

**ANALISIS KEGAGALAN *WATERWALL TUBE* AKIBAT
ABRASI BERDASARKAN LAJU PENIPISAN
DINDING DAN ESTIMASI SISA UMUR
PAKAI PADA *BOILER***

SKRIPSI



**Diajukan untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Jurusan Teknik Mesin**

Oleh:

**Rajab Gerhan Rimbawan
NIM. 062240212098**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026**

***FAILURE ANALYSIS OF WATERWALL TUBES DUE TO
ABRASION BASED ON WALL THINNING RATE
AND REMAINING LIFE ASSESSMENT
IN A BOILER***

THESIS



**Submitted to Comply with Terms of Study Completion in Mechanical
Engineering Production and Maintenance Study Program Department of
Mechanical Engineering**

By:

**Rajab Gerhan Rimbawan
NIM. 062240212098**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KEGAGALAN *WATERWALL TUBE* AKIBAT
ABRASI BERDASARKAN LAJU PENIPISAN
DINDING DAN ESTIMASI SISA UMUR
PAKAI PADA *BOILER***



PROPOSAL SKRIPSI

**Disetujui oleh Dosen Pembimbing Proposal Skripsi
Sarjana Terapan Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Jurusan Teknik Mesin**

Pembimbing Utama

Dwi Arnoldi, S.T., M.T.
NIP. 196312211989031002

**Palembang, 2026
Menyetujui,
Pembimbing Pendamping**

Ir. Zainuri Anwar, S.T., M.Eng., IPP.
NIP. 199108162022031004

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin**

Ir. Fenoria Putri, S.T., M.T.
NIP. 197202201998022001

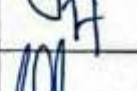
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Proposal Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Rajab Gerhan Rimbawan
NPM : 062240212098
Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Rencana Judul : ANALISIS KEGAGALAN *WATERWALL TUBE* AKIBAT ABRASI BERDASARKAN LAJU PENIPISAN DINDING DAN ESTIMASI SISA UMUR PAKAI PADA *BOILER*

Telah selesai dinilai dalam Seminar Proposal Skripsi Sarjana Terapan di hadapan Tim Dosen Penilai pada tanggal 03 Maret 2026 dan diterima untuk dilanjutkan menjadi Skripsi pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya

TIM DOSEN PENILAI

No.	Nama	Posisi Penilai	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Ir. Zainuri Anwar, S.T., M.Eng., IPP. NIP. 199108162022031004	Ketua		11/03 2026
2.	Mulyadi, S, S.T., M.T. NIP. 197107271995031001	Anggota		
3.	Romi Wilza, S.T., M.Eng.Sc. NIP. 197306282001121001	Anggota		
4.	Ahmad Junaidi, S.T., M.T. NIP. 196607111990031001	Anggota		10/3 2026
5.	Ir. Rizky Brilliant Yuliandi, S.T., M.Tr.T. NIP.199208112020121022	Anggota		

Palembang, 2026
Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Ir. Fenoria Putri, S.T., M.T.
NIP. 197202201998022001

RINGKASAN AJUAN TOPIK

Pembimbing	Judul Proposal Skripsi	Topik Studi
1. Dwi Arnoldi, S.T., M.T. 2. Ir. Zainuri Anwar, S.T., M.Eng., IPP.	Analisis Kegagalan <i>Waterwall Tube</i> Akibat Abrasi Berdasarkan Laju Penipisan Dinding Dan Estimasi Sisa Umur Pakai Pada <i>Boiler</i>	1. Mekanika Rekayasa 2. Kekuatan Bahan 3. Ilmu Material 4. Fisika Rekayasa 5. Perawatan
Sinopsis		Teori Pendukung
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kegagalan pipa <i>waterwall</i> pada <i>boiler</i> di PLTU 3 x 10 MW PT Bukit Energi Servis Terpadu Tanjung Enim yang disebabkan oleh abrasi dan mengakibatkan penipisan dinding pipa hingga terjadi kebocoran. Analisis dilakukan berdasarkan data ketebalan aktual dan spesifikasi desain awal untuk mengetahui tingkat degradasi material yang terjadi selama operasi. Penelitian ini mencakup perhitungan laju penipisan dinding, evaluasi tegangan akibat tekanan internal, penentuan ketebalan minimum yang diizinkan, serta estimasi sisa umur pakai pipa. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran teknis mengenai kondisi integritas pipa dan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan pemeliharaan.		1. Kekuatan bahan 2. Mekanika rekayasa 3. Fisika Rekayasa 4. Termodinamika 5. K3L 6. Perawatan
Ruang Lingkup Studi		
1. Analisis penipisan dinding pipa <i>waterwall</i> akibat abrasi berdasarkan data ketebalan aktual dan spesifikasi desain awal. 2. Evaluasi kekuatan pipa melalui perhitungan tegangan akibat tekanan internal serta penentuan ketebalan minimum yang diizinkan. 3. Perhitungan laju dan estimasi sisa umur pakai pipa berdasarkan kondisi aktual operasi <i>boiler</i> .		

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rajab Gerhan Rimbawan
NPM : 062240212098
Tempat/Tanggal lahir : Pulau Panggung/28 Agustus 2004
Alamat : Jl. Reformasi No.111, Kel.Pasar 1, Kecamatan
Muara Enim, Kabupaten Muara Enim
No. Telepon : 083160167551
Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / D-IV Teknik Mesin Produksi dan
Perawatan
Judul Skripsi : ANALISA KEGAGALAN *WATERWALL TUBE*
AKIBAT ABRASI BERDASARKAN LAJU
PENIPISAN DINDING DAN ESTIMASI SISA
UMUR PAKAI

Menyatakan bahwa Skripsi yang saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dengan didampingi oleh Tim Pembimbing dan **bukan hasil penjiplakan/plagiat**. Apabila di kemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat di dalam Skripsi yang saya buat, saya bersedia menerima sanksi akademik dari Jurusan Teknik Mesin dan Politeknik Negeri Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar, kondisi sehat, dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang,2026



Rajab Gerhan Rimbawan

NPM. 062240212098

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rajab Gerhan Rimbawan
NPM : 062240212098
Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Judul Skripsi : ANALISA KEGAGALAN *WATERWALL TUBE* AKIBAT ABRASI BERDASARKAN LAJU PENIPISAN DINDING DAN ESTIMASI SISA UMUR PAKAI

Memberi izin kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Srwijaya dan Dosen Pembimbing dalam mempublikasi riset dari hasil Tugas Akhir saya/ Skripsi saya dengan tujuan kepentingan akademik jika dalam kurun waktu 6 (enam) bulan setelah Yudisium saya tidak juka mempublikasikan karya ilmiah saya (setidaknya menerima bukti *Letter of Acceptance* dari jurnal yang dituju). Untuk kasus ini saya bersedia menempatkan Dosen Pembimbing untuk menjadi penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Palembang, Juni2026



Rajab Gerhan Rimbawan

NPM. 062240212098

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Human clock – is always in a rush, God's clock – is always on time”

(Mykhailo Mudryk)

Senyuman tidak mengurangi keseriusan, dan bercanda tidak mengurangi tanggung jawab. That's what I believe, because that's who I am. (Rajab Gerhan Rimbawan)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis dedikasikan kepada kedua orang tua tercinta, Ayahanda dan Ibunda, ketulusannya dari hati atas do'a yang tak pernah putus, semangat yang tak ternilai. serta untuk orang – orang terdekatku yang tersayang, dan untuk almamater biru muda kebanggaanku.

ABSTRAK

**ANALISIS KEGAGALAN *WATERWALL TUBE* AKIBAT
ABRASI BERDASARKAN LAJU PENIPISAN
DINDING DAN ESTIMASI SISA UMUR
PAKAI PADA *BOILER***

Rajab Gerhan Rimbawan

(2026: xv + 52 Halaman, 9 Gambar, 10 Tabel, 5 Lampiran)

Penelitian ini bertujuan menganalisis kegagalan *waterwall tube* Unit 2 Boiler PLTU 3×10 MW PT Bukit Energi Servis Terpadu (PT BEST) Tanjung Enim berdasarkan laju penipisan dinding (*corrosion rate*/CR), estimasi sisa umur pakai (*remaining life assessment*/RLA), serta perubahan struktur mikro material. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus. Pengukuran ketebalan dilakukan pada 177 pipa yang tersebar pada 4 sisi boiler dan 6 titik elevasi menggunakan *Ultrasonic Thickness Gauge* (UTG), sedangkan perubahan struktur mikro diamati melalui pengujian metalografi pada sampel baru, sampel degradasi bagian luar, dan sampel degradasi bagian dalam. Ketebalan minimum yang diizinkan dihitung berdasarkan ASME Section I dengan tekanan operasi 5,20 MPa serta standar internal PT BEST, sehingga diperoleh nilai *t*-min masing-masing sebesar 1,34 mm dan 3,0 mm. Hasil pengukuran menunjukkan ketebalan pipa berkisar antara 1,93–3,88 mm dari ketebalan awal 4,0 mm, dengan kondisi paling kritis ditemukan pada Sisi ESP Elevasi 22 meter Pipa 15 yang memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,2588 mm/tahun dan *remaining life assessment* berdasarkan ASME sebesar 2,27 tahun. Berdasarkan hasil analisis, sebanyak 170 pipa berstatus aman dan 7 pipa berstatus perhatian menurut standar ASME, sedangkan berdasarkan standar internal PT BEST terdapat 15 pipa yang termasuk kategori kritis. Hasil pengujian metalografi menunjukkan adanya perubahan struktur mikro pada sampel yang mengalami degradasi dibandingkan dengan sampel baru. Hasil tersebut sejalan dengan tindakan PT BEST yang telah melakukan penggantian 13 pipa pada lokasi tersebut. Analisis menunjukkan bahwa mekanisme kegagalan didominasi oleh abrasi akibat tumbukan partikel silika dan *fly ash* pada suhu operasi sekitar 750 °C, sedangkan kualitas air umpan boiler dengan pH 8,5–9,5 tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap penipisan dinding pipa.

Kata kunci: *waterwall tube*, abrasi, *corrosion rate*, *remaining life assessment*, boiler.

ABSTRACT

FAILURE ANALYSIS OF WATERWALL TUBES DUE TO ABRASION BASED ON WALL THINNING RATE AND REMAINING LIFE ASSESSMENT IN A BOILER

Rajab Gerhan Rimbawan

(2026: xv + 52 Halaman, 9 Gambar, 10 Tabel, 5 Lampiran)

This study aims to analyze the failure of the *waterwall tube* in Unit 2 Boiler of the 3×10 MW Steam Power Plant at PT Bukit Energi Servis Terpadu (PT BEST), Tanjung Enim, based on the *corrosion rate* (CR), *remaining life assessment* (RLA), and changes in the material's microstructure. This research employed a quantitative method with a case study approach. Wall thickness measurements were carried out on 177 tubes distributed across four boiler sides and six elevation points using an *Ultrasonic Thickness Gauge* (UTG), while microstructural changes were observed through metallographic testing on a new sample, a degraded outer-surface sample, and a degraded inner-surface sample. The minimum allowable thickness was calculated according to ASME Section I under an operating pressure of 5.20 MPa and PT BEST's internal standard, resulting in minimum allowable thicknesses *t*-min of 1.34 mm and 3.0 mm, respectively. The measurement results indicated that the tube thickness ranged from 1.93 mm to 3.88 mm from the initial thickness of 4.0 mm. The most critical condition was identified at the ESP Side, Elevation 22 m, Tube No. 15, with a *corrosion rate* of 0.2588 mm/year and an ASME-based *remaining life assessment* of 2.27 years. Based on the analysis, 170 tubes were classified as safe and 7 tubes required attention according to the ASME standard, while PT BEST's internal standard classified 15 tubes as critical. Metallographic examination revealed microstructural changes in the degraded samples compared with the new sample. These findings are consistent with PT BEST's decision to replace 13 tubes at the affected location. The analysis indicates that the failure mechanism was primarily caused by abrasion due to the impact of silica particles and *fly ash* at an operating temperature of approximately 750 °C, while the boiler feedwater quality with a pH of 8.5–9.5 did not significantly contribute to wall thinning.

Keywords: *waterwall tube, abrasion, corrosion rate, remaining life assessment, boiler.*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan kekuatan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Proposal Skripsi ini tepat pada waktunya dengan judul “Analisis kegagalan Waterwall Tube Akibat Abrasi Berdasarkan Laju Penipisan Dinding dan Estimasi Sisa Umur Pada *Boiler*”. Sholawat dan salam selalu tercurah kepada Rasulullah SAW, keluarganya, sahabatnya dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Adapun terwujudnya Proposal Skripsi ini adalah berkat bimbingan dan bantuan serta petunjuk dari berbagai pihak yang tak ternilai harganya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Proposal Skripsi ini, yaitu kepada :

1. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Drs.Yusri, S.Pd., M.Pd., selaku Wakil Direktur Bidang Akademik Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Ir. Fenoria Putri, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Adian Aristia Anas, S.T., M.T. IPM., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ibu Ir. Hj. Ella Sundari, S.T., M.T., selaku Koordinator Prodi D-IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Bapak Dwi Arnoldi, S.T., M.T., sebagai Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan dan membantu penulis menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
7. Bapak Ir. Zainuri Anwar, S.T., M.Eng., IPP., sebagai Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan penulis menyelesaikan Proposal Skripsi ini.
8. Kepada Allah SWT yang selalu memberikan kekuatan dan kesehatan sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi ini.
9. Orangtuaku ayahanda Sukarji dan ibunda Nur Hanilah saudaraku Budi Setya Ningtyas saudariku Ratna Asih Lestari dan Sabtri Martina Sari serta keluarga besarku yang telah membantu dan mendoakan adiknya yang tercinta ini.
10. Teman-teman seperjuangan khususnya kelas PPD angkatan 2022 yang selalu memberikan dukungan serta motivasi selama penulisan dan penyusunan Skripsi ini.
11. Teman-teman dan orang-orang yang bertemu dengan saya baik secara sengaja maupun tidak sengaja yang secara tidak langsung memberikan motivasi dan alasan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini
12. Pihak-pihak terkait yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu saya selama penyusunan Skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam tulisan Proposal Skripsi ini. Penulis secara terbuka menerima kritik dan saran dari pembaca agar ke depannya penulis dapat membuat tulisan dan laporan yang lebih baik.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak, semoga kebaikan menjadi amal ibadah dan mendapatkan ridha dari Allah SWT, Amin.... Ya Rabbal'alamin.

Palembang, 03 Maret 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PROPOSAL SKRIPSI	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN PROPOSAL SKRIPSI	iii
RINGKASAN AJUAN TOPIK	iv
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.1.1 <i>Boiler</i>	6
2.1.2 Laju Penipisan Dinding (<i>Wall Thinning Rate</i>)	7
2.1.3 <i>Waterwall Tube</i>	8
2.1.4 Abrasi	10
2.1.5 Estimasi Sisa Umur Pakai (<i>Remaining Life Assessment</i>)	11
2.1.6 Faktor faktor yang mempengaruhi abrasi pada pipa <i>waterwal</i>	12
2.1.7 Mekanisme Abrasi pada Pipa <i>Waterwall</i>	13
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Laju Penipisan Dinding Akibat Abrasi	14
2.2.2 Teori Silinder Berbanding Tipis	16
2.2.3 Ketebalan Minimum yang Diizinkan	17
2.2.4 Estimasi Sisa Umur Pakai (<i>Remaining Life</i>)	17
2.2.5 Faktor faktor yang Mempengaruhi Abrasi	18
2.2.6 Metode Pengukuran Ketebalan (<i>Ultrasonic Thickness Test</i>)	18
2.2.7 Pengujian Metalografi	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Lokasi dan jadwal Penelitian	21
3.3 Diagram Alir	22
3.4 Objek Penelitian	24
3.5 Alat dan Bahan	25

3.5.1 Alat	25
3.5.2 Bahan	26
3.6 Metode Analisis Data	27
3.6.1 Perhitungan Laju Penipisan Dinding	27
3.6.2 Perhitungan Ketebalan Minimum yang Diizinkan	28
3.6.3 Analisis Tegangan Silinder (<i>Hoop Stress</i>)	29
3.6.4 Estimasi Sisa Umur Pakai (<i>Remaining Life Assessment</i>)	30
3.6.5 Pengujian Metalografi	31
3.7 Jenis dan Sumber Data	31
BAB IV PEMBAHASAN	33
4.1 Data Teknis <i>Boiler</i> dan <i>Waterwall Tube</i>	33
4.2 Data Hasil Pengukuran Ketebalan Dinding	33
4.3 Perhitungan Ketebalan Minimum yang Diizinkan	34
4.4 Analisis Laju Penipisan Dinding (<i>Erosion Rate</i>)	36
4.5 Estimasi Sisa Umur Pakai (<i>Remaining Life Assessment</i>)	37
4.6 Pembahasan	38
4.6.1 Mekanisme Abrasi pada <i>Waterwall Tube</i>	38
4.6.2 Pengaruh Kualitas Air terhadap Kondisi Pipa	39
4.6.3 Distribusi Penipisan Antar Baris	40
4.6.4 Identifikasi Pipa Kritis	42
4.6.5 Rekomendasi	43
BAB V PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Boiler</i>	7
Gambar 2.4 Bagian Dalam <i>Waterwall Tube</i>	8
Gambar 2.2 <i>Waterwall Tube</i>	9
Gambar 2.3 <i>Waterwall Tube</i> yang Mengalami Kegagalan	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 <i>Waterwall Tube</i> yang Diteliti	25
Gambar 4.1 Jalur Aliran Gas Panas dan Partikel <i>Fly Ash</i> pada <i>Boiler</i>	39
Gambar 4.2 Grafik Tren RLA	41
Gambar 4.3 Grafik Tren CR	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Peralatan yang diperlukan	25
Tabel 3.2 Bahan yang diperlukan	26
Tabel 3.3 Perbandingan Standar ketebalan	29
Tabel 3.4 Data Teknis <i>Boiler</i>	32
Tabel 4.1 Ringkasan <i>Thicknes</i> Pipa	34
Tabel 4.2 Ketebalan Minimum Dinding Pipa yang Masih Diizinkan	35
Tabel 4.3 Laju Penipisan Pinding Pipa <i>Waterwall Tube</i>	36
Tabel 4.4 Estimasi Sisa Umur Pakai Pipa <i>Waterwall Tube</i>	37
Tabel 4.5 Kondisi Pipa Berdasarkan Nilai RLA	38
Tabel 4.6 Rekomendasi yang Dapat Diberikan Kepada Pihak PT BEST	43

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi:

CR	= Laju penipisan dinding atau laju korosi (mm/tahun)
t_o	= Ketebalan awal material (mm)
t	= Ketebalan aktual hasil pengukuran (mm)
t_{min}	= Ketebalan minimum yang diizinkan (mm)
Δt	= Waktu operasi (tahun)
Σh	= Tegangan lingkaran (MPa atau N/mm ²)
P	= Tekanan internal (MPa)
D	= Diameter dalam pipa (mm)
σ_{allow}	= Tegangan izin material (MPa)
$R L$	= <i>Remaining life</i> (tahun)
t_{min}	= ketebalan minimum yang diizinkan (mm)
σ_h	= Tegangan lingkaran (MPa atau N/mm ²)
RLA	= <i>Remaining Life Assessment</i> / Estimasi sisa umur pakai (tahun)
E	= Faktor efisiensi sambungan pipa
y	= Koefisien temperatur material
t_{min}	= Ketebalan minimum yang diizinkan (mm)
AF	= <i>Availability Factor</i> (%)

Singkatan:

PLTU	= Pembangkit Listrik Tenaga Uap
UTT	= <i>Ultrasonic Thickness Test</i>
ASME	= <i>American Society of Mechanical Engineers</i>

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Lembar Tanda Bukti Penyerahan Laporan KP	47
Lampiran 2. Lembar Tanda Bukti Penyerahan Laporan MBKM DIV	48
Lampiran 3. Gambar Elevasi Pengujian <i>Thicknes</i>	49
Lampiran 4. Design <i>Boiler</i> 2D	50
Lampiran 5. Sample <i>Waterwall Tube</i> Yang di Uji	51
Lampiran 6. <i>Waterwall Tube</i>	52