

SKRIPSI

**ANALISIS EFISIENSI EKSERGI DAN
EXERGY DESTRUCTION PADA *COMBUSTOR*
DAN *HEAT EXCHANGER* BOILER PLTU**



Oleh :

Jireh Aditio Situmorang
NPM. 22036010043

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2026**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
ANALISIS EFISIENSI *EXERGY* DAN *EXERGY DESTRUCTION* PADA
***COMBUSTOR* DAN *HEAT EXCHANGER* BOILER PLTU**

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Studi Strata Satu dan
Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains,
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Oleh :
Nama : Jireh Aditio Situmorang
NPM : 22036010043
Konsentrasi : Konversi Energi

Telah diuji dalam Ujian Komprehensif Skripsi
Pada Hari 22 Juni 2026
Telah disahkan oleh:

Dosen Penguji 1


Dr. T.Ir. Luluk Edahwati, MT
NIP. 196406111992032001

Dosen Pembimbing


Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.
NIP. 19940428 202203 2 011

Dosen Penguji 2


Tria Puspita Sari, ST., M.S.
NIP. 199403112025062005

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Teknik Mesin


Dr. T.Ir. Luluk Edahwati, M.T.
NIP. 196406111992032001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Jawa Timur


Prof. Dr. Dra. Jarivah, M.P.
NIP. 196504031991032001

LEMBAR BEBAS REVISI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Jalan Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya 60294 Telp. 031-8782179
Email: teknikmesin@upnjatim.ac.id, Laman : http://tekmesin.upnjatim.ac.id/

KETERANGAN BEBAS REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Jireh Aditio Situmorang
NPM : 22036010043
Program Studi : Teknik Mesin
Tanggal Sidang Seminar Hasil : 22 Juni 2026

Telah mengerjakan revisi SKRIPSI /TUGAS AKHIR Ujian Lisan Periode IV, TA 2025/2026

Dengan judul : Analisis Efisiensi Eksergi dan *Exergy Destruction* Pada *Combustor* dan *Heat Exchanger* Boiler PLTU.

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi:

1. Dr. T.Ir. Luluk Edahwati, MT
NIP. 196406111992032001
2. Tria Puspa Sari, ST., M.S.
NIP. 199403112025062005

()
()

Surabaya,

Menyetujui,

Dosen Pembimbing

()

Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.
NIP. 19940428 202203 2 011

Catatan: *) coret yang tidak perlu

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jireh Aditio Situmorang

NPM : 22036010043

Program : Sarjana (S1)

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik dan Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik disuatu lembaga pendidikan tinggi dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain., kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur plagiasi. Apa bila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat di Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Surabaya, 07 Juli 2026
Yang membuat pernyataan



Jireh Aditio Situmorang
NPM.22036010043

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Efisiensi *Exergy* Dan *Exergy destruction* Pada *Combustor* dan *Heat exchanger* Boiler Pltu” dengan baik dan tepat waktu.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing penulis serta memberi motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T dan Tria Puspa Sari, ST., M.S. selaku dosen penguji yang memberi saran dan kritik terhadap penelitian ini.
5. Kepada orang tua saya dan kakak saya jerni, kiki dan gombo yang selalu memberi dukungan doa dan juga materi.
6. Dan seluruh pihak yang tidak bisa penyusun sebutkan satu persatu, yang selalu memberikan kontribusi kepada penyusun selama melaksanakan

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan karya ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi para pembaca khususnya bagi penulis sendiri. Sebagai penutup penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

ABSTRAK

Boiler pada PLTU berperan penting dalam mengubah energi kimia bahan bakar menjadi eksergi yang bisa dimanfaatkan namun proses pembakaran dan perpindahan panas di dalamnya menimbulkan kehilangan eksergi. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi eksergi dan *exergy destruction* pada komponen *Combustor* dan *Heat exchanger* boiler pada variasi beban 325 MW, 450 MW dan 650 MW. Analisis dilakukan menggunakan data operasi sebanyak lima sampel pada setiap beban dengan pendekatan Hukum II Termodinamika. Parameter yang digunakan meliputi LHV bahan bakar sebesar 21.437 kJ/kg serta kondisi lingkungan 303,15 K dan 1,013 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata rata efisiensi eksergi *Combustor* meningkat dari 55,72% pada beban 325 MW menjadi 57,40% pada 450 MW dan 61,73% pada 650 MW. Efisiensi eksergi *Heat exchanger* juga meningkat dari 64,60%, 65,07%, hingga 71,59%. Nilai rata-rata *exergy destruction* terbesar terjadi pada *Combustor*, yaitu 441,52 MW, 555,02 MW, dan 680,42 MW, sedangkan pada *Heat exchanger* sebesar 155,87 MW, 198,66 MW, dan 232,05 MW. Dengan demikian peningkatan beban operasi meningkatkan efisiensi pemanfaatan eksergi tetapi juga memperbesar destruksi eksergi absolut. Komponen *Combustor* menjadi area utama yang perlu dioptimalkan karena memiliki kehilangan eksergi paling dominan.

Kata kunci: Boiler, *Combustor*, *Heat exchanger*, Efisiensi Eksergi, *Exergy destruction*.

ABSTRACT

Boilers in coal-fired power plants (PLTU) play an important role in converting the chemical energy of fuel into useful exergy; however, combustion and heat transfer processes inside the boiler cause exergy losses. This study analyzes the exergy efficiency and exergy destruction of the Combustor and Heat exchanger components under load variations of 325 MW, 450 MW, and 650 MW using five samples of actual operating data for each load and applying the Second Law of Thermodynamics. The parameters used include a fuel LHV of 21,437 kJ/kg, an exergy factor of 1.04, and environmental conditions of 303.15 K and 1.013 bar. The results show that the average exergy efficiency of the Combustor increased from 55.72% at 325 MW to 57.40% at 450 MW and 61.73% at 650 MW, while the Heat exchanger efficiency increased from 64.60% to 65.07% and 71.59%. The highest average exergy destruction occurred in the Combustor, at 441.52 MW, 555.02 MW, and 680.42 MW, while the Heat exchanger recorded 155.87 MW, 198.66 MW, and 232.05 MW, respectively. Therefore, increasing the operating load improves exergy utilization efficiency but also increases absolute exergy destruction, with the Combustor identified as the main component requiring optimization due to its dominant exergy losses.

Keywords: *Boiler, Combustor, Heat exchanger, exergy efficiency, exergy destruction.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	2
LEMBAR BEBAS REVISI.....	3
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	4
KATA PENGANTAR	5
ABSTRAK.....	6
ABSTRACT.....	7
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR GAMBAR	10
DAFTAR TABEL	11
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Efisiensi Energi Dan Eksergi Boiler	5
2.2 <i>Exergy destruction</i> Boiler	8
2.3 Komponen Utama Boiler	11
2.3.1 <i>Combustor</i> Boiler.....	12
2.3.1 <i>Heat exchanger</i> Boiler	13
2.4 Prinsip Kerja Boiler	14
2.5 Jenis Boiler PLTU.....	16
2.5.1 <i>Fire tube</i> Boiler.....	16
2.5.2 <i>Water Tube</i> Boiler	16
2.6 Siklus <i>Rankine</i>	17
2.7 Landasan Teori.....	18
2.7.1 Efisiensi Eksergi <i>Combustor</i>	18
2.7.2 Efisiensi Eksergi <i>Heat exchanger</i>	19
2.7.3 <i>Exergy destruction Combustor</i>	20

2.7.4	<i>Exergy destruction Heat exchanger</i>	21
2.8	Hipotesis	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.2	Diagram Alir	24
3.3	Variabel Penelitian	25
3.3.1	Variabel Bebas.....	25
3.3.2	Variabel Terikat.....	25
3.3.3	Variabel Terkontrol	26
3.4	Alat Dan Bahan Penelitian.....	26
3.4.1	Alat Penelitian.....	26
3.4.2	Bahan Penelitian	30
3.5	Metode Pengambilan Data	30
3.6	Skema Pengambilan Data	31
3.7	Metode Pengolahan Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Efisiensi Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i>	34
4.2	<i>Exergy destruction Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i>	36
4.3	Analisis Aliran Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> Pada Variasi beban	37
4.3.1	Aliran Eksergi Pada Beban 325 MW.....	37
4.3.2	Aliran Eksergi Pada Beban 450 MW.....	39
4.3.3	Aliran Eksergi Pada Beban 650 MW.....	40
4.4	Perbandingan Alran <i>Exergy</i> Pada Komponen <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> ..	41
4.4.1	Perbandingan Pada Beban Operasi 325 MW.....	41
4.4.2	Perbandingan Pada Beban Operasi 450 MW.....	42
4.4.3	Perbandingan Pada Beban Operasi 650 MW.....	43
4.5	Implikasi Penelitian Terhadap Kinerja Operasi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i>	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN.....		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Efisiensi Energi dan Eksergi Pada Boiler PLTU	5
Gambar 2. 2 Grafik Efisiensi Eksergi Boiler	6
Gambar 2. 3 Laju <i>Exergy destruction</i>	8
Gambar 2. 4 Diagram <i>Exergy destruction</i> pada komponen	9
Gambar 2. 5 Skema Diagram <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> Pada Boiler	11
Gambar 2. 6 Efisiensi Eksergi <i>Combustor</i>	12
Gambar 2. 7 Efisiensi <i>Heat exchanger</i> Boiler	13
Gambar 2. 8 Prinsip Kerja Boiler	15
Gambar 2. 9 Diagram T – s Siklus <i>Rankine</i>	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir	24
Gambar 3. 2 Boiler PLTU.....	27
Gambar 3. 3 Thermocouple.....	28
Gambar 3. 4 Pressure Transmitter (Strain Gauge / Piezoresistive)	29
Gambar 3. 5 Flowmeter	29
Gambar 3. 6 Skema Pengambilan Data	31
Gambar 3. 7 Titik Pengambilan Data.....	32
Gambar 4. 1 Grafik Efisiensi Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i>	34
Gambar 4. 2 Grafik <i>Exergy destruction Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i>	36
Gambar 4. 3 Diagram Aliran Eksergi Pada Beban 325 MW	38
Gambar 4. 4 Diagram Aliran Eksergi Pada Beban 450 MW	39
Gambar 4. 5 Diagram Aliran Eksergi Pada Beban 650 MW	40
Gambar 4. 6 Aliran Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> Beban 325 MW	41
Gambar 4. 7 Aliran Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> Beban 450 MW	42
Gambar 4. 8 Aliran Eksergi <i>Combustor</i> dan <i>Heat exchanger</i> Beban 650 MW	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu Efisiensi Energi dan Eksergi	7
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Eksergi <i>Destruction</i>	10
Tabel 3. 1 Bahan Bakar	26
Tabel 3. 2 Spesifikasi Boiler PT.XYZ	27
Tabel 3. 3 Komposisi Batubara	30
Tabel 3. 4 Tabel Pengambilan Data.....	31
Tabel Lampiran 1. Lampiran Data <i>Flue gas</i> in	50
Tabel Lampiran 2. Data <i>Flue gas</i> out.....	51
Tabel Lampiran 3. Data <i>Feedwater</i>	52
Tabel Lampiran 4. Data <i>Steam</i>	53
Tabel Lampiran 5. Perhitungan Efisiensi Eksergi Beban Operasi 325 MW	57
Tabel Lampiran 6. Perhitungan Efisiensi Eksergi Beban Operasi 450 MW	57
Tabel Lampiran 7. Perhitungan Efisiensi Eksergi Beban Operasi 650 MW	58
Tabel Lampiran 8. Perhitungan <i>Exergy destruction</i> Beban Operasi 325 MW	59
Tabel Lampiran 9. Perhitungan <i>Exergy destruction</i> Beban Operasi 450 MW	59
Tabel Lampiran 10. Perhitungan <i>Exergy destruction</i> Beban Operasi 650 MW	60