

SKRIPSI

**ANALISIS EFISIENSI ENERGI, EFISIENSI
EKSERGI, DAN LAJU KERUSAKAN
EKSERGI PADA KOMPONEN UTAMA
PLTU PRA DAN PASCA *OVERHAUL***



Oleh:

Agus DwiYanto
NPM. 21036010054

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK & SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2025**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
ANALISIS EFISIENSI ENERGI, EFISIENSI EKSERGI, DAN LAJU
KERUSAKAN EKSERGI PADA KOMPONEN UTAMA PLTU PRA DAN
PASCA OVERHAUL

Skrripsi 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 : Agus DwiYanto

Npm : 21036010054

Konsentrasi : Konversi Energi

Telah Diuji Dalam Ujian Komprehensif Skripsi
Hari/Tanggal: Kamis, 11 September 2025

Telah Disahkan Oleh:

Tim Penguji:

1.



Tria Puspa Sari, S.T., M.S.
NIP. 199403112025062005

2.



Ndaru Adyono, S.Si., M.T.
NIP. 199001252024061001

Dosen Pembimbing



Wilhandi Saputro, S.T., M.Eng.
NIP. 19940726 202406 1 002

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT
NIP. 19640611 199203 2 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik & Sains

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur



Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP
NIP. 19650403 199103 2 001



KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Agus DwiYanto

NPM : 21036010054

Program Studi : ~~Teknik Kimia / Teknik Industri / Teknologi Pangan /~~
~~Teknik Lingkungan / Teknik Sipil / Teknik Mesin~~

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi~~ *) ~~PRA RENCANA (DESAIN) / SEMINAR~~
~~PROPOSAL~~ / SKRIPSI / TUGASAKHIR Ujian Lisan Periode IV, TA 2024/2025.

Dengan judul : ANALISIS EFISIENSI ENERGI, EFISIENSI EKSERGI DAN LAJU
KERUSAKAN EKSERGI PADA KOMPONEN UTAMA PLTU PRA
DAN PASCA OVERHAUL

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi

1. Tria Puspa Sari, S.T., M.S.

2. Ndaru Adyono, S.Si., M.T.

Surabaya, 15 September 2025

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng.
NIP. 199407262024061002

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agus DwiYanto

NPM : 21036010054

Fakultas/Program Studi : Fakultas Teknik & Sains / Teknik Mesin

Judul Skripsi/Tugas akhir : Analisis Efisiensi Energi, Efisiensi Eksergi dan Laju Kerusakan Eksergi pada Komponen Utama PLTU Pra dan Pasca Overhaul.

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Hasil karya saya ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan mencantumkan dalam daftar Pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Surabaya, 15 September 2025

Yang menyatakan,



Agus DwiYanto

NPM. 21036010054

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi dapat diselesaikan dengan baik. Dalam proses penyusunan skripsi ini, kami mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan untuk terselesaikannya skripsi ini. Adapun pihak-pihak yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang sudah memberikan ilmu, motivasi, serta koreksi dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir.
4. Tria Puspa Sari, S.T., M.S. selaku dosen penguji 1 yang telah bersedia untuk memberikan saran atau masukan dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir.
5. Ndaru Adyono, S.Si., M.T. selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia untuk memberikan saran atau masukan dalam penulisan dan pengerjaan tugas akhir.
6. Kedua Orang tua yang sudah memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis baik secara moral dan materi serta doa yang telah dipanjatkan.
7. Semua teman – teman dekat dan angkatan Teknik Mesin UPN “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan dukungan selama ini.

Penulis menyadari proposoal skripsi ini belum dikatakan sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan dengan sangat terbuka untuk kritik dan saran dari pembaca sekalian. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Surabaya, 15 Desember 2024

Agus DwiYanto

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR BEBAS REVISI	iii
SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRAC	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Efisiensi Energi dan Eksergi	6
2.2 Laju Kerusakan Energi.....	10
2.3 Landasan Teori.....	14
2.3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	14
2.3.2 Analisis Termodinamika	15
2.3.3 Siklus Rankine	18
2.3.4 Siklus Rankine Ideal	19

2.3.5	Siklus Rankine <i>Subcritical</i>	20
2.3.6	Siklus Rankine <i>Supercritical</i>	21
2.3.7	Boiler.....	22
2.3.8	Turbin Uap	27
2.3.9	Kondensor	29
2.3.10	Pompa.....	30
2.3.11	Deaerator.....	34
2.3.12	Energi	35
2.3.13	Analisis Energi.....	36
2.3.14	Eksergi.....	38
2.3.15	Analisis Eksergi	38
2.3.16	Laju Kerusakan Eksergi	41
2.3.17	Efisiensi Eksergi.....	43
2.3.18	<i>Overhaul and Maintenance</i>	45
2.4	Hipotesa.....	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		47
3.1	Diagram Alir Penelitian	47
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	48
3.3	Skema Penelitian.....	48
3.3.1	Alat.....	49
3.3.2	Bahan.....	51
3.4	Kondisi Eksperimen	51
3.4.1	Variabel Bebas	52
3.4.2	Variabel Terikat	52
3.4.3	Variabel Terkontrol.....	52

3.5	Metode Pengambilan Data	53
3.5.1	Persiapan dan <i>Set Up</i> Alat.....	53
3.5.2	Pengambilan Data	53
3.6	Metode Pengolahan Data	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1	Hasil Analisis Efisiensi Energi	54
4.1.1	Boiler.....	56
4.1.2	Turbin.....	57
4.1.3	Kondensor	61
4.1.4	<i>Condensate Pump</i> (CP).....	62
4.1.5	<i>Boiler Feed Pump Turbine</i> (BFPT).....	63
4.1.6	Deaerator.....	65
4.2	Hasil Analisa Efisiensi Eksergi.....	66
4.2.1	Boiler.....	68
4.2.2	Turbin.....	70
4.2.3	Kondensor	73
4.2.4	<i>Condensate Pump</i> (CP).....	75
4.2.5	BFPT	76
4.2.6	Deaerator.....	77
4.3	Laju Kerusakan Eksergi	79
4.3.1	Boiler.....	82
4.3.2	Turbin.....	83
4.3.3	Kondensor	86
4.3.4	<i>Condensor Pump</i> (CP)	88
4.3.5	Deaerator.....	89

4.3.6	<i>Boiler Feed Pump Turbine (BFPT)</i>	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN.....		98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil Efisiensi Energi dan Eksergi.....	7
Gambar 2.2 Hasil Kerusakan Eksergi.....	8
Gambar 2.3 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi.....	9
Gambar 2.4 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi	9
Gambar 2.5 Grafik Hasil Efisiensi Energi dan Eksergi	11
Gambar 2.6 Grafik Hasil Kerusakan Eksergi.....	11
Gambar 2.7 Grafik Hasil Penelitian	12
Gambar 2.8 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	15
Gambar 2.9 Skema Siklus Rankine Ideal.....	19
Gambar 2.10 Diagram T-S Siklus Rankine Ideal.....	19
Gambar 2.11 Skema dan Diagram T-S Siklus Rankine <i>Subcritical</i>	20
Gambar 2.12 Diagram T-s Siklus Rankine <i>Supercritical</i>	21
Gambar 2.13 <i>Boiler</i> Pipa Api.....	23
Gambar 2.14 <i>Boiler</i> Pipa Air	24
Gambar 2.15 <i>Boiler Stocker Fired Combustion</i>	25
Gambar 2.16 <i>Boiler Circulating Fluidized Bed Combustion (CFB)</i>	26
Gambar 2.17 <i>Boiler Pulverized Coal Fired</i>	27
Gambar 2.18 Skema <i>Reciprocating Pump</i>	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	48
Gambar 3.2 Skema Penelitian	46
Gambar 4.1 (a) Efisiensi Energi pada Pembebanan 25%; (b) Efisiensi Energi pada Pembebanan 50%; (c) Efisiensi Energi pada Pembebanan 75%; (d) Efisiensi Energi pada Pembebanan 100%.....	55
Gambar 4.2 Hasil Grafik Efisiensi Energi Pra dan Pasca Overhaul terhadap Pembebanan	55
Gambar 4.3 Efisiensi Energi pada Boiler terhadap Pembebanan	56
Gambar 4.4 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada HP Turbin terhadap Pembebanan	58
Gambar 4.5 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada IP Turbin terhadap Pembebanan	59

Gambar 4.6 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada LP Turbin terhadap Pembebanan	59
Gambar 4.7 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada Kondensor terhadap Pembebanan	61
Gambar 4.8 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada CP terhadap Pembebanan.....	62
Gambar 4.9 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada BFPT terhadap Pembebanan	64
Gambar 4.10 Grafik Hasil Efisiensi Energi pada Deaerator terhadap Pembebanan	65
Gambar 4. 11 (a) Efisiensi Eksergi pada Pembebanan 25%; (b) Efisiensi Eksergi pada Pembebanan 50%; (c) Efisiensi Eksergi pada Pembebanan 75%; (d) Efisiensi Eksergi pada Pembebanan 100%	67
Gambar 4.12 Hasil Grafik Efisiensi Eksergi Pra dan Pasca Overhaul terhadap Pembebanan	68
Gambar 4.13 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada Boiler terhadap Pembebanan .	69
Gambar 4.14 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada HP Turbin terhadap Pembebanan	70
Gambar 4.15 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada IP Turbin terhadap Pembebanan	71
Gambar 4.16 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada LP Turbin terhadap Pembebanan	72
Gambar 4.17 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada Kondensor terhadap Pembebanan	74
Gambar 4.18 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada Condensate Pump terhadap Pembebanan	75
Gambar 4.19 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada BFPT terhadap Pembebanan .	76
Gambar 4.20 Grafik Hasil Efisiensi Eksergi pada Deaerator terhadap Pembebanan	78
Gambar 4. 21 (a) Laju Kerusakan Eksergi pada Pembebanan 25%; (b) Laju Kerusakan Eksergi pada Pembebanan 50%; Laju Kerusakan Eksergi pada Pembebanan 75%; (d) Laju Kerusakan Eksergi pada Pembebanan 100%	80

Gambar 4.22 Hasil Laju Kerusakan Eksergi Pra dan Pasca Overhaul terhadap Pembebanan	81
Gambar 4.23 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada Boiler terhadap Pembebanan	82
Gambar 4.24 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada HP Turbin terhadap Pembebanan	84
Gambar 4.25 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada IP Turbin terhadap Pembebanan	84
Gambar 4.26 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada LP Turbin terhadap Pembebanan	85
Gambar 4.27 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada Kondensor terhadap Pembebanan	87
Gambar 4.28 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada Condensate Pump terhadap Pembebanan.....	88
Gambar 4.29 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada Deaerator terhadap Pembebanan	90
Gambar 4.30 Grafik Hasil Laju Kerusakan Eksergi pada BFPT terhadap Pembebanan	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kerusakan Eksergi Pada Setiap Komponen.....	13
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Boiler</i>	49
Tabel 3.2 Spesifikasi Kondensor	49
Tabel 3.3 Spesifikasi Turbin uap	50
Tabel 3.4 Spesifikasi Termometer	50
Tabel 3.5 Spesifikasi Batu Bara	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan <i>Boiler</i>	98
Lampiran 2. Hasil Perhitungan HP Turbin	99
Lampiran 3. Hasil Perhitungan IP Turbin	99
Lampiran 4. Hasil Perhitungan LP Turbin	99
Lampiran 5. Hasil Perhitungan Kondensor	99
Lampiran 6. Hasil Perhitungan <i>Condensate Pump</i>	100
Lampiran 7. Hasil Perhitungan BFPT	100
Lampiran 8. Hasil Perhitungan Deaerator	100
Lampiran 9. Pengambilan Data Pra <i>Overhaul</i> Pembebanan 25%	100
Lampiran 10. Pengambilan Data Pra <i>Overhaul</i> Pembebanan 50%	101
Lampiran 11. Pengambilan Data Pra <i>Overhaul</i> Pembebanan 75%	102
Lampiran 12. Pengambilan Data Pra <i>Overhaul</i> Pembebanan 100%	103
Lampiran 13. Pengambilan Data Pasca <i>Overhaul</i> Pembebanan 25%	104
Lampiran 14. Pengambilan Data Pasca <i>Overhaul</i> Pembebanan 50%	104
Lampiran 15. Pengambilan Data Pasca <i>Overhaul</i> Pembebanan 75%	105
Lampiran 16. Pengambilan Data Pasca <i>Overhaul</i> Pembebanan 100%	106
Lampiran 17. Tabel Termodinamika <i>Saturated Water-temperature</i>	107
Lampiran 18. Tabel Termodinamika <i>Saturated Water-temperature</i> lanjutan	108
Lampiran 19. Tabel Termodinamika <i>Saturated Water-pressure</i>	108
Lampiran 20. Tabel Termodinamika <i>Saturated Water-pressure</i> lanjutan	109
Lampiran 21. Tabel Termodinamika <i>Superheated Water</i>	109
Lampiran 22. Tabel Termodinamika <i>Superheated Water</i> lanjutan	110
Lampiran 23. Tabel Termodinamika <i>Superheated Water</i> lanjutan	110
Lampiran 24. Tabel Termodinamika <i>Superheated Water</i> lanjutan	111
Lampiran 25. Biodata Mahasiswa	112

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi, efisiensi eksergi, serta laju kerusakan eksergi pada komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebelum dan sesudah *overhaul*. Fokus penelitian diarahkan pada *boiler*, turbin (HP, IP, dan LP), kondensor, *condensate pump* (CP), *boiler feed pump turbine* (BFPT), dan deaerator. Metode penelitian dilakukan melalui pengambilan data operasional aktual dari *Central Control Room* (CCR) PLTU pada berbagai tingkat pembebanan (25%, 50%, 75%, dan 100%). Data tekanan, temperatur, serta laju aliran massa dianalisis menggunakan pendekatan energi (berdasarkan Hukum I Termodinamika) dan eksergi (berdasarkan Hukum II Termodinamika) untuk memperoleh nilai efisiensi energi, efisiensi eksergi, dan laju kerusakan eksergi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh komponen utama PLTU mengalami peningkatan efisiensi energi dan efisiensi eksergi setelah *overhaul*, disertai penurunan laju kerusakan eksergi. Peningkatan efisiensi lebih signifikan pada beban parsial (25–50%), sedangkan pada beban penuh perbaikan relatif lebih kecil karena komponen beroperasi mendekati titik desain. *Boiler* tercatat sebagai komponen dengan kerugian energi dan eksergi terbesar. Kesimpulannya, *overhaul* terbukti efektif dalam memulihkan kinerja termodinamika komponen utama PLTU, meningkatkan efisiensi konversi energi, serta mengurangi irreversibilitas, sehingga mendukung penghematan bahan bakar dan keandalan operasi jangka panjang.

Kata kunci: Efisiensi energi, Efisiensi eksergi, Laju kerusakan eksergi, *Overhaul*, PLTU

ABSTRAC

This study aims to analyze energy efficiency, exergy efficiency, and exergy loss rates in the main components of a steam power plant (PLTU) before and after overhaul. The focus of the research is on the boiler, turbines (HP, IP, and LP), condenser, condensate pump (CP), boiler feed pump turbine (BFPT), and deaerator. The research method involves collecting actual operational data from the PLTU Central Control Room (CCR) of the PLTU at various load levels (25%, 50%, 75%, and 100%). Pressure, temperature, and mass flow rate data were analyzed using the energy approach (based on the First Law of Thermodynamics) and exergy (based on the Second Law of Thermodynamics) to obtain energy efficiency, exergy efficiency, and exergy loss rate values. The results showed that all main components of the power plant experienced an increase in energy efficiency and exergy efficiency after overhaul, accompanied by a decrease in the exergy loss rate. The increase in efficiency was more significant at partial load (25–50%), while at full load the improvement was relatively smaller because the components operated close to their design point. The boiler and turbine were recorded as the components with the greatest energy and exergy losses. In conclusion, overhauling proved effective in restoring the thermodynamic performance of the main components of the coal-fired power plant, increasing energy conversion efficiency, and reducing irreversibility, there by supporting fuel savings and long-term operational reliability.

Keywords: Energy efficiency, Exergy efficiency, Exergy degradation rate, Overhaul, PLTU