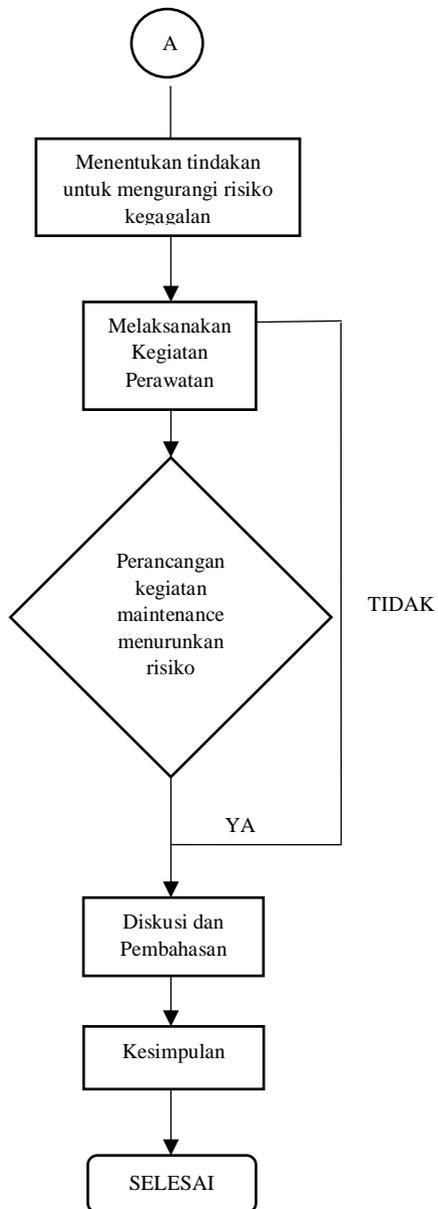
3.1 Diagram Alir Penelitian





3.2 Diagram Alir Pengolahan Data





3.3 Metodologi

Diagram alir penelitian yang tertera pada gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.3.1 Identifikasi Masalah

Tahapan awal dalam menyusun tugas akhir ini adalah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem *boiler* di PLTU Sebalang. Berdasarkan hasil identifikasi, didapatkan hasil bahwa peralatan pada *boiler* yang sering mengalami kegagalan paling tinggi terdapat pada bagian *tube*. Permasalahan kegagalan pada peralatan tersebut akan menimbulkan risiko, risiko menghasilkan konsekuensi dan melakukan perawatan yang tepat untuk mengurangi biaya dari konsekuensi yang dihasilkan, sehingga fokus utama dalam penelitian ini mengidentifikasi permasalahan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi *boiler* serta menentukan maintenance yang tepat agar proses produksi dapat bekerja dengan performa yang maksimal.

3.3.2 Perumusan Masalah

Tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah perumusan masalah yang dijadikan objek tugas akhir. Objek yang dianalisis yaitu bagian *tube* pada *boiler*. Mekanisme kegagalan pada *boiler tubing* akan ditentukan berdasarkan kondisi analisis data yang ada pada PLTU Sebalang. Selanjutnya adalah menentukan akar permasalahan untuk merancang strategi perawatan yang tepat pada boiler di PLTU Sebalang.

3.3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi lebih dalam mengenai peralatan pada *boiler* dan informasi lain yang dapat mendukung penelitian. Studi literatur yang dilakukan berupa gambar detail, cara kerja, dan fungsi tiap subsistem maupun komponen pada *boiler* yang kemudian data tersebut diolah untuk memperoleh akar permasalahan yang terjadi dari berbagai mekanisme kegagalan yang terjadi pada *boiler tubing*. Studi lapangan ke PLTU Sebalang Provinsi Lampung Selatan dilakukan untuk memperoleh informasi lebih dalam mengenai *boiler*.

Informasi yang ingin diperoleh adalah permasalahan komponen dan metode perawatannya.

3.3.4 Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini dilakukan pengumpulan data perawatan *boiler* yang telah dicatat oleh perusahaan. Data yang digunakan adalah data pada unit I dan unit II dengan kurun waktu masing-masing 1 tahun, data meliputi:

1. Data sistem dan komponen *boiler*
2. Data jenis dan waktu kerusakan sistem dan komponen *boiler*

3.3.5 Pengolahan Data

Berdasarkan diagram alir pengolahan data pada gambar 3.2 , selanjutnya akan dilakukan proses analisis data untuk menentukan akar permasalahan yang bertujuan untuk merancang strategi perawatan yang optimal. Proses analisis akan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

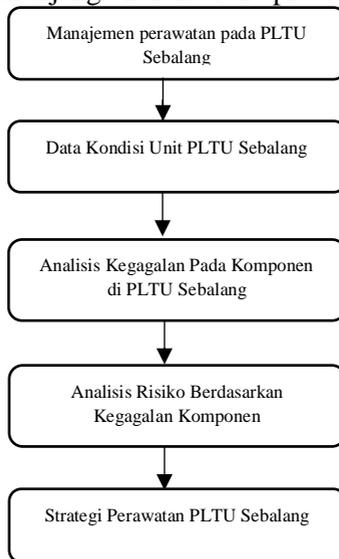
1. Mengklasifikasikan data kondisi unit PLTU berdasarkan sistem kerja komponen.
2. Menentukan detail kegagalan yang terjadi beserta akar kegagalan dengan metode RCFA
3. Menentukan kategori risiko pada komponen boiler tubing.
4. Melakukan perancangan kegiatan *maintenance* untuk mengurangi risiko terjadinya kegagalan.

3.3.6 Rekomendasi

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari proses pengolahan data. Hasil yang diperoleh sesuai dengan rancangan kegiatan *maintenance* akan diuraikan setelah melalui proses analisis dan dijadikan sebagai kesimpulan. Selanjutnya, akan diberikan rekomendasi berupa daftar kegiatan perawatan CFB *boiler* yang efektif secara *general* yang terdapat pada sistem CFB *boiler*.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai permasalahan yang terjadi pada *boiler tubing* di PLTU Sebalang sehingga diperoleh perancangan kegiatan perawatan yang tepat. Analisis diawali dengan melakukan pengumpulan data kondisi unit PLTU, sistem *boiler*, serta metode perawatan yang diterapkan pada PLTU Sebalang. Selanjutnya, pengolahan data dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi unit serta kegagalan yang terjadi pada *boiler tubing*. Dari data kegagalan yang ada akan dipilah ke dalam 3 kategori kegagalan. Tujuan dari pemilahan kategori ini adalah untuk memfokuskan perawatan pada bagian yang berisiko tinggi serta mencari akar permasalahan berdasarkan kegagalan tersebut agar tidak mengganggu jalannya proses produksi serta menunjang kelancaran produksi pada PLTU Sebalang.



Gambar 4. 1 *Outline Analisis dan Pembahasan*

4.1 Manajemen Perawatan pada PLTU Sebalang

PLN sebagai perusahaan penyedia listrik di Indonesia memiliki standar perawatan yang bertujuan untuk memberikan pedoman dan petunjuk umum tentang pelaksanaan kegiatan perawatan agar pembangkit yang dipelihara dapat beroperasi dengan keandalan yang tinggi sehingga diperoleh mutu listrik yang baik. Sedangkan manajemen perawatan yang diterapkan meliputi rangkaian tahapan kerja yang teratur, yang terdiri dari perencanaan pengorganisasian, pelaksanaan, pengendalian, penelitian, dan pengembangan. Tujuan dari manajemen perawatan ini adalah sebagai berikut:

- Meningkatkan keandalan dan kinerja pembangkitan
- Mendayagunakan aset dan sumber daya pembangkitan dengan perilaku biaya paling efektif dan efisien
- Menerapkan metode kerja terbaik yang tersedia untuk mencapai perawatan dengan standar tinggi.
- Mendayagunakan sistem monitoring yang efektif untuk pengontrolan dan penilaian kerja perawatan.
- Meningkatkan pelaksanaan perawatan prediktif dan preventif untuk menurunkan tingkat kegagalan peralatan dan biaya-biaya terkait
- Menciptakan lingkungan kerja yang melibatkan pegawai dari segi kekuatannya, loyalitasnya, produktifitasnya, dan pengembangan yang berkelanjutan

Metode perawatan yang diterapkan pada PLTU Sebalang, meliputi:

1. *Corrective Maintenance* atau *Reactive Maintenance*

Metode pemeliharaan berupa penggantian *part* yang dilakukan hanya ketika suatu peralatan mengalami kegagalan. Tujuannya untuk mengembalikan fungsi peralatan pada kondisi semula. Dengan metode ini, tidak ada tindakan pencegahan untuk mencegah terjadinya kegagalan. Artinya, setiap mekanisme kegagalan memang sudah diketahui dan diamati. Tidak ada kegagalan yang tidak diketahui sebelumnya, dan setiap tindakan korektif memang telah direncanakan secara matang segala

prosedur penanganannya, hanya menunggu kapan kegagalan terjadi.

2. Preventive Maintenance (PM) atau Time Base Maintenance

Merupakan perawatan yang dilakukan berdasarkan jam kerja operasi mesin. Tujuannya untuk mencegah terjadinya kegagalan yang terjadi secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan performa kerja yang sesuai. Metode perawatan ini membutuhkan jadwal perawatan yang pasti dan manajemen *spare part* yang baik, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan baik dan terstruktur.

Kelebihan perawatan dengan *preventive maintenance* antara lain:

- Meningkatkan umur pakai (*life cycle*) dari komponen
- Mengurangi kegagalan baik pada peralatan atau proses
- Lebih hemat sekitar 12% - 18% bila dibandingkan program perawatan reaktif, karena mencegah suatu kegagalan yang dapat menurunkan tingkat produktivitas peralatan.

Kekurangan perawatan dengan *Preventive Maintenance* antara lain::

- Kegagalan *catastrophic* masih sering terjadi
- Melibatkan banyak tenaga kerja
- Pekerjaan perawatan yang tidak perlu dilakukan
- Membutuhkan biaya maintenance yang lebih besar apabila dibandingkan dengan *corrective maintenance*

3. Predictive Maintenance atau Condition Base Maintenance

Metode perawatan dengan menggunakan peralatan *online condition monitoring* yang dapat memprediksi kondisi suatu peralatan serta waktu peralatan tersebut akan mulai rusak.

Kelebihan perawatan dengan *predictive maintenance* antara lain:

- Meningkatkan umur operasional komponen (*availability*)
- Memungkinkan menghilangkan tindakan-tindakan yang bersifat korektif
- Mengurangi waktu kegagalan peralatan atau proses
- Lebih hemat 8% - 12% terhadap perawatan preventif

Kekurangan perawatan dengan *predictive maintenance* antara lain:

- Menaikkan investasi untuk peralatan diagnostik
- Menaikkan investasi untuk pelatihan staff
- Potensi penghematan tidak bisa segera dilihat oleh manajemen

4. *Proactive Maintenance*

Metode perawatan yang menggunakan riset mendalam untuk mencari akar penyebab kegagalan dan solusi terbaik untuk mengatasi kegagalan peralatan agar kegagalan tidak berulang. RCM pada intinya adalah suatu proses untuk menentukan apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin agar aset terus menerus bekerja memenuhi fungsi yang diharapkan, dalam konteks operasinya saat ini. Solusi yang ditawarkan dapat berupa penyempurnaan desain, modifikasi, dan inovasi.

Kelebihan perawatan dengan *proactive maintenance* antara lain:

- Mengurangi biaya karena adanya pengurangan kegiatan perawatan atau *overhaul* yang tidak diperlukan
- Meminimalisir frekuensi *overhaul*
- Memungkinkan untuk fokus kegiatan perawatan pada komponen-komponen kritis.

Kekurangan perawatan dengan *proactive maintenance* antara lain::

- Membutuhkan biaya *startup, training*, maupun peralatan yang signifikan
- *Saving* tidak bisa segera dilihat oleh manajemen.

4.1.1 Kegiatan Perawatan pada PLTU Sebalang

a. Perencanaan Kegiatan Perawatan

Dalam perencanaan perawatan, kebutuhan yang harus direncanakan guna menjalankan kegiatan perawatan adalah sebagai berikut:

Material : Material suku cadang, material umum

Alat Kerja : *Special Tools* dan *General Tools*, Maximo

Waktu : Jadwal perawatan

Tenaga : Teknisi, *supervisor*, dan *helper*

Anggaran : Dana untuk mendukung keperluan perawatan

Prosedur : *Manual Book* perawatan mesin pembangkit dan SOP

Adapun tugas-tugas perencanaan perawatan mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Persyaratan kualitas
2. Persyaratan lingkungan
3. Persyaratan K3
4. Prosedur-prosedur yang berlaku
5. Ijin-ijin yang dapat dipakai
6. Estimasi atau Standar-standar
7. Mengkaji ulang WR (*Work Request*) atau PM Master
8. Inspeksi lapangan bila diperlukan
9. Parts dan material
10. Status WR terkait
11. *Tagging* dan isolasi
12. *Tools* atau perkakas
13. *Manual Book*, Gambar Peralatan, *Electrical Wiring Diagram*, P & ID Diagram, *Logic Diagram*

b. Pelaksanaan Kegiatan Perawatan

Untuk melaksanakan kegiatan perawatan, urutan kegiatan perawatan spesifik pada PLTU Sebalang meliputi:

- Identifikasi permasalahan
- Identifikasi permasalahan dilakukan dengan memeriksa catatan awal perawatan, yaitu *work order* dari operator atau laporan pemeriksaan oleh petunjuk perawatan. Dari catatan tersebut dapat disimpulkan permasalahan yang terjadi.

Mengumpulkan data-data, data yang dikumpulkan untuk melakukan kegiatan perawatan, adalah sebagai berikut:

- Data catatan, *print out alarm*, atau *event log* beserta kode-kode identifikasi dari fabrikasi
- Data proteksi yang dilakukan
- Data peralatan yang kurang berfungsi dengan normal
- Data langkah-langkah yang sudah dilakukan oleh operator berupa tindakan reset
- Perencanaan alat-alat kerja dan keselamatan, part atau material, rencana pekerjaan *Scheduling*, serta referensi

seperti: *wiring diagram*, P&ID diagram, *logic diagram*, *standard setting*, prosedur atau instruksi kerja, dll.

- Melakukan kegiatan perawatan yang diperlukan:
- Pembongkaran (*dismantling*)
- Pemasangan kembali (*re-Assembling*)
- Pengukuran, pengujian dan *adjustment*
- Evaluasi dan Pelaporan

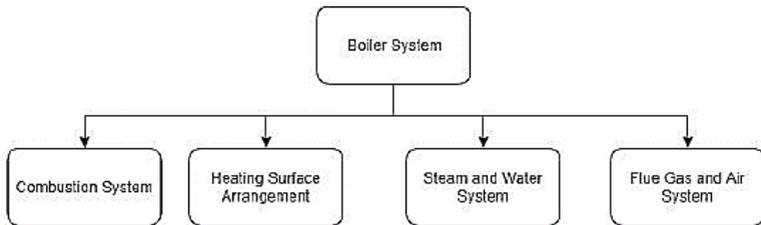
4.2 Analisis Data

PLTU Sebalang merupakan PLTU yang menggunakan teknologi *boiler circulating fluidized bed*. Pada tabel 4.1 terlampir dalam tabel dengan kapasitas 420 t/h untuk produksi *steam*. *Feed water temperature* didapatkan dari proses osmosis air laut dengan kapasitas 68 m³/h. Sistem produksi *steam* menggunakan drum dengan tekanan kerja drum desain sebesar 11 MPa.

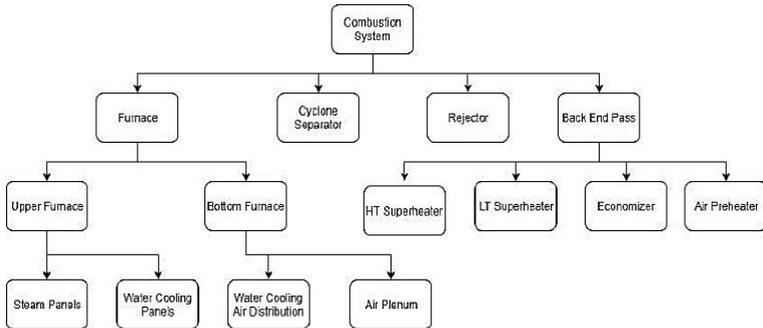
Tabel 4. 1 Desain dasar boiler

No.	Parameter	Satuan	
1.	Rated steam capacity	t/h	420
2.	Rated steam pressure	MPa	9.8
3.	Rated steam temperature	°C	540
4.	Rated feed water temperature	°C	230
5.	Drum working pressure	MPa	11
6.	Boiler thermal efficiency		91
7.	Make water		
8.	Water treatment	Reverse osmosis	
9.	Condensate polishing	NO	

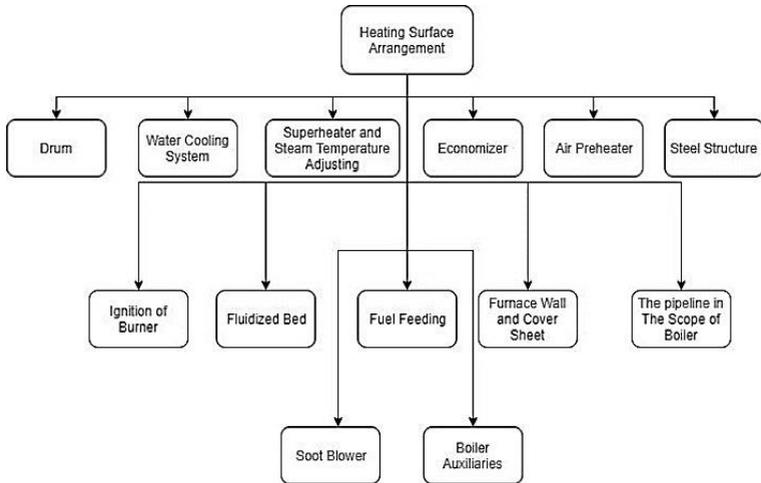
4.2.1 Analisis sistem Boiler PLTU Sebalang



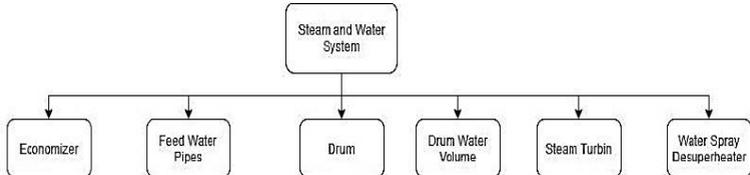
Gambar 4. 2 Subsistem Utama Pada Sistem CFB Boiler PLTU Sebalang



Gambar 4. 3 Komponen Pada Subsistem Pembakaran CFB Boiler PLTU Sebalang



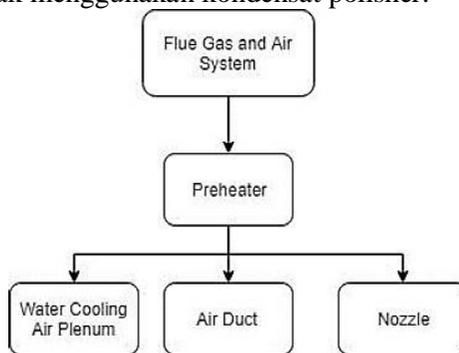
Gambar 4. 4 Komponen Pada Subsistem Pengaturan Pemanas Permukaan di PLTU Sebalang



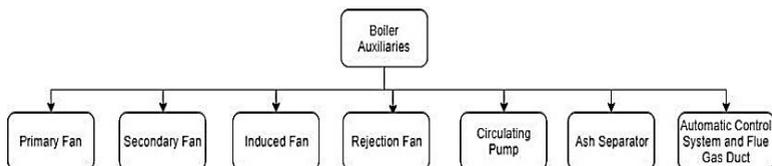
Gambar 4. 5 Komponen Pada Subsistem Pengolahan Uap dan Air CFB Boiler PLTU Sebalang

Operasi *water steam cycle* pada PLTU Sebalang menggunakan sistem *natural circulation* yang dapat digambarkan dengan skema yang ditunjukkan pada. Air yang digunakan dalam proses *water steam cycle* diproses dengan *reverse osmosis* dan proses kimia lain dalam rangka control kandungan *impurities ion* dan solid terlarut yang dilakukan dalam *water treatment plant* (WTP). Air dari *condensate* ditambah *make up water* disalurkan menuju *low pressure heater* (LPH) menggunakan *condenser pump*.

Dari LPH air dipanaskan dan disalurkan menuju HPH dimana air akan dipanaskan sampai 230°C. Dari HPH air menuju economizer sebelum menuju ke steam drum. Dari steam drum air tersalur melalui *downcomer* untuk dipanaskan dan diubah menjadi uap di *water wall*. Campuran air dan uap akan menuju *steam drum*, di mana fasa air dan uap akan dipisahkan dalam sistem internal steam drum diteruskan menuju LTSH sedangkan *boiler water*, Platen SH, HTSH akan menuju turbin. Setelah energi uap diekstraksi di sistem turbin maka uap akan dikondensasikan di condenser. Air kondensat tanpa polishing ditambahkan dengan make up water akan dipanasi lagi di LPH dan akan mengulang proses lagi. Sistem water steam Sebalang tidak menggunakan kondensat polisher.



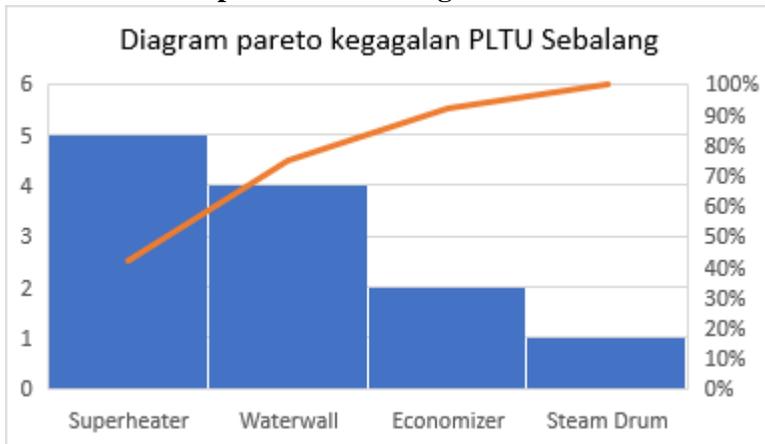
Gambar 4. 6 Komponen Pada Subsistem Gas Buang dan Udara PLTU Sebalang



Gambar 4. 7 Komponen Pada Subsistem Pendukung Sistem CFB Boiler PLTU Sebalang

Gambar 4.7 merupakan komponen-komponen yang mendukung sistem CFB Boiler PLTU Sebalang

4.3 Analisis data pada Boiler tubing



Gambar 4. 8 Diagram pareto pada *steam and water cycle* PLTU Sebalang

Berdasarkan diagram pareto pada gambar 4.8 yang diambil berdasarkan kondisi yang ada di PLTU Sebalang dalam kurun waktu tahun 2012-2018, didapatkan data bahwa kegagalan terbesar pada komponen superheater, terutama kejadian tersebut terjadi pada unit 2, dimana kegagalan terjadi secara berturut-turut yaitu pada bulan Februari 2015, dan terjadi kegagalan pada area yang sama pada bulan Juli 2015 sebanyak dua kali dan pada tahun 2018 terjadi satu kali kegagalan. Secara keseluruhan kegagalan pada komponen superheater terjadi sebanyak lima kali, hal tersebut tentu sangat merugikan perusahaan dikarenakan jumlah produksi akan terganggu dan mengalami kerugian dalam hal keuangan. Sedangkan kegagalan komponen terbesar kedua terjadi pada komponen waterwall yang terjadi sebanyak empat kali, dan pada area economizer terjadi dua kali kegagalan dan komponen terakhir yaitu steam drum pernah mengalami satu kali kegagalan berdasarkan data yang ada adalah steam drum.

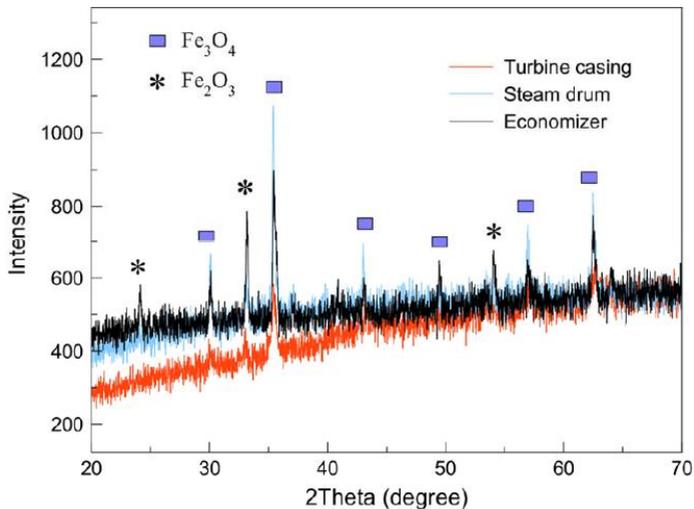
4.3.1 Analisis data pada Economizer

Economizer merupakan alat pemindah panas berbentuk *tubular* yang digunakan untuk memanaskan *feedwater boiler* sebelum masuk ke *steam drum*. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) *flue gas* sebelum dibuang ke atmosfer. Biro Efisiensi Energi (2004) menyatakan bahwa sebuah *economizer* dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan *boiler*. Setiap penurunan 220°C suhu gas buang melalui *economizer* terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam *boiler*.

Tabel 4. 2 Data Desain Economizer pada kondisi BMCR Load

No	Description	Unit	Economizer
1	Pipe Outer Diameter	mm	42
2	Pipe Wall Thickness	mm	5
3	Flue Gas Velocity	m/s	9.4
4	Working Substance Velocity	m/s	0.6
5	Temperature of Flue Gas Inlet	°C	475.1
6	Temperature of Flue Gas Outlet	°C	294.6
7	Inlet temperature of working substance	°C	230
8	Temperature of working substance outlet	°C	287.6

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan bahwa temperatur pada bagian *inlet economizer* sebesar 230°C dan terjadi kenaikan sekitar 57°C pada bagian *outlet economizer*. Untuk kecepatan yang terjadi pada *economizer* adalah 0,6 m/s apabila kecepatan yang terjadi pada *economizer* melebihi batas tersebut, maka dapat menjadi pemicu kegagalan pada area *economizer*.



Gambar 4. 10 Hasil XRD pada area economizer, steam drum dan turbin

4.3.2 Analisis Data Pada Waterwall Tube

Tabel 4. 3 Data Desain Water Wall Tube

Description	Unit	Data
Material		20G (GB)
Outer Diameter	mm	60
Thickness	mm	6
Minimum Wall Thickness	mm	5,5
Design Pressure	Mpa	11.5
Design Temperature	°C	379

Berdasarkan tabel 4.3, didapatkan bahwa temperatur desain pada waterwall berada pada kisaran 379°C. Berdasarkan gambar 4.11 didapatkan beberapa data ada indikasi bahwa kadar SiO meningkat bersamaan dengan kadar Fe seperti yang diamati tanggal 20 dan 24 Januari 2018. Pengamatan yang kedua adalah tentang kadar PO₄ melebihi batas dimana tujuan PO₄ digunakan

Tabel 4. 4 Laju abrasive waterwall tube ($\mu\text{m}/\text{jam}$)

Bagian waterwall	Elevasi	Nilai standart thickness (mm)	Thickness (mm)
Front	16	6	5,20
Front	16	6	5,20
Front	16	6	5,20
Front	16	6	5,20
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30
Front	16	6	5,30

Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa pada *waterwall tube front area* terjadi pengurangan ketebalan yang sangat tinggi, yaitu pengurangan sebesar 0,7mm hingga 0,8mm. Nilai thickness 5,3mm dan 5,2 mm berada dibawah batas *minimum wall thickness* yaitu sebesar 5,5mm. *Thinning* ini dapat menyebabkan kegagalan berupa *rupture* karena komponen tidak mampu menahan debit (EPRI,2006). Kegagalan ini terjadi akibat erosi.

4.3.3 Analisis Data Pada Steam Drum

Tabel 4. 5 Data Desain Steam Drum

Material	P355GH plate steel
Internal diameter	1600 mm
Thickness	100 mm
Length	16000mm
Manholes diameter	ϕ 420mm

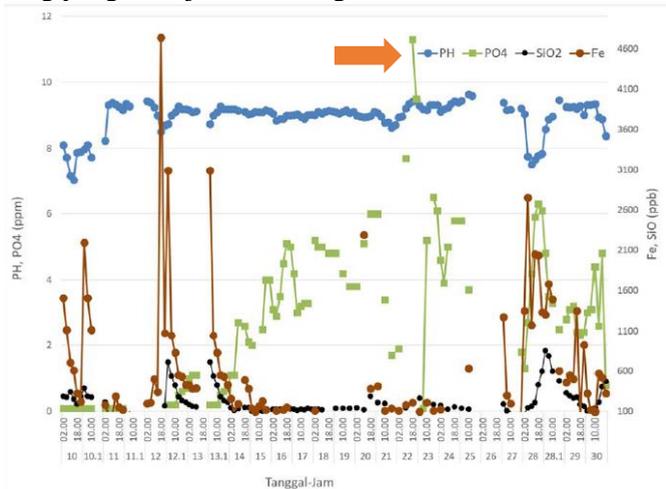
Thickness pada steam drum header sebesar 100 mm. Dan material yang digunakan adalah P355GH plate steel. Steam drum header memiliki panjang sebesar 16000 mm, serta untuk internal

diameter steam drum sebesar 1600 mm. Untuk data mengenai temperatur serta tekanan tidak ditemukan dalam arsip PLTU Sebalang.

Tabel 4. 6 Data lokasi injeksi kimia

No.	Lokasi	Injeksi Kimia
1.	Inlet deaerator	NH ₃ , Hydrazine
2.	Outlet deaerator	NH ₃ , Hydrazine
3.	Steam drum	Phosphate (TSP)

Dapat dilihat pada tabel 4.6, bahwa dilakukan injeksi kimia pada beberapa komponen di boiler, pada bagian steam drum injeksi kimia berupa fosfat, injeksi kimia berupa fosfat bertujuan untuk mengontrol kadar kontaminan sekaligus pH, agar kontaminan tidak terbawa dalam fasa uap. Akan tetapi penambahan fosfat dengan kadar yang kurang tepat justru dapat menimbulkan kegagalan berupa *acid phosphate corrosion* yang diinisiasi dengan peristiwa *phosphate hide-out*. Dan fenomena ini memang terjadi pada PLTU Sebalang yang ditunjukkan oleh gambar 4.12



Gambar 4. 12 Fenomena *Phosphate Hideout* terlihat Lonjakan Kadar Fosfat

Untuk mengetahui apakah perlakuan dengan fosfat (*phosphate treatment*) dilakukan secara tepat dapat dilakukan dengan cara memonitor variabel kualitas air dan uap dengan metode sampling serta dengan metode yang sesuai dengan komponen yang dianalisis, contohnya saja untuk memonitor iron dan silica dapat dilakukan monitoring menggunakan *visible spectrometry*.

Tabel 4. 7 List sample internal deposit unit 1

No	Sample	Metode Pengujian				
		SEM	EDS	XRD	AAS	ICP
1.	Deposit Steam Drum	✓	✓		✓	✓
2.	Deposit Elbow HPH to Deaerator	✓	✓			
3.	Deposit HPH #1	✓	✓			
4.	Deposit Hot Wheel	✓	✓			

Terdapat indikasi terjadinya korosi yang terjadi dalam steam drum ini merupakan dampak dari kegagalan yang terjadi pada komponen economizer, dalam economizer terjadi penurunan pH yang mengakibatkan kondisi air pada boiler asam. Kondisi pH yang rendah tersebut diakibatkan oleh injeksi kimia yang kurang tepat pada area steam drum berupa fosfat atau juga dapat terjadi karena penambahan ammonia pada deaerator yang kurang tepat. Sehingga kondisi pH ini mengakibatkan korosi. Kondisi ini juga diperparah dengan adanya kontaminan dalam air boiler sehingga terbentuklah deposit pada area steam drum ini yang ditunjukkan oleh tabel 4.8

Tabel 4. 8 Bukti Deposit pada Area Steam Drum

No	Sample	Fe	O	Mn	Na	Ca	Mg	Si	P	Cl
1	Deposit Steam Drum	74.40	15.28	0.81			0.42	0.21	0.19	
2	Deposit water wall (hitam)	84.40	10.82	0.45	0.57	1.76	0.45	0.12	0.28	0.08
3	Deposit water wall (merah)	89.98	6.28		0.17	1.98	0.51	0.09	0.15	

Deposit pada area steam drum mengandung material Fe dengan jumlah paling dominan, Fe merupakan komponen penyebab terjadinya korosi. Penumpukan deposit pada area steam

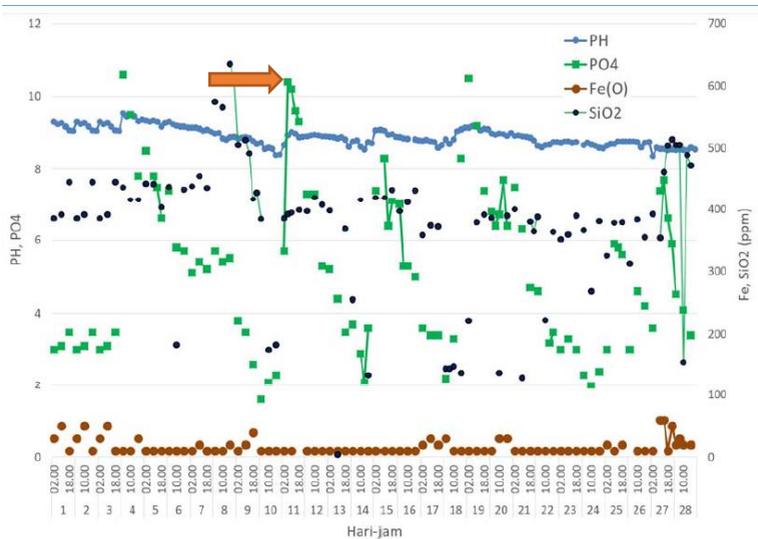
drum dapat mengakibatkan proses pemisahan antara uap dan air terganggu.

4.3.4 Analisis Data Pada Superheater Tube

Superheater tube biasanya terletak pada zona terpanas dari boiler yang memiliki temperatur dan tekanan tinggi (Guideline for Gas and Oil Emission Factors for Industrial, Commercial, and Institutional (ICI) Boilers, Virginia, 1997). Karena itu, superheater tube rentan akan kegagalan korosi dan patah (fatigue) pada temperature tinggi. Walaupun material dari superheater memiliki sifat yang lebih baik daripada material lainnya pada boiler, tetapi kegagalan pada *superheater tube* sering terjadi (A. J. Sebastian Teir, Heat Exchangers in Boilers, Helsinki: Helsinki University of Technology, 2002). Untuk mencegah terjadinya kegagalan, yang berlanjut pada *shut down* suatu proses, harus dilakukan beberapa *assessment* untuk menghindari terjadinya proses *shutdown*. Kegagalan pada boiler *tube* ini dapat berdampak besar dalam proses ataupun didalam kerugian yang ditimbulkan. Ketika terjadi kegagalan harus dicari dengan benar apakah akar permasalahan yang tepat untuk menghilangkan ataupun mengurangi kegagalan yang dimungkinkan terjadi di masa depan.

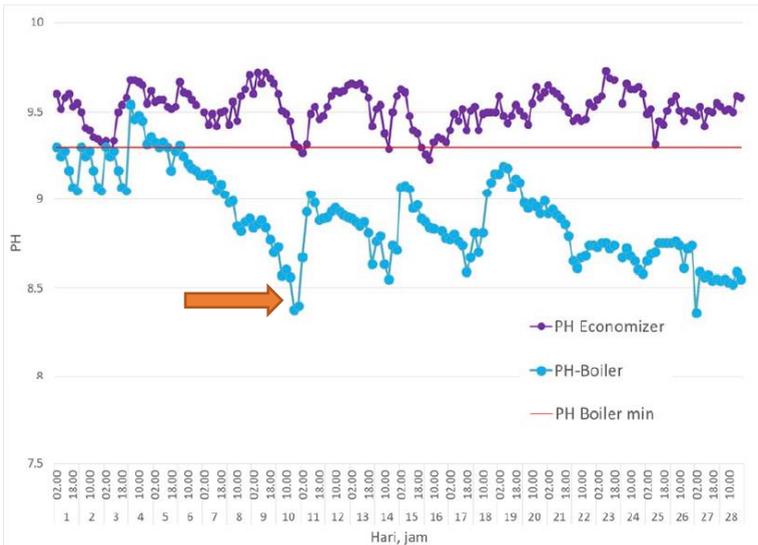
Tabel 4. 9 Data desain *High Temperature Superheater* pada kondisi BMCR Load

No	Description	Unit	HTSH
1	Pipe Outer Diameter	mm	42
2	Pipe Wall Thickness	mm	5
3	Flue Gas Velocity	m/s	11.9
4	Working Substance Velocity	m/s	21.9
5	Temperature of Flue Gas Inlet	c	816.5
6	Temperature of Flue Gas Outlet	c	672
7	Inlet temperature of working substance	c	453.8
8	Temperature of working substance outlet	c	540



Gambar 4. 13 Data sampling kadar pH, PO₄, SiO₂, Fe(O) yang dilakukan pada boiler unit 1 Februari 2018.

Berdasarkan gambar 4.13 menunjukkan bahwa pada bulan Februari terjadi fluktuasi PO₄ meskipun kadar Fe(O) dan SiO₂ masih dalam rentang yang direkomendasikan seperti terlihat pada gambar 4.13. Fluktuasi PO₄ mengakibatkan fluktuasi pH, namun masih dalam kondisi dibawah nilai pH yang direkomendasikan. Sebagaimana diamati pada gambar 4.14, pH boiler pada bulan Februari sebagian besar dibawah pH yang direkomendasikan meskipun kadar PO₄ cukup tinggi. Berdasarkan gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan kemungkinan kurangnya injeksi amonia dan terlalu banyak injeksi fosfat.



Gambar 4. 14 Pengamatan data sampling pH pada boiler unit 1 Februari 2018

Dapat dilihat pada tabel 4.10 bahwa terdapat lonjakan kadar Fosfor dan Fe, kadar Fe yang tinggi menunjukkan terjadinya korosi. Kadar Fe dan Si yang tinggi apabila dibiarkan terlalu lama dapat mengakibatkan terbentuknya deposit. Dan pada area superheater ditemukan adanya deposit yang terlihat pada tabel 4.10, pada deposit terlihat bahwa material yang memiliki kadar paling tinggi adalah fosfor sebagai dampak dari kegagalan berupa *acid phosphate corrosion* yang terjadi pada area steam drum dan waterwall.

Tabel 4. 10 Sampling Deposit Superheater

No.	Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
1.	Fe	3,79	% b/b	ICP
2.	Na	1,55	% b/b	ICP

3.	Si	1,89	%	Spektrofotometri UV-sis
4.	Phospor	612,27	mg/kg	Spektrofotometri UV-sis
5.	Cl	1,58	%	Konduktometri

4.4 Analisis Risiko Kegagalan pada Boiler Tubing

Tabel 4. 11 Risiko Kegagalan Pada Boiler Tubing

No.	Komponen	Likelihood	Consequence	Risiko
1.	Economizer	1	1	Rendah
2.	Steam Drum	1	1	Rendah
3.	Waterwall	4	3	Tinggi
4.	Superheater	5	3	Tinggi

Berdasarkan tabel 4.11 didapatkan kegagalan pada area economizer berupa korosi, likelihood bernilai 1 dikarenakan kegagalan pada economizer dalam rentan tahun 2012-2018 hanya terjadi satu kali. Terdapat beberapa kemungkinan kegagalan juga yang terjadi pada area economizer, diantaranya adalah *flow accelerated corrosion* yang muncul akibat terjadi erosi dan korosi. Sedangkan untuk nilai consequence pada komponen economizer bernilai 1, dikarenakan kegagalan pada economizer hanya sedikit terjadi gangguan peralatan yang tidak berarti, sistem tetap beroperasi dan aman. Kehilangan produksi kurang dari 25%. Sehingga risiko kegagalan pada area economizer berkategori rendah. Kegagalan pada area steam drum yang hanya sekali terjadi pada tahun 2018 berupa *acid phosphate corrosion* menimbulkan nilai likelihood berupa 1. Kegagalan lain yang mungkin terjadi pada steam drum adalah *corrosion-fatigue*, kegagalan ini terjadi karena perpaduan antara dua kegagalan yaitu berupa korosi dan *fatigue*. Konsekuensi berdasarkan kegagalan yang terjadi pada steam drum ini hanya sedikit gangguan peralatan tidak berarti dikarenakan konsekuensi kegagalan yang terjadi pada sistem tetap beroperasi dan aman. Kemampuan produktivitas komponen

berkurang sekitar 25%. Sehingga risiko kegagalan pada area steam drum berkategori rendah.

Komponen waterwall memiliki nilai likelihood 4 dikarenakan kegagalan pada waterwall terjadi sebanyak empat kali dalam rentan waktu dari tahun 2012-2018. Kegagalan yang terjadi pada komponen waterwall yang terdeteksi adalah *acid phosphate corrosion* dan erosi. Konsekuensi dari kegagalan yang ada bersifat *moderate* dikarenakan sistem masih dapat beroperasi akan tetapi kegagalan yang terjadi dapat mengakibatkan komponen kehilangan fungsinya hingga dapat menimbulkan kegagalan produksi sekitar 75%. Sehingga risiko kegagalan pada komponen waterwall berkategori tinggi. Komponen pada superheater memiliki likelihood paling tinggi, bernilai 5 dikarenakan kegagalan yang terjadi pada area superheater terjadi enam kali terhitung dari rentan tahun 2012-2018. Kegagalan yang terjadi pada komponen superheater berupa *acid phosphate corrosion* yang muncul sebagai dampak dari kegagalan pada area waterwall, *stress corrosion cracking* terjadi apabila terjadi tegangan yang berujung pada retakan yang terjadi dalam lingkungan korosi serta deposit yang berlebihan dapat mengakibatkan *long-term overheating*. Sedangkan untuk konsekuensi kegagalan bernilai 3, dikarenakan sistem pada boiler masih bisa beroperasi akan tetapi kegagalan pada superheater yang terjadi secara terus menerus ini dapat mengakibatkan komponen kehilangan fungsi utama dan menghambat produksi kegagalan komponen sebesar 75%. Untuk pencarian akar kegagalan pada PLTU Sebalang, dilakukan *Root Cause Failure Analysis* yang terlampir pada lampiran B.

4.5 Rekomendasi kegiatan perawatan komponen siklus air dan uap PLTU Sebalang

Berikut merupakan rekomendasi kegiatan perawatan untuk komponen yang berada dalam sistem boiler pada siklus air dan uap PLTU Sebalang, untuk rekomendasi kegiatan perawatan yang dilakukan pada boiler secara keseluruhan dapat dilihat pada

lampiran C untuk tiap komponen dan lampiran D untuk rekomendasi kegiatan perawatan secara general.

Tabel 4. 12 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Economizer

Komponen	Mekanisme Kegagalan	Aktifitas <i>Maintenance</i>
<i>Economizer</i>	Korosi Flow Accelerated Corrosion	Pemantauan Air Kimia Boiler
		Menghilangkan produk korosi, deposit dengan <i>chemical cleaning</i>
		<i>Ultrasonic Testing</i> untuk mengukur <i>wall thinning</i>
		Monitor pH dan kadar oksigen terlarut
		Monitoring suhu menggunakan <i>thermocouple</i>
		Meninjau prosedur <i>shutdown</i>
		Monitoring debit untuk mengetahui aliran turbulen

Tabel 4. 13 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk steam drum

Komponen	Mekanisme Kegagalan	Aktivitas maintenance
Steam drum	<i>Acid Phospate Corrosion</i> <i>Corrosion-fatigue</i>	Inspeksi <i>pre-crack fatigue monitoring</i>
		Monitoring suhu menggunakan <i>infrared thermography (IRT)</i>
		Melakukan NDE berupa radiografi
		Meninjau efektivitas pembersihan kimia
		Meninjau prosedur dan kemampuan peralatan antara sesudah dan sebelum proses <i>shutdown</i>
		Sampling tube untuk melihat retakan yang terjadi
		Meninjau log dan prosedur air kimia, khususnya penurunan pH ketika boiler <i>shutdown</i>

Tabel 4. 14 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Waterwall

Komponen	Mekanisme Kegagalan	Aktifitas <i>Maintenance</i>
Waterwall	Acid Phosphate Corrosion Erosi	<i>Tube Sampling</i> untuk mengukur deposit (ASTM D887-82)
		Mengontrol debit aliran pada aliran <i>inlet</i> dan <i>outlet</i>
		<i>Ultrasonic Thickness Survey</i> untuk mengukur <i>wall thinning</i>
		<i>Chemical Cleaning</i> (EPRI 1003994, 2001)
		Meninjau <i>chemistry log</i> selama proses pembersihan dan ketika <i>flushing</i>
		Meninjau efektivitas penambahan amonia dan hydrazine pada deaerator
		Memaksimalkan <i>blowdown</i> untuk meminimalkan penambahan fosfat
		Menentukan jumlah optimal fosfat
		Menentukan apakah terjadi gejala <i>phosphate hideout</i>
		Meninjau jumlah fosfat yang ditambahkan dalam kurun waktu 1 bulan selama 2 tahun terakhir

Tabel 4. 15 Rekomendasi Kegiatan Perawatan untuk Superheater

Komponen	Mekanisme Kegagalan	Aktifitas <i>Maintenance</i>
<i>Superheater</i>	Acid phosphate Corrosion Stress Corrosion Cracking Long-term overheating	Inspeksi pada tube apakah muncul retakan
		Sampling deposit untuk mencari material yang menjadi penyebab terjadinya kegagalan
		Memonitor kerusakan dengan cek visual, <i>radiography</i>
		<i>Monitoring</i> debit uap pada bagian <i>inlet</i>
		<i>Ultrasonic Testing</i> untuk mengukur <i>wall thinning</i>
		<i>Monitoring</i> suhu menggunakan termokopel
		<i>Chemical Cleaning</i> (EPRI 1003994, 2001)
		<i>Sampling tube</i> untuk memverifikasi penyumbatan menyebabkan terjadinya peningkatan suhu
		Meninjau efektivitas pembersihan menggunakan bahan kimia

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan data kondisi unit PLTU Sebalang yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari data kondisi unit PLTU Sebalang yang telah dikumpulkan dapat disimpulkan bahwa terdapat 3 kategori risiko kegagalan yaitu rendah, sedang dan tinggi. Kategori risiko didapatkan dari *risk matrix* berdasarkan standar AS/NZS 4360.
2. Berdasarkan sistem yang dianalisis pada PLTU Sebalang, yaitu *steam and water system*, didapatkan komponen dengan tingkat risiko kegagalan yang tinggi, yaitu komponen superheater.
3. Berdasarkan analisis data yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa kadar Fe dan Fosfat yang tinggi merupakan akar permasalahan dari kegagalan yang ada pada komponen.
4. Tindakan perawatan untuk mencegah risiko kegagalan yang ada adalah monitoring kadar komponen kimia yang ada pada setiap komponen. Melakukan monitoring secara berkala kadar air boiler dan air umpan.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil dari pengumpulan data PLTU Sebalang, penulis menyarankan agar perawatan dengan pendekatan Risk Based Maintenance dapat diterapkan dalam sistem perawatan CFB Boiler di PLTU Sebalang.
2. Pihak PLTU Sebalang hendaknya melakukan tindakan perawatan secara intensif untuk menghindari terjadinya kerusakan yang dapat berdampak pada biaya perawatan serta perbaikan komponen.

3. Pihak PLTU Sebalang hendaknya melakukan manajemen pengumpulan data dengan baik agar perencanaan kegiatan perawatan yang ada di PLTU Sebalang dapat dilakukan secara optimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Sebastian Teir, Heat Exchangers in Boilers, Helsinki: Helsinki University of Technology, 2002.
- [2] Anees U. Malik, Ismail Andijani, Mohammad Mobin 2005- Published in the Proceeding of 4th SWCC Acquired Experience Symposium held at Jeddah in corrosion of boiler tubes some case studies. pp. 739-763.
- [3] Arjunwadkar, A.2016. *A Review of Some Operation and Maintenance Issues of CFBC Boilers. Elsevier*, 672-694.
- [4] Australian New Zealand Standard, No 96, 1999
- [5] Basu, Prabir.2015 *Circulating Fluidized Bed Boilers Design, Operation and Maintenance. Switzerland : Springer International*
- [6] Biro Efisiensi Energi, 2004. *Pemanfaatan Kembali Limbah Panas*. Retrieved from <http://www.energyefficiencyasia.org>, on 30th March 2008
- [7] Dhillon, B. (2002). *Engineering Maintenance A Modern Approach*. Florida: CRC Press
- [8]. Dooley, R. B., Bursik, A. Power plant chemistry (2010). 189-193
- [9] EPRI 2006. Boiler Condition Assesment Fourth Edition. California
- [10] Faisal I. Khan, Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries 1998. 4-5
- [11] F.I. Khan, M. Haddara, Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning, *J. Loss Prevent. Process Ind.* 16.2003. 561–573.
- [12] Guideline for Gas and Oil Emission Factors for Industrial, Commercial, and Institutional (ICI) Boilers, Virginia, 1997
- [13] J. Tixier, G. Dusserre, O. Salvi, D. Gaston, Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants, *J. Loss Prevent. Process Ind.* 15 (2002) 291–303.

- [14] Kim, T. W., Choi, J. H., Shun, D. W., Jung, B., Kim, S. S., Son, J. E., et al. (2006). Wastage rate of water walls in a Commercial circulating fluidized bed combustor. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 84, 680–687
- [15] Mobin, M. Investigations on the Failure of Economizer Tubes in a High-Pressure Boiler. 2008. Print
- [16] N.S. Arunraj Risk-based maintenance—Techniques and applications. 2006
- [17] Ramli, Soehatman. 2010. *Pedoman Praktis Manajemen Resiko dalam Perspektif K3*
- [18] Ridley, John 2006. *Ikhtisar Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta : Erlangga
- [19] S. W. Liu, W . Failure analysis of the boiler water-wall tube. 2017.
- [20] Siswanto, 2009. Risk assesment
- [21] P.K. Dey, A risk-based maintenance model for inspection and maintenance of cross-country petroleum pipeline, *J. Qual. Maint. Eng.* 7 (1) (2001) 25–41.
- [22]. Porta R. D. and H. M. Herro, 1991. “*The Nalco Guide to Boiler Failure Analysis*. New York : McGrawll Hill,
- [23] Z. Ahmad, *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, London: Butterworth-Heinemann, 2006

LAMPIRAN

LAMPIRAN A	DATA KONDISI UNIT PLTU SEBALANG
LAMPIRAN B	ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS KOMPONEN STEAM AND WATER SYSTEM BOILER TUBING
LAMPIRAN C	DOWNTIME SERTA KERUGIAN BIAYA PADA PLTU SEBALANG UNIT 1
LAMPIRAN D	REKOMENDASI KEGIATAN PERAWATAN BOILER PLTU SEBALANG

LAMPIRAN A
DATA GANGGUAN PADAPLTU SEBALANG UNIT 1

Tanggal dan Jam Gangguan	Keterangan	Akibat Gangguan	Tanggal dan Jam Selesai	Durasi (Jam:Menit)
01/01/2018 00:00	Perbaiki Vibrasi <i>Bearing Generator</i> No.6	S	19/01/2018 23:14	455:14
19/01/2018 23:14	Masuk Sistem - Perbaiki CWP 1 A - Monitoring Vibrasi Turbin – Generator - Monitoring Kebocoran Ducting <i>Line PA Fan to Furnace</i>	D	20/01/2018 4:53	5:39
20/01/2018 04:53	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP (Unit 2) - <i>Vacuum drop</i>	S	24/01/2018 16:36	107:43
24/01/2018 16:36	Masuk Sistem - Proses kenaikan beban	D	24/01/2018 21:30	4:54
24/01/2018 21:30	Proses Perbaikan CWP 1 A	D	25/01/2018 3:32	6:02
25/01/2018 03:32	Proses Perbaikan CWP 1 A	D	27/01/2018 9:00	53:28
27/01/2018 09:00	<i>Cleaning condenser</i> 1A dan 1B	D	27/01/2018 16:30	7:30

28/01/2018 19:30	Proses Perbaikan CWP 1 A	D	28/01/2018 19:30	27:00
28/01/2018 21:30	Proses Perbaikan CWP 1 A	D	28/01/2018 21:30	2:00
31/01/2018 09:30	Proses Perbaikan CWP 1 A	D	31/01/2018 9:30	60:00
01/02/2018 00:00	<i>Cleaning condenser</i> (akibat pompa <i>backwash</i> tidak beroperasi karena air laut surut)	D	01/02/2018 0:00	14:30
20/02/2018 08:28	<i>Cleaning condenser</i> (akibat pompa <i>backwash</i> tidak beroperasi karena air laut surut)	D	20/02/2018 8:28	319:58
23/02/2018 03:40	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 3 CWP - <i>Vacuum drop</i>	D	23/02/2018 3:40	55:40
27/02/2018 07:21	Trip: <i>Furnace pressure low</i> akibat PA fan 1B trip (pembacaan sensor temperature bearing hunting)	T	27/02/2018 7:21	90:21
27/02/2018 08:00	Masuk Sistem - Proses kenaikan beban	D	27/02/2018 8:00	0:39

05/03/2018 00:06	Trip: Gangguan jaringan sistem lampung	T	05/03/2018 0:06	96:06
05/03/2018 04:56	Masuk Sistem - Proses kenaikan beban - Monitoring <i>differential expansion</i>	D	05/03/2018 4:56	4:50
07/03/2018 19:32	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>Vacuum drop</i>	D	07/03/2018 19:32	57:02
09/03/2018 08:55	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP <i>Vacuum drop</i>	D	09/03/2018 8:55	35:32
09/03/2018 13:33	Trip: <i>Valve discharge</i> CWP loss power, Vacum drop	T	09/03/2018 13:33	4:38
09/03/2018 16:18	Masuk Sistem - Proses kenaikan beban Monitoring <i>differential expansion</i>	D	09/03/2018 16:18	2:45
19/03/2018 09:40	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP <i>Vacuum drop</i>	D	19/03/2018 9:40	228:40

23/03/2018 15:30	Blocking batubara karena material asing (<i>coal feeder</i> no.4 stop) beban turun ke 75MW	D	23/03/2018 22:00	102:30
05/04/2018 14:50	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>Vacuum drop</i>	D	05/04/2018 14:50	13:20
05/04/2018 17:50	Slagging pada <i>furnace</i>	D	05/04/2018 17:50	3:00
10/04/2018 06:25	operasi normal:	-	10/04/2018 6:25	108:35
01/05/2018 00:00	derating: <i>coal feeder</i> no. 1 stop (terdapat material asing)	D	01/05/2018 0:00	497:35
17/05/2018 01:06	derating: permintaan p3bs (teddy)	D	17/05/2018 1:06	169:06
30/05/2018 09:13	derating: turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> perbaikan <i>tube boiler</i> indikasi terdapat <i>tube leak</i>)	D	30/05/2018 9:13	293:13

30/05/2018 09:13	stop unit: perbaiki <i>tube</i> boiler elevasi <i>coalfeeder</i> akibat <i>tube leak</i>	S	30/05/2018 16:30	7:17
30/05/2018 16:30	stop unit: perbaiki <i>tube</i> boiler elevasi <i>coalfeeder</i> akibat <i>tube leak</i>	S	01/06/2018 0:00	31:30
01/06/2018 00:00	- Masuk sistem pengamatan parameter operasi setelah perbaikan <i>tube</i> boiler indikasi terdapat <i>tube leak</i>	D	07/06/2018 12:30	156:30
09/06/2018 7:00	Permintaan p3bs (wahyudi)	D	09/06/2018 7:00	38:00
12/06/2018 13:40	Coal feeder no. 1 stop (terdapat material asing)	D	12/06/2018 13:40	69:40
14/06/2018 7:00	Derating: permintaan p3bs (teddy)	D	14/06/2018 7:00	30:30
21/06/2018 12:30	Derating: turun beban persiapan stop unit (force outage perbaiki <i>tube</i> boiler indikasi terdapat <i>tube leak</i>)	D	21/06/2018 12:30	18:00

22/06/2018 10:16	Perbaiki <i>tube</i> boiler elevasi <i>coalfeeder</i> akibat <i>tube leak</i>	S	22/06/2018 10:16	21:46
01/07/2018 0:00	Stop unit: perbaiki <i>tube</i> boiler elevasi <i>coalfeeder</i> akibat <i>tube leak</i>	S	01/07/2018 0:00	205:44
10/07/2018 10:24	-Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan <i>tube</i> boiler indikasi terdapat <i>tube leak</i>	D	10/07/2018 10:24	226:24
23/07/2018 17:30	Perbaiki cwp 1b trip	D	23/07/2018 17:30	137:30
25/07/2018 4:44	- masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan cwp 1B trip	-	25/07/2018 4:44	35:14
26/07/2018 23:30	- Masuk sistem speed coupling safla turun drastis dari rpm 1406 ke 506	-	26/07/2018 23:30	34:00
30/07/2018 9:00	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	30/07/2018 9:00	77:00

23/08/2018 20:4	Turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> pekerjaan <i>recovery line belt conveyor</i> bc 4a, <i>crusher building</i> , <i>line</i> bc 5 dan <i>line</i> bc 6)	D	23/08/2018 20:40	548:40
23/08/2018 22:10	Stop unit: pekerjaan <i>recovery line belt conveyor</i> bc 4a, <i>crusher building</i> , <i>line</i> bc 5 dan <i>line</i> bc 6	S	23/08/2018 22:10	1:30
01/09/2018 0:00	Stop unit: pekerjaan <i>recovery line belt conveyor</i> bc 4a, <i>crusher building</i> , <i>line</i> bc 5 dan <i>line</i> bc 6	S	01/09/2018 0:00	193:50
25/09/2018 21:44	- Masuk sistem pengamatan parameter operasi setelah pekerjaan <i>recovery line belt conveyor</i> bc 4a, <i>crusher building</i> , <i>line</i> bc 5 dan <i>line</i> bc 6	D	25/09/2018 21:44	597:44
05/10/2018 10:54	Trip: gangguan jaringan sistem lampung	T	05/10/2018 10:54	106:54
05/10/2018 16:33	Masuk sistem: - proses kenaikan beban monitoring <i>differential expansion</i>	D	05/10/2018 16:33	5:39

23/10/2018 14:00	Coal feeder no. 3 stop (kerusakan housing bearing) no 4 perbaikan skilt belt	D	10/23/2018 14:00	426:00
27/10/2018 23:26	Coal feeder no. 3 stop (kerusakan housing bearing) no 4 perbaikan skilt belt	D	27/10/2018 23:26:00	100:26
30/10/2018 9:30	- Air laut surut - level intake hanya mampu untuk 1 cwp - vacuum drop cleaning condenser	D	30/10/2018 9:30	56:21
01/11/2018 9:00	Derating: - air laut surut - level intake hanya mampu untuk 1 cwp - vacuum drop cleaning condenser	D	01/11/2018 9:00	9:00
06/11/2018 9:00	- Air laut surut - level intake hanya mampu untuk 1 cwp - vacuum drop cleaning condenser	D	06/11/2018 9:00	111:30

08/11/2018 7:46	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	08/11/2018 7:46	40:46
10/11/2018 19:35	<i>Coal feeder</i> no 4 trip	T	10/11/2018 19:35	55:05
11/11/2018 1:00	<i>Coal feeder</i> no 4 trip	D	11/11/2018 1:00	0:00
15/11/2018 8:45	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	15/11/2018 8:45	103:40
15/11/2018 16:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	15/11/2018 16:30	7:45
16/11/2018 4:46	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	16/11/2018 4:46	12:16

16/11/2018 5:56	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	16/11/2018 5:56	1:10
19/11/2018 7:58	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	19/11/2018 7:58	74:02
21/11/2018 8:13	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	21/11/2018 8:13	36:43
22/11/2018 23:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	T	22/11/2018 23:30	28:00
23/11/2018 2:06	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP	D	23/11/2018 2:06	2:36

	- <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>			
23/11/2018 7:51	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	23/11/2018 7:51	5:45
27/11/2018 14:30	- <i>Coal feeder</i> 1c ngeblok	D	27/11/2018 14:30	97:30
28/11/2018 2:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	D	28/11/2018 2:30	9:30
29/11/2018 23:48	Trip unit: - ggn differensial main trafo	D	29/11/2018 23:48	31:48

01/12/2018 0:00	Trip unit: ggn differensial main trafo	D	01/12/2018 0:00	24:12
02/12/2018 8:19	- Masuk sistem pengamatan parameter operasi setelah ggn differensial main trafo	D	02/12/2018 8:19	32:19
03/12/2018 17:40	<i>Crusher 2 &3</i> ngeblok	D	03/12/2018 17:40	30:10
05/12/2018 7:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> <i>cleaning condenser</i>	D	05/12/2018 7:30	23:30
05/12/2018 12:00	Permintaan p3bs	D	05/12/2018 12:00	1:00
08/12/2018 19:00	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1	D	08/12/2018 19:00	79:00

	CWP - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>			
08/12/2018 20:38	- Permintaan p3bs 2x50 MW	D	08/12/2018 20:38	1:38
09/12/2018 14:40	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	09/12/2018 14:40	18:02
10/12/2018 18:27	- Permintaan p3bs	D	10/12/2018 18:27	24:47
13/12/2018 8:31	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	13/12/2018 8:31	22:01
16/12/2018 19:30	- Terkendala pengisian bahan bakar		16/12/2018 19:30	74:00

17/12/2018 4:56	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	17/12/2018 4:56	6:56
19/12/2018 6:30	- Permintaan p3bs	D	19/12/2018 6:30	12:30
19/12/2018 17:00	Operasi normal: - (kapasitas <i>unloading</i> batu bara tidak sanggup untuk 2x100 MW)	S	19/12/2018 17:00	10:30
20/12/2018 1:42	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	20/12/2018 1:42	8:42
20/12/2018 10:50	- Permintaan p3bs	D	20/12/2018 10:50	4:50
21/12/2018 2:00	- Permintaan p3bs	D	21/12/2018 2:00	8:30
21/12/2018 17:25	- Level <i>bunker</i> di 6 kpa	D	21/12/2018 17:25	15:25
21/12/2018 18:08	- Monitoring kebocoran <i>sealpot</i>	T	21/12/2018 18:08	0:43

22/12/2018 11:34	- Terkendala pengisian bahan bakar	T	22/12/2018 11:34	17:26
22/12/2018 22:01	- Gangguan gelombang laut	T	22/12/2018 22:01	10:27
22/12/2018 22:26	- Gangguan gelombang laut	D	22/12/2018 22:26	0:25
22/12/2018 23:15	Stop unit: - ggn gelombang laut	S	22/12/2018 23:15	0:49
24/12/2018 14:53	- Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah ggn gelombang laut	D	24/12/2018 14:53	39:38
25/12/2018 2:38	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i> - 07.30 permintaan p3bs bruto 2x50 MW	D	25/12/2018 2:38	11:45

25/12/2018 7:30	- Permintaan p3bs bruto 2x50 MW	-	25/12/2018 7:30	4:52
27/12/2018 1:38	- Permintaan p3bs bruto 60 MW	D	27/12/2018 1:38	42:08
28/12/2018 19:53	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	28/12/2018 19:53	31:53
29/12/2018 4:15	Trip unit: - ggn generator trafo	S	29/12/2018 4:15	8:22
29/12/2018 17:30	-Ggn generator trafo -perbaiki trafo selesai 17:14 -proses start up belum dapat izin - -pukul 21:00 start up dimulai (setelah dapat izin)	T	29/12/2018 17:30	13:15
29/12/2018 21:00	-Ggn generator trafo - -start up pukul 21:00 start up dimulai (setelah dapat izin)	T	29/12/2018 21:00	3:30

30/12/2018 15:29	- Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan ggn generator trafo	D	30/12/2018 15:29	18:29
03/01/2019 01:32	<u>Stop unit:</u> - pekerjaan inspeksi <i>refractory</i>	S	18/01/2019 01:00	358:28
18/01/2019 0:00	<u>Stop unit:</u> - pekerjaan inspeksi <i>refractory</i>	S	25/01/2019 0:00	168:00
25/01/2019 00:00	<u>Maintenance extension</u> - pekerjaan inspeksi <i>refractory</i> melebihi waktu	S	27/01/2019 01:18	49:18:00
18/02/2019 20:30	- <i>Tube leak</i> boiler di <i>furnace</i>	D	19/02/2019 11:30	15:00
20/02/2019 09:41	- <i>Tube leak</i> boiler di <i>furnace</i>	D	20/02/2019 11:18	1:37
20/02/2019 11:18	- <i>Tube leak</i> boiler di <i>furnace</i>	D	20/02/2019 15:30	4:12

20/02/2019 15:30	- <i>Tube leak boiler di furnace</i>	D	21/02/2019 23:52	32:22
21/02/2019 23:52	<u>Stop unit:</u> - <i>tube leak boiler di furnace</i>	S	28/02/2019 7:46	151:54
02/03/2019 16:33	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	03/03/2019 20:40	28:07
03/03/2019 20:40	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	04/03/2019 7:10	10:30
04/03/2019 18:40	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	04/03/2019 20:00	1:20
04/03/2019 20:57	<u>Stop unit:</u> - ggn penghantar kotabumi-bukit kemuning (lampung island) over frekuensi	T	04/03/2019 21:22	0:25
04/03/2019 21:22	Ggn penghantar kotabumi-bukit kemuning (lampung island) over - frekuensi	D	05/03/2019 0:30	3:08

06/03/2019 7:30	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	06/03/2019 8:18	0:48
07/03/2019 16:10	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	07/03/2019 23:22	7:12
09/03/2019 19:45	- Terkendala pengisian bahan bakar	D	09/03/2019 22:55	3:10
25/03/2019 17:20	Gangguan air laut surut dan serangan - sampah	D	25/03/2019 23:01	5:41
25/03/2019 23:01	<u>Stop unit:</u> - gangguan air laut surut dan serangan sampah	S	26/03/2019 2:31	3:30
26/03/2019 2:31	Gangguan air laut surut dan serangan - sampah	D	27/03/2019 7:00	28:29
25/03/2019 17:20	Gangguan air laut surut dan serangan - sampah	D	25/03/2019 23:01	5:41

DATA GANGGUAN PADA PLTU SEBALANG UNIT 2

Tanggal dan Jam Gangguan	Keterangan	Akibat Gangguan	Tanggal dan Jam Selesai	Durasi (Jam:Menit)
01/01/2018 0:00	Perbaikan <i>tube</i> boiler akibat <i>tube leak</i>	S	08/01/2018 21:57	189:57
08/01/2018 21:57	Masuk sistem - proses kenaikan beban	D	08/01/2018 22:38	0:41
08/01/2018 22:38	Trip unit - <i>differential expansion</i> hp turbin <i>high-high</i> (hh)	S	08/01/2018 23:37	0:59
08/01/2018 23:37	Masuk sistem - proses kenaikan beban	D	09/01/2018 6:00	6:23
09/01/2018 6:00	Monitoring unit - indikasi <i>tube leak condenser</i> (condensate conduct tinggi)	D	10/01/2018 15:02	33:02
10/01/2018 15:02	Penurunan beban persiapan stop unit perbaikan <i>tube leak condenser</i>	D	10/01/2018 20:30	5:28

10/01/2018 20:30	Perbaikan <i>tube leak condenser</i> - ditemukan kebocoran pada baut sambungan <i>line vacuum pump</i>	S	12/01/2018 16:36	44:06
12/01/2018 16:36	Masuk sistem - proses kenaikan beban - monitoring temperatur <i>hotspot</i> pada <i>expansion joint return solid</i>	D	12/01/2018 22:30	5:54
12/01/2018 22:30	- Monitoring temperature <i>hotspot</i> pada <i>expansion joint return solid</i>	D	14/01/2018 17:51	43:21
14/01/2018 17:30	- Monitoring temperature <i>hotspot</i> pada <i>expansion joint return solid</i>	-	15/01/2018 12:23	18:53
15/01/2018 12:23	- Monitoring temperature <i>hotspot</i> pada <i>expansion joint return solid</i>	D	20/01/2018 0:13	107:50
20/01/2018 0:13	- Air laut surut level <i>intake</i> hanya mampu untuk 2 cwp (1 unit 1, unit 2) - <i>vacuum drop</i>	D	20/01/2018 4:53	4:40
20/01/2018 4:53	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 2 cwp (1 unit 1, 1 unit 2) <i>vacuum drop</i>	D	25/01/2018 4:12	119:19

25/01/2018 4:12	<i>Maintenance outage</i> - perbaikan <i>expansion joint return solid</i> - perbaikan kebocoran outlet <i>condenser 2b</i> - pemasangan manual <i>valve emergency drain steam drum</i> - pemasangan manual <i>valve emergency cbd</i>	S	27/01/2018 0:00	43:48
27/01/2018 0:00	<i>Start failure</i> - temperatur <i>furnace</i> tidak dapat naik, indikasi a, nozzle <i>furnace</i> tersumbat b, dp pressure tinggi	S	28/01/2018 5:00	29:00
28/01/2018 5:00	Masuk sistem - proses kenaikan beban monitoring <i>differential expansion</i>	D	28/01/2018 13:00	8:00
28/01/2018 13:00	- Monitoring <i>differential expansion</i>	D	28/01/2018 21:55	8:55
28/01/2018 21:55	- Monitoring kebocoran <i>drain hp heater to deaerator</i>	D	29/01/2018 4:00	6:05
29/01/2018 4:00	- Monitoring kebocoran <i>drain hp heater to deaerator</i>	D	29/01/2018 14:30	10:30
29/01/2018 14:30	<i>Cleaning condenser 2a & 2b</i>	D	30/01/2018 12:30	22:00

30/01/2018 12:30	- Kenaikan beban	D	30/01/2018 16:00	3:30
30/01/2018 15:30	- Monitoring vibrasi generator	-	01/02/2018 0:00	32:30
01/02/2018 5:30	Trip eh oil low	T	02/02/2018 18:17	36:47
02/02/2018 18:17	Proses kernaikan beban	D	03/02/2018 6:30	12:13
08/02/2018 10:51	Air laut surut	D	09/02/2018 5:30	18:39
09/02/2018 9:05	<i>Cleaning condenser</i> (akibat pompa <i>backwash</i> tidak operasi karena air laut surut)	D	10/02/2018 5:00	19:55
16/02/2018 18:40	Derating:- air laut surut - <i>vacuum drop</i> (akibat pompa <i>backwash</i> tidak operasi karena air laut surut)	D	16/02/2018 22:35	3:55
16/02/2018 22:35	Derating:persiapan stop unit perbaikan kebocoran <i>line drain</i> main <i>steam</i> to flash tank	D	17/02/2018 2:41	4:06
17/02/2018 2:41	Perbaikan kebocoran <i>line drain</i> main <i>steam</i> to flash tank	S	18/02/2018 18:05	39:24
18/02/2018 18:05	- Monitoring <i>hotspot roof</i> dan <i>body cyclone</i>	D	23/02/2018 3:47	105:42

23/02/2018 3:47	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	S	25/02/2018 14:12	58:25
25/02/2018 14:12	- Monitoring <i>hotspot roof</i> dan <i>body cyclone</i>	D	01/03/2018 0:00	81:48
01/03/2018 0:00	- Monitoring <i>hotspot roof</i> dan <i>body cyclone</i>	D	05/03/2018 0:00	96:00
05/03/2018 0:00	Inspeksi boiler	S	30/03/2018 0:00	600:00
30/03/2018 0:00	<i>Extension</i> pekerjaan inspeksi boiler	S	01/04/2018 0:00	48:00:00
01/04/2018 0:00	<u>Pe:</u> <i>extension</i> pekerjaan inspeksi boiler	S	09/04/2018 0:00:00	192:00
09/04/2018 0:00	<u>Pe:</u> <i>extension</i> pekerjaan inspeksi boiler	S	09/04/2018 18:10	18:10
09/04/2018 18:10	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah <i>overhaul</i> vibrasi turbin	D	10/04/2018 10:00	15:50
17/04/2018 9:55	Stop: kebocoran pada pipa <i>line mainsteam</i> menuju <i>silencer</i>	S	20/04/2018 12:11	74:16

20/04/2018 12:11	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah <i>overhaul</i> vibrasi turbin	D	20/04/2018 16:30	4:19
04/05/2018 23:00	<u>Derating:</u> <i>gangguan coal feeder</i>	D	05/05/2018 10:30	11:30
08/05/2018 8:30:00	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	09/05/2018 1:30:00	17:00:00
24/05/2018 12:30	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	24/05/2018 14:00	1:30
18/06/2018 20:30	<u>Derating:</u> turun beban persiapan stop unit (<i>maintenance outage</i> perbaikan <i>refractory cyclone</i> indikasi terdapat <i>hotspot</i>)	D	19/06/2018 4:13	7:43

19/06/2018 4:13	Maintenace <i>outage</i> : perbaikan kerusakan <i>refractory</i> pada <i>cyclone</i> indikasi terdapat <i>hotspot</i>	S	01/07/2018 0:00	283:47
03/07/2018 0:00	Maintenace <i>outage</i> : perbaikan kerusakan <i>refractory</i> pada <i>cyclone</i> indikasi terdapat <i>hotspot</i>	S	04/07/2018 20:00	44:00
04/07/2018 20:00	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah <i>overhaul</i> vibrasi turbin	D	05/07/2018 21:00	25:00
17/07/2018 9:00	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	17/07/2018 13:30	4:30
20/07/2018 20:30	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah ditemukan kebocoran pada header <i>line downcomer</i>	D	21/07/2018 21:30	25:00
21/07/2018 21:30	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah ditemukan kebocoran pada header <i>line</i>	D	23/07/2018 11:22	37:52

	<i>downcomer</i>			
23/07/2018 11:22	Stop: kebocoran pada header <i>line</i> <i>downcomer</i>	S	29/07/2018 4:46	137:24
29/07/2018 4:46	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan kebocoran pada header <i>line</i> <i>downcomer</i>	D	30/07/2018 4:45	23:59
31/07/2018 10:00	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	31/07/2018 16:00	6:00
01/08/2018 10:10	<u>Derating:</u> - air laut surut level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) - <i>vacuum drop</i>	D	01/08/2018 17:44	7:34
13/08/2018 19:00	<u>Derating :</u> <i>coal feeder</i> no 1 ngeblok	D	13/08/2018 20:30	1:30
23/08/2018 21:00	<u>Derating:</u> turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> pekerjaan <i>recovery</i>)	D	24/08/2018 5:24	8:24

	<i>line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6)</i>			
24/08/2018 5:24	<u>Stop unit:</u> pekerjaan <i>recovery line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6</i>	S	01/09/2018 0:00	186:36
01/09/2018 0:00	<u>Stop unit:</u> pekerjaan <i>recovery line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6</i>	S	01/10/2018 0:00	720:00
01/10/2018 0:00	<u>Stop unit:</u> pekerjaan <i>recovery line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6</i>	S	02/10/2018 6:01	30:01
02/10/2018 6:01	<u>Derating:</u> - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah pekerjaan <i>recovery line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6</i>	D	03/10/2018 14:30	32:29
05/10/2018 10:54	Trip: gangguan jaringan sistem	T	05/10/2018 22:38	11:44

05/10/2018 22:38	Masuk sistem: - proses kenaikan beban monitoring <i>differential expansion</i>	D	06/10/2018 20:00	21:22
10/10/2018 4:17	<u>Stop unit:</u> pekerjaan perbaikan kebocoran <i>line main steam</i> to atmosfer	S	11/10/2018 9:58	29:41
11/10/2018 9:58	<u>Derating:</u> - masuk sistem pengamatan parameter operasi setelah pekerjaan pekerjaan perbaikan kebocoran <i>line main steam</i> to atmosfer	D	11/10/2018 17:30	7:32
31/10/2018 8:00	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	01/11/2018 0:00	16:00
01/11/2018 0:00	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	01/11/2018 0:24	0:24
01/11/2018 9:15	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	01/11/2018 10:00	0:45

01/11/2018 10:00	<u>Operasi normal:</u> (kapasitas <i>unloading</i> batu bara tidak sanggup untuk 2x100 MW)	-	02/11/2018 9:30	23:30
02/11/2018 9:30	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	02/11/2018 12:30	3:00
09/11/2018 9:30	Derating : - persiapan stop unit pekerjaan <i>recovery tube leak furnace</i>	D	09/11/2018 9:46	0:16
09/11/2018 9:46	<u>Stop unit:</u> pekerjaan <i>recovery tube leak furnace</i>	S	24/11/2018 13:15	363:29
24/11/2018 13:15	Derating: - masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah pekerjaan pekerjaan <i>recovery tube leak furnace</i>	D	25/11/2018 8:43	19:28
26/11/2018 8:40	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i>	D	26/11/2018 18:00	9:20

26/11/2018 18:00	<p>Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i></p>	D	26/11/2018 22:30	4:30
28/11/2018 2:30	<p>Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp (untuk unit 1) <i>vacuum drop</i></p>	D	30/11/2018 0:18	45:48
30/11/2018 0:18	<p>Derating : ggn belt <i>conveyor</i> tidak dapat mengisi <i>bunker</i></p>	D	30/11/2018 20:30	20:12
01/12/2018 9:56	<p><u>Derating:</u> <i>coal feeder</i> no 4 trip, alarm breaker overload</p>	D	01/12/2018 10:25	0:29
01/12/2018 21:00	<p><u>Derating:</u> <i>coal feeder</i> no 4 trip, alarm breaker overload</p>	D	01/12/2018 23:30	2:30
03/12/2018 9:14	<p><u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> <i>cleaning condenser</i></p>	D	03/12/2018 17:41	8:27

03/12/2018 17:41	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	04/12/2018 8:00	14:19
05/12/2018 6:30	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	05/12/2018 11:44	5:14
05/12/2018 11:44	<u>Derating:</u> permintaan p3bs	D	08/12/2018 19:00	79:16
08/12/2018 19:00	<u>Derating:</u> - air laut surut - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	08/12/2018 20:38	1:38
08/12/2018 20:38	<u>Derating:</u> permintaan p3bs 2x50 MW	D	09/12/2018 14:40	18:02
09/12/2018 14:40	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	09/12/2018 17:40	3:00

09/12/2018 17:40	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	10/12/2018 16:56	23:16
10/12/2018 16:56	<u>Trip unit:</u> perbaikan coupling mop turbin	T	15/12/2018 18:06	121:10
15/12/2018 20:27	<u>Derating:</u> permintaan p3bs	D	16/12/2018 8:51	12:24
16/12/2018 8:51	<u>Derating:</u> permintaan p3bs (ada perawatan penghantar tegineng adjijaya)	D	16/12/2018 17:20	8:36
18/12/2018 20:30	<u>Operasi normal:</u> (kapasitas <i>unloading</i> batu bara tidak sanggup untuk 2x100 MW)	-	19/12/2018 6:30	10:00
19/12/2018 6:30	<u>Derating:</u> permintaan p3bs	D	19/12/2018 17:00	10:30
22/12/2018 11:34	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	22/12/2018 22:00	10:31
22/12/2018 22:05	<u>Derating:</u> ggn gelombang laut	D	22/12/2018 22:45	0:40

22/12/2018 22:45	<u>Stop unit:</u> ggn gelombang laut	S	23/12/2018 21:29	22:44
23/12/2018 22:32	<u>Derating:</u> permintaan p3bs	D	24/12/2018 16:00	17:28
25/12/2018 1:30	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	25/12/2018 3:01	1:31
25/12/2018 3:01	<u>Derating:</u> permintaan p3bs bruto 2x50 MW	D	26/12/2018 10:10	31:09
26/12/2018 10:10	<u>Derating:</u> permintaan p3bs bruto 2x60 MW	D	27/12/2018 8:53	22:43
27/12/2018 8:53	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop cleaning condenser</i>	D	27/12/2018 17:30	8:37
28/12/2018 19:53	<u>Derating:</u> Terkendala pengisian bahan bakar	D	29/12/2018 10:00	14:07
07/01/2019 9:00	<u>Derating:</u> - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp	D	07/01/2019 16:10	7:10

	- <i>vacuum drop cleaning condenser</i>			
16/01/2019 2:15	<u>Derating:</u> gangguan <i>coal feeder</i> no 1	D	16/01/2019 11:00	8:45
14/02/2019 0:00	<u>Stop unit:</u> pekerjaan inspeksi <i>refractory</i>	S	14/02/2019 4:21	4:21
26/02/2019 12:30	<u>Derating:</u> gangguan pa fan 2a	D	01/03/2019 0:00	59:30
01/03/2019 0:00	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	01/03/2019 17:00	17:00
12/03/2019 1:06	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	15/03/2019 18:16	89:10
15/03/2019 18:16	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	15/03/2019 20:52	2:36
15/03/2019 20:52	<u>Operasi normal:</u> (kapasitas <i>unloading</i> batu bara tidak sanggup untuk 2x100 MW)	-	16/03/2019 17:30	20:38

16/03/2019 17:30	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	16/03/2019 19:42	2:12
16/03/2019 19:40	<u>Derating:</u> terkendala pengisian bahan bakar	D	19/03/2019 17:45	70:03
19/03/2019 17:45	<u>Operasi normal:</u> (kapasitas <i>unloading</i> batu bara tidak sanggup untuk 2x100 MW)	-	23/03/2019 16:30	94:45
23/03/2019 16:30	<u>Derating:</u> gangguan PA fan 2a	D	23/03/2019 22:49	6:19
23/03/2019 22:49	<u>Derating:</u> gangguan PA fan 2a	D	25/03/2019 17:20	42:31
26/03/2019 20:45	<u>Derating:</u> gangguan PA fan 2a	D	01/04/2019 0:00	123:15
01/04/2019 0:00	<u>Derating:</u> gangguan PA fan 2a	D	09/04/2019 17:45	209:45

LAMPIRAN B
ROOT CAUSE FAILURE ANALYSIS KOMPONEN STEAM AND WATER SYSTEM
BOILER TUBING

Economizer Tube

Modus Kegagalan	Mekanisme Kegagalan	Akar permasalahan	Dampak kegagalan	Failure Defense Task (FDT)
Tube Leak	Korosi	<ul style="list-style-type: none"> - Pemilihan dan pemantauan siklus kimia yang kurang. - Tidak terdapat <i>condensate polisher</i> (kegagalan yang mengakibatkan komponen kimia pada air di boiler berubah) - Blowdown tidak memadai - Pembersihan menggunakan 	Thinning	<ul style="list-style-type: none"> - Mengoptimalkan siklus kimia - Meninjau proses dan prosedur siklus kimia - Meninjau desain dan fungsi peralatan - Meninjau frekuensi dari pembersihan menggunakan bahan kimia - Meninjau prosedur dan meninjau kemampuan peralatan antara sesudah dan sebelum proses shutdown

		bahan kimia yang tidak tepat.		- Meninjau kualitas air antara sesudah dan sebelum shutdown.
	FAC (Flow Accelerated Corrosion)	<p>- Komponen terdegradasi (lapisan magnetit) dikarenakan aliran turbulen.</p> <p>- Air yang mengalir mengandung kadar oksigen yang terlarut didalamnya.</p> <p>- Fe_3O_4 terlarut ke dalam aliran yang mengalir</p> <p>- Terjadi korosi</p> <p>- Terjadi Thinning</p> <p>- Munculnya FAC pada range temperatur 100°C-250°C akan tetapi</p>	Thin-edged rupture	<p>- Memeriksa kadar oksigen terlarut apabila kadarnya melebihi 1 ppb</p> <p>- Meminimalkan masuknya produk korosi pada <i>feedwater</i></p> <p>- Melakukan pemeriksaan visual dan pengukuran ketebalan dinding tube menggunakan ultrasonic thickness test.</p> <p>- Menghilangkan korosi atau produk korosi berupa deposit melalui pembersihan menggunakan bahan kimia secara berkala.</p>

		puncak kegagalan biasanya terjadi dalam kisaran suhu 150°C-180°C.		- Mengganti tube yang mengalami penipisan dengan bahan Cr 1,25%
--	--	---	--	---

Steam drum

Modus Kegagalan	Mekanisme Kegagalan	Akar permasalahan	Dampak kegagalan	Failure Defense Task (FDT)
Tube bocor	Korosi	<ul style="list-style-type: none"> - Pemilihan dan pemantauan siklus kimia yang kurang. - Tidak terdapat <i>condensate polisher</i> (kegagalan yang mengakibatkan komponen kimia pada air di boiler berubah) - Blowdown yang tidak memadai - Pembersihan menggunakan bahan 	Tube bocor	<ul style="list-style-type: none"> - Mengoptimalkan siklus kimia - Meninjau proses dan prosedur siklus kimia - Meninjau desain dan fungsi peralatan - Meninjau siklus kimia yang penting - Meninjau frekuensi dari pembersihan

		<p>kimia yang tidak tepat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kinerja prosedur shutdown yang tidak tepat 		<p>menggunakan bahan kimia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meninjau prosedur dan meninjau kemampuan peralatan antara sesudah dan sebelum proses shutdown - Meninjau kualitas air antara sesudah dan sebelum shutdown.
Tube retak	Corrosion-fatigue	<ul style="list-style-type: none"> - Tegangan melebihi batas yang dapat ditoleransi - Buruknya kualitas feedwater - Terjadi retakan yang dimulai pada permukaan diameter dalam tabung. Lalu 	Thick-edge	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan NDE dan mengambil sampel tube untuk melihat retakan yang ada. - Uji lapangan menggunakan termokopel dan strain gauges

		<p>merambat dalam ketebalan dinding tabung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Retakan terkena feedwater yang mengandung bahan korosif - Proses pembersihan menggunakan bahan kimia yang tidak tepat. - Proses shutdown yang tidak tepat 		<p>untuk mengevaluasi tingkat regangan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meninjau laporan operasi boiler - Meninjau log dan prosedur air kimia, khususnya pada penurunan pH selama shutdown dan start-up yang terlalu awal.
Tube leak	Acid Phosphate Corrosion	<p>Siklus kimia tidak optimal</p> <ul style="list-style-type: none"> - condensate polishing tidak ada - Pembersihan bahan kimia yang tidak memadai - Tidak melakukan flushing 	<p>Fosfat yang berlebihan pada steam dapat menyebabkan terjadinya pembentukan deposit pada</p>	<p>Menentukan apakah boiler mengalami fenomena “phospat hideout”</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meninjau catatan siklus kimia - Meninjau jumlah fosfat yang

		<p>(menyemprotkan air atau udara dengan tekanan yang tinggi ke dalam instalasi) setelah pembersihan dengan bahan kimia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fosfat tidak terdeteksi - lalu tiba-tiba muncul - pH naik, alkalinity juga meningkat hingga $> 9,7$ - Sistem shutdown, pH drop hingga < 9 - Korosi 	<p>daerah superheater</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deposit yang berlebihan akan mengakibatkan overheating dan creep 	<p>ditambahkan dalam kurun waktu 1 bulan setidaknya selama 2 tahun terakhir</p>
--	--	---	--	---

Superheater

Modus Kegagalan	Mekanisme Kegagalan	Akar permasalahan	Dampak kegagalan	Failure Defense Task (FDT)
Tube pecah	Long-term overheating	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur melebihi batas desain - Desain atau pemilihan material tidak sesuai - Penimbunan skala oksida pada bagian dalam tube - Aliran uap terhambat akibat deposit 	Thick-edged	<ul style="list-style-type: none"> -Melakukan pengukuran suhu menggunakan termokopel -Melakukan analisis struktur komponen metalurgi tube -Melakukan pengambilan sampel dari lokasi yang dicurigai untuk memverifikasi apakah penyumbatan menyebabkan terjadinya

				peningkatan suhu yang melebihi batas
	Acid Phosphate Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> - Siklus kimia tidak optimal - condensate polishing tidak ada - Pembersihan bahan kimia yang tidak memadai - Tidak melakukan flushing (menyemprotkan air atau udara dengan tekanan yang tinggi ke dalam instalasi) setelah pembersihan dengan bahan kimia - Fosfat tidak terdeteksi lalu tiba-tiba muncul 	Thin-edged hingga bocor	<ul style="list-style-type: none"> - Menentukan apakah boiler mengalami fenomena “phospat hideout” - Meninjau catatan siklus kimia - Meninjau jumlah fosfat yang ditambahkan dalam kurun waktu 1 bulan setidaknya selama 2 tahun terakhir

		<ul style="list-style-type: none"> - pH naik, alkalinity juga meningkat hingga > 9,7 - Sistem shutdown, pH drop hingga < 9 - Korosi 		
	Stress corrosion cracking	<ul style="list-style-type: none"> - Terdapat tegangan tarik yang melebihi batas - Komponen kimia yang terdapat dalam feedwater memiliki konsentrasi yang tinggi - muncul korosi - muncul retakan - Senyawa volatile mengandung senyawa yang mudah menguap 	Thick-edged	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring menggunakan thermocouple dan strain gauges untuk mengevaluasi tingkat regangan selama boiler beroperasi - Mengevaluasi prosedur pembersihan menggunakan bahan kimia dan mencari

		<ul style="list-style-type: none"> - Condensate polisher bocor (mengandung Cl dan Sulfur) - Prosedur shutdown / layup yang tidak sesuai 		<p>korelasi antara pembersihan menggunakan bahan kimia dengan kegagalan berupa corrosion fatigue</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menentukan apakah prosedur shutdown boiler yang komprehensif sudah dilakukan
--	--	---	--	---

Waterwall tube

Modus Kegagalan	Mekanisme Kegagalan	Akar permasalahan	Dampak kegagalan	Failure Defense Task
Tube leak	Acid Phospate Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> - Siklus kimia tidak optimal 	Thin-edged hingga bocor	<ul style="list-style-type: none"> - Mengevaluasi kualitas air boiler ;

		<ul style="list-style-type: none"> - Condensate polishing tidak ada - Pembersihan bahan kimia yang tidak memadai - Tidak melakukan flushing (menyemprotkan air atau udara dengan tekanan yang tinggi ke dalam instalasi) setelah pembersihan dengan bahan kimia - Fosfat tidak terdeteksi lalu tiba-tiba muncul - pH naik, alkalinity juga 	<ul style="list-style-type: none"> - Sample "black boiler water" adalah indikasi bahwa terjadi korosi parah yang luas pada area waterwall - Menentukan apakah boiler mengalami fenomena "phospat hideout" - Meninjau catatan siklus kimia - Meninjau jumlah fosfat yang ditambahkan dalam kurun waktu 1 bulan setidaknya selama 2 tahun terakhir
--	--	---	--

		<ul style="list-style-type: none"> - meningkat hingga > 9,7 - Sistem <i>shutdown</i>, pH drop hingga < 7 - Korosi 		
	Erosi	<ul style="list-style-type: none"> - Ukuran tube tidak sesuai dengan desain. - Jumlah aliran tidak seimbang dengan diameter tube 	Penipisan dinding tube (Thinning)	<ul style="list-style-type: none"> - Melakukan monitoring terhadap laju abrasi pada tube. - Monitoring kecepatan aliran - Redesign

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN C
DOWNTIME SERTA KERUGIAN BIAYA PADA PLTU SEBALANG UNIT 1

No	Tanggal	Keterangan	Losses (MW)	Durasi	Cost Losses (Loses x rupiah/kwh x durasi)
1.	19/01/2018 23:14	- Perbaikan CWP 1 A - Monitoring Vibrasi Turbin – Generator - Monitoring Kebocoran Ducting <i>Line PA Fan to Furnace</i>	81,28 x 10 ³	5 jam 39 menit	Rp 642.814.194,2
2.	20/01/2018 04:53	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP (Unit 2) - Vacuum drop	100 x 10 ³	107 jam 43 menit	Rp 15.762.989.040
3.	23/02/2018 03:40	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 3 CWP - Vacuum drop	45,68 x 10 ³	55 jam 40 menit	Rp 3.713.204.412
4.	07/03/2018 19:32	- Air laut surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - Vacuum drop	44,40 x 10 ³	1 jam 51 menit	Rp 98.372.320,32

5.	09/03/2018 08:55	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - Vacuum drop	49,52 x 10 ³	35 jam 32 menit	Rp 2.566.340.802
6.	19/03/2018 09:40	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - Vacuum drop	44,27 x 10 ³	228 jam 40 menit	Rp 14.836.061.311
7.	23/03/2018 15:30	Blocking batubara karena material asing (<i>coal feeder</i> no.4 stop) beban turun ke 75MW	33,71 x 10 ³	102 jam 30 menit	Rp 5.059.963.500
8.	29/03/2018 8.30	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - Vacuum drop	53,1 x 10 ³	8 jam 20 menit	Rp 638.883.057,6
9.	05/04/2018 14:50	- Air Laut Surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - Vacuum drop	34,63 x 10 ³	3 jam	Rp 152.435.719,2
10.	05/04/2018 17:50	Slagging pada <i>furnace</i>	44,54 x 10 ³	3 jam	Rp 196.057.953,6
11.	01/05/2018 00:00	<i>coal feeder</i> no. 1 stop (terdapat material asing)	100 x 10 ³	497 jam 35 menit	Rp 72.975.170.800

12.	17/05/2018 01:06	derating: permintaan p3bs (teddy)	61,1 x 10 ³	26 jam 54 menit	Rp 2.379.332.444
13.	30/05/2018 09:13	Turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> perbaikan <i>tube</i> boiler indikasi tedapat <i>tube leak</i>)	53,6 x 10 ³	6 jam 47 menit	Rp 508.840.965,8
14.	07/06/2018 12:30	derating: permintaan p3bs (teddy)	37,16 x 10 ³	4 jam 30 menit	Rp 234.453.736,6
15.	09/06/2018 7:00	Permintaan p3bs (wahyudi)	38,9 x 10 ³	9 jam	Rp 513.694.728
16	12/06/2018 13:40	<i>Coal feeder</i> no. 1 stop (terdapat material asing)	50,8 x 10 ³	10 jam 50 menit	Rp782.647.152
17	14/06/2018 7:00	Derating: permintaan p3bs (teddy)	49,17 x 10 ³	155 jam 30 menit	Rp 11.204.298.275
18.	21/06/2018 12:30	Derating: turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> perbaikan <i>tube</i> boiler indikasi tedapat <i>tube leak</i>)	51,02 x 10 ³	21 jam 46 menit	Rp 1.606.509.025

19.	10/07/2018 10:24	-Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan <i>tube</i> boiler indikasi terdapat <i>tube leak</i>	48,9 x 10 ³	21 jam 6 menit	Rp 1.549.799.827
20.	25/07/2018 4:44	- Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah perbaikan cwp 1B trip	62,1 x 10 ³	8 jam 46 menit	Rp 770.859.024,5
21.	26/07/2018 23:30	- Masuk sistem - speed coupling safla turun drastis dari rpm 1406 ke 506	41,56 x 10 ³	4 jam 30 menit	Rp 262.214.674,2
22.	30/07/2018 9:00	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	41,96 x 10 ³	4 jam	Rp 246.268.275,2
23.	23/08/2018 20:4	Turun beban persiapan stop unit (<i>force outage</i> pekerjaan <i>recovery line</i> <i>belt conveyor</i> bc 4a,	57,62 x 10 ³	1 jam 30 menit	Rp 109.908.075,7

		<i>crusher building, line bc 5 dan line bc 6)</i>			
24.	25/09/2018 21:44	- Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah pekerjaan <i>recovery line belt conveyor bc 4a, crusher building, line bc 5 dan line bc 6</i>	49,71 x 10 ³	48 jam 9 menit	Rp 3.566.692.102
25.	23/10/2018 14:00	<i>Coal feeder no. 3 stop</i> (kerusakan <i>housing bearing</i>) no 4 perbaikan <i>skilt belt</i> .	41,93 x 10 ³	5 jam	Rp 307.615.252
26.	27/10/2018 23:26	<i>Coal feeder no. 3 stop</i> (kerusakan <i>housing bearing</i>) no 4 perbaikan <i>skilt belt</i> .	33,39 x 10 ³	1 jam 43 menit	Rp 70.059.245,26
27.	30/10/2018 9:30	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	40,89 x 10 ³	3 jam 30 menit	Rp 197.990.361,4

28.	01/11/2018 9:00	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	57,62 x 10 ³	8 jam 30 menit	Rp 701.720.790,9
29.	06/11/2018 9:00	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	49,32 x 10 ³	6 jam	Rp 434.197.497,6
30.	08/11/2018 7:46	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	47,5 x 10 ³	4 jam 46 menit	Rp 310.843.268
31.	10/11/2018 19:35	<i>Coal feeder</i> no 4 trip	31,90 x 10 ³	5 jam 25 menit	Rp 245.732.718
32.	11/11/2018 1:00	<i>Coal feeder</i> no 4 trip (alarm #4 CF BELT DEV)			0
33.	15/11/2018 8:45	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP	55,98 x 10 ³	7 jam 45 menit	Rp 611.930.591,3

		- <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>			
34.	15/11/2018 16:30	- Air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	39,61 x 10 ³	12 jam 16 menit	Rp 706.726.563,3
35.	16/11/2018 4:46	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	56,4 x 10 ³	1 jam 10 menit	Rp 91.030.051,2
36.	16/11/2018 5:56	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	37,15 x 10 ³	74 jam 2 menit	Rp 4.044.601.338
37.	21/11/2018 8:13	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	59,4 x 10 ³	11 jam 17 menit	Rp 973.537.345,4

38.	19/11/2018 7:58	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	47,1 x 10 ³	11 jam 32 menit	Rp 782.312.612,2
39.	22/11/2018 23:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	34,13 x 10 ³	2 jam 36 menit	Rp 118.184.708,7
40.	23/11/2018 2:06	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	41,32 x 10 ³	5 jam 45 menit	Rp 330.422.652,3
41.	23/11/2018 7:51	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	61,7 x 10 ³	5 jam 9 menit	Rp 534.133.938,4
42.	27/11/2018 14:30	<i>Coal feeder</i> 1c ngeblok	37,61 x 10 ³	2 jam 30 menit	Rp 126.924.121,8

43.	28/11/2018 2:30	- air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	54,42 x 10 ³	13 jam 30 menit	Rp 1.061.996.722
44.	02/12/2018 8:19	- Masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah ggn differensial main trafo	63,24 x 10 ³	3 jam 11 menit	Rp 288.579.348,2
45.	03/12/2018 17:40	<i>Crusher</i> 2 &3 ngeblok	52,63 x 10 ³	14 jam 20 menit	Rp 1.096.565.839
46.	05/12/2018 7:30	air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 CWP - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	30,97 x 10 ³	23 jam 30 menit	Rp 1.058.790.715
47.	05/12/2018 12:00	Permintaan P3BS	51 x 10 ³	7 jam	Rp 523.818.960
48.	08/12/2018 19:00	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i>	62,97 x 10 ³	3 jam 22 menit	Rp 297.510.681,6

		hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>			
49.	08/12/2018 20:38	Derating: permintaan p3bs 2x50 MW	48,81 x 10 ³	18 jam 2 menit	Rp 1.303.446.450
50.	09/12/2018 14:40	Derating : Terkendala pengisian bahan bakar	73,95 x 10 ³	3 jam	Rp 325.516.068
51	09/12/2018 17:40	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	76,06 x 10 ³	24 jam 47 menit	Rp 2.730.884.222
52	10/12/2018 18:27	Permintaan P3BS	49,63 x 10 ³	23 jam 3 menit	Rp 1.696.731.779
53	12/12/2018 1:00	Permintaan P3BS	46,59 x 10 ³	9 jam 3 menit	Rp 635.753.349,4
54.	13/12/2018	Derating: - air laut surut - level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>vacuum drop</i> - <i>cleaning condenser</i>	50,64 x 10 ³	9 jam	Rp 668.727.532,8

55.	16/12/2018 19:30	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	22,71 x 10 ³	2 jam 3 menit	Rp 76.640.436,24
56.	16/12/2018 22:00	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	47,77 x 10 ³	6 jam 56 menit	Rp 459.803.294,3
57.	17/12/2018 4:56	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	65,53 x 10 ³	3 jam	Rp 288.452.575,2
58.	17/12/2018 7:54	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	76,05 x 10 ³	37 menit	Rp 41.287.058,28
59.	17/12/2018 8:31	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	70,97 x 10 ³	33 jam 29 menit	Rp 3.466.582.963
60.	19/12/2018 6:30	Permintaan P3BS	44,53 x 10 ³	10 jam 30 menit	Rp 672.981.177,5
61.	20/12/2018 1 : 42	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	58,87 x 10 ³	4 jam 18 menit	Rp 361.063.273,6
62.	20/12/2018 6:00	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	48,97 x 10 ³	4 jam 50 menit	Rp 323.337.157,2
63.	20/12/2018 10 : 50	Permintaan P3BS	47,54 x 10 ³	6 jam 40 menit	Rp 446.428.743,7

64.	21/12/2018 2:00	Permintaan P3BS	48,99 x 10 ³	15 jam 25 menit	Rp 1.096.201.220
65.	21/12/2018 17:25	Derating : Level bunker di 6 kPa	40,71 x 10 ³	43 menit	Rp 25.685.176,58
66.	21/12/2018 18:08	Monitoring Kebocoran sealpot	46,66 x 10 ³	17 jam 26 menit	Rp 1.181.676.296
67.	22/12/2018 11:34	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar	58,58 x 10 ³	10 jam 27 menit	Rp 882.740.004,8
68.	22/12/2018 22:01	Derating: ggn gelombang laut	68,15 x 10 ³	25 menit	Rp 24.998.783
69.	24/12/2018 14: 53	Derating : -masuk sistem - pengamatan parameter operasi setelah ggn gelombang laut	41,35 x 10 ³	21 jam 45 menit	Rp 1.301.415.001
70.	25/12/2018 2:38	Derating: - Air laut surut - Level <i>intake</i> hanya mampu untuk 1 cwp - <i>Vacuum drop</i> - <i>Cleaning condenser</i> -07:30 permintaan P3BS Bruto 2 x 50 MW	54,78 x 10 ³	5 jam 22 menit	Rp 419.571.063,6

71.	25/12/2018 7:30	Derating : Permintaan P3BS bruto 2 x 50 MW	57,80 x 10 ³	42 jam 8 menit	Rp 3.629.815.955
72.	27/12/2018 1:38	Derating : Permintaan P3BS bruto 60 MW	48 x 10 ³	10 jam 22 menit	Rp 719.788.876,8
73.	28/12/2018 19:53	Derating: Terkendala pengisian bahan bakar.	48,33 x 10 ³	8 jam 22 menit	Rp 582.910.140,5
74	30/12/2018 15:29	Derating : -Masuk sistem - Pengamatan parameter operasi setelah perbaikan GGN generator trafo	60,57 x 10 ³	9 jam 31 menit	Rp 827.409.022,8
					Total : Rp 1,78 x 10 ¹¹

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN D
REKOMENDASI KEGIATAN PERAWATAN BOILER PLTU SEBALANG

Deskripsi	Keterangan	Maintenance Frequency			
		Harian	Mingguan	Bulanan	Annually
Inspeksi Visual	Melengkapi keseluruhan inspeksi visual untuk memastikan semua peralatan beroperasi dan sistem keamanan siap sedia	✓			
Monitor tekanan uap	Apakah variasi dalam tekanan uap yang beroperasi dibawah beban sesuai dengan harapan? Uap basah dapat muncul apabila terjadi penurunan tekanan yang terlalu cepat.	✓			
Cek ketersediaan air yang kurang stabil	Ketersediaan air yang tidak stabil bisa menjadi pertanda feedwater terkontaminasi, terjadi kelebihan beban serta kerusakan pada peralatan.	✓			
Cek burner	Cek kontrol yang tepat dan kebersihan burner	✓			

Cek temperatur udara pada ruang boiler	Suhu seharusnya tidak boleh melebihi atau dibawah batas desain yang ada.	✓			
Blowdown pada boiler	Periksa apakah kinerjanya efektif.	✓			
Log Boiler	Jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan Temperatur gas buang Volume makeup water Tekanan , suhu dan jumlah yang dihasilkan oleh uap.	✓			
Cek boiler water treatment	Apakah sistem water treatment bekerja dan berfungsi dengan tepat	✓			
Cek temperatur gas buang dan komposisi nya	Menghitung komposisi dan temperatur gas buang pada posisi pembakaran tertentu. Untuk yang di cek adalah persentase O ₂ dan CO ₂		✓		

Cek water level kontrol	Menghentikan pompa feedwater dan controller pada sistem berfungsi untuk menghentikan aliran bahan bakar ke burner. Jangan membuat ketinggian air berada terlalu dibawah batas yang di rekomendasikan.		✓		
Cek karakteristk pengoperasian boiler	Stop aliran bahan bakar dan amati kegagalan pada proses pembakaran. Pengamatan dimulai dari proses start-up pada boiler untuk mengamati karakteristik pembakaran		✓		
Periksa kebocoran sistem pada air dan uap serta peluang terjadinya kebocoran	Cari : kebocoran, kerusakan pada valve, korosi pada sistem perpipaan dan kondisi insulasi.		✓		
Periksa boiler apabila terjadi	Periksa damper seals.		✓		

kebocoran udara					
Cek blowdown dan prosedur water treatment	Menentukan apakah blowdown memadai dan untuk mencegah penumpukan deposit.			✓	
Gas buang	Hitung dan bandingkan hasil pemeriksaan komposisi gas buang dari bulan sebelumnya			✓	
Periksa insulasi boiler	Periksa semua insulasi boiler dan casing untuk hot spot.			✓	
Periksa control valve uap	Kalibrasi control valve pada uap sesuai dengan yang ditentukan oleh fabrikasi			✓	
Lakukan uji kualitas air	Cek kualitas air untuk keseimbangan komposisi kimia yang tepat			✓	
Pembersihan permukaan komponen yang	Mengikuti prosedur (SOP) yang telah dibuat untuk pembersihan pada permukaan komponen				✓

bersentuhan dengan air					
Sistem air umpan (<i>feedwater</i>)	Bersihkan dan cek kondisi pompa <i>feedwater</i> . Bersihkan bagian inlet yang merupakan penerima kondensat dan sistem deaerasi.				✓
Pengujian Eddy Current	Untuk mengetahui ketebalan dinding tube				✓

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 17 Mei 1997, merupakan anak kedua dari pasangan Sigit Widhiartono dan Dewi Mariyam Wijaya. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MIN MALANG 1, SMP Negeri 5 Malang dan SMA Negeri 1 Malang. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Di Teknik Mesin penulis memilih bidang Rekayasa Sistem Industri. Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai Anggota Departemen Umum pada kepengurusan tahun 2016/2017 dan sebagai Fungsiaris pada kepengurusan tahun 2017/2018. Penulis dapat dihubungi di 081231528211 atau email ke deasy.saraswati1@gmail.com.