

**PENGARUH VARIASI MASSA DAN BAHAN  
BAKAR PADA VOLUME RUANG BAKAR  
TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU BATA API**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Muhammad Hilman Farhani**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## ABSTRAK

### PENGARUH VARIASI MASSA DAN JENIS BAHAN BAKAR PADA VOLUME RUANG BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU BATA API

Oleh

**Muhammad Hilman Farhani**

Kebutuhan sumber energi yang sangat tinggi menyebabkan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis, sehingga mengharuskan masyarakat Indonesia untuk mencari sumber energi alternatif lainnya. Sumber energi alternatif yang sudah banyak digunakan dan mudah untuk diperbaharui adalah sumber energi biomasa. Sumber energi biomasa yang ada di Indonesia berasal dari limbah hasil pertanian dan perkebunan. Limbah hasil pertanian dan perkebunan bila tidak dimanfaatkan dengan baik akan terbuang percuma. Oleh karena itu, pada penelitian ini memanfaatkan limbah biomasa berupa sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu jati sebagai variasi bahan bakar, dengan variasi massa yang digunakan adalah 2 kg, 3 kg, dan 4 kg. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Water Boiling Test (Cold Start)* bertujuan untuk mengetahui seberapa baik unjuk kerja tungku bata api berupa efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik dan daya pemanasan dari masing-masing variasi bahan bakar yang diuji berdasarkan volume ruang bakarnya. Efisiensi termal terbaik diperoleh pada bahan bakar kayu jati dengan massa 4 kg diperoleh efisiensi termal sebesar 12,9 %. Sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik (*Sfc*) diperoleh pada bahan bakar sekam padi dengan massa 2 kg yaitu sebesar 4963,154 gr/kWh. Sedangkan daya pemanasan terbaik yang diperoleh dari pengujian ini adalah pada bahan bakar kayu jati dengan massa 4 kg yaitu 4045,219 Watt. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa efisiensi termal, *Sfc*, dan daya pemanasan dipengaruhi oleh densitas bahan bakar, porositas bahan bakar, dan ukuran bahan bakar.

Kata Kunci: Biomassa, *Water Boiling Test*, Sekam padi, Tempurung kelapa, Kayu jati, Efisiensi termal, *Sfc*, Daya pemanasan

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF MASS VARIATION AND FUEL TYPE ON THE VOLUME OF COMBUSTION CHAMBERS IN A FIRE BRICK FURNACE DEMONSTRATION**

**By**

**Muhammad Hilman Farhani**

Because of the growing demand for energy, fossil fuels are becoming scarce, forcing Indonesians to seek alternate energy sources. Biomass energy is a renewable form of energy that can be utilized as an alternative to fossil fuels. Biomass generated from agricultural and plantation waste is abundant in Indonesia. Agriculture and plantation trash will be wasted if not effectively utilized. As a result, biomass waste in the form of rice husks, coconut shells, and teak wood was employed as a fuel variation in this investigation, with mass variations of 2 kg, 3 kg, and 4 kg used. The Water Boiling Test (Cold Start) method was used in this study to determine how effectively the fire brick furnace performs in terms of thermal efficiency, specific fuel consumption, and heating power for each fuel variation examined depending on the combustion chamber volume. The best thermal efficiency was found in teak wood fuel, which had a mass of 4 kg and a thermal efficiency of 12.9%. In contrast, the specific fuel consumption (Sfc) of rice husk fuel with a mass of 2 kg is 4963,154 gr / kWh. While the best heating power obtained from this test is 4045,219 Watts on teak wood fuel with a mass of 4 kg. Based on the results, it can be inferred that fuel density, fuel porosity, and fuel size have an impact on thermal efficiency, SFC, and heating power.

**Keyword** : Biomass, WBT, rice husk, coconut shell, teak wood, thermal efficiency, Sfc, heating power

**PENGARUH VARIASI MASSA DAN BAHAN  
BAKAR PADA VOLUME RUANG BAKAR  
TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU BATA API**

Oleh  
**Muhammad Hilman Farhani**  
1615021022

**Skripsi**  
**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar**  
**SARJANA TEKNIK**

**Pada**  
**Jurusan Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**BANDAR LAMPUNG**  
2021

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI MASSA DAN BAHAN BAKAR PADA VOLUME RUANG BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU BATA API**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Hilman Farhani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615021022**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas

**Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

**Ir. Herry Wardono., M.Sc., IPM**  
NIP. 196608221995121001

**M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng**  
NIP. 198010012008121001

Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP. 19710331 19990310 03

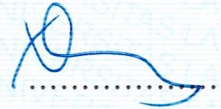
Kepala Program Studi S1  
Teknik Mesin

**Novri Tanti, S.T., M.T.**  
NIP. 19701104 199703 2 001

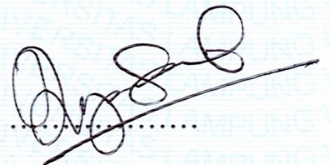
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

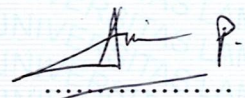
Ketua Penguji : **Ir. Herry Wardono., M.Sc., IPM**



Anggota Penguji : **M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng**




Penguji Utama : **A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



 **Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**  
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **27 September 2021**

## PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR  
NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT  
PERNYATAAN



Muhammad Hilman Farhani

NPM. 1615021022

**-DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH YANG MAHA PENGASIH LAGI  
MAHA PENYAYANG**

**KARYA TULIS INI DIPERSEMBAHKAN KEPADA**

Kedua Orang Tua dan Keluarga Terkasih

serta

Kepada Semua Pihak Yang Telah Mendukung, Mendidik dan Membimbing Penulis

Terima Kasih Banyak.



**MOTTO :**

***“Sesungguhnya Allah Beserta Orang-Orang Yang Sabar”***

***(QS. Al-Baqoroh :153)***

***“Tidaklah Kenikmatan Itu Kecuali Setelah Kepayahan”***

***(Mahfudzot)***

***“Melihat Keatas Untuk Memotivasi Diri dan Melihat Kebawah***

***Untuk Bersyukur”***

***(Pengandaian)***

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung, pada tanggal 7 Juli 1999, sebagai anak ketiga dari 7 bersaudara dari pasangan Bapak Arief Hidayatullah dan Ibunda Roihatun Nafsiah. Penulis menyelesaikan sekolah dasar di SDIT IZZUDDIN di Kota Palembang pada tahun 2004 dan melanjutkan pendidikan SMP ke Pondok Pesantren Assalam Al-Islamy di Kabupaten Musi Banyuasin pada tahun 2013. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 4 di Kota Palembang pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa aktif di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Kemudian pada saat menjalani perkuliahan, penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina Refinery Unit IV di Provinsi Jawa Tengah, Kota Cilacap. Selama menjadi Mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Meisn (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Keagamaan Islam periode 2018-2019. Pada skripsi ini penulis melakukan penelitian di bidang konversi energi tentang pemanfaatan energi biomassa sebagai sumber energi terbarukan pada alat konversi energi adalah tungku bata tahan api, dengan judul “PENGARUH VARIASI MASSA DAN JENIS BAHAN BAKAR TERHADAP

UNJUK KERJA TUNGKU BATA API” dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM, Bapak M. Dyan Susila ES., S.T., M.Eng, dan Bapak A. Yudhi Eka Risano, S.T., M.Eng.



## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Massa dan Jenis Bahan Bakar Pada Volume Ruang Bakar Terhadap Kinerja Tungku Bata Api” Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis menyadari betapa besar bantuan dan dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., PhD., selaku Dekan Teknik Universitas Lampung beserta staf dan jajarannya yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan tugas akhir kepada penulis serta bersedia meluangkan

waktunya untuk membimbing dan memberikan perhatian sehingga penulis dapat menyusun laporan skripsi ini menjadi lebih baik.

5. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan guna membangun laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi.
6. Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan masukan dan saran-saran membangun agar penulisan laporan ini menjadi lebih baik lagi.
7. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan tentang perkuliahan selama penulis menjadi mahasiswa.
8. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, para staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, dan Teknisi Laboratorium Motor Bakar Universitas Lampung.
9. Untuk kedua Orangtua saya, Bapak Arief Hidayatullah dan Ibunda Roihatun Nafsiah yang selalu mendoakan untuk kebaikan anak-anaknya memberikan kasih sayangnya tanpa pamrih dan menyemangati anak-anaknya.
10. Untuk abang-abang saya Muhammad Hanif Arrosyadi dan Abdurrahman Afif serta adik-adik saya Azzam Imad Aqil, Nurul Azmi Sholahuddin, Aisyah Putri Sholihah, dan Amirah Azizah Qonitah yang selalu menghibur dan mendoakan saya agar selalu semangat dalam menjalani perkuliahan.

11. Kepada saudara seperjuangan Tugas Akhir tungku bata api Muhammad Alwi Husaini dan Tulus Oktavianus Sinaga yang telah berbagi suka dan duka selama menyelesaikan Tugas Akhir tungku bata api.
12. Kepada sahabat-sahabat saya Dedy Rizaldy, Nugroho Priambodo, Rizqal Hakim, dan masih banyak lagi lainnya yang tak cukup bilamana harus disebutkan semua, terima kasih sudah menemani perjuangan perkuliahan yang banyak dukanya dibandingkan sukanya.
13. Kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin 2016 yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
14. Kepada semua yang telah membantu penulis menyemangati dan berbagai hal lainnya sehingga terselesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik akan diterima dengan terbuka. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dipergunakan dengan sebaik-baiknya, dan bermanfaat bagi diri sendiri dan yang membacanya.

Bandar Lampung, 12 Oktober 2021

Penulis,

Muhammad Hilman Farhani

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	4
C. Batasan Masalah .....	5
D. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Biomassa .....	7
B. Tungku Pembakaran .....	10
C. Tungku Pembakaran pada Pabrik Tahu Syafe'i.....	11
D. Biomassa Sekam Padi .....	12
E. Biomassa Tempurung Kelapa .....	13
F. Biomassa Kayu Bakar .....	15
G. Teori Pembakaran .....	16
H. Metode <i>Water Boiling Test</i> .....	19
I. Perhitungan <i>Water Boiling Test</i> .....	22
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Alat dan Bahan.....	24
B. Persiapan Alat dan Bahan .....	29
C. Prosedur Pengujian .....	30



D. Variabel Pengujian.....	31
E. Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	31
F. Alur Pengujian .....	32

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Penelitian .....	33
B. Pembahasan .....	36
1 Pengambilan data <i>moisture content</i> .....	36
a. <i>Moisture content</i> sekam padi.....	36
b. <i>Moisture content</i> tempurung kelapa .....	37
c. <i>Moisture content</i> kayu jati.....	38
2 Pengujian WBT.....	39
3 Pengaruh variasi massa biomassa sekam padi terhadap prestasi biomassa.....	41
a. Pengaruh variasi massa biomassa sekam padi terhadap daya pemanasan.....	41
b. Pengaruh variasi massa biomassa sekam padi terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.....	42
c. Pengaruh variasi massa biomassa sekam padi terhadap efisiensi termal.....	44
4 Pengaruh variasi massa biomassa tempurung kelapa terhadap prestasi biomassa.....	45
a. Pengaruh variasi massa biomassa tempurung kelapa terhadap daya pemanasan .....	46
b. Pengaruh variasi massa biomassa tempurung kelapa terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.....	48
c. Pengaruh variasi massa biomassa tempurung kelapa terhadap efisiensi termal .....	49
5 Pengaruh variasi massa biomassa kayu jati terhadap prestasi biomassa.....	51
a. Pengaruh variasi massa biomassa kayu jati terhadap daya pemanasan.....	51

b. Pengaruh variasi massa biomassa kayu jati terhadap konsumsi bahan bakar spesifik .....	53
c. Pengaruh variasi massa biomassa kayu jati terhadap efisiensi termal.....	54
6 Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap prestasi biomassa.....	55
a. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap daya pemanasan .....	56
b. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.....	58
c. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap efisiensi termal.....	60

## **BAB V. PENUTUP**

A. Kesimpulan .....	64
B. Saran .....	65

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Daur pemanfaatan biomassa dan limbah biomassa .....	8
2. Tungku pembakaran di pabrik tahu syafe'i .....	11
3. Data komposisi kimiawi sekam .....	12
4. (a). Tempurung kelapa dan (b). Arang tempurung kelapa).....	15
5. (a) Biomassa ranting pohon dan (b) Biomassa limbah logging .....	16
6. Nilai kalor bahan baku dan briket dari sekam padi dan tempurung kelapa ...	20
7. Desain tungku energi hijau .....	21
8. Tungku Pembakaran .....	24
9. Wajan .....	25
10. Timbangan digital .....	25
11. <i>Stopwatch</i> .....	25
12. Gelas ukur .....	26
13. Termometer.....	26
14. Alat pemotong.....	26
15. Wadah sisa bahan bakar.....	27
16. Sekam padi.....	27
17. Tempurung kelapa .....	28
18. Kayu bakar .....	28
19. Air sumur .....	29
20. Alur Pengujian .....	32
21. Pengaruh lama waktu pengeringan terhadap perubahan massa bahan bakar sekam padi .....	36
22. Pengaruh lama waktu pengeringan terhadap perubahan massa bahan bakar tempurung kelapa .....	37

23. Pengaruh lama waktu pengeringan terhadap perubahan massa bahan bakar kayu jati .....	38
24. Umpan bahan bakar dengan berat 1 % dari bahan bakar .....	39
25. Bahan bakar yang telah disusun.....	40
26. Posisi termometer pada saat pengujian .....	40
27. Pengaruh variasi massa sekam padi terhadap daya pemanasan.....	41
28. Pengaruh variasi massa sekam padi terhadap konsumsi bahan bakar spesifik .....	43
29. Pengaruh variasi massa sekam padi terhadap efisiensi termal.....	44
30. Pengaruh variasi massa biomassa tempurung kelapa terhadap daya pemanasan.....	46
31. Pengaruh variasi massa tempurung kelapa terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.....	48
32. Pengaruh variasi massa tempurung kelapa terhadap efisiensi termal .....	50
33. Pengaruh variasi massa kayu jati terhadap daya pemanasan .....	51
34. (a) Proses penyusunan, dan (b) bentuk penyusunan bahan bakar kayu jati...	53
35. Pengaruh variasi massa kayu jati terhadap konsumsi bahan bakar spesifik .....	53
36. Pengaruh variasi massa kayu jati terhadap efisiensi termal .....	55
37. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap prestasi biomassa.....	56
38. Cerobong pembakaran bahan bakar sekam padi.....	57
39. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik .....	58
40. Pengaruh variasi jenis bahan bakar terhadap efisiensi termal.....	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Ketersediaan lahan untuk produksi biomassa .....	9
2. Analisis residu biomassa tersedia di tingkat dunia .....	9
3. Perbandingan sifat antara tempurung kelapa dan arangnya.....	14
4. Unjuk kerja tungku energi hijau berbahan bakar kayu jati .....	21
5. Variabel pengujian .....	32
6. Data hasil pengujian WBT dengan bahan bakar sekam padi.....	33
7. Data hasil pengujian WBT dengan bahan bakar tempurung kelapa .....	34
8. Data hasil pengujian WBT dengan bahan bakar kayu jati .....	34
9. Hasil pengolahan data dari keseluruhan pengujian metode WBT pada tungku bata api .....	35
10. Perbandingan hasil pengujian ketiga variasi biomassa bahan bakar.....	62

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
$w_{cv}$	Berat air yang menguap	g
$P_{ci}$	Massa air sebelum pengujian	g
$P_{cf}$	Massa air setelah pengujian	g
$t_{cf}$	Waktu akhir pemasakan	s
$t_{ci}$	Waktu awal pemasakan	s
$f_{em}$	Konsumsi bahan bakar (moist)	g
$f_{cf}$	Berat bahan bakar setelah pengujian	g
$f_{ci}$	Berat bahan bakar sebelum pengujian	g
$f_{cd}$	Konsumsi bahan bakar ekuivalen	
$f_c$	Berat arang setelah pengujian	g
$m$	Kadar kelembaban	%
$\eta_c$	Efisiensi Termal	%
$T_{cf}$	Temperatur air setelah pengujian	°C
$T_{ci}$	Temperatur air sebelum pengujian	°C
$S_{fc}$	<i>Specific Fuel Consumption</i>	g/kWh
$Q$	Daya Pemanasan	Watt
$t$	waktu selama proses	s

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai kekayaan alam yang dapat dieksplorasi untuk memenuhi kebutuhan kehidupan manusia mulai dari sumber pangan hingga kebutuhan energi. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut manusia umumnya menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak, gas bumi, atau batu bara sebagai penghasil energi. Penggunaan energi fosil yang semakin tinggi akan menyebabkan semakin menipisnya ketersediaan energi fosil untuk pemenuhan sumber energi, sehingga mengharuskan manusia mencari sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebaik mungkin dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Faktor penyebab terjadinya peningkatan konsumsi bahan bakar fosil yang tinggi ini adalah banyaknya penggunaan mesin industri dan transportasi yang masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi penggeraknya (Simatupang, 2019).

Kesadaran manusia akan menipisnya cadangan minyak bumi menyebabkan munculnya berbagai usaha untuk mencari dan mengembangkan energi alternatif baru yang dilakukan untuk pemenuhan energi untuk rumah tangga seperti minyak tanah. Sehingga, pemerintah Indonesia melakukan impor bahan bakar minyak (BBM) untuk memenuhi sebagian kebutuhan BBM. Berdasarkan data kementerian ESDM pada tahun 2015 cadangan minyak nasional saat ini hanya bersisa 3,7 miliar barrel, dimana cadangan minyak bumi terbesar berada di wilayah Sumatera bagian Tengah yang berkisar

3685,95 Juta Stok Tank Barrel yang kemudian diikuti wilayah Jawa Timur berkisar 969,65 Juta Stok Tank Barrel. Berdasarkan jumlah sisa cadangan minyak yang ada diperkirakan bahan bakar minyak ini akan habis dalam 12 tahun kedepan, untuk cadangan gas alam sebesar 151,33 *Trillion Cubic Feet* (TFC) diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 34 tahun lagi, dan besar cadangan batubara sebesar 32 miliar ton bahan bakar yang akan habis dalam kurun waktu 80 tahun (Simatupang, 2019).

Biomasa merupakan salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan dalam pemenuhan sumber energi untuk menggantikan energi fosil yang semakin menipis. Sumber energi biomasa bersifat dapat digunakan secara berkelanjutan, dapat dikembangkan, mudah didapatkan, dan ramah lingkungan. Sumber energi ini umumnya diperoleh dari makhluk hidup yang menyimpan energi seperti tumbuhan yang umumnya digunakan. Jenis-jenis biomasa yang biasa digunakan di kalangan masyarakat adalah batang, cabang, ranting pepohonan, sabut kelapa, tempurung kelapa, arang kelapa, limbah pertanian, sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, dan berbagai macam biomasa yang mudah didapatkan. Limbah biomasa di Indonesia sangat berlimpah, ini disebabkan akibat usaha pertanian yang jika tidak dimanfaatkan sebaik mungkin akan menyebabkan tercemarnya lingkungan sekitar. Pemanfaatan limbah biomasa yang diperoleh sangat menguntungkan untuk potensi pemenuhan sumber energi yang ekonomis, dimana limbah tersebut memiliki kandungan bahan organik yang tinggi (selulosa, hemiselulosa, dan lignin). Pentingnya pemanfaatan limbah biomasa sebagai sumber energi potensial yang dapat menjaga lingkungan dari adanya penimbunan limbah biomasa. Potensi biomasa berupa limbah pertanian yang melimpah di Indonesia yang disebabkan akibat usaha pertanian bila tidak dimanfaatkan sebaik mungkin dapat menjadi limbah yang tidak berguna dan berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitarnya dengan adanya rekonsersi energi (Iskandar, 2012).



Biomasa sudah banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia sebagai sumber bahan baku pada industri, furnitur, dan sumber energi panas. Untuk memanfaatkan sumber energi pada biomasa masyarakat menggunakan tungku sebagai alat untuk memasak terutama di daerah perdesaan dan pabrik-pabrik penghasil makanan seperti tahu, tempe, dan masih banyak lagi pabrik-pabrik yang menggunakan tungku sebagai alat memasak maupun penghasil energi. Masyarakat memilih penggunaan tungku sebagai alat memasak dikarenakan alasan keamanan yang relatif lebih baik dibandingkan kompor gas dan biaya operasionalnya relatif lebih murah. Penggunaan tungku yang sering dijumpai pada masyarakat umumnya masih kurang efisien sehingga banyak energi yang terbuang dari pembakaran yang dilakukan. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki kualitas pembakaran pada tungku dengan cara memperbaiki geometri tungku dari ketinggian dan diameter tungku sampai ke geometri sisi buang udara hasil pembakaran serta mengatur suplai udara yang masuk ke ruang bakar dapat pula dengan meningkatkan efisiensi pada biomasa bahan bakar yang digunakan seperti pembuatan briket dan pelet dengan biomasa ataupun dengan mencampur dua jenis biomasa yang memiliki nilai kalor yang rendah dengan yang tinggi.

Berdasarkan laporan pengabdian masyarakat oleh Zulfiandri (2019) sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu jati merupakan biomasa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, dimana sekam padi merupakan limbah hasil pertanian dari proses penggilingan padi dan selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut hasil pemetaan energi alternatif potensial untuk pemenuhan kebutuhan energi industri agro tahun 2019 dilaporkan bahwa terdapat limbah buangan sekam padi berkisar 20% dengan pemanfaatan biomasa sekam padi dapat menghasilkan energi sebesar  $211 \times 10^6$  GJ/tahun, tempurung kelapa terdapat limbah buangan sebesar 12% dengan energi yang dihasilkan  $5 \times 10^6$  GJ/tahun, dan pada kayu jati dinyatakan bahwa setiap tahun diperkirakan terdapat limbah kayu sebanyak 30% yang terbuang dan belum dimanfaatkan. Jumlah energi yang terkandung dalam kayu itu besar, yaitu  $60 \times 10^6$  GJ/tahun.

Pada penelitian Qistina (2016) tentang kajian kualitas briket biomasa dari sekam padi dan tempurung kelapa, nilai kalor briket sekam padi dan tempurung kelapa mengalami penurunan nilai kalor masing-masing 9,72% dan 7,21% jika dibandingkan dengan nilai kalor dari bahan bakunya. Namun, untuk gas emisi dari briket sekam padi dan tempurung kelapa berupa gas NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, dan hidrokarbon (HC) masih di bawah baku mutu yang dipersyaratkan. Sedangkan untuk hasil dari pengujian termalnya, briket sekam padi menunjukkan nilai efisiensi termal yang lebih baik bila dibandingkan dengan briket tempurung kelapa dimana diperoleh nilai efisiensi termal briket sekam padi 31,13% dan briket tempurung kelapa adalah 22,28%.

Pada penelitian ini digunakan berbagai biomasa yaitu, sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu bakar. Untuk metode pengambilan datanya disini menggunakan metode WBT (*water boiling test*) yang akan digunakan pada tungku serupa dengan penelitian saudara Ryan Rusdi Wijayanto (2018) menggunakan kayu karet yang kemudian dapat menghasilkan efisiensi dari 22,33%-32,49% .

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Mengetahui pengaruh jenis bahan bakar terhadap efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik, dan daya pemanasan dari masing-masing bahan bakar dengan metode WBT.
2. Mengetahui pengaruh massa dari masing-masing bahan bakar terhadap efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik, dan daya pemanasan dengan metode WBT.

### C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan bertujuan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih terarah. Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Jenis bahan bakarnya dibedakan berdasarkan *bulk density* dari material bahan bakar terhadap ruang bakar berupa sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu bakar.
2. Variasi massa bahan bakar pada setiap jenis bahan bakar yaitu 2 kg, 3 kg, dan 4 kg,
3. Metode WBT yang diterapkan pada penelitian ini adalah *high power (cold start)*.
4. Massa air yang digunakan dalam satu proses pengujian WBT adalah 5 kg.
5. Kerugian panas yang mengalir ke dinding tungku dan lingkungan diabaikan karena pengujian dilakukan dengan tungku yang sama.
6. Tungku pembakaran yang digunakan yaitu tungku bata api penelitian dari saudara Ryan Rusdi Wijaya.
7. Penulis menggunakan data-data *proximate* dan *ultimate analysis* pada jurnal penelitian yang sudah dilakukan dan akan disesuaikan pada nilai *moisture content*.

### D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penyusunan laporan kerja praktek ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari penelitian tungku bata api dengan variasi massa dan jenis bahan bakar.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Terdiri dari kajian pustaka dari penelitian terdahulu dan dasar teori yang diambil dari buku serta jurnal mengenai biomasa yang digunakan dan teori-teori pembakaran sebagai pedoman dalam penelitian.

**BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang tahapan persiapan alat dan bahan sebelum pengujian, prosedur pengujian, dan diagram alir pengujian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang data penelitian yang didapat, dan pembahasan dari data yang diperoleh pada penelitian ini berupa *moisture content*, konsumsi bahan bakar spesifik, daya pemanasan, dan efisiensi termal.

**BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan hal-hal yang disimpulkan dari tujuan penelitian dan saran yang diberikan pada penelitian tungku bata api ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

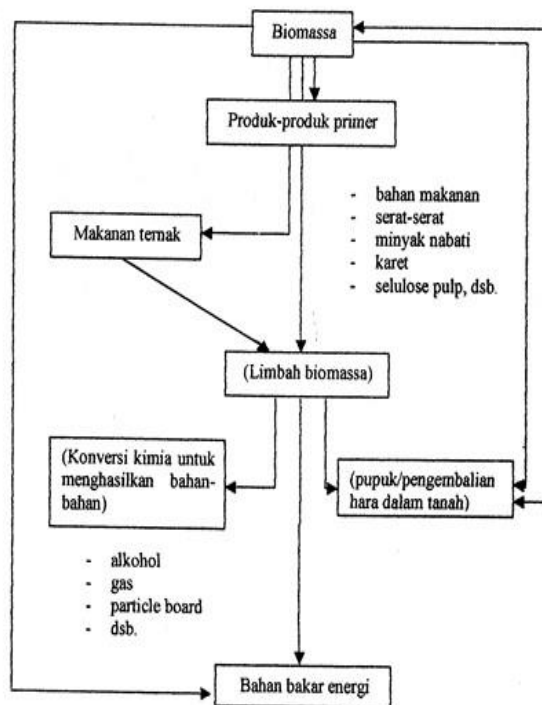
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Biomasa

Biomasa merupakan bahan bakar organik yang dihasilkan dari proses fotosintetik, yang dapat berupa produk seperti tanaman, rumput, ubi, pakan ternak, dan pepohonan. Sedangkan sumber biomasa yang berasal dari buangan produk antara lain seperti limbah pertanian, limbah hutan, dan kotoran ternak. Biomasa yang digunakan sebagai bahan bakar umumnya adalah biomasa yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan produk buangan (limbah) setelah diambil produk primernya. Sumber energi biomasa memiliki berbagai kelebihan yang salah satunya adalah sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga sumber energi yang tersedia akan berkesinambungan (*sustainable*). Sumber energi biomasa di Indonesia jumlahnya sangat melimpah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan, memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah dari prosesnya, limbah-limbah ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan bakar nabati pemanfaatan bahan bakar dari limbah ini (Qistina dkk, 2016).

Biomasa sangat berperan dalam meningkatkan sumber energi untuk pemenuhan energi di bumi yang berpengaruh dalam kelestarian lingkungan sekitar akibat adanya limbah. Biomasa memiliki sifat sebagai sumber energi yang dapat terbatukan dan meningkatkan pemanfaatan energi ke skala yang lebih besar lagi sehingga tidak bergantung pada energi fosil yang sifatnya

terbatas. Pada Gambar 1. menjelaskan bagaimana pemanfaatan biomasa sebagai sumber energi maupun non energi (Basu,2013).



Gambar 1. Daur pemanfaatan biomasa dan limbah biomasa  
(Saswinadi, 1983)

Berbagai biomasa yang sudah tersedia untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi dapat diklasifikasikan menjadi: biomasa kehutanan, tanaman energi, residu pertanian, serta biomassa yang dihasilkan melalui proses industri. Adapun luas lahan yang tersedia untuk produksi biomasa pada tingkat dunia akan ditunjukkan pada Tabel 1, pada tabel tersebut menunjukkan jenis tanaman serta klasifikasi pemanfaatan lahannya. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa jumlah total energi yang dapat dihasilkan untuk produksi energi bermacam-macam tergantung sektor satu dan yang lainnya. Pada data tahun 2013 memperlihatkan kontribusi tertinggi berada pada dari hasil kehutanan (sekitar 88%) sedangkan residu tanaman berkisar 9%. Sedangkan biomasa pertanian umumnya dapat diproses untuk menjadi *biofuel*, *bioetanol*, dan *biodiesel* dengan menggunakan teknologi yang lebih maju seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Ketersediaan lahan untuk produksi biomasa

Luas Lahan	Klasifikasi Luas Lahan		Klasifikasi Pertanian, Kehutanan dan Lahan lainnya	
	13,009,337	Lahan Pertanian	4,928,929	Tanah Subur Tanaman Permanen Padang rumput permanen
Lahan Kehutanan		4,005,749	Hutan Primer Hutan regenerasi alami lainnya Hutan tanam	1,281,582 2,437,258 286,934
Lahan Lainnya		4,089,540		

Sumber: Bonechi (2017)

Tabel 2. Analisis residu biomasa tersedia di tingkat dunia

Sektor	Bahan Bakar	Bagian	Total bagian Sektor
Kehutanan	Kayu Bakar	68	88
	Pelet	0.8	
	Arang	10	
	Residu Hutan	1.8	
	<i>Black Liquor</i>	6.8	
	Residu Industri Kayu	0.8	
Pertanian	<i>Bioetanol</i> dari tanaman	4.0	9
	<i>Biodiesel</i> dari tanaman	2.1	
	<i>Hydrotreated Vegetable Oils</i>	0.3	
	<i>Biogas</i> dari tanaman/hewan	2.6	
Limbah	Limbah Perkotaan	2.6	3

Sumber: Bonechi (2017)

## B. Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran (kiln) adalah suatu alat yang terbuat dari bata tahan api yang memiliki ruang pembakaran, dapat dipanaskan dengan bahan bakar atau listrik dan dipergunakan untuk membakar benda-benda. Tungku pembakaran ini digunakan untuk membakar benda-benda yang diletakkan didalam tungku serta dibakar dengan menggunakan bahan bakar biomasa maupun non biomasa seperti kayu, batu bara, minyak, gas, serbuk, tempurung kelapa, tandan kosong sawit, batang ubi-umbian dan lainnya sehingga panas hasil pembakaran dapat dimanfaatkan (Muhazir, 2019).

Bahan bakar biomasa memiliki banyak produk yang dapat terbagi menjadi tiga produk utama yang dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk wujudnya sebagai berikut (Basu, 2013) :

### 1 Bahan bakar cair

Meliputi: *bioethanol*, *biodiesel*, *methanol*, minyak sayur dan minyak pirolisis.

### 2 Bahan bakar gas

Meliputi: *biogas* ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), *producer gas* ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), *syngas* ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) dan gas alam pengganti ( $\text{CH}_4$ )

### 3 Bahan bakar padat

Meliputi: arang, biomasa torefaksi, *biocoke*, *biochar*.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran pada bahan bakar padat adalah (Almu, 2014):

#### a. Ukuran partikel

Bahan bakar dengan ukuran partikel yang lebih kecil akan lebih cepat terbakar.

#### b. Kecepatan aliran udara

Laju pembakaran bahan bakar akan naik bila terjadi kenaikan kecepatan aliran udara.

#### c. Jenis bahan bakar

Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan *moisture*.



d. Temperatur udara pembakaran

Kenaikan temperatur pembakaran akan menyebabkan semakin cepat atau semakin pendeknya waktu pembakaran sehingga laju pembakaran akan meningkat

**C. Tungku pembakaran pada pabrik tahu Syafe'i**

Pabrik-pabrik penyedia sumber bahan makanan masih banyak yang menggunakan tungku sebagai media untuk memasak produk yang akan dihasilkan contohnya pada pabrik tahu Syafe'i yang berlokasi di Jalan Sukardi Hamdani Palapa 10, Gunung Terang, Langkapura, Kota Bandar Lampung. Tungku pembakaran yang digunakan adalah tungku bata tahan api dengan bahan bakar berupa campuran kayu bakar, serbuk kayu dan batok kelapa.

Pemanfaatan energi hasil pembakaran yang dihasilkan tidak secara langsung digunakan untuk proses pembuatan tahu namun dengan cara memanaskan air sehingga berubah menjadi uap yang kemudian uap panas tersebut untuk membuat tahu. Pemanfaatan uap panas sebagai media pembuatan tahu dikarenakan bila menggunakan panas pembakaran secara langsung akan membuat produk tahu yang dihasilkan akan berbau yang kurang sedap.



Gambar 2. Tungku pembakaran di pabrik tahu Syafe'i

Proses pembuatan tahu dengan memanfaatkan uap panas berlangsung selama kurang lebih setengah jam dengan pemanasan awal memerlukan waktu selama kurang lebih satu setengah jam. Untuk sekali memasak tahu biasanya mengkonsumsi sekitar setengah karung serbuk kayu, 2 batang kayu bakar berukuran sedang dan 2 buah batok kelapa dengan volume ruang bakar yang terisi kurang dari seperempatnya.

#### D. Biomasa Sekam Padi

Sekam padi adalah lapisan keras meliputi kariposis dan terdiri dari dua belahan yang disebut dengan lemma dan pelea yang saling bertautan. Sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi limbah atau bahan sisa dari hasil penggilingan padi. Sekam merupakan biomasa yang dapat digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak, dan sumber energi bahan bakar. Proses penggilingan padi hanya dapat menghasilkan sekitar 20-30% sekam padi, dedak sekitar 8-12% dan beras giling sekitar 50-63,5% berdasarkan data bobot awal gabah. Limbah sekam yang dihasilkan pada proses ini dan tidak dimanfaatkan akan menumpuk dalam jumlah yang sangat tinggi dan dapat menyebabkan masalah pada lingkungan sekitarnya (Dewi, 2017).

Komponen	Persentase kandungan (%)
<b>A. Menurut Suharno (1979)</b>	
1. Kadar air	9,02
2. Protein kasar	3,03
3. Lemak	1,18
4. Serat kasar	35,68
5. Abu	17,71
6. Karbohidrat Kasar	33,71
<b>B. Menurut DTC-IPB</b>	
1. Karbon (zat arang)	1,33
2. Hidrogen	1,54
3. Oksigen	33,64
4. Silika	16,98
<b>A Pembuatan arang sekam</b>	
	<b>Biaya</b>
1. Harga sekam kering (Rp/kg)	500,-
2. Rendemen arang sekam (70%)	(70 kg)
3. Upah tenaga kerja (Rp/proses)	10.000,-
4. Biaya pembuatan arang sekam (Rp/kg)	142,86,-
5. Harga arang sekam (belum termasuk keuntungan) (Rp/kg)	147,86,-
<b>B Pembuatan briket arang sekam</b>	
	<b>Biaya</b>
1. Harga 1 kg arang sekam (Rp)	147,86,-
2. Kapasitas mencetak briket (kg/hari)	(15 kg)
3. Upah kerja (Rp/hari/orang)	20.000,-
4. Upah pembuatan briket arang sekam (Rp/kg)	1.333,-
5. Harga briket arang sekam (belum termasuk keuntungan) (Rp/kg)	1.480,-

Gambar 3. Data komposisi kimiawi sekam

Berdasarkan gambar 3. data komposisi kimiawi sekam padi, mengandung berbagai unsur kimia yang penting seperti karbon, hidrogen, oksigen, dan silika. Sekam dapat dimanfaatkan untuk bermacam keperluan yaitu: (1) sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural yang berguna dalam berbagai industri kimia, (2) sekam padi juga dapat digunakan pada bahan baku pada industri bahan bangunan terutama pada kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang biasa digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, bahan isolasi, *husk board* dan campuran bahan pada industri bata merah, dan (3) merupakan sumber energi panas yang digunakan untuk berbagai keperluan masyarakat, kandungan selulosa yang tinggi menghasilkan pembakaran yang stabil dan merata pada pembakaran yang terjadi (Dewi, 2017).

#### **E. Biomasa Tempurung Kelapa**

Biomasa tempurung kelapa sudah lama digunakan sebagai penghasil energi panas dan telah dilakukan penelitian sebagai bahan kajian lanjut. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, komposisi kimia tempurung kelapa terdiri dari 74,3% C, 21.9% O, 0.2% Si, 1.4% K, 0.5% S, 1.7% P sehingga memiliki peluang digunakan sebagai bahan bakar dan sumber karbon aktif. Pemanfaatan arang tempurung kelapa sebagai sumber bahan bakar terbarukan telah dikembangkan menjadi lebih efisien dengan menjadikan arang tempurung kelapa menjadi briket atau pelet melalui proses pemadatan. Untuk pengembangan bahan bakar tempurung kelapa agar menjadi lebih efisien maka perlu dipahami sifat fisik dan kimianya, yaitu: bahan campuran (*moisture*), kerapatan struktur, morfologi, dan termal. Perubahan tempurung kelapa menjadi arang dilakukan melalui proses pirolisis (pemanasan). Proses pirolisis menghilangkan unsur-unsur bukan karbon seperti hidrogen (H) dan oksigen (O) sehingga tersisa unsur karbon (C) dalam bahan dan meningkat akibat proses pemanasan, proses peningkatan unsur karbon ini disebut juga karbonisasi. Perubahan komposisi

dan sifat termal tempurung kelapa menjadi arang ditunjukkan pada Tabel 3 (Budi, 2011).

Perubahan tempurung kelapa menjadi arang meningkatkan unsur karbon dan peningkatan kandungan abu tetapi tidak sebanyak peningkatan kandungan karbonnya. Fase ini merupakan proses penghilangan kandungan bahan campuran (*moisture*) dan bahan mudah uap (*volatile*). Arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih banyak sehingga berpotensi baik untuk dijadikan bahan bakar dibandingkan dengan komposisi akhir pada bahan alami lainnya seperti batang (*cob*) biji jagung kulit padi dan cangkang (*cocoa*) yang berkisar antara (12-20% C). Proses karbonisasi yang mengubah tempurung kelapa menjadi arang akan mengakibatkan peningkatan sifat termal pada bahan itu sendiri, ini terjadi dikarenakan adanya peningkatan kandungan karbon seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 (Budi, 2011).

Tabel 3. Perbandingan sifat antara tempurung kelapa dan arangnya.

Bahan	Komponen	Kandungan (%)	Sifat termal (Kj/kg)
Tempurung Kelapa	<i>Moisture</i>	10,46	18,388
	<i>Volatile</i>	67,67	
	Karbon	18,29	
	Abu	3,58	
Arang tempurung kelapa	<i>Volatile</i>	10,60	30,750
	Karbon	76,32	
	Abu	13,08	

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa ketika bahan bakar diubah menjadi arang akan meningkatkan sifat termal yang dimilikinya sehingga memiliki pembakaran yang lebih baik dibandingkan bahan bakunya sendiri.



Gambar 4. (a) Tempurung kelapa dan (b). Arang tempurung kelapa).

#### F. Biomasa Kayu Bakar

Kayu bakar merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peranan penting bagi masyarakat pedesaan di Indonesia dalam menunjang kesinambungan pemenuhan sumber energi dalam kebutuhan hidup sehari-hari. Biasanya kayu bakar digunakan pada proses memasak makanan, air, serta pemanasan (pendiangan). Kayu bakar bagi masyarakat di pedesaan belum dapat tergantikan secara total oleh jenis sumber energi lainnya seperti minyak tanah dan gas karena kemampuan daya belinya yang rendah dan sumber energi alternatif ini lebih mudah didapatkan di daerah pedesaan (Dwiprabowo, 2010).

Batang kayu merupakan aplikasi penggunaan biomasa sebagai sumber energi yang pertama kali dimanfaatkan. Penggunaan batangan kayu untuk pemenuhan sumber energi saat ini bersaing dengan penggunaan non-energi seperti digunakan pada produksi pulp, industri furnitur, dan lain-lain. Penggunaan batangan kayu yang semakin meningkat serta meningkatnya konsumsi terhadap pohon menyebabkan tingginya harga bahan baku pengolahan biomassa menjadi senyawa turunan dari sintesis gas (*Biomass To Liquid*). Adapun hasil pengolahan biomassa dari kayu yang sering kita jumpai adalah (Arhamsyah, 2010):

1. Briket kayu

Briket kayu merupakan serpihan atau serbuk kayu yang diberikan perlakuan terhadap bentuk, ukuran dan kerapatannya dengan cara pengempaan mencampur serbuk kayu dengan bahan perekat mejadi produk yang padat dan lebih efisien dalam penggunaannya sebagai bahan bakar biomasa.

2. Biobriket

Biobriket merupakan briket yang memiliki unsur karbon lebih tinggi dapat menyala dalam waktu yang lama. Biobriket ini merupakan arang yang diperoleh dari proses pembakaran biomasa kering tanpa udara dan dimampatkan dengan bahan perekat.

3. Arang kayu

Arang kayu adalah bahan padat yang berpori-pori merupakan hasil dari proses pembakaran dari bahan kayu yang mengandung unsur karbon (C). Berdasarkan pengamatan, arang kayu memiliki bentuk berupa bongkahan-bongkahan berwarna hitam pekat dan berukuran kecil berkisar 5–10 cm.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Biomasa ranting pohon dan (b) Limbah logging  
(Arhamsyah, 2010)

## G. Teori Pembakaran

Pembakaran secara umum dapat diartikan sebagai proses terjadinya oksidasi secara cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar akan terjadi bila terdapat

pasokan oksigen yang cukup untuk prosesnya. Setiap bahan bakar memiliki unsur yang mudah terbakar yaitu karbon, hidrogen, dan sulfur. Terdapat tiga elemen dasar agar proses pembakaran dapat berlangsung secara optimal, elemen-elemen tersebut adalah bahan bakar, pasokan oksigen dan sumber panas yang mencukupi. Jika tiga jenis elemen ini dikombinasikan di dalam lingkungan yang layak (tidak lembab), maka proses pembakaran dapat terjadi. Pembakaran sempurna dapat terjadi apabila suplai oksigen ke ruang pembakaran yang sudah terisi bahan bakar terpenuhi, dan tidak terjadi sempurna apabila suplai oksigen yang ada pada ruang pembakaran tidak terpenuhi selama proses pembakaran berlangsung. Oksigen ( $O_2$ ) adalah elemen penting yang diperlukan pada bahan bakar padat bumi. Sebelum proses pembakaran dilakukan pada fase bahan bakar padat maupun cair biasanya diubah kedalam bentuk gas terlebih dahulu (Budianto, 2009)

Dalam proses perubahan fasa bahan bakar padat menjadi gas, proses penyalaan memerlukan panas untuk mengubah bahan bakar cair atau padat menjadi fasa gas. Bahan bakar yang telah diubah menjadi fasa gas akan terbakar saat keadaan normal jika terdapat pasokan udara yang mencukupi. Pembakaran yang baik bertujuan untuk melepaskan keseluruhan kalor yang terdapat pada bahan bakar tersebut. Hal ini bisa didapat dengan melakukan pengontrolan pembakaran dengan cara temperatur yang cukup tinggi dalam proses menyalakan dan menjaga nyala api pada bahan bakar, mengkondisikan turbulensi (campuran oksigen dan bahan bakar) dengan baik, dan menetapkan waktu yang cukup untuk mencapai pembakaran yang sempurna (Budianto, 2009).

Unsur karbon dan hidrogen seperti gas alam dan propan merupakan komposisi yang terdapat pada bahan bakar yang biasa digunakan. Uap air yang dihasilkan pada proses pembakaran merupakan produk samping dari pembakaran unsur hidrogen yang dapat mengambil panas dari gas buang. Kondisi dimana bahan bakar yang terlalu banyak ataupun sedikit pada kondisi jumlah udara pembakaran tertentu dapat menyebabkan tidak

terbakarnya bahan bakar sehingga menghasilkan karbon monoksida dalam jumlah yang besar. Begitupun sebaliknya bila kondisi udara pembakaran yang ada berlebih dapat mengakibatkan terjadinya kehilangan panas dan efisiensi yang semakin menurun (Budianto, 2009).

*Air Fuel Ratio* merupakan perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran yang akan mempengaruhi kesempurnaan pada proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Proses pembakaran dapat terjadi secara sempurna pada AFR yaitu 14,7 (udara) : 1 (bahan bakar) dengan kondisi yang biasa disebut dengan stoikiometri. Kondisi stoikiometri ini biasanya tidak dapat terjadi secara berkelanjutan karena kondisi pengoperasian, desain konstruksi, dan sistem kontrol udara yang selalu berubah-ubah. Hal ini menyebabkan terjadinya pembakaran tidak sempurna yang disebut dengan AFR kaya dan AFR miskin (Budianto, 2009) :

1. AFR kaya

AFR kaya adalah kondisi dimana campuran bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan udara. Kondisi ini menyebabkan pemakaian bahan bakar yang boros dan menghasilkan emisi hasil pembakaran berupa karbon sehingga menghasilkan kerak pada ruang bakar dan menyebabkan *knocking* bunyi tidak normal.

2. AFR miskin

AFR miskin adalah kondisi dimana campuran bahan bakar lebih sedikit dibandingkan udara pembakaran. Kondisi ini menyebabkan tenaga yang dihasilkan lebih kecil dan temperaturnya akan lebih cepat meningkat sehingga dapat merusak mesin.

3. AFR stabil

AFR stabil adalah kondisi dimana campuran udara dan bahan bakar dalam kondisi ideal sehingga menyebabkan kinerja pembakaran optimal dengan pemakaian bahan bakar dan efisiensi termal yang dihasilkan lebih efisien.



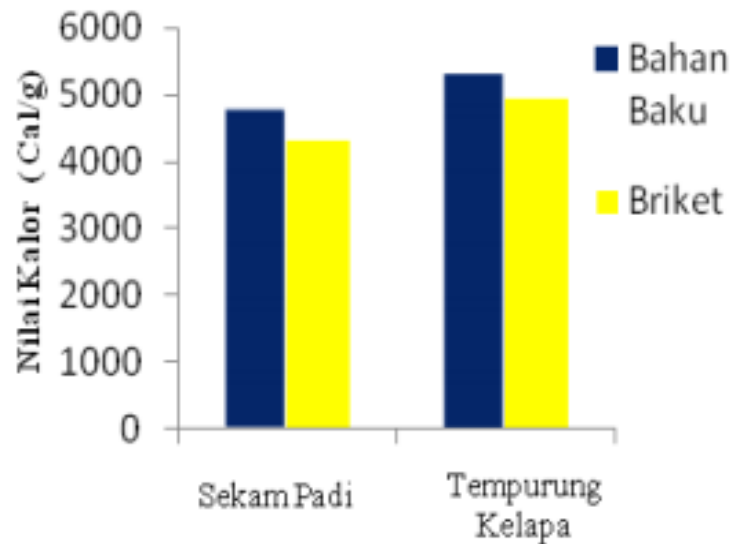
## H. Metode *Water Boiling Test*

*Metode Water boiling test* (WBT) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja tungku dengan cara mendidihkan air yang berada di wajan dengan tungku pembakaran. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan melalui proses pembakaran dari bahan bakar yang ditransfer ke dalam panci atau wajan yang berisikan air. Pengujian WBT dapat dibedakan menjadi 3 bagian yaitu (Subekti, 2012):

1. Metode WBT start dingin yaitu metode pengujian yang dilakukan pada saat kompor atau tungku dalam keadaan dingin, kemudian air yang berada di dalam panci dipanaskan sampai airnya mendidih setelah air mendidih kompor atau tungku dimatikan dan catat waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air, massa air yang diuapkan, temperatur air setelah mendidih, massa bahan bakar yang tersisa dan jumlah arang yang terbentuk
2. Metode WBT start panas yaitu metode yang hampir mirip dengan metode WBT start dingin tetapi pengujian dilakukan pada saat kompor dalam keadaan panas.
3. Metode *simmering* yaitu metode dengan pengujian yang dilakukan dengan cara menjaga temperatur air yang telah mendidih supaya konstan selama 45 menit, dan temperatur tidak boleh naik atau turun lebih dari 3° dari temperatur air yang telah mendidih. Langkah selanjutnya mencatat waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air, massa air yang diuapkan, temperatur air setelah mendidih, massa bahan bakar yang tersisa dan jumlah arang yang terbentuk.

Pengujian *Water Boiling Test* sudah banyak digunakan untuk menganalisis nilai unjuk kerja yang dimiliki oleh biomassa pada berbagai tungku salah satunya adalah pada penelitian Qistina (2016). Pada penelitiannya bahan bakar yang digunakan pada penelitiannya adalah bahan baku sekam padi dan tempurug kelapa serta hasil produknya berupa briket sekam padi dan briket tempurung kelapa dimana diperoleh nilai kalornya seperti

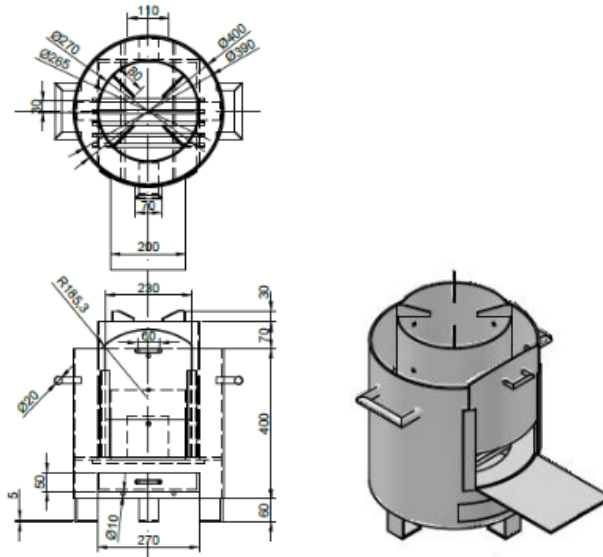
ditunjukkan pada Gambar 6. yang menjelaskan hasil pengujian nilai kalor dari bahan baku dengan produk turunannya yaitu briket sekam padi dan briket tempurung kelapa



Gambar 6. Nilai kalor bahan baku dan briket dari sekam padi dan tempurung kelapa

Dari Grafik tersebut diketahui bahwa nilai kalor bahan baku lebih besar dibandingkan dengan briket yaitu pada sekam padi diperoleh nilai kalor bahan baku sekitar 4700 Cal/g sedangkan pada briketnya hanya berkisar 4400 Cal/g. Kemudian, pada bahan baku tempurung kelapa diperoleh nilai kalor sekitar 5200 Cal/g sedangkan pada briketnya hanya berkisar 4900 Cal/g. Dari penelitian ini diperoleh juga nilai laju pembakaran/ daya pemanasan pada briket sekam padi adalah 14,85 g/menit dengan efisiensi termal sebesar 31,13% dan pada briket tempurung kelapa 22,3 g/ menit dengan efisiensi termal yang diperoleh sebesar 22,28%.

Pada penelitian Kurniawan (2018) juga menggunakan metode WBT dengan menganalisis pembakaran bahan bakar kayu jati dengan menggunakan desain tungku energi hijau seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain tungku energi hijau

Pada pengujannya didapatkan hasil uji performa tungku biomasanya berupa karakteristik pembakaran dan unjuk kerja dengan menggunakan air 2,5 liter dengan massa kayu bakar adalah 5 kg. Hasil pengujian yang diperoleh diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Unjuk kerja tungku energi hijau berbahan bakar kayu jati

No	Parameter	Nilai
1.	LHV (MJ/kg)	15,04
2.	Waktu (min)	10:55
3.	Laju Pembakaran (g/min)	57,4
4.	<i>Fire power</i> (kW)	14,39
5.	Efisiensi termal (%)	40,81

Dari hasil unjuk kerja dan karakteristik yang ditunjukkan pada Tabel 4. menunjukkan bahwa tungku biomassa energi hijau tersebut dapat digunakan untuk pemanfaatan sumber energi biomassa untuk keperluan memasak dengan keunggulan memiliki ruang pengering kayu yang dapat dimanfaatkan seefisien mungkin.

## I. Perhitungan *Water Boiling Test*

Untuk dasar teori perhitungan unjuk kerja tungku adalah sebagai berikut (Bailis, 2007):

### 1. Perhitungan *moisture content*

Dasar perhitungan yang digunakan untuk menghitung *moisture content* pada penelitian ini adalah dengan persamaan berikut:

$$MC_{dry}(\%) = \frac{massa_{basah} - massa_{kering}}{massa_{kering}} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Bahan bakar yang dikeringkan dengan baik mengandung air 10-20% sementara kayu potong segar bisa mengandung lebih dari 50% air secara massal (Bailis, 2007).

### 2. Penguapan air ( $w_{cv}$ )

Perhitungan ini berguna untuk mengetahui kadar air yang hilang selama proses penguapan, perhitungan ini dilakukan dengan cara mengurangi berat awal dengan berat akhir dari air (Bailis, 2007).

$$w_{cv} = P_{ci} - P_{cf} \dots\dots\dots(2)$$

### 3. Waktu pemasakan ( $\Delta t_c$ )

Perhitungan ini diperoleh berdasarkan lama waktu pemasakan air selama proses pembakaran dilakukan. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung waktu pemasakan.

$$\Delta t_c = t_{cf} - t_{ci} \dots\dots\dots(3)$$

### 4. Konsumsi bahan bakar ( $f_{cm}$ )

Perhitungan ini berguna untuk mengetahui berapa banyak bahan bakar yang digunakan untuk mendidihkan air (Bailis, 2007).

$$f_{cm} = f_{cf} - f_{ci} \dots\dots\dots(4)$$

5. Konsumsi bahan bakar ekuivalen ( $f_{cd}$ )

Perhitungan ini menyesuaikan jumlah bahan bakar yang dibakar untuk memperhitungkan energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan kelembaban bahan bakar dan jumlah arang yang tidak terbakar selama proses pembakaran (Bailis, 2007).

$$f_{cd} = f_{cm} \times (1 - (1.12 \times m)) - 1.5 \times Acc \dots\dots\dots(5)$$

6. Efisiensi termal ( $h_c$ )

Perhitungan ini adalah untuk memperhitungkan perbandingan dari pemanasan dan penguapan air dengan membakar bahan bakar. Efisiensi termal dirumuskan sebagai berikut (Bailis, 2007).

$$h_c = \frac{4.186 \times (P_{ci} - P) \times (T_{cf} - T_{ci}) + 2260 \times (W_{cv})}{f_{cd} \times LHV} \dots\dots\dots(6)$$

## 7. Konsumsi bahan bakar spesifik

Perhitungan bsfc merupakan yang menghitung jumlah laju bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan suatu daya, semakin kecil nilai bsfc maka semakin baik (Bailis, 2007).

$$bsfc = \frac{\frac{f_{cd}}{t} \times 3600}{Q/1000} \dots\dots\dots(7)$$

## 8. Daya pemanasan (Q)

Energi yang dihasilkan pada proses WBT dengan metode *cold start* dalam waktu tertentu. Untuk menghitung daya pemanasan dapat dengan persamaan berikut (Bailis, 2007):

$$Q = \frac{4.186 \times (P_{ci} - P) \times (T_{cf} - T_{ci}) + 2260 \times (W_{cv})}{t} \dots\dots\dots(8)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### a. Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran (dapat dilihat pada Gambar 8) yang digunakan pada pengujian dan pengambilan data dengan metode WBT ini adalah tungku bata tahan api yang dipadukan dengan semen tahan api dengan diameter 48 cm dan ketinggian 62 cm sehingga diketahui volume tungku pembakaran ini adalah  $112.135,68 \text{ cm}^3$



Gambar 8. Tungku Pembakaran

b. Wajan

Wajan pada penelitian ini digunakan sebagai tempat penampung air serta media transfer panas, dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Wajan

c. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat dari biomasa bahan bakar yang akan digunakan pada pembakaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Timbangan digital

d. *Stopwatch*

*Stopwatch* pada penelitian ini digunakan untuk memperhitungkan waktu yang berlangsung selama proses pembakaran seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. *Stopwatch*

e. Gelas ukur

Gelas ukur (dilihat pada Gambar 12.) pada penelitian ini digunakan untuk mengukur volume air yang akan digunakan pada pengujian.



Gambar 12. Gelas ukur

f. Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan dan air pada saat proses pembakaran, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Termometer

g. Gergaji

Gergaji yang digunakan untuk memotong beberapa biomsa kayu bakar agar bisa dimasukkan ke ruang pembakaran tungku, ini diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Alat pemotong



h. Wadah sisa bahan bakar

Wadah ini digunakan untuk mengukur jumlah sisa bahan bakar yang tidak terbakar selama proses WBT berlangsung seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Wadah sisa bahan bakar

2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Sekam padi

Sekam padi pada penelitian ini digunakan sebagai bahan bakar dengan variabel jumlah pengisian ruang bakar tertinggi dengan massa 2 kg diketahui volume adalah  $10.851,84 \text{ cm}^3$ , massa 3 kg adalah  $17.001,22 \text{ cm}^3$ , dan massa 4 kg adalah  $21.703,68$ . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Sekam padi

b. Tempurung kelapa

Tempurung kelapa pada penelitian ini digunakan sebagai bahan bakar dengan variabel jumlah pengisian ruang bakar menengah seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Tempurung kelapa

c. Kayu jati

Kayu bakar yang digunakan adalah kayu jati dan merupakan bahan bakar dengan variabel jumlah pengisian ruang bakar terendah namun dengan rongga antar bahan bakar tertinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Kayu jati

d. Air sumur

Pada penelitian ini air digunakan sebagai media penerima kalor yang diperoleh dari proses pembakaran pada tungku. Jumlah air yang digunakan dalam pengambilan data setiap dilakukan adalah 5kg yang diperlihatkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Air sumur

## B. Persiapan Alat dan Bahan

Untuk memulai penelitian metode *Water Boiling Test* (WBT) maka alat penunjang penelitian ini harus dipersiapkan, adapun persiapan alat dan bahan yang dilakukan adalah (gambar dapat dilihat pada Lampiran B I):

- a. Mempersiapkan tungku pembakaran yang digunakan. Memastikan tidak ada bagian yang rusak maupun kotor agar proses pengujian dapat berjalan dengan lancar.
- b. Mempersiapkan *stopwatch* untuk menghitung lama proses pengujian WBT sehingga air mencapai temperatur 100°C.
- c. Mengkalibrasi termometer digital yang digunakan menjadi satuan Celcius, dan mempersiapkan gagang penopang di atas wajan pengujian.
- d. Mengkalibrasi timbangan digital untuk menghitung massa bahan bakar (sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu bakar) dan air yang akan digunakan pada proses pembakaran.
- e. Memastikan wajan yang digunakan dalam kondisi baik pada bagian pegangan dan permukaan.
- f. Memastikan pembacaan gelas ukur dengan baik dan benar agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data.
- g. Menjemur bahan bakar biomasa yang akan digunakan pada pengujian ini selama kurang lebih 6 jam. Lalu, Menyimpan bahan bakar biomasa yang telah dilakukan pengeringan di dalam kantong plastik yang kemudian diikat agar tidak terpengaruh oleh kelembaban udara luar

### C. Prosedur Pengujian

Adapun prosedur pengujian yang akan dilakukan pada penelitian dengan metode WBT ini adalah sebagai berikut (gambar dapat dilihat pada Lampiran B III):

1. Meletakkan bahan bakar kedalam tungku pembakaran sebanyak variasi yang akan digunakan pada proses pengujian (massa dan jenis bahan bakar).
2. Meletakkan wajan di atas tungku pembakaran, lalu mengisi wajan dengan air sebanyak 5 kg. Kemudian memastikan posisi wajan tidak miring agar pengambilan data dapat lebih presisi dan memastikan kondisi wajan terbuka.
3. Meletakkan termometer digital diatas air yang ada pada wajan dengan posisi termometer berada pada tengah wajan dengan jarak  $\pm 5$  cm dari permukaan wajan.
4. Mencatat temperatur air awal sebelum proses pembakaran dimulai ( $T_{ci}$ ), memastikan temperatur air tidak berbeda jauh dari temperatur lingkungan sebelum memulai proses pembakaran.
5. Menyalakan api untuk memulai proses pembakaran. Setelah api menyala, menghitung waktu dengan *stopwatch* dari awal pembakaran hingga akhir.
6. Mencatat lama waktu pendidihan air ( $t$ ) dan temperatur yang dapat dicapai ( $T_{cf}$ ) pada proses pembakaran ketika temperatur air sudah mendekati temperaut pendidihan air pada tekanan atmosfer.
7. Mengangkat wajan dari tungku dan mematikan api pada tungku pembakaran dengan menutup bahan bakar yang masih terbakar dengan kain basah dan memampatkannya.
8. Mengangkat sisa bahan bakar dan memisahkan antara bahan bakar yang masih utuh dan yang sudah menjadi arang kedalam wadah yang telah disiapkan serta menimbang massakeduanya.
9. Menimbang massa air yang tersisa setelah pengujian dan mencatatnya pada tabel ( $P_{cf}$ ).

#### D. Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan variasi yang dilakukan dalam proses pengambilan data. Adapun variabel pengujiannya dijabarkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Variabel Pengujian

NO.	Variabel	Variasi
1.	Bahan bakar	Sekam padi, Tempurung kelapa, dan kayu bakar
2.	Variasi massa bahan bakar	2kg, 3kg, dan 4kg
3.	Massa air	5 kg

#### E. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Adapun tempat dan waktu penelitian dilaksanakan tugas akhir yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut :

##### 1. Tempat penelitian

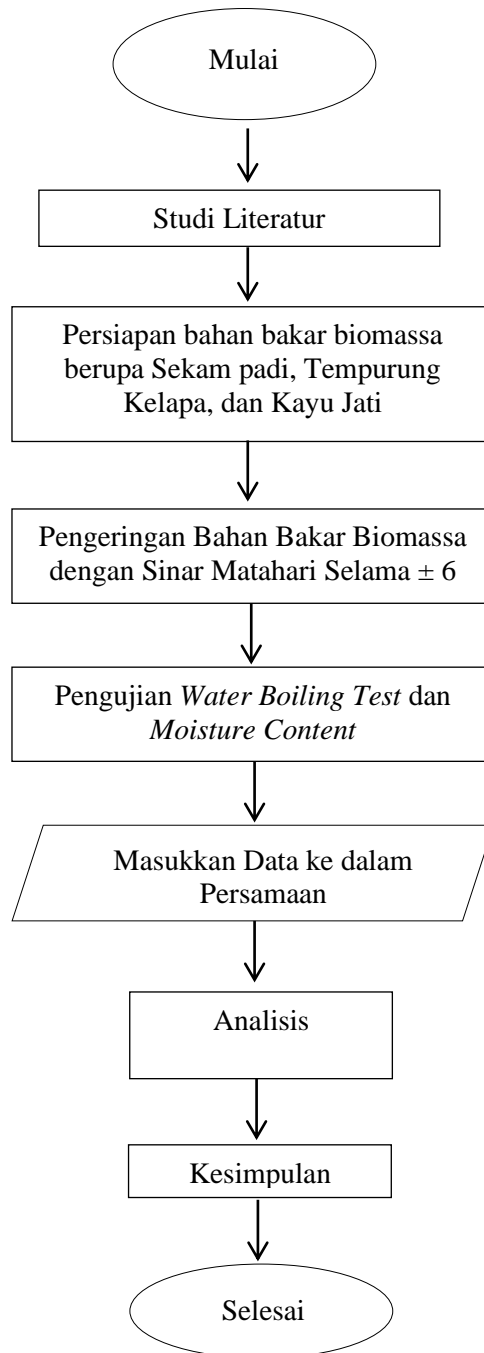
Pengambilan data dan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar dan di belakang Bengkel Teknik Mesin Universitas Lampung sebagai lokasi tungku pembakaran.

##### 2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari minggu terakhir pada bulan Maret sampai minggu terakhir bulan juli

## F. Alur Pengujian

Adapun alur pengujian yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Alur pengujian

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari pengujian *Water Boiling Test* ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi penambahan massa bahan bakar biomasa akan meningkatkan daya pemanasan dan efisiensi termal yang dihasilkan tersebut, namun akan mengalami penurunan konsumsi bahan bakar spesifik yang diperlukan oleh biomasa tersebut. Pada variasi massa dari ketiga bahan bakar yang sudah dilakukan diperoleh daya pemanasan dan efisiensi termal tertinggi pada massa 4 kg sedangkan konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi dihasilkan oleh variasi massa 2 kg. Faktor-faktor yang mempengaruhi prestasi yang dihasilkan oleh biomasa yang disebabkan penambahan massa adalah ketinggian bahan bakar biomassa akan semakin meningkat seiring dengan penambahan massa dan massa yang lebih besar akan meningkatkan temperatur udara pembakaran lebih tinggi dibandingkan dengan variasi massa yang lebih kecil.
2. Daya pemanasan dan efisiensi termal tertinggi dihasilkan pada biomasa kayu jati dengan konsumsi bahan bakar spesifik terendah. Sedangkan daya pemanasan terendah dihasilkan oleh bahan bakar sekam padi dengan konsumsi bahan bakar spesifik yang relatif lebih tinggi dibandingkan yang lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi prestasi biomasa adalah bahwa jumlah massa serta karakteristik dari bahan bakar seperti kandungan *volatile matter*, *moisture content*, ukuran partikel bahan bakar, ketinggian penyusunan bahan bakar, dan densitas bahan bakar.

## **B. Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengujian ini agar dapat menjadi lebih baik adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya pengujian dilakukan ditempat yang tertutup agar mengurangi terjadinya eror akibat faktor lingkungan.
2. Sebaiknya proses pembakaran bahan bakar sekam padi menggunakan tungku khusus pada proses pembakarannya agar dapat memaksimalkan pembakarannya.
3. Sebaiknya variasi bahan bakar yang digunakan memiliki ukuran yang seragam karena perbedaan ukuran akan berpengaruh pada prestasi pembakaran yang dihasilkan.
4. Pada bahan bakar sebaiknya diberikan contoh bahan bakar yang lainnya dengan karakteristik bahan bakar yang memiliki kesamaan.
5. Sebaiknya lebih memperhatikan kondisi bahan bakar yang terjadi pembakaran karena dalam pengambilan data sebelumnya ketika bahan bakar yang telah disusun jatuh menyebabkan sebagian bahan bakar tidak terbakar semaksimal mungkin.



## DAFTAR PUSTAKA

- Almu, M. Afif., Syahrul., Padang, Yesung Allo. 2014 “Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket Campuran Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Dan Abu Sekam Padi”. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram. Mataram Nusa Tenggara Barat.
- Arhamsyah, 2010. *The Utilization Of Wood Biomass As A Source Renewable*. Banjarbaru. Arhamsyah. Peneliti Baristand Industri Banjarbaru
- Basu, Prabir. 2013. *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. Elsevier Academic Press: London.
- Budiyanto. 2009. “Kajian Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk Pembuatan Biobriket.” Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Bengkulu. Bengkulu
- Budi, Esmar. 2011. Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar”. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. Indonesia.
- Bailis, Rob. 2007. *The Water Boiling Test. Household Energy and Health Programme: Shell Foundation*.
- Bonechi, C., 2014. “*Bioenergy Systems for the Future*.”. University of Siena, Siena, Italy.
- Dewi, R.G. and Siagian U. 1992. *The Potential of Biomass Residues as Energy Sources in Indonesia*. Energy Publ. Series No. 2. CRE-ITB. Bandung.
- Dewi, C. Wahyu., Puspita, M. Krhida. 2017 “Uji Kinerja Tungku Ketok dengan Bahan Bakar Alternatif Sekam Padi dan Serutan Kayu”. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Dwiprabowo, Heriyatno. 2010 “Kajian Kebijakan Kayu Bakar Sebagai Sumber Energi Di Pedesaan Pulau Jawa”. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan. Bogor

- Iskandar, Taufik. 2012. Identifikasi Nilai Kalor Biochar dari Tongkol Jagung dan Sekam Padi pada Proses Pirolisis. Malang. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi
- Kurniawan, S. Danny., dan Sasongko, Beni Tri. Design Of Green Energy Stove: Characteristics Combustion And Performance. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri. Institut Sains & Teknologi Akprind. Yogyakarta.
- Mamuaja, C.F., dan Hunta, L.Y. 2012. Pemanfaatan Biomassa Kering (Kayu) Sebagai Bahan Bakar Untuk Menguji Kerja Prototype Kompor Biomassa. Manado. Universitas Sam Ratulangi
- Muhazir., Mahyuddin., Ibrahim Mohd. Isa T. 2019 “Rancang Bangun Tungku Penukar Kalor Menggunakan Pipa Spiral dengan Bahan Bakar Biomassa”. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama. Aceh.
- Nainggolan, Sri, Rezeky, Meylani. 2013. Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Batch Skala Lab Untuk Pengeringan Gabah Dengan Menggunakan Bahan Bakar Sekam Padi. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ndraha N. 2009. Uji komposisi bahan baku briket bioarang tempurung kelapa serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan. Sumatera Utara: USU.
- Qistina, Idzni., Sukandar, Dede., Trilaksono. 2016. Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. Banten. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
- Rusdi, Ryan. 2018. “Pengaruh Massa dan Sudut Kemiringan Bahan Bakar terhadap Unjuk Kerja Tungku Pembakaran Tradisional”. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Saswinadi. 1983. Konversi Limbah Biomassa menjadi Energi. Pada Seminar Pemanfaatan Limbah Pertanian/Kehutanan sebagai Sumber Energi. Bogor.
- Subekti, P. 2015. “Perhitungan Komporasi Energi Bahan Bakar Sekam Padi dengan Minyak Tanah. Vol. 4 No.1: Jurnal Aptek. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Pasir Pangairan. Riau

- Sudarno., dan Wibisono, Nurharibnu. Model Tungku Biomassa Kayu Berbentuk Serbuk Dengan Proses Pengeringan Terpisah. Madi. Fakultas Teknik. Universitas Merdeka Madiun. Madiun.
- Tajali, Arief. 2015. Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia. Penabulu Aliance
- Zulfiandri. 2019. Penyusunan Peta Pemanfaatan Energi Alternatif Potensial Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Industri Agro Tahun 2019. Fakultas Teknik. Universitas Esa Unggul. Jakarta