

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI BAHAN BAKAR
BIOMASSA *SAWDUST* DAN BATU BARA
TERHADAP EFISIENSI TURBIN *MULTISTAGE*
660 MW PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
UAP**



Oleh :

Mokh Ausin Al Qoroni
21036010028

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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS VARIASI BAHAN BAKAR BIOMASSA SAWDUST DAN BATU BARA
TERHADAP EFISIENSI TURBIN MULTISTAGE 660 MW PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA UAP

Disusun oleh:

MOKH AUSIN AL QORONI

NPM. 21036010028

Telah diuji, dipertahankan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Pada Hari Selasa, 10 Maret 2026

Dosen Penguji 1

Dosen Pembimbing

Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.
NIP. 199301202024061001

Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.
NIP. 199404282022032011

Dosen Penguji 2

Koordinator Program Studi Teknik Mesin

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

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

Mengatahui,
Dekan Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP
NIP. 196504031991032001



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA
TIMURFAKULTAS TEKNIK DAN SAINS**

KETERANGAN REVISI

Mahasiswa di bawah ini:

Nama : Mokh Ausin Al Qoroni

NPM : 21036010028

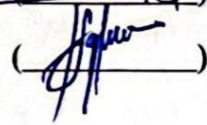
Program Studi : ~~Teknik Kimia / Teknik Industri / Teknologi Pangan /
Teknik Lingkungan / Teknik Sipil / Teknik Mesin~~

Telah mengerjakan revisi / ~~tidak ada revisi *~~ ~~PRA-RENCANA (DESAIN) / SEMINAR
PROPOSAL / SKRIPSI / TUGASAKHIR~~ Ujian Lisan Periode I, TA .2025/2026.

Dengan judul : ANALISIS VARIASI BAHAN BAKAR BIOMASSA SAWDUST DAN
BATU BARA TERHADAP EFISIENSI TURBIN MULTISTAGE 660
MW PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Dosen Penguji yang memerintahkan revisi

1. Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc. 

2. Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng 

07/05/2026

Surabaya, 30 April 2026

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc
NIP. 199404282022032011

Catatan: *) coret yang tidak perlu

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mokh Ausin Al Qoroni
NPM : 21036010028
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik & Sains

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu 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-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada 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, 20 Mei 2026

Yang Membuat Pernyataan



Mokh Ausin Al Qoroni
21036010028

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan lancar. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa cahaya terang bagi seluruh umat manusia yang mau berpikir. Pelaksanaan dan penyusunan proposal skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Dra Jariyah, MP selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains UPN “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu Radissa Dzaky Issafira S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan, ilmu, arahan dan bimbingan dalam pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Wiliandi Saputro, S.T., M.Eng. selaku dosen wali dan dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan.
5. Bapak Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan.
6. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan, membantu dan memberikan motivasi dalam menempuh pendidikan.
7. Teman-teman seluruh angkatan Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini belumlah dikatakan sempurna. Untuk itu, penulis dengan sangat terbuka menerima kritik dan saran dari pembaca sekalian. Semoga proposal skripsi ini bermanfaat untuk kita semua.

Surabaya, 12 Desember 2025

Mokh Ausin Al Qoroni

ABSTRAK

Pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif merupakan salah satu pendekatan yang diterapkan untuk mendukung transisi energi serta menurunkan emisi gas rumah kaca pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Perbedaan karakteristik antara biomassa dan batu bara berpotensi memengaruhi kinerja pembangkit, terutama pada turbin uap. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi campuran bahan bakar biomassa *sawdust* dan batu bara terhadap performa turbin uap *multistage* pada PLTU berkapasitas 660 MW. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data operasional pembangkit, yang mencakup laju aliran massa uap, tekanan, temperatur, Enthalpi, serta parameter kinerja turbin. Variasi komposisi biomassa dianalisis terhadap daya keluaran turbin, efisiensi isentropik, *turbine heat rate* (THR), efisiensi termal turbin, serta emisi gas buang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi biomassa *sawdust* cenderung menurunkan laju aliran, tekanan dan temperatur uap utama, yang berdampak pada penurunan daya keluaran dan efisiensi turbin. Selain itu, nilai *turbine heat rate* (THR) mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya fraksi biomassa, yang mengindikasikan terjadinya penurunan kinerja termal turbin. Di sisi lain, peningkatan pemanfaatan biomassa memberikan dampak positif terhadap aspek lingkungan, yang ditunjukkan oleh penurunan emisi gas buang (SO_2 , NO_x , CO_2 , dan PM). Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa *sawdust* pada proporsi tertentu berpotensi menurunkan emisi gas buang, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

Kata Kunci: biomassa *sawdust*, batu bara, turbin uap *multistage*, efisiensi turbin

ABSTRACT

The utilization of biomass as an alternative fuel represents one of the approaches implemented to support the energy transition and reduce greenhouse gas emissions in Steam Power Plants (PLTU). Differences in the characteristics of biomass and coal may affect plant performance, particularly the steam turbine. This study aims to examine the effect of variations in the fuel mixture of sawdust biomass and coal on the performance of a multistage steam turbine in a 660 MW PLTU. The research method employed a quantitative approach using operational plant data, including steam mass flow rate, pressure, temperature, enthalpy, and turbine performance parameters. Variations in biomass composition were analyzed with respect to turbine power output, isentropic efficiency, turbine heat rate (THR), thermal efficiency, and exhaust gas emissions. The results indicate that an increase in the proportion of sawdust biomass tends to reduce the main steam flow rate, pressure, and temperature, which consequently leads to a decrease in turbine power output and efficiency. Furthermore, the turbine heat rate (THR) increases with a higher biomass fraction, indicating a decline in the turbine's thermal performance. On the other hand, the increased utilization of biomass demonstrates positive environmental impacts, as reflected by the reduction of exhaust emissions (SO₂, NO_x, CO₂, and PM). These findings suggest that the application of sawdust biomass at certain proportions has the potential to reduce emissions and may therefore be considered a more environmentally friendly alternative fuel.

Keywords: sawdust biomass, coal, multistage steam turbine, turbine efficiency.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR BEBAS REVISI.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	7
2.1.2 Siklus <i>Rankine</i>	8
2.1.2.1 Siklus <i>Rankine</i> Ideal	8
2.1.2.2 Siklus <i>Rankine</i> Aktual	10
2.1.2.3 Siklus <i>Rankine</i> dengan Pemanasan Ulang Teoritis dan Aktual	10
2.1.3 <i>Co-Firing</i>	12
2.1.4 Biomassa.....	14
2.1.4.1 Biomassa <i>Sawdust</i>	15

2.1.5 Batu Bara	17
2.1.5.1 Jenis-Jenis Batu bara.....	18
2.1.5.2 Klasifikasi Batu bara.....	19
2.1.6 <i>Boiler</i>	21
2.1.7 Pengertian Turbin Uap	22
2.1.8 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	23
2.1.9 Turbin Uap <i>Multi-stage</i>	25
2.1.10 Komponen Turbin Uap	26
2.1.11 Efisiensi Turbin.....	27
2.1.12 Daya Turbin	31
2.1.13 <i>Turbine Heat Rate</i>	32
2.1.14 Efisiensi Termal Turbin	33
2.1.15 Interpolasi	33
2.1.16 Emisi Gas Buang	34
2.1.16.1 Karbon Dioksida (CO ₂)	34
2.1.16.2 Sulfur Oksida (SO ₂).....	35
2.1.16.3 Nitrogen Oksida (NO _x)	35
2.1.16.4 <i>Particulate Matter</i> (PM).....	35
2.1.17 Baku Mutu Emisi Gas Buang	36
2.1.18 Hipotesis	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Tempat/Lokasi Penelitian	37
3.2 Waktu Penelitian	37
3.3 Variabel Penelitian	37
3.3.1 Variabel bebas	37
3.3.2 Variabel Terikat.....	37
3.3.3 Variabel Terkontrol	38

3.4 Diagram Alir	38
3.5 Tahapan Penelitian	39
3.6 Alat dan Bahan.....	40
3.6.1 Alat.....	40
3.6.2 Bahan	44
3.7 Skema Penelitian	46
3.10 Prosedur Penelitian.....	48
3.11 Tabel Appendix Termodinamika	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Pengaruh Biomassa Terhadap Uap Utama.....	49
4.2 Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Turbin	51
4.3 Pengaruh Biomassa Terhadap Daya <i>Output</i>	54
4.4 Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Termal Turbin & <i>Turbine Heat rate</i> .54	
4.5 Pengaruh Biomassa Terhadap Emisi SO ₂ , NO _x , CO ₂ , dan PM.....	57
4.5.1 Emisi SO ₂ Terkoreksi.....	58
4.5.2 Emisi NO _x Terkoreksi.....	60
4.5.3 Emisi CO ₂	61
4.5.4 Emisi PM ₁₀	61
4.6 Analisis Data Kualitas Emisi Gas Buang Berdasarkan Baku Mutu.....	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen PLTU	7
Gambar 2.2 Siklus umum PLTU	7
Gambar 2.3 Diagram T – S siklus <i>rankine</i> ideal	9
Gambar 2.4 Diagram alir siklus <i>rankine</i>	9
Gambar 2.5 Siklus <i>rankine</i> aktual	10
Gambar 2.6 Siklus <i>rankine</i> dengan pemanasan ulang teoritis.....	11
Gambar 2.7 Siklus <i>rankine</i> dengan pemanasan ulang aktual	11
Gambar 2.8 Metode <i>Co-firing</i> batu bara dengan biomasa.....	12
Gambar 2.9 <i>Direct Co-firing</i>	13
Gambar 2.10 <i>In-direct Co-firing</i>	13
Gambar 2.11 <i>Parallel Co-firing</i>	14
Gambar 2.12 Biomassa <i>sawdust</i> (serbuk gergaji)	16
Gambar 2.13 Batu bara.....	18
Gambar 2.14 Jenis-jenis batu bara, a) peat, b) lignit,	18
Gambar 2.15 <i>Boiler</i>	21
Gambar 2.16 Turbin uap PLTU	23
Gambar 2.17 Prinsip kerja turbin uap.....	24
Gambar 2. 18 <i>Multi-stage</i>	25
Gambar 2.19 Komponen turbin uap	26
Gambar 2.20 Diagram mollier (perbandingan antara ekspansi turbin aktual dan ideal).....	28
Gambar 2.21 Diagram mollier untuk ekspansi turbin	30
Gambar 3.1 Diagram alir	38
Gambar 3.2 Laptop Lenovo Ideapad Gaming 3	40
Gambar 3.3 <i>Multi-stage turbine</i>	41
Gambar 3.4 <i>Pulverized Coal Boiler</i>	42
Gambar 3.5 Tampilan monitor CCR.....	43
Gambar 3.6 <i>Pressure Transmitter & Temperature Indicator Digital</i>	44
Gambar 3.7 Batu bara lignit tipe LRC (<i>Low Rank Coal</i>)	45
Gambar 3.8 Biomassa <i>sawdust</i> (serbuk gergaji)	45
Gambar 3.9 Skema Penelitian	47
Gambar 4.1 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Laju Aliran Uap Utama	49
Gambar 4.2 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Tekanan dan Temperatur Uap Utama ..	50

Gambar 4.3 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Efisiensi Turbin HPT, IPT, dan LPT ...	51
Gambar 4.4 Perbandingan Efisiensi Turbin HPT, IPT, dan LPT.....	59
Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Daya <i>Output</i> Turbin.....	59
Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap THR dan Efisiensi Termal Turbin	59
Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Emisi SO ₂	59
Gambar 4.8 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Emisi NO _x	60
Gambar 4.9 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Emisi CO ₂	61
Gambar 4.10 Pengaruh Variasi Biomassa Terhadap Emisi PM.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. 2 Karakteristik kandungan biomassa	15
Tabel 2. 3 Kandungan senyawa biomassa <i>sawdust</i>	16
Tabel 2. 4 Spesifikasi ASTM bahan bakar batu bara.....	20
Tabel 2. 5 Kandungan bahan bakar batu bara.....	20
Tabel 2. 6 Baku Mutu Emisi Gas Buang PLTU.....	36
Tabel 3. 1 Tabel eksperimen desain	37
Tabel 3. 2 Tabel Komposisi Bahan Bakar	45
Tabel 4. 1 Emisi Gas Buang	57
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Pengukuran Emisi Gas Buang dengan Baku Mutu	64

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
η_{ts}	Efisiensi turbin	(%)
h_1	Enthalpi uap masuk turbin	(kJ/kg)
h_2	Enthalpi uap keluar turbin saat kondisi aktual	(kJ/kg)
h_{2s}	Enthalpi uap keluar turbin saat kondisi ideal	(kJ/kg)
x_2	Fraksi Uap	
s_1	Entropi <i>inlet</i> turbin	(kJ/(kg °K))
s_2	Entropi <i>outlet</i> turbin	(kJ/(kg °K))
s_f	Entropi dari cairan jenuh	(kJ/(kg °K))
s_g	Entropi dari uap jenuh	(kJ/(kg °K))
h_f	Enthalpi dari cairan jenuh	(kJ/kg)
h_{fg}	Selisih h_g dengan h_f ini disebut juga enthalpi penguapan	(kJ/kg)
$\left(\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}}\right)$	Daya turbin aktual per laju aliran massa	(kJ/kg)
$\left(\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}}\right)_s$	Daya turbin ideal per laju aliran massa	(kJ/kg)
η_{HP}	Efisiensi <i>high pressure turbine</i>	(%)
η_{IP}	Efisiensi <i>intermediate pressure turbine</i>	(%)
η_{LP}	Efisiensi <i>low pressure turbine</i>	(%)
h_1	Enthalpi uap utama	(kJ/kg)
h_2	Enthalpi <i>cold reheat steam</i>	(kJ/kg)
h_3	Enthalpi <i>hot reheat steam</i>	(kJ/kg)
h_4	Enthalpi uap keluaran IPT dan masuk ke LPT	(kJ/kg)
h_5	Enthalpi uap keluaran LPT	(kJ/kg)
W_T	Daya yang dihasilkan turbin	(MW)
$W_{Tactual}$	Daya aktual pada turbin	(MW)
W_{HP}	Daya yang dihasilkan <i>high pressure turbine</i>	(MW)
W_{IP}	Daya yang dihasilkan <i>intermediate pressure turbine</i>	(MW)
W_{LP}	Daya yang dihasilkan <i>low pressure turbine</i>	(MW)
\dot{m}_1	Laju aliran uap utama	(kg/h)
\dot{m}_2	<i>Hot reheat steam flow</i>	(kg/h)

\dot{m}_3	<i>Steam flow inlet LPT</i>	(kg/h)
\dot{m}_{cr}	<i>Cold reheat steam flow</i>	(kg/h)
\dot{m}_{fw}	<i>Feed water flow</i>	(kg/h)
\dot{m}_{is}	<i>Superheater spray flow</i>	(kg/h)
\dot{m}_{ir}	<i>Reheater spray flow</i>	(kg/h)
h_{in}	Enthalpi uap masuk turbin	(kJ/kg)
h_{out}	Enthalpi uap keluar turbin	(kJ/kg)
h_{fw}	Enthalpi <i>feed water</i>	(kJ/kg)
h_{is}	Enthalpi <i>superheater spray</i>	(kJ/kg)
h_{ir}	Enthalpi <i>reheater spray</i>	(kJ/kg)
THR	<i>Turbine heat rate</i>	(kJ/kWh)
P_g	Generator <i>output</i>	(Mw)
1 KWh	3600 Kilojoule	(kJ)
$\eta_{thermal}$	Efisiensi termal turbin	(%)
Y_1	Enthalpi awal dari range nilai di <i>steam table</i>	(kJ/kg)
Y_2	Enthalpi akhir dari range nilai di <i>steam table</i>	(kJ/kg)
X_1	Temperatur awal dari nilai di <i>steam table</i>	(°C)
X_2	Temperatur akhir dari nilai di <i>steam table</i>	(°C)
X	Temperatur yang akan dicari nilai enthalpinya	(°C)
Y	Nilai enthalpi yang dicari	(kJ/kg)