

**PENINGKATAN EFISIENSI *WATER TUBE BOILER* DENGAN  
METODE *INDIRECT TESTING* DI PABRIK  
HILIR MINYAK KELAPA SAWIT**



DANIEL S. SILAEN  
NIM : 41320120083

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2023**

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENINGKATAN EFISIENSI *WATER TUBE BOILER* DENGAN  
METODE *INDIRECT TESTING* DI PABRIK  
HILIR MINYAK KELAPA SAWIT



Disusun Oleh:

Nama : Daniel S. Silaen  
NIM : 41320120083  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
FEBRUARI 2023

## HALAMAN PENGESAHAN

PENINGKATAN EFISIENSI *WATER TUBE BOILER* DENGAN  
METODE *INDIRECT TESTING* DI PABRIK  
HILIR MINYAK KELAPA SAWIT

Disusun Oleh:

Nama : Daniel S. Silaen  
NIM : 41320120083  
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal: 17 Februari 2023

Telah dipertahankan di depan penguji,

Pembimbing TA

Penguji Sidang I

Dr. Nanang Ruhyat, M.T

Alief Avicenna Luthfie, S.T., M.Eng

NIK/NIP. 101730256

NIK/NIP. 216910097

Penguji Sidang II

Penguji Sidang III

Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini

Dadang Suhendra Permana, M.T

NIK/NIP. 216890126

NIK/NIP: DTT020007

Mengetahui,

Kaprodi Teknik Mesin

Koordinator TA

Muhammad Fitri, M.Si, Ph.D

Gilang Awan Yudhistira, S.T., M.T

NIK/NIP. 118690617

NIK/NIP. 221900211

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Daniel S. Silaen

NIM : 41320120083

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Kerja Praktik : Peningkatan Efisiensi *Water Tube Boiler* Dengan Metode *Indirect Testing* Di Pabrik Hilir Minyak Kelapa Sawit

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

Jakarta, 17 Februari 2023



Daniel S. Silaen

## PENGHARGAAN

Dengan mengucapkan segala puji dan rasa syukur ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Peningkatan Efisiensi *Water Tube Boiler* Dengan Metode *Indirect Testing* Di Pabrik Hilir Minyak Kelapa Sawit” sebagai syarat kelulusan mata kuliah Tugas Akhir program sarjana strata satu (S1) di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercu Buana. Pada kesempatan ini, penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi hingga tugas akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh rasa hormat mengucapkan banyak terima kasih dan mendoakan semoga Allah SWT memberikan balasan terbaik kepada:

1. Bapak Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah memberikan motivasi kepada setiap mahasiswa Teknik Mesin.
2. Bapak Gilang Awan Yudhistira, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana dan juga selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.
3. Bapak Dr. Nanang Ruhyat, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan serta bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Segenap dosen dan karyawan Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana Jakarta.
5. Orang tua serta saudara-saudariku yang selalu mendukung dan mendoakan serta memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis.
6. Fani Anzelika Purba yang selalu memberi dukungan dan doa kepada penulis.
7. Semua pihak yang membantu pelaksanaan Tugas Akhir dan tidak bisa disebutkan satu per-satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu, dengan kerendahan hati penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak

demi tercapainya hal yang terbaik dari Laporan Tugas Akhir ini, sehingga dapat membawa manfaat bagi penulis dan juga pembaca.

Jakarta, 17 Februari 2023



Daniel S. Silaen



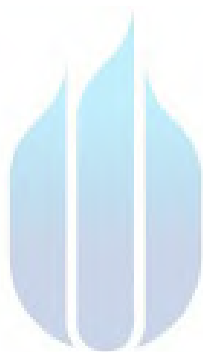
## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>ii</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. <i>BOILER</i>	14
2.3. KLASIFIKASI <i>BOILER</i>	15
2.3.1. Klasifikasi <i>Boiler</i> Berdasarkan Tipe Pipa	15
2.3.2. Klasifikasi <i>Boiler</i> Berdasarkan Tekanan Kerja	18
2.3.3. Klasifikasi <i>Boiler</i> Berdasarkan Bahan Bakar	18
2.4. KOMPONEN-KOMPONEN UTAMA <i>BOILER</i>	19
2.4.1. <i>Burner</i>	19

2.4.2. <i>Economizer</i>	21
2.4.3. <i>Combustion Air Fan</i>	21
2.4.4. Cerobong Asap ( <i>Chimney</i> )	22
2.4.5. Panel ( <i>Switchboard</i> )	23
2.4.6. Jalur Udara Pembakaran ( <i>Combustion Air Duct</i> )	23
2.4.7. Ruang Bakar ( <i>Furnance</i> )	24
2.5. BAHAN BAKAR	25
2.5.1. Bahan Bakar Padat	25
2.5.2. Bahan Bakar Cair	26
2.5.3. Bahan Bakar Gas	26
2.6. PROSES PEMBAKARAN	27
2.7. EFISIENSI <i>BOILER</i>	29
2.7.1. Nilai Kalor	34
2.7.2. Kebutuhan Bahan Bakar Boiler	34
2.8. PERUBAHAN ENTALPI	35
<b>BAB III METODOLOGI</b>	<b>36</b>
3.1. DIAGRAM ALIR	36
3.1.1. Pengumpulan Data	37
3.1.2. Pengolahan Data	39
3.2. ALAT DAN BAHAN	40
3.2.1. Alat	40
3.2.2. Bahan	42
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>44</b>
4.1. HASIL	44
4.1.1. Pengumpulan Data	44



4.1.2. Pengolahan Data	45
4.1.3. Menghitung Efisiensi Boiler Berdasarkan Persentase Kehilangan Panas	49
4.1.4. Menghitung Kebutuhan Bahan Bakar Berdasarkan Efisiensi Boiler	49
4.2. PEMBAHASAN	51
4.2.1. Faktor Penyebab Efisiensi <i>Boiler</i> Menurun dan Kebutuhan Bahan Bakar Tinggi	51
4.2.2. Penyelesaian Penyebab Efisiensi Boiler Menurun	54
4.2.3. Menghitung Efisiensi Dan Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i> Setelah Dilakukan <i>Resetting Oil Regulator</i> Dan Penggantian Air Boiler	57
<b>BAB V PENUTUP</b>	<b>62</b>
5.1. KESIMPULAN	62
5.2. SARAN	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>67</b>



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Boiler Pipa Api ( <i>Fire Tube Boiler</i> )	16
Gambar 2. 2. Boiler Pipa Air ( <i>Water Tube Boiler</i> )	17
Gambar 2. 3. <i>Burner</i>	20
Gambar 2. 4. <i>Economizer</i>	21
Gambar 2. 5. <i>Combustion Air Fan</i>	21
Gambar 2. 6. Panel ( <i>Switchboard</i> )	23
Gambar 2. 7. Jalur Udara Pembakaran ( <i>Combustion Air Duct</i> )	23
Gambar 2. 8. Ruang Bakar ( <i>Furnance</i> )	24
Gambar 2. 9. Jenis Bahan Bakar Kayu, Batubara Dan Cangkang Sawit	25
Gambar 2. 10. Bahan Bakar Cair	26
Gambar 2. 11. Bahan Bakar Gas	27
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penulisan Penelitian	36
Gambar 3. 2. Diagram Alir Pengumpulan Data	38
Gambar 3. 3. Diagram Alir Pengolahan Data	39
Gambar 3. 4. <i>High Pressure Boiler</i>	41
Gambar 3. 5. <i>Thermo Gun</i>	42
Gambar 4. 1. Kebutuhan Bahan Bakar <i>Boiler</i> Berdasarkan Efisiensi Saat Ini	51
Gambar 4. 2. Efisiensi <i>Boiler</i> Dengan Persentase Oksigen Pada Gas Buang	52
Gambar 4. 3. Cara Mengubah Beban <i>Burner</i> ke Minimum	54
Gambar 4. 4. Servo Motor	55
Gambar 4. 5. <i>Oil Regulator</i>	55
Gambar 4. 6. <i>Combustion Analyzer</i>	56
Gambar 4. 7. Cara Meningkatkan <i>Load Boiler</i> Secara Manual	56
Gambar 4. 8. Persentase Kandungan Monoksida	57
Gambar 4. 9. Efisiensi <i>Boiler</i> Berdasarkan Persentase Kehilangan Panas Setelah <i>Resetting Oil Regular</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	60
Gambar 4. 10. Kebutuhan Bahan Bakar Berdasarkan Efisiensi <i>Boiler</i> Setelah <i>Resetting Oil Regulator</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	60

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	6
Tabel 3.1. <i>Spesifikasi High Pressure Boiler</i>	41
Tabel 3.2. <i>Spesifikasi Liquefied Natural Gas (Lng)</i>	42
Tabel 4.1. Data Yang Berhubungan Dengan <i>Boiler</i>	44
Tabel 4.2. Ultimate Analisis Bahan Bakar Hasil Perhitungan	46
Tabel 4.3. Perbandingan Ultimate Analisis Hasil Perhitungan Dengan Penelitian Terdahulu	46
Tabel 4.4. Kalori Bahan Bakar	47
Tabel 4.5. Persentase Kehilangan Panas Pada <i>Boiler</i>	48
Tabel 4.6. Entalpi Air Umpan Dan Uap	48
Tabel 4.7. Data Efisiensi <i>Boiler</i> Berdasarkan Persentase Kehilangan Panas	49
Tabel 4.8. Kebutuhan Bahan Bakar Berdasarkan Efisiensi Saat Ini	50
Tabel 4.9. Kebutuhan Bahan Bakar Berdasarkan Efisiensi Desain	50
Tabel 4.10. Kualitas Air <i>Boiler</i>	52
Tabel 4.11. Kualitas Air <i>Boiler</i> Hasil Pemeriksaan Laboratorium	53
Tabel 4.12. Kualitas Air <i>Boiler</i> Hasil Setelah Dilakukan Penggantian	57
Tabel 4.13. Data Setelah <i>Resetting Oil Regulator</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	57
Tabel 4.14. Persentase Kehilangan Panas Setelah <i>Resetting Oil Regulator</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	58
Tabel 4.15. Efisiensi <i>Boiler</i> Setelah <i>Resetting</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	59
Tabel 4.16. Kebutuhan Bahan Bakar Setelah <i>Resetting</i> Dan Penggantian Air <i>Boiler</i>	59

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
n	Jumlah atom dalam senyawa
Mr	Massa molekul relatif
Ar	Massa Atom relatif
EA	<i>Excess air</i> [%]
$\eta_b$	Efisiensi <i>boiler</i> [%]
$Q_{\text{steam}}$	Energi panas total yang diserap uap air [J]
Q	Debit uap air keluar <i>boiler</i> [kg/jam]
hu	Entalpi uap air keluar <i>boiler</i> [Kj/kg]
ha	Entalpi air masuk <i>boiler</i> [Kj/kg]
q	Debit kebutuhan bahan bakar [Nm <sup>3</sup> ]
GCV	<i>Gross calorific value</i> [Kcal/kg]
$Q_{\text{fuel}}$	Energi panas dari pembakaran bahan bakar [J]
m	Massa gas buang [kg/kg bahan bakar]
Cp	Panas spesifik gas buang [Kj/kg]
T <sub>f</sub>	Temperatur gas buang [°c]
T <sub>a</sub>	Temperatur luar gas buang
A	Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong [%]
JM	Massa dari penguapan 1 kg bahan bakar [kg]
AAS	Suplai udara [kg/kg bahan bakar]
e	Kelembaban mutlak [kg/m <sup>3</sup> ]
E	Massa jenis udara [kg/m <sup>3</sup> ]
HHV	Nilai kalor tertinggi [Kj/kg]
LHV	Nilai kalor terendah [Kj/kg]
m <sub>bb</sub>	Laju pemakaian bahan bakar [kg/jam]
m <sub>u</sub>	Kapasitas produksi uap [kg/jam]
ΔH	Perubahan entalpi
H <sub>p</sub>	Entalpi hasil reaksi
H <sub>r</sub>	Entalpi zat reaktan
Y	Nilai entalpi yang akan di cari [Kj/kg]

---

$y_0$	Nilai entalpi terendah [Kj/kg]
$y_1$	Nilai entalpi tertinggi [Kj/kg]
$x$	Nilai yang entalpinya akan dicari [ $^{\circ}$ C]
$x_1$	Nilai terendah dari nilai $x$ [ $^{\circ}$ C]
$x_2$	Nilai tertinggi dari nilai $x$ [ $^{\circ}$ C]

---



## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
LNG	<i>Liquid Natural Gas</i>
AFR	<i>Air Fuel Ratio</i>
Mr	Molekul relatif
Ar	Atom relatif
EA	<i>Excess Air</i>
GCV	<i>Gross Caloric Value</i>
HHV	<i>High Heating Value</i>
LHV	<i>Low Heating Value</i>

