



**KARAKTERISASI DINAMIS PEMBAKARAN BIOMASSA
KULIT KOPI DENGAN *STARTER PREMIX* UDARA-LPG
PADA *MOVING FLUIDIZED BED GASIFIER***

SKRIPSI

Oleh:

**Muhammad Kaka Gabriel Ilah
221910101009**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER**

2026



**KARAKTERISASI DINAMIS PEMBAKARAN BIOMASSA
KULIT KOPI DENGAN *STARTER PREMIX* UDARA-LPG
PADA *MOVING FLUIDIZED BED GASIFIER***

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi Strata 1 Teknik Mesin*

SKRIPSI

Oleh:

**Muhammad Kaka Gabriel Ilah
221910101009**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2026**

PERSEMBAHAN

Dengan puji Syukur kehadiran Allah SWT., Skripsi dengan judul “Karakterisasi Dinamis Pembakaran Biomassa Kulit Kopi dengan *Starter Premix* Udara–LPG pada *Moving Fluidized Bed Gasifier*” dipersembahkan kepada:

1. Orang tua khususnya ibu Nur Fitriyah dan kedua adik saya tercinta yang telah membantu, mendukung secara moral, dan memberikan doa yang terbaik untuk saya selama menempuh pendidikan di Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU).
3. Bapak Dr. Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Lapangan.
4. Bapak Dr. Ir. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama.
5. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Penguji Anggota.
6. Almamater tercinta Program Studi Strata 1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
7. Himpunan Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang selalu saya cintai dan banggakan.
8. Tim Riset *Gasification Advanced Combustion* (KERIS GAC) Universitas Jember yang selalu saya cintai dan banggakan.

MOTTO

“Jika kamu mengerjakan sesuatu percayalah bahwa hari ini adalah pekerjaan terjelekmu, dan hari esok akan lebih baik daripada hari ini”

“Semakin kamu mengetahui banyak hal, maka semakin banyak yang tidak kamu ketahui”

(Mr. IMS)

"The only source of knowledge is experience"

(Albert Einstein)

“Kesuksesan tidak diukur dari kepintaran, melainkan dari usaha, kerja keras, pantang menyerah serta doa yang menyertai”

“Menjadi manusia yang bodoh tidaklah buruk, setidaknya kamu tidak akan terlena oleh pengetahuan yang kamu ketahui”

(Muhammad Kaka Gabriel Ilah)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Kaka Gabriel Ilah

NIM : 221910101009

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Karakterisasi Dinamis Pembakaran Biomassa Kulit Kopi dengan *Starter Premix* Udara–LPG pada *Moving Fluidized Bed Gasifier*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 Juli 2026

Yang Menyatakan,

Muhammad Kaka Gabriel Ilah

NIM 221910101009

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “Karakterisasi Dinamis Pembakaran Biomassa Kulit Kopi dengan *Starter Premix* Udara–LPG pada *Moving Fluidized Bed Gasifier*” telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 8 Juli 2026

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Dosen Pembimbing

Nama : Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197505022001121001

Penguji

1. Dosen Penguji Utama

Nama : Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. (.....)

NIP : 197111141999031002

2. Dosen Penguji Anggota

Nama : Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T., IPM (.....)

NIP : 196902091998021001

ABSTRAK

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan melalui proses gasifikasi semakin berkembang, namun keberhasilan proses gasifikasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan fase pembakaran (*starter*). Pada sistem *moving fluidized bed gasifier*, dinamika kenaikan temperatur pada tahap awal menentukan keberhasilan transisi menuju proses gasifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi dinamika pembakaran biomassa kulit kopi menggunakan *starter premix* udara–LPG dengan variasi *Air-Fuel Ratio* (AFR). Variasi AFR sebesar 17,55:1, 38,30:1, 63,83:1, dan 76,60:1 digunakan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap *ignition time*, temperatur *bed*, kadar *syngas* sebagai parameter kondisi *starter-off*, serta *burning rate* biomassa. Parameter temperatur diamati pada beberapa zona *chamber* mulai dari fase *premix starter*, *feed starter*, *homogenizing*, hingga *syngas production*. Pengujian kadar *syngas* dilakukan menggunakan sensor MQ-4, MQ-7, dan MQ-8, sedangkan *burning rate* dihitung berdasarkan laju pembakaran biomassa selama proses *initial ignition*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AFR 17,55:1 menghasilkan *ignition time* tercepat sebesar 530 detik, sedangkan peningkatan AFR menghasilkan distribusi temperatur *bed* yang semakin besar. Pada kondisi *starter-off*, kadar H₂ meningkat dari 1,23% menjadi 2,03%, kadar CO meningkat dari 0,78% menjadi 1,14%, sedangkan kadar CH₄ menurun dari 21,39% menjadi 16,97%, meskipun CH₄ tetap menjadi komponen *syngas* yang dominan karena temperatur proses berada pada kisaran 300–400°C. Selain itu, *burning rate* rata-rata meningkat dari 235,53 g/min menjadi 264,23 g/min seiring bertambahnya AFR. Dengan demikian, variasi AFR *starter premix* udara–LPG terbukti memengaruhi karakterisasi dinamis pembakaran biomassa kulit kopi melalui perubahan *ignition time*, distribusi temperatur *bed*, pembentukan *syngas*, dan *burning rate*, sehingga dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem *starter* pada *moving fluidized bed gasifier*.

Kata Kunci: Gasifikasi Biomassa, Kulit Kopi, *Moving Fluidized Bed Gasifier*, *Air-Fuel Ratio*, *Premix Udara-LPG*, *Initial Ignition*, *Burning Rate*.

ABSTRACT

The use of biomass as a renewable energy source through gasification is growing, but the success of the gasification process is greatly influenced by the stability of the combustion phase (starter). In a moving fluidized bed gasifier system, the dynamics of the temperature rise during the initial stage determine the success of the transition to the gasification process. This study aims to characterize the combustion dynamics of coffee husk biomass using an air–LPG premix starter with varying Air-Fuel Ratios (AFR). AFR variations of 17,55:1, 38,30:1, 63,83:1, and 76,60:1 were used to analyze their effects on ignition time, bed temperature, syngas composition as parameters of the starter-off condition, and biomass burning rate. Temperature parameters were observed in several chamber zones, ranging from the premix starter phase, feed starter phase, homogenizing phase, to the syngas production phase. Syngas concentration measurements were performed using MQ-4, MQ-7, and MQ-8 sensors, while the burning rate was calculated based on the biomass combustion rate during the initial ignition process. The results showed that an AFR of 17,55:1 produced the fastest ignition time of 530 seconds, whereas increasing the AFR resulted in a wider bed temperature distribution. Under starter-off conditions, the H_2 concentration increased from 1,23% to 2,03%, the CO concentration increased from 0,78% to 1,14%, while the CH_4 concentration decreased from 21,39% to 16,97%, although CH_4 remained the dominant component of the syngas because the process temperature was in the range of 300–400°C. In addition, the average burning rate increased from 235,53 g/min to 264,23 g/min as the AFR increased. Thus, variations in the air–LPG premix AFR have been shown to influence the dynamic combustion characteristics of coffee husk biomass, and can therefore serve as a reference in the development of starter systems for moving fluidized bed gasifiers.

Keywords: Biomass Gasification, Coffee Husk, Moving Fluidized Bed Gasifier, Air-Fuel Ratio, Air-LPG Premix, Initial Ignition, Burning Rate.

RINGKASAN

Karakterisasi Dinamis Pembakaran Biomassa Kulit Kopi dengan Starter Premix Udara-LPG pada Moving Fluidized Bed Gasifier; Muhammad Kaka Gabriel Ilah, 221910101009; 47 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember.

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan melalui proses gasifikasi terus dikembangkan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil. Biomassa kulit kopi memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan baku gasifikasi karena memiliki kandungan karbon dan *volatile matter* yang tinggi. Salah satu tahapan penting dalam proses gasifikasi adalah *initial ignition* atau penyalan awal, karena keberhasilan tahap ini menentukan kestabilan transisi dari proses pembakaran menuju proses gasifikasi (*starter-off*). Pada sistem *moving fluidized bed gasifier*, variasi *Air-Fuel Ratio (AFR)* pada *starter premix* udara-LPG memengaruhi distribusi panas, temperatur *bed*, pembentukan *syngas*, dan *burning rate* selama proses penyalan awal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi dinamika pembakaran biomassa kulit kopi menggunakan *starter premix* udara-LPG dengan variasi *AFR* sebesar 17,55:1, 38,30:1, 63,83:1, dan 76,60:1. Parameter yang diamati meliputi *ignition time*, temperatur *bed* pada tiga titik pengukuran (T_2 Drying, T_3 Burn, dan T_4 Post-Burn), kadar *syngas* (H_2 , CO, dan CH_4), serta *burning rate* biomassa. Pengukuran temperatur dilakukan secara *real-time* menggunakan sensor *thermocouple tipe-k*, sedangkan kadar *syngas* diukur menggunakan sensor MQ-4, MQ-7, dan MQ-8. Analisis temperatur dilakukan berdasarkan perubahan distribusi temperatur antar titik pengukuran untuk menggambarkan karakteristik perpindahan panas selama proses *initial ignition*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *AFR* memberikan karakteristik pembakaran yang berbeda pada setiap parameter pengujian. *AFR* 17,55:1 menghasilkan *ignition time* tercepat sebesar 8,83 menit, sedangkan peningkatan *AFR* menghasilkan distribusi temperatur *bed* yang semakin besar.

Pada kondisi *starter-off*, kadar H_2 meningkat dari 1,23% menjadi 2,03%, kadar CO meningkat dari 0,78% menjadi 1,14%, sedangkan kadar CH_4 menurun dari 21,39% menjadi 16,97%, meskipun CH_4 tetap menjadi komponen *syngas* dominan karena temperatur operasi reaktor berada pada kisaran 300–400°C. Selain itu, *burning rate* rata-rata meningkat dari 72,67 g/min menjadi 90,50 g/min seiring bertambahnya *AFR*. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa variasi *AFR starter premix* udara–LPG berpengaruh terhadap karakterisasi dinamis pembakaran biomassa kulit kopi melalui perubahan *ignition time*, distribusi temperatur *bed*, kestabilan pembentukan *syngas*, dan *burning rate*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan sistem *starter* yang lebih efektif pada *moving fluidized bed gasifier*.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan kesehatan dan kehidupan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakterisasi Dinamis Pembakaran Biomassa Kulit Kopi dengan *Starter Premix* Udara–LPG pada *Moving Fluidized Bed Gasifier*”. Penyusunan skripsi ini melibatkan banyak berbagai pihak baik itu dari segi pengayaan materi ataupun teknis juga terdapat dukungan moral didalamnya, maka dari itu dengan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan saya kesehatan, kekuatan, kemudahan, pertolongan, serta hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua terutama Ibu Nur Fitriyah yang selalu mendampingi, membimbing, memberikan masukan, serta menasehati saya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat waktu.
3. Bapak Ir. Danang Yudistiro S. T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membantu saya selama masa perkuliahan.
4. Bapak Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan dan masukannya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang telah membimbing, mengarahkan, memberi motivasi dan masukan, serta memberikan ruang untuk pengembangan diri saya selama berada di laboratorium dan penyelesaian skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama.
7. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Penguji Anggota.
8. Tim Riset Gasifikasi (KERIS GAC) yang telah memberikan saya wadah untuk berkembang, menambah ilmu pengetahuan, belajar berorganisasi, berpikir kritis, keluar dari zona nyaman, dan menjadi rumah kedua karena hangatnya rasa kekeluargaan yang timbul.

9. Alumni Tim Gasifikasi khususnya mas Ainun yang telah membantu, mengarahkan, memberikan masukan selama saya berada di tim riset sehingga saya bisa menambah kekayaan pengetahuan tentang gasifikasi.
10. Seluruh Anggota Tim Gasifikasi Generasi ke 2 yaitu Mas Sultan, Mas Lana, Mas Raihan, dan Mas Dzunun yang telah membantu saya dalam satu tahun adaptasi di tim riset sehingga saya bisa memahami dan memiliki rasa percaya diri untuk menentukan topik skripsi.
11. Seluruh Anggota Tim Gasifikasi Generasi ke 3 yaitu Thoriq, Ricky, Riandi, Alif, Fuja, Brayen, Faqih, Jonathan, Adi Faiq, Sahrul, Rivaldi, Dendi, Alief, Nando, dan Alfin yang telah berjuang, berprogres, dan semangat bersama dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. PT. Heinz ABC Indonesia yang telah memberikan saya kesempatan untuk membantu *problem solving* di perusahaan selama kegiatan Kerja Praktik 2 bulan penuh.
13. Seluruh teman-teman M24 yang telah mendukung, mensupport, menemani, dan membantu suka maupun duka sehingga segala memori didalamnya tidak akan terlupakan selamanya.
14. Anggota Kos Santuy yaitu Alif, Arsy, Hafit, dan Riyan yang telah menjadi teman/sahabat dari awal masuk di dunia perkuliahan hingga sekarang sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini telah disusun berdasarkan studi literatur dan pengayaan materi di lapangan. Penulis menyadari akan ketidaksempurnaan skripsi ini, maka penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis ataupun pembaca.

Jember, 8 Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Biomassa sebagai Energi Terbarukan.....	5
2.1.1 Biomassa Kulit Kopi	7
2.1.2 Dekomposisi Termal Kulit Kopi	8
2.2 Gasifikasi Biomassa Kulit Kopi	10
2.2.1 Tipe Reaktor Gasifikasi	11
2.2.2 Tahapan Proses Gasifikasi.....	14
2.3 Parameter Proses Awal Gasifikasi	16
2.3.1 <i>Premix</i> Udara-LPG berdasarkan <i>Air-Fuel Ratio (AFR)</i>	17
2.3.2 Pengaruh <i>Premix</i> udara-LPG terhadap <i>Initial Ignition</i>	19
2.3.3 Pengaruh Temperatur Proses terhadap <i>Initial Ignition</i>	21
2.4 Karakteristik <i>Syngas</i>	21
2.4.1 Karakteristik <i>Syngas</i> terhadap Temperatur Proses.....	22
2.5 <i>Burning Rate</i>	23
2.6 Studi Literatur	25
2.7 Hipotesis	26
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Waktu dan Tempat.....	27
3.3 Alat dan Bahan.....	27
3.3.1 Alat	27
3.3.2 Bahan.....	28
3.4 Variabel Penelitian.....	29
3.4.1 Variabel Bebas	29

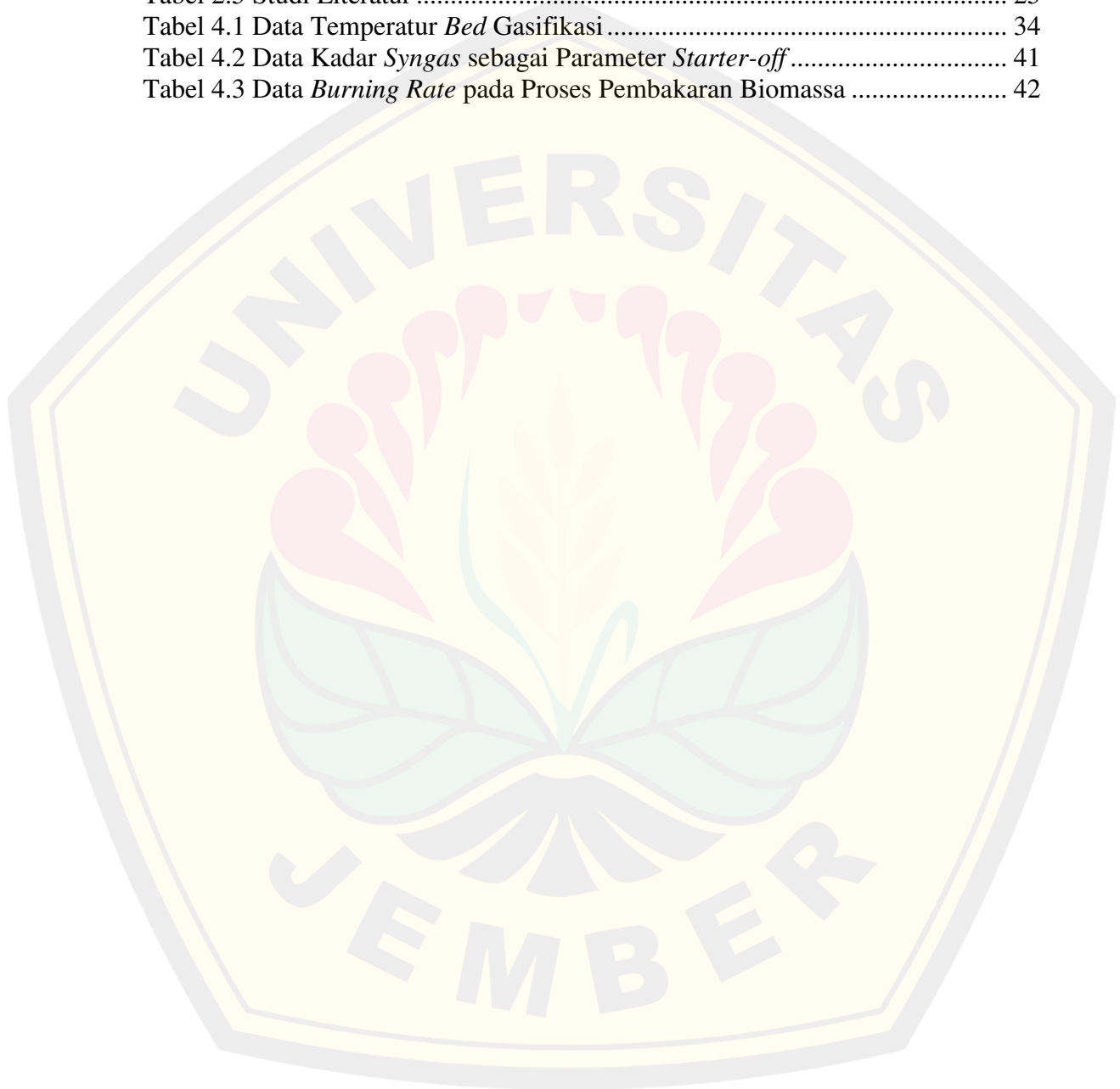
3.4.2 Variabel Terikat.....	29
3.4.3 Variabel Kontrol.....	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Persiapan Biomassa.....	29
3.5.2 Proses <i>Starter Premix</i> Udara-LPG	30
3.5.3 Proses <i>Chamber Heating</i> dan <i>Burning Biomass</i>	30
3.5.4 Hasil Pembakaran Awal Biomassa.....	31
3.6 Diagram Alir Penelitian	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil	33
4.1.1 Temperatur <i>Bed</i> Gasifikasi	33
4.1.2 Kadar <i>Syngas</i>	40
4.1.3 <i>Burning Rate</i>	42
4.2 Pembahasan	43
4.1.1 Temperatur <i>Bed</i> Gasifikasi.....	43
4.1.2 Kadar <i>Syngas</i>	44
4.1.3 <i>Burning Rate</i>	45
BAB 5. PENUTUP.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dekomposisi Termal Biomassa Kulit Kopi	9
Gambar 2.2 Tipe Reaktor Gasifikasi.....	12
Gambar 2.3 Tahapan Proses Gasifikasi	14
Gambar 2.4 Pengaruh <i>Premix</i> udara–LPG terhadap <i>Initial Ignition Biomass</i>	20
Gambar 2.5 Persentase <i>Syngas</i> terhadap Temperatur Gasifikasi	23
Gambar 2.6 Analisis <i>Burning Rate</i> pada Proses Gasifikasi	24
Gambar 3.1 Skema Alat Gasifikasi.....	28
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 <i>Burner Chamber System</i>	34
Gambar 4.2 Temperatur <i>Bed</i> terhadap <i>Ignition Time</i> dengan <i>AFR</i> 17,55:1.....	36
Gambar 4.3 Temperatur <i>Bed</i> terhadap <i>Ignition Time</i> dengan <i>AFR</i> 38,30:1.....	37
Gambar 4.4 Temperatur <i>Bed</i> terhadap <i>Ignition Time</i> dengan <i>AFR</i> 63,83:1.....	38
Gambar 4.5 Temperatur <i>Bed</i> terhadap <i>Ignition Time</i> dengan <i>AFR</i> 76,60:1.....	40
Gambar 4.6 Kadar <i>Syngas</i> terhadap Variasi <i>Air-Fuel Ratio</i>	41
Gambar 4.7 Analisis <i>Burning Rate</i> terhadap Variasi <i>Air-Fuel Ratio</i>	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Biomassa Berdasarkan Analisis <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> .	6
Tabel 2.2 Analisis <i>Proximate</i> dan <i>Ultimate</i> Biomassa Kulit Kopi	7
Tabel 2.3 Karakteristik Berbagai Tipe <i>Gasifier</i> terhadap <i>Initial Ignition</i>	12
Tabel 2.4 Kadar <i>Syngas</i> dari Beberapa Tipe <i>Gasifier</i>	22
Tabel 2.5 Studi Literatur	25
Tabel 4.1 Data Temperatur <i>Bed</i> Gasifikasi	34
Tabel 4.2 Data Kadar <i>Syngas</i> sebagai Parameter <i>Starter-off</i>	41
Tabel 4.3 Data <i>Burning Rate</i> pada Proses Pembakaran Biomassa	42



DAFTAR NOTASI

Notasi	Penjelasan
CH_4	Metana
CO	Karbon Monoksida
H_2	Hidrogen
C	Karbon
O_2	Oksigen
N_2	Nitrogen
H_2O	Uap Air
C_3H_8	Propana
$^{\circ}\text{C}$	Celcius
m	Massa (kg)
$\dot{m}$	Massa Volumetrik
BR	<i>Burning Rate</i> (g/min)
ρ	Densitas Fluida (kg/m^3)
$\dot{V}$	Laju Aliran Volumetrik (LPM)
T	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
ppm	<i>part per million</i>

DAFTAR ISTILAH

Singkatan/Istilah	Arti dan Keterangan
<i>AFR</i>	<i>Air-Fuel Ratio</i>
ER	<i>Equivalence Ratio</i>
LHV	<i>Low Heating Value</i>
HHV	<i>High Heating Value</i>
LPM	<i>liter per minute</i>
SCFH	<i>Square Cubic Feet per Hours</i>
<i>Syngas</i>	<i>Synthetis Gas</i>
TGA	<i>Thermogravimetric Analysis</i>
DTG	<i>Derivative Thermogravimetri</i>
LPG	<i>Liquified Petroleum Gas</i>