



TESIS

**EVALUASI UNJUK KERJA BURNER PELET DENGAN VARIASI
KECEPATAN UDARA PEMBAKARAN DAN JENIS BAHAN BAKAR**

**Disusun Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Magister Teknik
Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan Fakultas Teknik
Universitas Malikussaleh**

DISUSUN OLEH :

**HARIS SETIAWAN
232110101006**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**

2025

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Judul Tesis : Evaluasi Unjuk Kerja Burner Pelet dengan Variasi
Laju Udara Pembakaran dan Jenis Bahan Bakar
Nama Mahasiswa : Haris Setiawan
NIM : 232110101006
Program Studi : S2 Teknik Energi Terbarukan
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Adi Setiawan, M.T
Pembimbing Pendamping : Dr. Faisal, ST. M.T
Ketua Penguji : Dr. Muhammad.,S.T.,M.Sc.
Anggota Penguji : Dr. Lukman Hakim, S.T., M.Eng.

Lhokseumawe, Agustus 2025

Penulis,

Haris Setiawan, S.T.
NIM 232110101006

Menyetujui:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Adi Setiawan, M.T
NIP 197509122002121003

Dr. Faisal, S.T. M.T
NIP 197702022006041015

Mengetahui:

Ketua Jurusan,

Koordinator Program Studi,

Asnawi, S.T., M.Sc.
NIP. 198002272006041010

Prof. Dr. Adi Setiawan, M.T
NIP. 197509122002121003

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Haris Setiawan
NIM : 232110101006
Program Studi : Magister Teknik Energi Terbarukan
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Judul Tesis : Evaluasi Unjuk Kerja Burner Pelet dengan Variasi Laju Udara Pembakaran dan Jenis Bahan Bakar

Dengan ini menyatakan bahwa tesis ini benar dibuat oleh penulis sendiri dan orisinil belum pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat orang yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata di dalam tesis ini semua atau sebagian isinya terdapat unsur plagiat, maka saya bersedia tesis ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh dapat dicabut/dibatalkan, serta dapat diproses sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dan ditandatangani dalam keadaan sadar tanpa tekanan/paksaan oleh siapapun.

Lhokseumawe, 24 Oktober 2025
Yang memberi pernyataan,

Materai
10.000

Haris Setiawan, S.T.
NIM. 232110101006

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Malikussaleh, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Haris Setiawan
NIM : 232110101006
Program Studi : Magister Teknik Energi Terbarukan
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Program Magistek Teknik Energi Terbarukan Universitas Malikussaleh **Hak Bebas Royalti Non-ekslusif (Non-exclusive Royalti Free Righ)** atas tesis saya yang berjudul :

Evaluasi Unjuk Kerja Burner Pelet dengan Variasi Kecepatan Udara Pembakaran dan Jenis Bahan Bakar

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), dengan Hak Bebas Royalti Non-ekslusifini Program Magister Teknik Energi Terbarukan Universitas Malikussaleh berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Lhokseumawe, 24 Oktober 2025
Yang memberi pernyataan,

Haris Setiawan, S.T.
NIM. 232110101006

ABSTRAK

Energi berkelanjutan merupakan kunci untuk mencapai netralitas iklim dengan pemanfaatan biomassa untuk energi ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jenis bahan bakar biopellet dan kecepatan aliran udara inlet blower terhadap karakteristik pembakaran dan emisi burner biomassa. Tiga jenis bahan bakar biopellet ialah kulit kopi, sekam kopi, dan kayu pinus. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan parameter yang diuji meliputi emisi gas (CO , CO_2 , dan $\text{PM}_{2.5}$), efisiensi termal, dan efisiensi pembakaran. Pengujian menggunakan standar SNI 7926:2013. Hasil pengujian menunjukkan jenis bahan bakar dan kecepatan aliran udara memberikan pengaruh signifikan terhadap performa pembakaran. Biopellet pinus menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 19.590 J/g dan emisi CO terendah. Efisiensi pembakaran mencapai angka 0,999, namun efisiensi termal berada pada kisaran 8–8,72% di bawah standar SNI 7926:2013 sebesar 20%. Konsumsi bahan bakar spesifik melebihi batas maksimum yang ditetapkan SNI. Penelitian ini merekomendasikan modifikasi desain burner untuk meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi konsumsi bahan bakar.

Kata kunci: biopellet, pembakaran biomassa, emisi CO dan CO_2 , efisiensi termal, efisiensi pembakaran, burner biomassa.

ABSTRACT

Sustainable energy is crucial for achieving climate neutrality through environmentally friendly biomass energy. This study aims to analyze how variations in biopellet fuel types and blower inlet airflow velocity affect the combustion characteristics and emissions of biomass burners. The three types of biopellet fuels examined are coffee husks, another form of coffee husks (consider clarifying or removing one due to apparent repetition), and pine wood. The experimental method includes testing parameters such as gas emissions (CO , CO_2 , and $\text{PM}_{2.5}$), thermal efficiency, and combustion efficiency, following the SNI 7926:2013 standard. Results indicate that both fuel type and airflow velocity significantly influence combustion performance. Pine biopellets produce the highest calorific value of 19,590 J/g and the lowest CO emissions. Combustion efficiency reaches 0.999, while thermal efficiency ranges from 8% to 8.72%, which is below the SNI 7926:2013 standard of 20%. Specific fuel consumption exceeds the maximum limit set by SNI. This study recommends burner design modifications to enhance thermal efficiency and reduce fuel consumption.

Keywords: biopellets, inlet air flow velocity, gas emissions, thermal efficiency, and combustion efficiency.

PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat, karunia dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul “Evaluasi Unjuk Kerja Burner Pelet dengan Variasi Kecepatan Udara Pembakaran dan Jenis Bahan Bakar” yang disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memenuhi kurikulum pada Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan Universitas Malikussaleh Lhokseumawe. Shalawat beserta salam kita limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sebagai pembawa risalah Allah terakhir dan penyempurnaan seluruh risalah-Nya.

Dalam menyelesaikan proposal penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang turut serta dalam membimbing, memberi saran dan membantu penelitian, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., Asean.Eng, Selaku Rektor Universitas Malikussaleh Lhokseumawe.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T., MT., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh Lhokseumawe.
3. Bapak Asnawi ST, M.Sc., Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh Lhokseumawe.
4. Bapak Prof. Dr. Adi Setiawan, ST., MT. Sebagai dosen Pembimbing Utama yang telah sabar memberikan bimbingan dan dorongan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Faisal, ST. MT. Sebagai dosen Pembimbing kedua yang telah sabar memberikan bimbingan dan dorongan kepada penulis.
6. Istri dan Anak serta kedua orangtua yang telah memberikan dukungan berupa motivasi, semangat dan do’a yang senantiasa menguatkan penulis.
7. Seluruh dosen dan staff Magister Teknik Program Studi Teknik Energi Terbarukan.
8. Rekan-rekan mahasiswa dan teman-teman angkatan MTET 2023 yang telah banyak membantu dan support untuk menyelesaikan proposal tesis.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan

saran dan kritik yang sifatnya membangun. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Akhirnya hanya kepada Allah penulis berserah diri, Semoga tulisan ini dapat bermanfaat terutama bagi penulis sendiri dan pembaca pada umumnya.

Lhokseumawe, 7 April 2025

Haris Setiawan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	ii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II STUDI LITERATUR	6
2.1 Terminologi Biomassa	7
2.2 Potensi Limbah Biomassa sebagai Sumber Energi	9
2.2.1 Sekam dan Kulit Kopi Arabica	11
2.2.2 Pinus	13
2.3 Tungku yang Umum Digunakan	15
2.4 Tungku Biomassa	18
2.5 Proses Pembakaran	23
2.6 Perpindahan Panas	25
2.7 Standar Pengujian	26

2.7.1	SNI 7926:2013	Error! Bookmark not defined.
2.7.2	Karakteristik Biopelet	29
2.8	Peraturan RI Terkait Emisi.....	31
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN		33
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2	Bahan dan Peralatan.....	33
3.2.1	Bahan yang Digunakan	34
3.2.2	Peralatan yang Digunakan.....	34
3.3	Set Up Burner Pelet Biomassa	38
3.4	Variabel Penelitian	39
3.4.1	Variabel Tetap	39
3.4.2	Varibel Bebas	39
3.4.3	Variabel Terikat (Uji).....	39
3.5	Prosedur Penelitian.....	39
3.6	Perencanaan Penelitian.....	42
3.7	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1	Hasil Fabrikasi dan Set Up Burner Pelet.....	44
4.2	Hasil Pengujian Bomb Calorimeter	45
4.3	Hasil Pengujian Proximate	46
4.4	Hasil Pengujian Emisi & Termal	47
4.4.1	Emisi CO.....	48
4.4.2	Emisi CO ₂	50
4.4.3	Emisi PM _{2,5} (Particulate Matter).....	53
4.4.4	Temperatur Air.....	55
4.4.5	Efisiensi Pembakaran, Termal, dan Konsumsi Bahan Bakar.....	58
4.5	Uji Statistik.....	62
4.5.1	Uji Normalitas dan Homogenitas.....	62
4.5.2	Analisis ANOVA	65
BAB V PENUTUP		67
5.1	Kesimpulan	67

5.2	Saran.....	68
-----	------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Outlook Energi Indonesia 2025 dan 2050.....	1
Gambar 2.1 Asal geografis kopi arabika gayo.....	11
Gambar 2.2 Struktur anatomi buah kopi	12
Gambar 2.3 Limbah kulit dan sekam kopi.....	12
Gambar 2.4 Tungku bahan bakar gas.....	16
Gambar 2.5 Tungku listrik	17
Gambar 2.6 Tungku pembakaran tradisional	17
Gambar 2.7 Tungku rocket	18
Gambar 2.8 Syarat Proses Pembakaran	23
Gambar 2.9 Diagram pembakaran biomasa	25
Gambar 2.10 Mekanisme perpindahan panas	25
Gambar 3.1 Sekam Kopi	35
Gambar 3.2 Kulit Kopi.....	35
Gambar 3.3 Pinus	35
Gambar 3.4 Panci	35
Gambar 3.5 Burner Biomassa	36
Gambar 3.6 Timbangan.....	36
Gambar 3.7 Thermokopel tipe K	37
Gambar 3.8 Portable Gas Detector.....	37
Gambar 3.9 Anemometer	38
Gambar 3.10 Sensor CO	38
Gambar 3.11 Sensor CO ₂	38
Gambar 3.12 Sensor PM	38
Gambar 3.13 Sungkup hisap	39
Gambar 3.14 Set Up Burner Pelet Biomassa	39
Gambar 3.15 Rancangan Pengujian Burner Pelet Biomassa	44
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi dan Set Up Burner Peler	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Rumah Tangga dengan Bahan Bakar Utama untuk Memasak Tahun 2021 – 2022.	10
Tabel 2.2 Propertis kulit dan sekam kopi arabika	13
Tabel 2.3 Komposisi kimia dari biopellet berbahan baku kayu pinus	14
Tabel 2.4 Sifat fisik biopellet berbahan baku kayu pinus	14
Tabel 2.5 Perkembangan tungku biomassa.....	19
Tabel 2.6 Proses Pembakaran Berdasarkan Mekanisme Kontak Bahan Bakar dan Udara	24
Tabel 2.7 Baku Mutu Emisi PLTU yang Beroperasi sebelum Peraturan Menteri ini Berlaku	31
Tabel 2.8 Baku mutu emisi PLTU yang Beroperasi setelah Peraturan Menteri ini Berlaku	32
Tabel 2.9 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O	32
Tabel 2.10 Baku mutu emisi kendaraan bermotor kategori L.....	33
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	34
Tabel 3.2 Perencanaan Pengamatan Penelitian	43
Tabel 4.1 Hasil Uji Bomb Calorimeter	46
Tabel 4.2 Data proximate 3 jenis biopellet	48
Tabel 4.3 Pengaturan pengujian burner biomassa.....	48
Tabel 4.4 Data efisiensi termal & pembakaran, dan konsumsi bahan bakar spesifik	59
Tabel 4.5 Uji statistik emisi CO	63
Tabel 4.6 Uji statistik emisi CO ₂	64
Tabel 4.7 Uji statistik emisi PM _{2,5}	65
Tabel 4.8 Analisis ANOVA dua arah efisiensi pembakaran.....	66
Tabel 4.9 Analisis ANOVA dua arah efisiensi termal	67

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Emisi CO dengan kecepatan udara inlet 10 m/s	49
Grafik 4.2 Emisi CO dengan kecepatan udara inlet 13 m/s	50
Grafik 4.3 Emisi CO ₂ dengan kecepatan udara inlet 10 m/s.....	52
Grafik 4.4 Emisi CO ₂ dengan kecepatan udara inlet 13 m/s.....	53
Grafik 4.5 Emisi PM _{2,5} dengan kecepatan udara inlet 10 m/s.....	54
Grafik 4.6 Emisi PM _{2,5} dengan kecepatan udara inlet 13 m/s.....	55
Grafik 4.7 Temperatur air dengan kecepatan udara inlet 10 m/s	56
Grafik 4.8 Temperatur air dengan kecepatan udara inlet 13 m/s	57
Grafik 4.9 Efisiensi termal (η_t)	59
Grafik 4.10 Efisiensi pembakaran (η_c)	60
Grafik 4.11 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/jam)	61

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Proses Penelitian Burner Pelet
- Lampiran 2. Nilai LHV Pelet Pinus
- Lampiran 3. Nilai LHV Pelet Sekam Kopi dan Kulit Kopi
- Lampiran 4. Data Pengujian Emisi CO 10 m/s
- Lampiran 5. Data Pengujian Emisi CO 13 m/s
- Lampiran 6. Data Pengujian Emisi CO₂ 10 m/s
- Lampiran 7. Data Pengujian Emisi CO₂ 13 m/s
- Lampiran 8. Data Pengujian Emisi PM 10 m/s
- Lampiran 9. Data Pengujian Emisi PM 13 m/s
- Lampiran 10. Efisiensi Termal & Pembakaran
- Lampiran 11. Pengujian Sekam Kopi 10 m/s
- Lampiran 12. Pengujian Sekam Kopi 13 m/s
- Lampiran 13. Pengujian Kulit Kopi 10 m/s
- Lampiran 14. Pengujian Kulit Kopi 13 m/s
- Lampiran 15. Pengujian Pinur 10 m/s
- Lampiran 16. Pengujian Pinus 13 m/s
- Lampiran 17. Data Pengujian Temperatur Air 10 m/s
- Lampiran 18. Data Pengujian Temperatur Air 13 m/s

DAFTAR SINGKATAN

η_c	= Efisiensi pembakaran (%)
N_{CO}	= Fraksi massa CO
N_{CO_2}	= Fraksi massa CO ₂
η_t	= Efisiensi termal (%)
m_a	= massa air (kg)
C_p	= kalor jenis air (4180 J/(°C kg))
ΔT	= selisih suhu akhir air terhadap suhu (°C)
Δm_a	= massa air yang menguap (kg)
L	= kalor penguapan air
Δm_k	= massa bahan bakar yang digunakan (kg)
LHV	= kalor netto bahan bakar (kJ/kg)
Sc	= konsumsi spesifik bahan bakar (kg/Jam)
Δt	= lama waktu pengujian (Jam)
Δm_k	= massa bahan bakar yang digunakan (kg)
$PM_{2.5}$	= massa <i>particulate matter</i> (g)

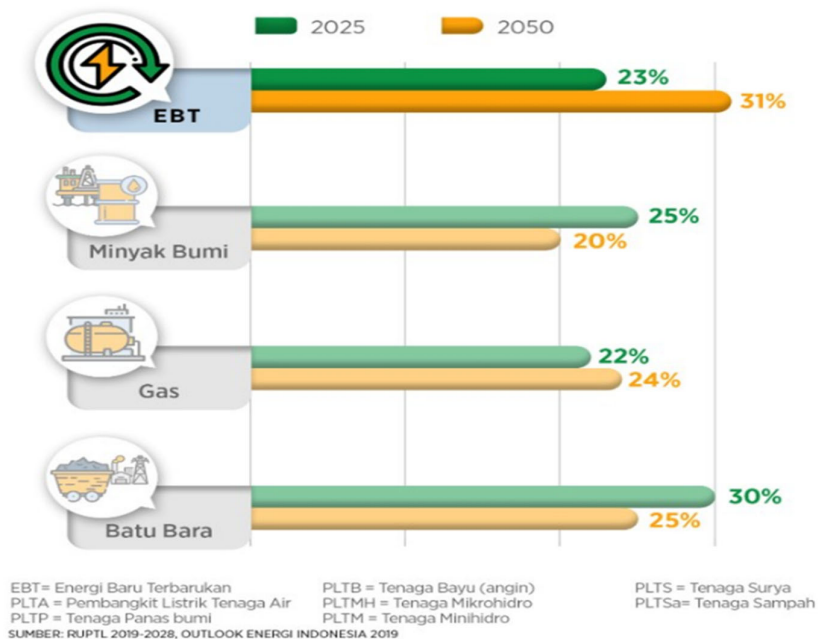
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pesatnya perkembangan ekonomi modern dan teknologi, krisis energi dan polusi udara dari pembakaran bahan bakar fosil menjadi perhatian yang semakin serius. Untuk memenuhi kebutuhan sumber daya dan permasalahan lingkungan hidup, banyak penelitian yang telah dilakukan meningkatkan teknologi pembakaran dan mencari alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil.

Ketergantungan terhadap penggunaan energi tidak terbarukan sangat tinggi ini ditunjukkan dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor dan juga industri yang mana kebutuhan akan bahan bakar untuk dapat mengoperasikan mesin produksi juga sangat tinggi tidak terkecuali pada kebutuhan bahan bakar fosil, akibatnya ketersediaan akan bahan bakar semakin menipis disamping itu memang jumlah dari ketersediaan bahan bakar itu sendiri memang sangat terbatas [1].



Gambar 1.1 Outlook Energi Indonesia 2025 dan 2050