

TESIS

**ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE
BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
UAP 150 MW**



**LUGANTHA PERKASA
03032681923004**

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

TESIS

**ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE
BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
UAP 150 MW**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**LUGANTHA PERKASA
03032681923004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 150 MW

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik
Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

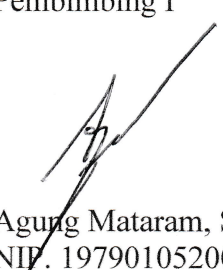
LUGANTHA PERKASA

NIM. 03032681923004


Palembang, 23 Oktober 2021

Menyetujui,

Pembimbing I


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197901052003121002

Pembimbing II

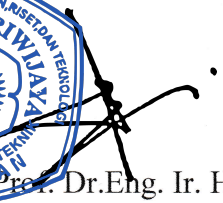

Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Mengetahui,


Dekan Fakultas Teknik

Universitas Sriwijaya




Prof. Dr.Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196900909187031004

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul **“ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 150 MW”** telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Oktober 2021.

Palembang, 23 Oktober 2021

Pembimbing:


1. Agung Mataram, S.T., M.T.Ph.D.

NIP. 197901052003121002

()

2. Irsyadi Yani, S.T.,M.Eng.,PhD

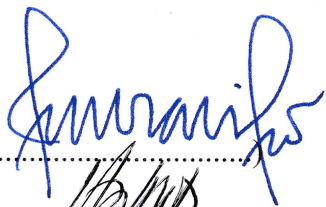
NIP. 197112251997021001

()

Tim Penguji :

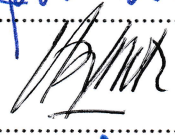
1. Amir Arifin, ST, M.Eng, Ph.D

NIP. 19790927 2003121004

()

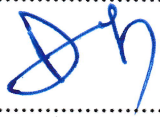
2. Dr. Ir. Hendri Chandra, M.T

NIP. 196004071990031003


()

3. Dr. Ir.Darmawi Bayin, M.T, M.T

NIP. 195806151987031002

()

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

()
Agung Mataram, S.T.,M.T.,Ph.D.
NIP. 197901052003121002


**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :**

**NAMA : LUGANTHA PERKASA
NIM : 03032681923004
JURUSAN : TEKNIK MESIN
BIDANG STUDI : MATERIAL TEKNIK
JUDUL : ANALISA KERUSAKAN
WATERWALL TUBE BOILER
PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP 150**

**DIBUAT TANGGAL : 1 FEBRUARY 2021
SELESAI TANGGAL : 23 OKTOBER 2021**

Menyetujui
Pembimbing I

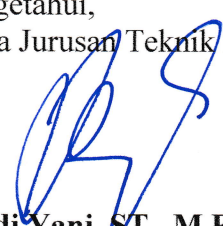

Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

Palembang, 23 Oktober 2021

Pembimbing II


Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin


Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang Bertanda Tangan di bawah ini

Nama : Lughantha Perkasa
NIM : 030326819230040
Judul : ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE BOILER
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 150 MW

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 23 Oktober 2021



Lughantha Perkasa

NIM. 030326819230040

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang Bertanda Tangan di bawah ini

Nama : Lughantha Perkasa
NIM : 030326819230040
Judul : ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE BOILER
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 150 MW

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri yang didampingi Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 23 Oktober 2021



Lughantha Perkasa

NIM. 030326819230040

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pertama, penulis mengucapkan syukur dan berterimakasih kepada Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, karunia, anugerah, dan petunjuk-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini, adapun pihak tersebut:

1. Keluarga Penulis, kedua Orangtua yang selalu memberikan dukungan moral dan materi serta doanya yang tulus membimbing, mengarahkan, mendidik dan memotivasi penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
2. Istri Amalia Rizkiyani, S.H, anak Faihannah Mayyasyah Aulia & M. Umar Alfatih yang telah memberikan dukungan dan motivasi penulis dari awal kuliah sampai selesainya tesis ini.
3. Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I sekaligus selaku Ketua Prodi Magister S2 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang dengan ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang dengan ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
5. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Pasca Sarjana Unsri yang telah membimbing dan memberkan ilmu penulis dari mulai awal kuliah sampa menyelesaikan penelitian tesis ini.
6. Bapak Jaenudin Abdulah, Bapak Mulkan serta rekan – rekan kerja yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian tesis ini.

7. Pak Agung Kristian selaku Staf Administrasi Prodi S2 Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
8. Bapak Rahman selaku profesional yang telah membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tesis ini
9. Rekan – rekan kuliah seangkatan, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Dalam penulisan tesis ini, penulis sadar masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Penulis juga mengharapkan tesis dengan judul “Analisa Kerusakan *Waterwall Tube Boiler* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 150 MW” dapat memberikan manfaat bagi para profesional yang bekerja di bidang pembangkitan dan juga untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di negara Indonesia serta menjadi referensi bagi yang akan mengkaji dimasa yang akan datang.

Wassalamualaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Palembang, 23 Oktober 2021

Lugantha Perkasa

NIM. 030326819230040

RINGKASAN

ANALISA KERUSAKAN WATERWALL TUBE BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 150 MW

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 23 Oktober 2021

Lugantha Perkasa; Dibimbing oleh Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D

WATERWALL TUBE BOILER DAMAGE ANALYSIS ON 150 MW STEAM POWER PLANT

Xxxiii + 83 halaman, 28 gambar, 6 tabel, 7 lampiran

RINGKASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 150 MW di Bayung Lencir merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan jenis boiler yang ramah lingkungan yaitu boiler jenis CFB (Circulating Fluidized Bed). Kegagalan tube boiler berdampak besar pada proses atau kerugian yang ditimbulkannya. Penelitian ini akan menganalisis kegagalan-kegagalan yang terjadi pada waterwall tube boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 150 MW di Bayung Lencir yang mengalami kerusakan dengan pengujian kandungan kimia, pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengujian metalografi, dan pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi yang terdapat pada waterwall tube boiler masih sesuai dengan standar dari spesifikasi design untuk boiler seamless tube 20 G. Sifat mekanik watertube boiler juga masih dalam kategori sesuai dengan standar. Sedangkan kebocoran yang terjadi pada tube di prediksi disebabkan oleh kegagalan – kegagalan pada proses penyambungan atau weld. Hal ini menyebabkan retakan menjalar dan menimbulkan kelelahan sehingga kerusakan diawali dengan kelelahan termal yang menyebabkan retak pada lapisan las tertentu. Retakan terbuka ini menghasilkan kebocoran yang menyebabkan keluarnya cairan berkecepatan tinggi yang mengenai permukaan yang berdekatan menciptakan kegagalan 'erosi' yang

kemudian mengakibatkan penipisan dinding tube. Penipisan dinding kemudian menyebabkan kebocoran lain. Oleh karena itu, terjadi serangkaian erosi yang mengakibatkan beberapa kebocoran. Faktanya adalah bahwa kegagalan lebih disukai terletak di area lapisan las yang menjadikannya akar penyebab kegagalan.

Kata Kunci : *Tube* Air Boiler, Kelelahan termal, Kebocoran, Erosi

SUMMARY

WATERWALL TUBE BOILER DAMAGE ANALYSIS ON 150 MW STEAM POWER PLANT

Scientific Paper in the form of Thesis, 16 October 2021

Lugantha Perkasa; Supervised by Agung Mataram S.T., M.T. Ph.D & Irsyadi Yani, S.T., M.Eng.

Analisa Kerusakan Waterwall Tube Boiler Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap 150 Mw

xxxiii + 83 pages, 28 pictures, 6 tables, 7 attachments

SUMMARY

A Steam Power Plant (PLTU) that uses an environmentally friendly type of boiler, namely the CFB (Circulating Fluidized Bed) type boiler. Failure of the boiler pipe has a big impact on the process or the losses it causes. This study will analyze the failures that occur in the boiler tube waterwall of Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 150 MW which suffered damage by testing chemical content, hardness test, tensile test, metallographic testing, and Scanning Electron Microscopy (SEM) testing. The test results show that the chemical composition contained in the boiler tube waterwall still complies accordance with the standards. Then the mechanical properties of watertube boilers are still in accordance with the standards. Leaks that occur in pipes predicted caused by welding failure. So the failure of weld make creeping cracks and causing fatigue so that the damage begins with thermal fatigue which causes cracks in certain weld seams. These open cracks produce leaks which cause the discharge of high velocity fluids which hit adjacent surfaces creating an 'erosion' failure which then results in thinning of the walls of the tube. The thinning of the walls then causes another leak. Therefore, a series of erosions occurred which resulted in several leaks. The fact is that the failure is preferably located in the area of the weld seam which makes it the root cause of the failure.

Keywords : Watertube Boiler, Thermal Fatigue, Leaks, Erosion.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR ISTILAH.....	xxvii
DAFTAR LAMBANG.....	xxix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.1 Rumusan Masalah.....	2
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Boiler.....	5
2.1.1 Jenis – Jenis Boiler.....	5
2.2 Definisi Kegagalan.....	10
2.3 Jenis-Jenis Kegagalan.....	12
2.3.1 Korosi.....	12
2.3.2 Fatigue.....	14
2.3.3 Keausan.....	15
2.4 Kegagalan dalam pengelasan.....	15
2.5 Macam-Macam Cacat Pengelasan.....	16
2.5.1 Slag Inclusion.....	16
2.5.2 Porosity (porositas).....	17
2.5.3 Incomplete Fusion.....	17
2.5.4 Undercut.....	18
2.5.5 Incompleted Penetration (Penembusan kurang baik).....	19
2.5.6 Overlap.....	20
2.5.7 Underfill.....	20
2.5.8 Distorsi.....	21

2.6	Penanggulangan Kegagalan.....	22
2.7	Contoh Kasus pada Waterwall Tube Boiler	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Diagram Alir Penelitian	25
3.2	Metode Penelitian	26
3.3	Material yang di gunakan	26
3.3.1	Material	26
3.3.2	Peralatan.....	27
3.4	Tahapan Penelitian	28
3.4.1	Preparasi Spesimen.....	28
3.4.2	Pengukuran Spesimen	28
3.4.3	Uji Komposisi Kimia	29
3.4.4	Rockwell Hardness Tester.....	30
3.4.5	Uji Tarik	31
3.4.6	Pengamatan Metalografi	31
3.4.7	Scanning Electron Microscopy (SEM)	32
3.5	Tanggal dan Waktu Penelitian	34
3.6	Hasil yang di Harapkan.....	34
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Analisa Data.....	35
4.1.1	Pengamatan Makroskopik	35
4.1.2	Pengukuran Ketebalan Tube	37
4.1.3	Analisa Mikrostruktur	38
4.1.4	Analisa Pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM)	42
4.1.5	Analisa Komposisi Kimia.....	43
4.1.6	Uji Kekerasan.....	44
4.1.7	Uji Tarik	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	48
DAFTAR RUJUKAN.....		i
LAMPIRAN.....		i

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Pitting Corrosion (Duarte et al., 2017).....	12
Gambar 2-2 Fatigue (Nusa, 2015)	14
Gambar 2-3 Cacat slag inclusion (Sahlan, 2015)	17
Gambar 2-4 Cacat Porositas (Sahlan, 2015)	17
Gambar 2-5 Cacat <i>Incomplete Fusion</i> (Sahlan, 2015)	18
Gambar 2-6 Cacat <i>undercut</i> (<i>pengelasan.net, unknown date</i>)	19
Gambar 2-7 Cacat Incompleted Penetration(<i>pengelasan.net, unknown date</i>)	19
Gambar 2-8 Cacat overlap(<i>pengelasan.net, unknown date</i>).....	20
Gambar 2-9 Cacat Underfill(<i>pengelasan.net, unknown date</i>)	21
Gambar 2-10 Cacat Distrosi pengelasan(<i>pengelasan.net, unknown date</i>)	22
Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian	25
Gambar 3-2 Spesimen WaterWall Tube	27
Gambar 3-3 Proses Pengujian Rockwell (Obiany, 2019)	30
Gambar 3-4 Skematik Pengujian Tarik (Salindeho et al., 2018).	31
Gambar 3-5 Hasil Pengamatan Metalografi (Duarte et al., 2017)	32
Gambar 3-6 Hasil Pengamatan SEM Waterwall Tube boiler (Ren et al., 2020) ..	33
Gambar 4-1 <i>Waterwall Tube Boiler</i>	35
Gambar 4-2 Indikasi titik kebocoran <i>waterwall tube boiler</i>	35
Gambar 4-3 Alur terjadinya erosi pada kebocoran <i>waterwall tube</i>	36
Gambar 4-4 Lokasi kebocoran <i>waterwall tube</i> dari luar dan dalam	36
Gambar 4-5 Spesimen 1 Uji Metalografi <i>Waterwall Tube</i>	38
Gambar 4-6 Struktur Mikro <i>Water Wall Tube</i> spesimen 1 pada lokasi 1 – weld root dan HAZ dengan perbesaran 500X.....	38
Gambar 4-7 Struktur Mikro <i>Water Wall Tube</i> spesimen 1 pada lokasi 2 – Base metal dan HAZ dengan perbesaran 500X	39
Gambar 4-8 Struktur Mikro <i>Water Wall Tube</i> spesimen 1 pada lokasi 3 dan 4 dengan perbesaran 500X.	39
Gambar 4-9 Spesimen Uji Metalografi <i>Waterwall Tube</i> spesimen 2	40

Gambar 4-10 Mikrostruktur <i>Waterwall tube</i> spesimen 2 dengan pembesaran 100X dan 500X.....	41
Gambar 4-11 Spesimen Pengujian SEM <i>waterwall tube boiler</i>	42
Gambar 4-12 Pengamatan SEM <i>waterwall tube</i> dengan pembesaran 1000X dan 2000X	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Kalkulasi komponen <i>tube</i> and <i>pipe</i> spesifikasi desain.....	28
Tabel 3-2 Komposisi Kimia (%) GB 5310.....	29
Tabel 4-1 Hasil pengukuran ketebalan <i>tube</i>	37
Tabel 4-2 Komposisi Kimia <i>Waterwall Tube Boiler</i>	42
Tabel 4-3 Kualitas air boiler.....	43
Tabel 4-4 Hasil Uji Kekerasan.....	44
Tabel 4-5 Hasil Uji Tarik	45

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Penjelasan
<i>Waterwall Tube Boiler</i>	Pipa Air Yang Terdapat Pada Dinding Boiler
<i>CFB</i>	Circulating Fluidized Bed
<i>Specification Design</i>	Data Yang Terperinci Mengenai Suatu Peralatan, Produk Atau Proses
<i>Overheating</i>	Panas Yang Berlebih Yang Bisa Di Terima Suatu Equipment
<i>Pitting Corrosion</i>	Korosi Yang Terjadi Pada Suatu Titik Atau Area Kecil Permukaan Logam Atau Korosi Lokal
<i>Erosion</i>	Pengikisan Atau Pelepasan Dan Pemindahan Material Dari Satu Tempat Ke Tempat Lain
<i>Stress Corrosion Cracking</i>	Korosi Yang Disebakan Karena Adanya Aktivitas Kombinasi Antara Tegangan Tarik Dan Lingkungan, Yang Menyebabkan Terjadinya Perambatan Retak
<i>Furnace</i>	Bagian Boiler Yang Berfungsi Sebagai Ruang Bakar
<i>Cyclone</i>	Bagian Boiler Yang Berfungsi Untuk Memisahkan Batubara Yang Belum Terbakar Dengan Flue Gass Dari Sisa Pembakaran Dan Di Balik Ke Furnace
<i>Predictive Maintenance</i>	Perawatan Yang Dilakukan Untuk Mengantisipasi Kegagalan Sebelum Terjadi Kerusakan Total
<i>Corective Maintenance</i>	Kebijakan Perawatan Yang Dilakukan Ketika Mesin Mengalami Suatu Kerusakan
<i>Seamless Boiler Tube</i>	<i>Tube</i> Boiler Tanpa Sambungan
<i>Crack Initiation</i>	Proses Awal Yang Membentuk Retakan
Mesin <i>Wire Cut</i>	Alat Potong
Pelat Membran	Pelat Penampang Yang Di Gunakan Untuk Penyusun <i>Tube Boiler</i>
HAZ	Daerah Pengaruh Panas

<i>Incomplete Penetration</i>	Cacat Pengelasan Yang Terjadi Pada Daerah Root Atau Akar Las,
Dimple	Penampakan Khas Patah Ulet Yang Akan Terlihat Bila Menggunkan SEM
Spesimen	Bagian Dari Material Yang Mau Di Uji / Sampel Uji
Komposisi Material	Susunan Unsur Di Dalam Material
<i>Planned Shutdown</i>	Kegiatan Perawatan Yang Sudah Di Jadwalkan
<i>Defect</i>	Kegagalan, Cacat
Degradasi	Penurunan
Variabel	Objek Penelitian
Dimensi	Ukuran
Kontaminasi	Tercampur Dengan Zat Lain
<i>Force Outage</i>	Keluarnya Sistem Atau Proses Produksi Di Karenan Terjadinya Kegagalan Peralatan Yang Terjadi Secara Emergensi
<i>Downtime</i>	Durasi Atau Jumlah Waktu Yang Hilang Akibat Terjadinya Breakdown
<i>Breakdown</i>	Kerusakan Yang Terjadi Pada Peralatan Sehingga Mengakibatkan Berhenti Dan Tidak Dapat Bekerja

DAFTAR LAMBANG

Lambang	Nama	Satuan
D	<i>Outside diameter tube</i>	[mm]
P	<i>Internal design pressure</i>	[MPa]
T	<i>Temperature</i>	[°C]
φ	<i>Coefficient of weldline weakening</i>	
t	<i>Nominal thickness</i>	[mm]
C'	<i>Additional thickness</i>	[mm]
t_s	<i>Minimal design thickness</i>	[mm]
S	<i>Allowable stress</i>	[MPa]
R	<i>Bending Radius</i>	[mm]
K	<i>Coefficient of bending shape</i>	
d	<i>Inside diameter tube</i>	[mm]
e	<i>thickness factor for expanded tube ends</i>	[mm]

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Water Quality.....	i
Lampiran 2 Laporan Spesifikasi Desain Material.....	v
Lampiran 3 Kalkulasi Ketebalan Tube Berdasarkan ASME BPVC Section I.....	vii

WATERWALL TUBE BOILER DAMAGE ANALYSIS ON 150 MW STEAM POWER PLANT

LUGANTHA PERKASA⁽¹⁾, AGUNG MATARAM⁽¹⁾, IRSYADI YANI⁽¹⁾

⁽¹⁾Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Sriwijaya, Inderalaya 30662, Ogan Ilir, South Sumatera, Indonesia

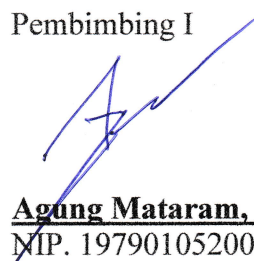
Email : amataram@unsri.ac.id

Abstract

A Steam Power Plant (PLTU) that uses an environmentally friendly type of boiler, namely the CFB (Circulating Fluidized Bed) type boiler. Failure of the boiler pipe has a big impact on the process or the losses it causes. This study will analyze the failures that occur in the boiler tube waterwall of Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 150 MW which suffered damage by testing chemical content, hardness test, tensile test, metallographic testing, and Scanning Electron Microscopy (SEM) testing. The test results show that the chemical composition contained in the boiler tube waterwall still complies accordance with the standards. Then the mechanical properties of watertube boilers are still in accordance with the standards. Leaks that occur in pipes predicted caused by welding failure. So the failure of weld make creeping cracks and causing fatigue so that the damage begins with thermal fatigue which causes cracks in certain weld seams. These open cracks produce leaks which cause the discharge of high velocity fluids which hit adjacent surfaces creating an 'erosion' failure which then results in thinning of the walls of the tube. The thinning of the walls then causes another leak. Therefore, a series of erosions occurred which resulted in several leaks. The fact is that the failure is preferably located in the area of the weld seam which makes it the root cause of the failure.

Keywords : Watertube Boiler, Thermal Fatigue, Leaks, Erosion

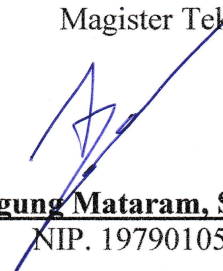
Pembimbing I


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

Palembang, 23 Oktober 2021
Pembimbing II


Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

WATERWALL TUBE BOILER DAMAGE ANALYSIS ON 150 MW STEAM POWER PLANT

LUGANTHA PERKASA⁽¹⁾, AGUNG MATARAM⁽¹⁾, IRSYADI YANI⁽¹⁾

⁽¹⁾Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Sriwijaya, Inderalaya 30662, Ogan Ilir, South Sumatera, Indonesia

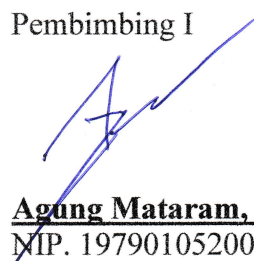
Email : amataram@unsri.ac.id

Abstract

A Steam Power Plant (PLTU) that uses an environmentally friendly type of boiler, namely the CFB (Circulating Fluidized Bed) type boiler. Failure of the boiler pipe has a big impact on the process or the losses it causes. This study will analyze the failures that occur in the boiler tube waterwall of Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 150 MW which suffered damage by testing chemical content, hardness test, tensile test, metallographic testing, and Scanning Electron Microscopy (SEM) testing. The test results show that the chemical composition contained in the boiler tube waterwall still complies accordance with the standards. Then the mechanical properties of watertube boilers are still in accordance with the standards. Leaks that occur in pipes predicted caused by welding failure. So the failure of weld make creeping cracks and causing fatigue so that the damage begins with thermal fatigue which causes cracks in certain weld seams. These open cracks produce leaks which cause the discharge of high velocity fluids which hit adjacent surfaces creating an 'erosion' failure which then results in thinning of the walls of the tube. The thinning of the walls then causes another leak. Therefore, a series of erosions occurred which resulted in several leaks. The fact is that the failure is preferably located in the area of the weld seam which makes it the root cause of the failure.

Keywords : Watertube Boiler, Thermal Fatigue, Leaks, Erosion

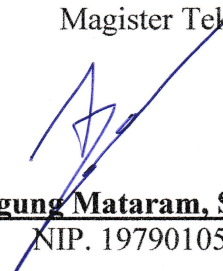
Pembimbing I


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

Palembang, 23 Oktober 2021
Pembimbing II


Irsyadi Yani, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin


Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu penyuplai kebutuhan listrik yang memiliki potensi besar dalam penyediaan energi dan merupakan alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik. Boiler mempunyai peran penting pada suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap, yaitu sebagai peralatan atau komponen sebagai penghasil uap. Boiler merupakan alat yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan menggunakan batu bara sebagai bahan utama (Chudhoifah et al., 2020). Pemilihan material, perlakuan hingga proses perawatan untuk boiler yang dikenai beban kerja tekanan dan pada temperatur tinggi sangat diperhatikan, hal ini disebabkan karena sangat rentan terhadap *overheating*, *pitting corrosion*, *creep*, *erosion*, *thermal fatigue*, *corrosion fatigue* dan *stress corrosion cracking* yang berakibat menurunkan umur pakai komponen dari yang direncanakan hingga menyebabkan kegagalan pada *tube - tube boiler* (Adrian et al., 2016; Aini et al., n.d.; Lusiana et al., 2019).

Salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan jenis boiler ramah lingkungan yaitu boiler tipe CFB (*Circulating Fluidized Bed*). Penggunaan boiler tipe CFB ini dikarenakan memiliki keunggulan seperti fleksibilitas bahan bakar, emisi NO_x yang rendah, efisiensi penangkapan sulfur yang tinggi hingga biaya pengendalian emisi yang lebih rendah dibandingkan tipe boiler lainnya (Gao et al., 2017; Qi et al., 2017). Namun, dibalik keuntungannya, boiler tipe CFB ini memiliki kekurangan salah satunya sering terjadinya erosi yang tinggi di ruang bakar atau *furnace*, *cyclone* dan *tube-tube* yang berhubungan akibat dari kecepatan gas yang tinggi (Cai et al., 2018; Miller, 2017). Seperti pada penelitian sebelumnya (Sahlan, 2013), pecahnya *waterwall tube* pada boiler tipe CFB ini yang disebabkan oleh pengikisan atau penipisan permukaan akibat abrasi oleh bed material yang terkandung didalam aliran gas hasil pembakaran secara terus-menerus selama berlangsungnya operasi. Disamping terjadinya kegagalan

karena di sebababkan faktor dari dalam maupun pola operasi, kegagalan *tube* boiler sering juga terjadi karena kegagalan dari luar, yaitu kesalahan dalam proses perbaikan, baik *predictive* maupun *corective* maintenance, misal kegagalam dalam proses pengelasan *tube* pada saat perbaikan.

Kegagalan yang terjadi pada Tube boiler sangat berdampak dan berpengaruh besar terhadap proses maupun didalam kerugian yang ditimbulkan. Dan dalam proses terjadi kegagalan waterwall tube boiler tersebut, downtime yang terjadi akan lebih dari 12 hari untuk proses perbaikan atau recovery, hal ini akan menimbulkan kerugian yang sangat besar baik dalam sisi pendapatan produksi, biaya perbaikan maupun denda dari konsumen. Oleh karena itu, menganalisa suatu kegagalan adalah hal yang penting untuk dilakukan untuk mengetahui akar dari permasalahan agar mengurangi kegagalan maupun force outage yang terjadi di masa depan. Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian kali ini penulis akan menganalisa kegagalan yang terjadi pada waterwall tube boiler dengan kapasitas 150 MW

1.1 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dihubungkan dengan beberapa masalah yang menjadi acuan dalam penelitian. Adapun rumusan masalah yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu mengidentifikasi penyebab kerusakan dari waterwall tube boiler tersebut dengan melakukan serangkaian pengujian seperti pemeriksaan secara visual terhadap material, perbandingan data dari kualitas air, data desain water wall tube dari manufacture serta pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan, pengujian tarik, pengamatan metalografi hingga uji SEM (Scanning Electron Microscopy). Hal dilakukan guna melihat apakah material penyusun dari tube tersebut sesuai masih masuk standar untuk material GB 5310 Seamless Boiler Pipe (ASTM A106 Gr B).

1.2 Batasan Masalah

Dalam Penelitian ini dibutuhkan pembahasan yang akan dikaji, maka dari itu diperlukan batasan-batasan masalah agar pembahasan dalam tesis ini tidak meluas sehingga lebih terfokus pada masalah yang ada, untuk itu disusunlah suatu batasan yaitu :

1. Spesimen yang diuji dan diteliti adalah *Waterwall Tube Boiler* yang mengalami kegagalan atau kebocoran
2. Pengukuran ketebalan *waterwall tube boiler* menggunakan *Absolute Digimatic Caliper* serta perhitungan design berdasarkan *ASME Boiler and Vessel Code Section I*
3. Pengujian yang akan dilakukan antara lain :
 1. Uji komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectrometry (OES)*
 2. Uji kekerasan menggunakan mesin uji *Rockwell Hardness Tester*
 3. Uji tarik menggunakan mesin uji tarik
 4. Pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik
 5. Uji *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian pada Tesis ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui jenis kegagalan yang terjadi pada *waterwall tube boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap
2. Melakukan analisis penyebab mekanisme kegagalan pada *waterwall tube boiler*
3. Mengetahui solusi untuk mencegah agar kegagalan pada *waterwall tube boiler* tidak terjadi

DAFTAR RUJUKAN

- Adrian, J., Latif, N., Noerochim, L., Kurniawan, B.A., 2016. Analisa Kerusakan *Superheater Tube Boiler* Tipe Astm A213 Grade T11 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. J. Tek. Its 5. <https://doi.org/10.12962/J23373539.V5i2.18561>
- Ahmad, R., Rahmatullah, R., 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. J. Rekayasa Mater. Manufaktur Dan Energi 1, 1–11. <https://doi.org/10.30596/Rmme.V1i1.2430>
- Aini, N.N., Damis, C., Nusyirwan, W., N.D. Analisis Mekanisme Kegagalan Pada Pipa Boiler Menggunakan Metode *Root Cause Failure Analysis* (Rcfa) 494–501.
- Arief, S., 2020. Analisis Welding Joint Performance Material Astm Sa 178 D Pada *Waterwall Tube Boiler* Pltu Paion Unit 1-400.
- Asme BPVC.II.D.-2019. Asme Boiler & Pressure Vessel Code Section II Materials, Part D, Properties (Customary)
- Asme BVPC.I, 2004. Asme Bvpc, 2004 Section I.Rules For Construction Of Power Boilers, 10-16
- Asmoro, R.W., 2012. Polyester Pada Komposit Bahan.
- Cai, R., Zhang, H., Zhang, M., Yang, H., Lyu, J., Yue, G., 2018. Development And Application Of The Design Principle Of Fluidization State Specification In Cfb Coal Combustion. Fuel Process. Technol. 174, 41–52. <https://doi.org/10.1016/J.Fuproc.2018.02.009>
- Chandra, Hendri (1994) Analisis Kegagalan Baja Tahan Karat 316 L pada Komponen Tube Feed dari Sentrifuge.
- Chandra, Hendri and Basri, Hasan (2007) Analisis Fatigue Poros Pompa Vakum. SATEK 2007, 1 (1). Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia. ISBN 978-979-15535-2-0
- Chudhoifah, M.N., Suastiyanti, D., Rupajati, P., 2020. Analisa Kerusakan Pipa Boiler Super Kritis. J. Tek. Mesin Iti 4, 24. <https://doi.org/10.31543/Jtm.V4i1.334>

- Drastiawati, N.S., Soekrisno, R., 2020. Failure Analysis On *Reheater Tube Boiler Furnace Base* On Tensile And Impact Test 196, 355–360. <https://doi.org/10.2991/Aer.K.201124.064>
- Du, H.Y., Sun, X.H., Li, Y.M., Ren, Z.A., 2014. *Analysis On Waterwall Tube Corrosion And Strength Calculation For Boilers Exceeding Service Life*. Adv. Mater. Res. 900, 695–698. <https://doi.org/10.4028/Www.Scientific.Net/Amr.900.695>
- Dwiwandono, R., Firmansyah, L., Herbirowo, S., Hasbi, Y., Citrawati, F., 2017. Metalurgi Analisa Strukturmikro Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Mekanis Batangan Rel Tipe R54. *Metalurgi* 2, 67–76.
- Fadhilah, I., 2017. Analisis Struktur Mikro (Metalografi).
- Febriyanti, E., Suhadi, A., Sari, L.N., 2020. Fatigue And Corrosion Phenomenon On Failure Of *Water Wall Tube Boiler*. *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.* 14, 29–38. <https://doi.org/10.29122/Mipi.V14i1.3565>
- Fitri, Ginting, E., Karo Karo, P., 2013. Komposisi Kimia, Struktur Mikro, Holding Time Dan Sifat Ketangguhan Baja Karbon Medium Pada Suhu 7800c. *J. Teor. Dan Apl. Fis.* 01, 1–4.
- Hamidah, N.L., Sarwono, Noriyati, Ronny Dwi, 2019. Analisa Kinerja Waste Heat Boiler Dengan Metode Kesetimbangan Panas Dan Massa Dipabrik 1 (Satu) Pt.Petrokimia Gresik. *Jur. Tek. Fis. Fti Its Surabaya* 53, 1689–1699.
- Hill, T., 2000. Era Technology Reports. *Ind. Manag. Data Syst.* 100, 46–48. <https://doi.org/10.1108/Imds.2000.100.1.46.6>
- Khan, H., Mir, U., Abbas, H., 2020. *Designing Of A Fire Tube Boiler*.
- Kim, E.S., 2017. *Fracture Analysis Of Tube Boiler For Physical Explosion Accident*. *Forensic Sci. Int.* 278, E1–E7. <https://doi.org/10.1016/J.Forsciint.2017.07.036>
- Kumayasari, M.F., Sultoni, A.I., 2017. Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial Vs Micro Vickers. *J. Teknol. Proses Dan Inov. Ind.* 2. <https://doi.org/10.36048/Jtpii.V2i2.789>
- Kurniawan, R.T., Wibisono, A.T., Noerochim, L., 2017. Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod Dalam Spring Suspension Assembly Pada Coal Mill Tuban I Pt. Semen Indonesia Tbk. *J. Tek. Its* 6. <https://doi.org/10.12962/J23373539.V6i2.24476>
- Lusiana, L., Citrawati, F., Martides, E., Gumilar, G., 2019. Analisis Kegagalan

- Pipa Boiler Superheater Pada Pabrik Kelapa Sawit. Din. J. Ilm. Tek. Mesin 11, 26. <https://doi.org/10.33772/Djitm.V11i1.9357>
- Miller, B.G., 2017. Clean Coal Technologies For Advanced Power Generation, Clean Coal Engineering Technology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811365-3.00006-5>
- Muharnif, Septiawan, R., 2018. Analisa Pengujian Lelah Material Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. J. Rekayasa Mater. Manufaktur Dan Energi 1, 64–73. <https://doi.org/10.30596/Rmme.V1i1.2437>
- Obiany, I., 2019. Laboratory Manual For Hardness Test.
- Orosa, N.R., 2012. Analisis Kegagalan Rear Axle Shaft Truck Kapasitas 7.5 Ton. Tek. Mesin.
- Priambodo, T.A., Suhardjo, K.A., 2019. Analisa Kegagalan Keretakan Permukaan Luar Sudut Antara Kepala Dan Badan Komponen Yoke Rotor Gf21. J. Teknol. Bahan Dan Barang Tek. 4, 27. <https://doi.org/10.37209/Jtbbt.V4i1.44>
- Qi, G., Zhang, S., Liu, X., Guan, J., Chang, Y., Wang, Z., 2017. Combustion Adjustment Test Of Circulating Fluidized Bed Boiler. Appl. Therm. Eng. 124, 1505–1511. <https://doi.org/10.1016/J.Applthermaleng.2017.07.005>
- Raja, P.B., Ismail, M., Ghoreishiamiri, S., Mirza, J., Ismail, M.C., Kakooei, S., Rahim, A.A., 2016. Reviews On Corrosion Inhibitors: A Short View. Chem. Eng. Commun. 203, 1145–1156. <https://doi.org/10.1080/00986445.2016.1172485>
- Rumendi, U., 2018. Analisa Uji Keausan Material St 37 Hasil Carburizing Dan Hardening Dengan 0–5.
- Sahlan, 2013. Analisis Fraktografi Dan Kerusakan Abrasif *Water Wall Tube Boiler* Pltu Tarahan 23–24.
- Sahlan, 2015. Analisis Cacat Las Incomplete Fusion Dan Retak Memanjang Pada *Waterwall Tube Boiler* Pltu Paiton Unit 1 18, 10–20.
- Salindeho, R.D., Soukoto, J., Poeng, R., 2018. Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. J. J-Ensiec 3, 1–11.
- Suarsana, I.K., 2016. Analisa Perpatahan. Diktat.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., Dimiyati, A., 2017. Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan

- Zirkonium. J. Forum Nukl. 9, 44.
<https://doi.org/10.17146/Jfn.2015.9.1.3563>
- Sun, E., Hu, H., Li, H., Xu, J., Liu, G., 2020. Concept Design Of Supercritical Co₂ Cycle Driven By Pressurized Fluidized Bed Combustion (Pfb) Boiler. Appl. Therm. Eng. 166, 114756.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114756>
- Syofyan, A., Adnyana, D., 2018. Analisa Kegagalan Swing Drive Wheel Exavator M 322 C 1, 1–8.
- Utomo, B., 2012. Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. Kapal 6, 138–141.
<https://doi.org/10.12777/Kpl.6.2.138-141>
- Wijayanto, S.O., Bayuseno, A., 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : 2, 33–39.
- Xu, L., Liu, J., Kang, Y., Miao, Y., Ren, W., Wang, T., 2014. Safely Burning High Alkali Coal With Kaolin Additive In A Pulverized Fuel Boiler. Energy And Fuels 28, 5640–5648. <https://doi.org/10.1021/ef501160f>
- Xue, S., Guo, R., Hu, F., Ding, K., Liu, L., Zheng, L., Yang, T., 2020. *Analysis Of The Causes Of Leakages And Preventive Strategies Of Boiler Water-Wall Tubes In A Thermal Power Plant*. Eng. Fail. Anal. 110, 104381.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104381>
- Yao, C.C., Wang, M.L., Ruan, Y.Y., Lv, X.M., Wang, J.L., Ge, J.M., Jiao, H.W., 2020. *Several Methods For Improving The Accuracy Of Rockwell Hardness Testing*. J. Phys. Conf. Ser. 1507.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/10/102010>
- Yudha Kurniawan Afandi, Irfan Syarif Arief, A., 2015. Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating. J. Tek. Its 4, 1–5.
- Zahedi, M., Rajabipour, F., 2019. *Fluidized Bed Combustion (Fbc) Fly Ash And Its Performance In Concrete*. Aci Mater. J. 116, 163–172.
<https://doi.org/10.14359/51716720>