

**PENGARUH MASSA DAN SUDUT KEMIRINGAN BAHAN  
BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU  
PEMBAKARAN TRADISIONAL**

**(SKRIPSI)**

**Oleh :**

**RYAN RUSDI WIJAYANTO**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2018**

## **ABSTRAK**

# **PENGARUH MASSA DAN SUDUT KEMIRINGAN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU PEMBAKARAN TRADISIONAL**

**Oleh**

**Ryan Rusdi Wijayanto**

Banyaknya industri rumah tangga yang masih menggunakan tungku tradisional, namun terdapat banyak permasalahan yang ada pada tungku tradisional dikarenakan material yang digunakan pada tungku kurang memadai sehingga proses pembakaran kurang efisien. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk dapat mengetahui pengaruh sudut peletakan bahan bakar dan massa bahan bakar.

Tungku dibuat dengan diameter ruang bakar depan sebesar 65 cm dan diameter ruang pembakaran belakang dengan diameter 45 cm, pengujian terhadap tungku pembakaran menggunakan variasi sudut peletakan bahan bakar ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ ) dan menggunakan bahan bakar kayu karet (2 kg, 3,5 kg dan 5 kg). Bahan bakar dimasukkan kedalam ruang bakar dan ditambah dengan dedaunan kering yang berguna untuk membantu pembakaran awal.

Kondisi terbaik tungku pada percobaan sudut peletakan bahan bakar  $15^\circ$  dengan massa bahan bakar 2 kg diperoleh laju konsumsi bahan bakar sebesar 1,88 kg/jam, pada massa bahan bakar 3,5 kg dan 5 kg laju konsumsi bahan bakar sebesar 2,89 kg/jam dan 3,38 kg/jam. Pemanasan air pada wajan 1 dan wajan 2 dimana pada wajan 1 temperatur pendidihan air maksimal sebesar  $98,8^\circ\text{C}$  temperatur tertinggi kedua  $98,5^\circ\text{C}$ , wajan 2 temperatur pemanasan air mencapai  $58^\circ\text{C}$  dan  $57,1^\circ\text{C}$  pada massa bahan bakar 5 kg dengan sudut peletakan bahan bakar  $15^\circ$  dan  $30^\circ$ . Nilai efisiensi tertinggi dengan massa bahan bakar 2 kg pada sudut peletakan bahan bakar  $15^\circ$  sebesar 32,49 %, untuk massa bahan bakar 3,5 kg dengan sudut peletakan bahan bakar  $45^\circ$  sebesar 30,68 %. yang lebih tinggi dibandingkan parameter – parameter lainnya, akan tetapi kinerja tungku pembakaran pada massa bahan bakar 3,5 kg menunjukkan nilai efisiensi rata - rata yang lebih tinggi sebesar 29,80 % dibandingkan massa bahan bakar 2 kg dan 5 kg dengan nilai efisiensi tungku masing – masing sebesar 28,48 % dan 24,07 %.

**Kata Kunci:** Efisiensi Tungku Masak, Kemiringan Peletakan Bahan Bakar, Massa Bahan Bakar

## **ABSTRACT**

### **THE INFLUENCE OF MASS AND FUELS EMBROIDERY ON THE PERFORMANCE OF TRADITIONAL FURNACE**

**By**

**Ryan Rusdi Wijayanto**

Nowdays there are still many home industries that using a conventional furnace on their process. but there are many problems on the traditional furnace related to its poor material that leads to inefficiency of the burning process. The aim of this research is to acknowledge the effects of mass and fuel embroidery on the value of furnace efficiency. The furnace is made up with a diameter of a 65 cm combustion chamber and a diameter of a rear furnace 45 cm, the testing of the furnace using the various of fuel embroidery (15°, 30°, and 45°) and using rubber wood fuels (2kgs, 3.5kgs and 5kgs). The fuels are loaded into the body of the burner and added with dried leaves that are useful in triggering the early burning process.

The best condition of the furnace is on the fuel embroidery of 15° with the mass of fuels 2 kgs. It is obtained that the consumption of 1.88 kgs / hour of bulk fuels, at a fuel mass of 3.5 kgs and 5 kgs the fuel consumption rates are 2.89 kgs / hour and 3.38 kgs / hour. It is done the boiling of water in the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> dripping pan, where the results of maximum boiling point in the 1<sup>st</sup> pan are 98,8°C and 98,5°C, and in the 2<sup>nd</sup> dripping pan the boiling temperature reached up to 58, and 57,1 5 °C on the burning of 5 kgs fuels with the angle of fuels embroidery of 15° and 30°.

The highest efficiency is obtained as 32, 49 % by the burning of 2kgs fuels with the angle of fuels embroidery of 15°. For 3,5 kgs fuels and angle of fuels embroidery of 45° the efficiency is 30,68 % which is higher than other parameters, but the performance of furnace with mass of 3,5 kgs fuels is showing the higher average efficiency value as 29,80 % than mass of 2kgs and 5 kgs fuels which the efficiency value is 28,48 % and 24,07 % respectively.

**Key words:** Furnace efficiency, Fuels Embroidery, Fuels Mass

**PENGARUH MASSA DAN SUDUT KEMIRINGAN BAHAN  
BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU  
PEMBAKARAN TRADISIONAL**

**Oleh :**

**RYAN RUSDI WIJAYANTO**

**(SKRIPSI)**

**Sebagai Salah Satu Sarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2018**

Judul Skripsi : **PENGARUH MASSA DAN SUDUT  
KEMIRINGAN BAHAN BAKAR  
TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU  
PEMBAKARAN TRADISIONAL**

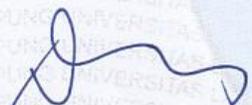
Nama Mahasiswa : **Ryan Rusdi Wijayanto**

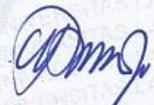
Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021067

Program Studi : Teknik Mesin

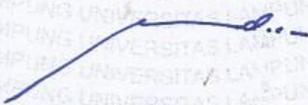
Fakultas : Teknik



  
**Ir. Herry Wardono, M.Sc.**  
NIP 19660822 199512 1 001

  
**Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.**  
NIP 19721211 199803 1 002

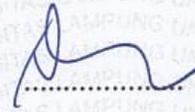
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
**Ahmad Suudi, S.T., M.T.**  
NIP 19740816 200012 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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



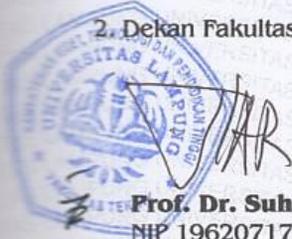
**Anggota Penguji : Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T.**



**Penguji Utama : Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP 19620717 198703 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 April 2018**

**PERNYATAAN PENULIS**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

**PENGARUH MASSA DAN SUDUT KEMIRINGAN BAHAN  
BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU PEMBAKARAN  
TRADISIONAL**

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN  
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



Ryan Rusdi Wijayanto  
NPM. 1115021067

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung, PT. Gunung Madu Plantation pada 30 juni 1993, sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Edi kristanto dan Rusmini. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak Aisyiyah Bustanul Athfal di PT. Gunung Madu Plantation daerah Lampung tengah wilayah Lampung pada tanggal 10 juli 1999, melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN4 divisi IV, kecamatan Bandar Mataram kabupaten Lampung Tengah propinsi Lampung selesai pada tanggal 4 juli 2005, melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPSS (Satya Dharma Sudjana) Terusan Nunyai Lampung Tengah selesai pada tanggal 21 juni 2008, menyelesaikan sekolah menengah kejuruan di SMK N 2 Terbanggi Besar pada tanggal 16 mei 2011, dan pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Kemudian pada bidang akademik, penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Garuda Bumi Perkasa Mesuji pada tahun 2014. Selama menjadi Mahasiswa, penulis aktif dalam Lembaga Kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota Divisi Kaderisasi periode 2013 - 2014. Pada skripsi ini penulis melakukan penelitian pada bidang konversi dengan judul “PENGARUH MASSA DAN SUDUT KEMIRINGAN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK KERJA TUNGKU PEMBAKARAN TRADISIONAL”

dibawah bimbingan Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., Bapak Dr. Moh.  
Badaruddin, S.T., M.T. dan Indra Mamad Gandidi, S.T., M.T.

## SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul Pengaruh Massa dan Sudut kemiringan Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Tungku Pembakaran Tradisional. Shalawat teriring salam penulis sanjung agungkan kepada suri tauladan Nabi besar Muhamad SAW, kepada para sahabat, keluarga, serta kepada pengikutnya yang sampai detik ini masih istiqomah menjalankan sunnah-sunnah-Rosul.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung

3. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc, selaku pembimbing 1 tugas akhir, yang telah banyak meluangkan waktu, ide, perhatian, sabar dan motivasi untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Moh. Badaruddin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir ini, terimakasih atas saran – saran dan juga bimbingan yang telah doberikan kepada penulis.
5. Bapak Indra Mamad Gandidi, S.T.,M.T., selaku dosen pembahas tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.
6. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan para staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Kedua Orang Tua saya Bapak Edi Kristanto dan Ibu Rusmini yang selalu memberi kasih sayang, semangat motivasi, selalu sabar menunggu dan mendoakan harapan serta kesuksesan penulis
8. Kepada rekan - rekan seperjuangan Yudi, Anam, Fahmi, Dedek, Andica, Risky, Fadli dan Ebek yang selalu ada disaat senang maupun sedih
9. Kepada angkatan 2012 Wafda Nadhira, Purnadi Srikuncoro yang telah memberi semangat, motivasi dan dukungan serta do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
10. Kepada angkatan 2013 yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini Alloy, Moses, Dedi, Ari, Indra Marwah dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik akan diterima dengan tangan terbuka. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dipergunakan dengan sebaik – baiknya.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bandar Lampung,

Penulis

Ryan Rusdi Wijayanto

## **MOTTO**

**“ALLAH SWT TIDAK MEMBEBANI SESEORANG  
MELAINKAN DENGAN KESANGGUPANNYA”**

**(Al-Qur'an, Surat Al-Baqarah : 286)**

**“BARANG SIAPA KELUAR UNTUK MENCARI ILMU MAKA DIA BERADA  
DIJALAN ALLAH”**

**(HR. Tarmidzi)**

**“DAN, ALLAH MENYERTAI ORANG-ORANG YANG BERSABAR”**

**(QS Al-Anfal : 66)**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xii

### I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan penelitian.....	6
C. Batasan masalah .....	6
D. Sistematika Penulisan .....	7

### II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Tungku .....	8
B. Teori Pembakaran .....	8
C. Macam – Macam Pembakaran .....	12

1. <i>Complete combustion</i> .....	12
2. <i>Incomplete combustion</i> .....	13
3. <i>Smouldering combustion</i> .....	13
4. <i>Rapid combustion</i> .....	13
5. <i>Turbolent combustin</i> .....	13
D. Fase Pembakaran.....	14
1. <i>Pre-ignition</i> .....	14
2. <i>Flaming combustion</i> .....	14
3. <i>Smoldering combustion</i> .....	14
4. <i>Glowing combustion</i> .....	15
5. <i>Extinction</i> .....	15
E. Macam - Macam Tungku Rumah Tangga .....	15
1. Tungku kayu bakar .....	15
2. Tungku bahan bakar arang .....	16
3. Tungku kayu bakar dua tobong .....	17
F. Material Pembuatan Tungku Pembakaran .....	18
1. Bata tahan api .....	18
2. Semen tahan api .....	19
3. Sodium silicate .....	20
4. <i>Ceramic wool</i> .....	20
5. Batu bata .....	22
6. Semen .....	22
G. Bahan Bakar .....	23
H. Metode <i>Water Boiling Test</i> .....	25

1. Metode WBT <i>start</i> dingin .....	25
2. Metode WBT <i>start</i> panas .....	25
3. Metode <i>simmering</i> .....	25
I. Perhitungan Efisiensi Kompor .....	26
1. FCR ( <i>fuel consumption rate</i> ) .....	26
2. Panas sensible .....	26
3. Panas laten .....	26
4. Input energi panas .....	27
5. Efisiensi termal .....	27

### III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan bahan .....	28
1. Alat .....	28
a. Tungku pembakaran .....	28
b. Wajan .....	30
c. Termokopel .....	30
d. Timbangan digital .....	31
e. <i>Stopwatch</i> .....	31
f. Gelas ukur .....	32
g. Termometer .....	32
h. Cetok .....	33
i. Meteran .....	33
j. Pacul .....	34
k. Ember .....	34

1. Selang <i>waterpass</i> .....	35
2. Bahan .....	35
a. Bata tahan api SK32 .....	35
b. <i>Ceramic woll</i> .....	36
c. <i>Sodium silicate</i> .....	36
d. Semen tahan api .....	37
e. Bata dan semen .....	37
f. Kayu karet .....	38
g. Air sumur .....	38
B. Prosedur pembuatan tungku pembakaran .....	39
C. Prosedur pengujian .....	40
D. Analisa data .....	41
E. Alur Pengambilan Data .....	42
F. Variabel Pengujian .....	43

#### **IV. HASIL DAN ANALISA DATA**

A. Hasil penelitian .....	45
B. Pembahasan .....	47
1. Fuel consumption rate (FCR) .....	47
2. Temperatur pembakaran pada ruang bakar .....	49
a. Temperatur ruang dengan sudut peletakan bahan bakar 15° ..	49
b. Temperatur ruang dengan sudut peletakan bahan bakar 30° ..	52
c. Temperatur ruang dengan sudut peletakan bahan bakar 45° ..	55

3. Temperatur pembakaran pada ruang bakar lanjut atau pada tobong ke dua .....	57
a. Tempetaur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	57
b. Tempetaur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	59
c. Tempetaur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	62
4. Temperatur pendidihan air pada wajan 1 .....	64
a. Temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	64
b. Temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	66
c. Temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	68
5. Temperatur pendidihan air wajan ke dua .....	70
6. Temperatur ruang tengah antara bata tahan api dengan dinding luar .....	72
7. Efisiensi tungku pembakaran .....	74

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	79
B. Saran .....	80

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. (a) pembakaran sempurna, (b) pembakaran yang baik, (c) pembakaran tidak sempurna .....	10
Gambar 2.2. Proses pembakaran .....	12
Gambar 2.3. Tungku kayu bakar satu tobong .....	16
Gambar 2.4. Tungku bahan bakar arang .....	17
Gambar 2.5. Tungku kayu bakar dua tobong.....	17
Gambar 2.6. Bata Tahan Api .....	18
Gambar 2.7. Semen Tahan Api .....	19
Gambar 2.8. <i>Sodium Silicate</i> .....	20
Gambar 2.9. <i>ceramic wool</i> .....	21
Gambar 2.10. Batu Bata .....	22

Gambar 3.1. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar 15° .....	29
Gambar 3.2. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar 30° .....	29
Gambar 3.3. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar 45° .....	29
Gambar 3.4. Wajan .....	30
Gambar 3.5. Termokopel .....	30
Gambar 3.6. Timbangan digital .....	31
Gambar 3.7. <i>Stopwacth</i> .....	31
Gambar 3.8. Gelas ukur .....	32
Gambar 3.9. Termometer.....	32
Gambar 3.10. Cetok .....	33
Gambar 3.11. Meteran .....	33
Gambar 3.12. Pacul .....	34
Gambar 3.13. Ember .....	34
Gambar 3.14. Selang <i>waterpass</i> .....	35
Gambar 3.15. Bata tahan api SK32 .....	35
Gambar 3.16. <i>Ceramic wool</i> .....	36
Gambar 3.17. <i>Sodium silicate</i> .....	36

Gambar 3.18. Semen tahan api .....	37
Gambar 3.19. Bata dan semen .....	37
Gambar 3.20. Kayu karet .....	38
Gambar 3.21. Air sumur .....	38
Gambar 3.32. Alur pengambilan data .....	42
Gambar 4.1. Pengaruh sudut peletakan bahan bakar terhadap laju pemakaian bahan bakar.....	48
Gambar 4.2. Hubungan temperatur ruang bakar dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	49
Gambar 4.3. Hubungan temperatur pada ruang bakar persatuan menit pada sudut peletakan bahan bakar 15° .....	50
Gambar 4.4. Hubungan temperatur ruang bakar dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	52
Gambar 4.5. Hubungan temperatur pada ruang bakar persatuan menit pada sudut peletakan bahan bakar 30° .....	53
Gambar 4.6. Hubungan temperatur ruang bakar dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	55
Gambar 4.7. Hubungan temperatur pada ruang bakar persatuan menit pada sudut peletakan bahan bakar 45° .....	56

Gambar 4.8. Hubungan antara temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	58
Gambar 4.9. Kenaikan temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 15° pada tobong dua tiap persatuan menit .....	58
Gambar 4.10. Hubungan antara temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	60
Gambar 4.11. Kenaikan temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 30° pada tobong dua tiap persatuan menit.....	60
Gambar 4.12. Hubungan antara temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	62
Gambar 4.13. Kenaikan temperatur pembakaran lanjut dengan sudut peletakan bahan bakar 45° pada tobong dua tiap persatuan menit .....	63
Gambar 4.14. Hubungan temperatur pendidihan air wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	64
Gambar 4.15. Kenaikan temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 15° .....	65
Gambar 4.16. Hubungan temperatur pendidihan air wajan 1 dengan dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	66

Gambar 4.17 Kenaikan temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 30° .....	67
Gambar 4.18. Hubungan temperatur pendidihan air wajan 1 dengan dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	68
Gambar 4.19 Kenaikan temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan sudut peletakan bahan bakar 45° .....	69
Gambar 4.20. Pengaruh temperatur pendidihan air wajan ke dua terhadap arah aliran panas .....	72
Gambar 4.21. Simulasi panas pada ruang tengah tungku pembakaran .....	74
Gambar 4.21. Pengaruh sudut peletakan bahan bakar terhadap efisiensi .....	76

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Jenis – jenis bata tahan api.....	19
Tabel 2.1. Analisis proximate dan ultimate pada kayu karet.....	23
Tabel 3.1. Variasi Percobaan .....	43
Tabel 3.2. Uji kinerja tungku WBT ( <i>Water boiling test</i> ) .....	43
Table 3.3. Hasil perhitungan dengan metode WBT ( <i>Water boiling test</i> ) .....	44
Tabel 4.1. Data-data hasil penelitian menggunakan tungku pembakaran .....	45
Tabel 4.2 Hasil perhitungan dengan metode WBT menggunakan metode dingin ( <i>Water boiling test</i> ) .....	46
Tabel 4.3. Hubungan antara ruang tengah antara bata tahan api dengan tembok luar yang dilapisi <i>ceramic wall</i> .....	46

## DAFTAR SIMBOL

$C_p$	= Panas jenis air (J/kg <sup>o</sup> C)
FCR	= Laju bahan bakar yang dibutuhkan (kcal/jam)
$H_{fg}$	= Panas laten air (J/kg)
LH	= Panas laten (W)
mBb	= Massa bahan bakar (kg)
mBb1	= Massa bahan bakar akhir (kg)
mBt	= massa bahan bakar terpakai (kg)
$m_o$	= Massa air awal (kg)
$m_l$	= Massa air akhir (kg)
$\dot{m}$	= Laju massa air (kg/s)
$Q_{in}$	= Energi panas tersedia dalam bahan bakar (W)
$Q_n$	= Energi yang dibutuhkan (kcal/jam)
SH	= Panas sensible (W)
t	= Waktu (jam)
$T_o$	= Suhu awal (°C)
$T_i$	= Titik didih (°C)
TE	= Efisiensi termal (%)
We	= Laju massa air yang diuapkan (kg/s)
$W_F$	= Laju kebutuhan bahan bakar (kg/s)
$\Delta T$	= Beda temperatur air (°C)
$\eta$	= Efisiensi (%)

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Dengan meningkatnya jumlah penduduk maka konsumsi bahan bakar fosil dan lain- lain semakin meningkat yang merupakan masalah penting untuk kelangsungan hidup dimasa mendatang, peningkatan jumlah penduduk tersebut akan mengakibatkan berkurangnya sumber cadangan energi fosil seperti gas bumi, minyak bumi, batubara dan lain sebagainya. Berkurangnya sumber energi di dunia yang digunakan untuk kegiatan industri mengakibatkan harga energi yang terus meningkat. Hal ini menuntut manusia untuk segera mencari sumber energi alternatif, seperti sumber energi yang berasal dari alam.

Salah satu sumber bahan bakar yang sampai saat ini masih banyak digunakan seperti kayu bakar, sekam padi dan lain - lain. Kayu bakar sebagai sumber energi terbarukan memiliki peran yang penting bagi masyarakat pedesaan di Indonesia dalam menunjang pemenuhan kebutuhan hidup sehari-hari. Kayu bakar bagi masyarakat di pedesaan belum dapat tergantikan oleh jenis sumber energi lain karena kemampuan daya belinya yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Dwiprabowo (2010), menyatakan bahwa konsumsi kayu bakar di wilayah pedesaan baik untuk konsumsi rumah tangga maupun industri

rumah tangga masih tinggi. Walaupun sudah adanya bahan bakar gas pada tiap – tiap rumah namun kayu bakar tetap digunakan dalam waktu yang bersamaan.

Banyaknya industri yang menggunakan tungku tradisional pada proses pemasakan, tungku yang dibuat tanpa ada teori atau metode tertentu hanya melihat tungku – tungku yang sebelumnya pernah dibuat. Adapun permasalahan yang terjadi pada tungku pembakaran tradisional adalah material yang digunakan pada tungku pembakaran kurang memadai yang dapat mengakibatkan tungku dapat mengalami keretakan akibat dari panas pada saat proses pembakaran, desain tungku yang digunakan masih terlalu sederhana, pembakaran yang dihasilkan kurang stabil dan api kurang terpusat pada bejana air sehingga proses memasak kurang maksimal, serta penggunaan bahan bakar yang kurang efisien, kurang memperhatikan gas buang yang dapat mengakibatkan lingkungan kerja menjadi kotor dan emisi gas buang yang tinggi dapat membahayakan kesehatan.

Masyarakat umumnya masih menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar untuk kebutuhan memasak sehari - hari. Variasi yang dilakukan menggunakan tinggi dan diameter keluar ruang bakar. Hasil dari penelitian menunjukkan tidak adanya perbedaan yang bermakna pada kebutuhan bahan bakar yang terjadi disemua model tungku pembakaran, pada tungku tidak dipengaruhi oleh perbandingan antara ukuran tinggi dan diameter ruang bakar melainkan tergantung dari besarnya api pada saat proses pembakaran (Siswantoro, 2014)

Menurut Darmanto (2016), tungku tradisional memiliki bentuk sederhana berupa batu atau bata yang disusun pada sisi samping kiri, kanan dan belakang dan pada bagian depan tungku digunakan untuk memasukkan bahan bakar untuk proses pemasakan. Tungku tradisional sangat kurang memadai karena banyak panas yang terbuang keudara terbuka. Penggunaan tungku tradisional juga menjadikan ruangan tempat memasak dipenuhi asap pembakaran kayu pada saat proses masak. Asap yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat membahayakan kesehatan karena mengandung partikel debu, carbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) dan timah hitam (Pb) yang dapat mengakibatkan timbul nya penyakit infeksi saluran pernapasan akut, radang paru - paru, TBC dan katarak mata.

Dalam penelitian lain yang dilakukan Budianto (2014), untuk mengetahui efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang dipengaruhi dengan metode MBT (*water boiling test*) dengan menggunakan bahan bakar berupa kayu atau berbahan bakar biomassa. Dengan variasi yang dilakukan adalah kayu pinus dan kayu campuran yang dipotong menjadi potongan kecil menyesuaikan dimensi tungku dan juga dilakukan volume pemasakan air sebesar 10 liter. Pada pemasakan air menggunakan bahan bakar kayu pinus nilai efisiensi sebesar 20.44 % pada pemanasan air yang menggunakan bahan bakar kayu campuran nilai efisiensi sebesar 20.51 %. Berarti nilai efisiensi dapat dipengaruhi oleh nilai kalor kayu, konsumsi bahan bakar kayu dan massa air.

Penelitian yang sama dari Darmawan (2013) tentang inovasi teknologi tungku pembakaran dengan variasi ketinggian cerobong dengan menggunakan bahan

bakar sekam padi, proses pemanasan air sampai temperatur 98 °C. Hasil penelitian yang didapat menunjukkan semakin tinggi cerobong maka efisiensi pada tungku akan semakin menurun.

Hasil dari penelitian Darmasertiawan (2010), pembuatan tiga macam ukuran lubang berbentuk persegi panjang pada tubuh tungku sekam dengan berbagai macam ukuran yang berbeda yang menggunakan volume air yang sama menunjukkan semakin besar ukuran lubang akan meningkatkan efisiensi pada tungku tersebut

Dari penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada tungku pembakaran yang diberi beberapa variasi dapat diambil kesimpulan bahwa faktor – faktor yang dapat mempengaruhi besarnya nilai efisiensi termal adalah besarnya temperatur pembakaran, bahan bakar yang digunakan, ketinggian cerobong, waktu lama pemanasan air, ukuran lubang udara masuk, kecepatan aliran udara, ukuran panjang bahan bakar, material yang digunakan mampu menahan panas agar tidak banyak yang terbangun dan menggunakan isolator.

Di dalam upaya pengembangan yang dilakukan untuk mengurangi permasalahan pada tungku pembakaran dalam meningkatkan kualitas tungku menurut Badaruddin (2016), tungku modifikasi yang menggunakan bata tahan api SK32 dan *ceramic woll* dapat meningkatkan efisiensi termal serta penurunan konsumsi bahan bakar. Penelitian yang dilakukan Munir (2011), dimana tungku dimodifikasi menjadi tungku dengan ruang pembakaran tertutup di atas permukaan tanah sehingga juga tungku tersebut menjadi lebih

efisien, produktif, tahan lama, dapat menampung bahan bakar lebih banyak dan dengan penambahan cerobong asap yang berfungsi sebagai pengendali udara sehingga tungku menjadi ramah lingkungan. Menurut Kurniawati, (2013), simulasi variasi ketebalan bahan untuk tungku dengan menggunakan beton, batu bata dan *fire brick* dimana dengan penggunaan material tersebut dapat meningkatkan efisiensi tungku serta mengurangi dampak *heat lose* yang terjadi. Menurut Darmanto (2016), modifikasi pada tungku rumah tangga dengan menutup rapat lubang dibawah wajan, memperkecil kontak antara api dengan udara luar lewat lubang kayu, mengisolasi dinding tungku yang bermaterial beton dengan lapisan keramik dapat memperkecil kehilangan panas pada ruang bakar

Oleh karena itu penulis akan melakukan perancangan, pembuatan dan pengujian pada tungku pembakaran untuk memaksimalkan kinerja dari tungku pembakaran agar lebih efisien, pemakaian bahan bakar menurun, panas pada proses pembakaran lebih terpusat dan, panas tidak terlalu banyak terbuang. Dari penelitian ini diharapkan mendapat desain tungku yang lebih efisien dan dapat menekan biaya produksi dengan proses produksi yang lebih cepat. Maka dilakukan perancangan ulang pada tungku pembakaran dengan cara pembuatan kemiringan sudut bahan bakar dan kemiringan sudut lantai pada ruang bakar kedua. Dengan adanya variasi yang kemiringan sudut bahan bakar diharapkan dapat mempercepat proses pembakaran dan dapat mempercepat proses pendidihkan air atau minyak pada wajan pertama dan arah aliran panas dapat menuju ruang bakar kedua. Sudut kemiringan pada lantai diharapkan agar aliran panas pada proses pembakaran pada ruang bakar

pertama dapat membantu panas yang akan mengalir menuju ruang bakar ke dua, panas yang mengalir ke ruang bakar kedua diharapkan dapat menyebar menyeluruh kepermukaan dan dilakukan pembuatan cerobong agar udara dalam ruang tempat memasak menjadi lebih sehat.

## **B. Tujuan penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah

1. Melihat efisiensi yang dihasilkan pada tungku pembakaran
2. Mendapat waktu pembakaran yang terbaik dari variasi massa bahan bakar dengan pengaruh kemiringan posisi bahan bakar saat dilakukan proses pembakaran
3. Mengetahui pengaruh variasi sudut peletakan bahan bakar terhadap temperatur pembakaran pada ruang bakar pertama dan kedua

## **C. Batasan masalah**

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

1. Sudut kemiringan pada peletakan bahan bakar pada ruang bakar pertama sebesar  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$  dan massa bahan bakar yang digunakan sebanyak 2 kg, 3,5 kg dan 5 kg
2. Kondisi temperatur udara sekitar dianggap seragam
3. Bahan yang digunakan bata tahan api SK32
4. Bentuk bahan bakar dianggap seragam

5. Kandungan air pada bahan bakar dianggap seragam
6. Laju aliran udara dianggap konstan

#### **D. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Terdiri dari latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini terdiri dari kajian pustaka dari penelitian terdahulu dan dasar teori yang diambil dari buku serta jurnal yang digunakan sebagai pedoman dalam penelitian ini.

**BAB III : METODE PENELITIAN**

Berisi beberapa tahapan persiapan sebelum pengujian, prosedur pengujian, dan diagram alir pengujian.

**BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Yaitu berisikan pembahasan dari data - data yang diperoleh pada pengujian tungku pembakaran

**BAB V : SIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran - saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Pengertian Tungku**

Tungku pembakaran adalah sebuah alat yang dirancang sebagai tempat terjadinya proses pembakaran sehingga bahan bakar dapat digunakan untuk memanaskan sesuatu. Tungku tradisional tersusun dari batu yang diatur sehingga bahan bakar terlindungi dan panas dapat diarahkan. Tungku dapat digunakan untuk memanaskan ruangan atau untuk memasak, tungku untuk memasak dibedakan atas tungku pemasak tradisional dan tungku pemasak modern. Tungku pemasak tradisional menggunakan bahan bakar berupa kayu bakar, arang kayu, serabut kelapa, sekam padi dan lain – lain. Tungku pemasak besar biasa dikenal sebagai pawon yang biasanya memiliki 2 sampai 3 lubang pemasak (Adan, 1998).

### **B. Teori Pembakaran**

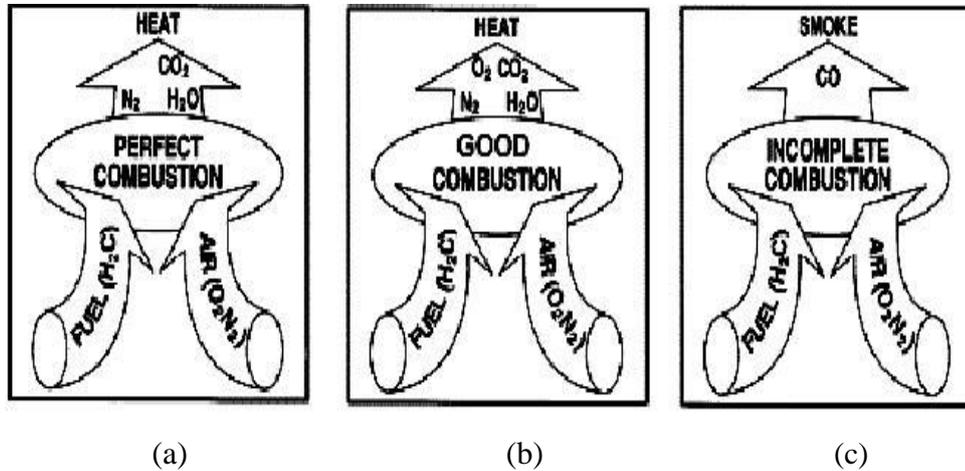
Ada tiga elemen dasar agar pembakaran tersebut dapat berlangsung, elemen - elemen tersebut adalah bahan bakar, oksigen dan sumber panas. Jika tiga jenis elemen ini dikombinasikan di dalam lingkungan yang layak, maka akan terjadi pembakaran. Jika salah satu dari 3 elemen ini dihilangkan maka tidak akan terjadi pembakaran.

Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi apabila suplai oksigen terpenuhi. Pada gambar 1 menunjukkan beberapa contoh pembakaran, oksigen ( $O_2$ ) merupakan salah satu elemen yang ada bahan bakar padat bumi. Sebelum melakukan proses pembakaran fase bahan bakar padat atau cair biasanya diubah dalam bentuk gas. Untuk mengubah bahan bakar padat menjadi gas penyalaaan diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan pembakaran yaitu (1) diperlukan temperatur yang cukup tinggi dalam proses menyalakan dan menjaga nyala bahan bakar, (2) turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik, dan (3) waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

Bahan bakar yang biasa digunakan terdiri dari komposisi karbon dan hidrogen seperti gas alam dan propan. Uap air merupakan produk samping pembakaran hidrogen, yang dapat mengambil panas dari gas buang. Terlalu banyak atau sedikitnya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk proses pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara berlebih yang diperlukan untuk menjamin pembakaran sempurna. Walau demikian, terlalu

banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi (Budianto, 2009).



Gambar 2.1. (a) pembakaran sempurna, (b) pembakaran yang baik, (c) pembakaran tidak sempurna

(<https://www.slideshare.net/argiprasetyo/bab-12-prestasimesin-8-files-merged>)

#### Tahapan dalam Proses Pembakaran

Pembakaran kayu ternyata memerlukan beberapa proses. Ada tiga proses utama dalam pembakaran. Agar proses pembakaran dapat sempurna, kayu harus dibakar melewati 3 proses tersebut (Vogel, 2005).

##### 1. Tahap pertama

Proses pertama dalam pembakaran adalah proses pemanasan dan proses *evaporasi*. Kita tahu bahwa kayu memiliki banyak kandungan air, oleh karena itu proses ini adalah proses penghilangan kandungan air dalam kayu. Pada saat proses pembakaran kayu mencapai temperatur 212 °F atau 100 °C kandungan air dalam kayu akan menguap karena suhu tersebut adalah titik uap air. Ketika permukaan kayu bersuhu antara 212

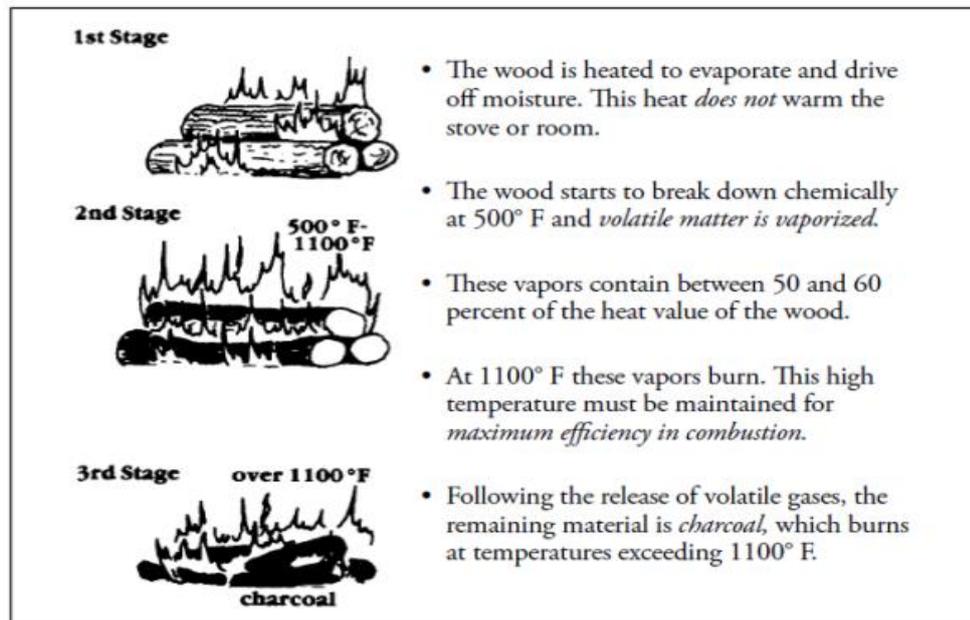
°F sampai sekitar 450 °F (100 °C - 232 °C) *Creosote* (Sejenis minyak pengawet kayu) mengeluarkan karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), *acetic* dan *formic acid*.

## 2. Tahap kedua

Pada saat proses pembakaran kandungan air akan dikeluarkan dari kayu dan suhu kayu mencapai 540 °F (282 °C), maka terjadilah tahap kedua dalam pembakaran. Dalam Tahap kedua ini terjadi pembakaran primer dan pembakaran sekunder. Pembakaran primer berlangsung pada suhu 540 °F (282 °C) sampai suhu 900 ° F (482 °C). Pada suhu ini kayu melepaskan metana, metanol, uap air dan karbon dioksida. Gas-gas ini disebut *Secondary Gases* dan mengandung 60 % dari potensial panas kayu. Dibutuhkan kondisi yang sangat menunjang agar pembakaran sekunder terjadi dan mencapai suhu 1100 °F (593 °C). Terlalu banyak udara akan menyebabkan suhu gas menurun karena konveksi dan terlalu sedikit udara tidak akan menunjang pembakaran. Oleh karena itu, pengaturan jumlah udara yang dipakai sangat penting.

## 3. Tahap ketiga

Jika pembakaran sudah melampaui suhu 1100 °C maka akan terbentuk arang pada kayu (*charcoal*) dan arang kayu ini dapat terbakar dalam jangka waktu yang lebih lama pada *low rate temperatur*.



Gambar 2.2. Proses pembakaran  
 (sumber: <https://teknikfisika.wordpress.com/2010/11/04/teori-dasar-pembakaran-kayu/>)

### C. Macam – Macam Pembakaran

Adapun macam – macam pembakaran adalah sebagai berikut:

#### 1. *Complete combustion*

Pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, yang dapat menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Pembakaran komplit dapat terjadi jika semua hasil pembakaran seluruh karbon menjadi CO<sub>2</sub>, hidrogen menjadi H<sub>2</sub>O dan sulfur menjadi SO<sub>2</sub>. Jika hasil pembakaran masih mengandung bahan C, H<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>, maka dalam proses pembakaran tersebut tidak komplit.

## 2. *Incomplete combustion*

Proses pembakaran bahan bakar tidak sempurna terjadi ketika ketersediaan oksigen dalam jumlah yang berlebih untuk proses pembakaran bahan bakar sehingga dihasilkan karbon dioksida dan air. Pada pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan zat – zat seperti karbon dioksida, karbon monoksida, uap air dan karbon. Adanya karbon monoksida pada saat pembakaran sering terjadi pada saat proses pembakaran tidak sempurna yang dapat berbahaya bagi manusia.

## 3. *Smouldering combustion*

*Smoulsering* merupakan bentuk pembakaran yang lambat, bertemperatur lambat dan tidak berapi yang dipertahankan oleh panas ketika oksigen menyerag permukaan dari bahan bakar pada fase yang terekondensasi. Pembakaran ini dapat dikategorikan sebagai pembakaran yang tidak sempurna.

## 4. *Rapid combustion*

*Rapid combustion* merupakan pembakaran yang melibatkan energi dalam jumlah yang banyak dan menghasilkan pula energi cahaya dalam jumlah yang besar. Jika dihasilkan volume gas yang terlalu besar dalam pembakaran ini dapat mengakibatkan peningkatan tekanan yang signifikan sehingga dapat terjadi ledakan.

## 5. *Turbolent combustion*

Pembakaran menghasilkan api yang turbolen sangat banyak digunakan untuk industri.

## D. Fase Pembakaran

Adapun fase pembakaran dapat dijelaskan sebagai berikut:

### 1. *Pre-ignition*

Pada tahap ini bahan bakar mulai terpanaskan, kering dan mulai terjadi proses *pyrolysis* yaitu pelepasan uap air, karbon dioksida dan gas – gas yang mudah terbakar termasuk *methane*, *methanol* dan *hydrogen*. Sekali terbakar api akan terus bergerak secara kontinyu dan melakukan dua proses termal yang bersambung yaitu *pyrolysis* dan pembakaran

### 2. *Flaming combustion*

*Flaming combustion* adalah fase pembakaran yang paling efektif, yang menghasilkan paling sedikit jumlah asap per unit untuk bahan bakar yang dikonsumsi. Fase ini merupakan fase transisi dari proses pembakaran yang endotermik menjadi proses pembakaran yang eksotermik. Pada umumnya, fase ini terjadi pada saat temperatur mencapai 300 °C. energi yang digunakan untuk mempertahankan api dan mempertahankan reaksi berantai dari pembakaran dikenal dengan panas pembakaran. Temperatur yang dicapai bervariasi tergantung pada bahan bakar yang digunakan

### 3. *Smoldering combustion*

Fase *smoldering* biasanya mengikuti *flaming combustion*. Fase ini berjalan lambat, dimana pembakaran yang kurang penyalan menjadi proses pembakaran dominan dalam fase ini. Partikel hasil emisi selama fase ini lebih besar dari pada fase *flaming*.

#### 4. *Glowing combustion*

*Glowing combustion* adalah fase pembakaran dimana hanya bara dari bahan bakar yang diamati. *Glowing combustion* menandakan proses oksidasi bahan padat hasil pembakaran yang terbentuk pada fase sebelumnya fase pembakaran ini terjadi ketika tidak lagi tersedia energi yang cukup untuk menghasilkan asap pembakaran yang merupakan karakteristik dari fase pembakaran sebelumnya, sehingga tidak dihasilkan lagi tar atau bahan volatil dari bahan bakar. produk utama yang dihasilkan dari fase pembakaran ini adalah gas gas tak tampak, seperti gas karbon monoksida dan gas karbon dioksida

#### 5. *Extinction*

*Extinction* merupakan proses dimana api akhirnya berhenti pada saat bahan bakar terbakar habis atau panas yang dihasilkan melalui oksidasi yang baik dalam fase *smoldering* maupun *glowing* tidak cukup menguapkan kandungan air yang dibutuhkan

### **E. Macam – Macam Tungku Rumah Tangga**

Adapun beberapa jenis – jenis tungku kayu bakar yaitu (kurniansyah, 2015):

#### 1. Tungku kayu bakar

Tungku kayu bakar merupakan tungku yang digunakan untuk memasak dengan bahan bakar kayu bakar. Tungku ini dibuat menggunakan tanah lempung dicampur abu sekam dan dibakar seperti batu bata. Penggunaan

kayu bakar tidak perlu banyak pada saat pembakaran cukup dengan beberapa potongan kayu dan mendorong sedikit demi sedikit hingga kayu benar - benar terbakar habis kemudian diisi dengan kayu bakar selanjutnya



Gambar 2.3. Tungku kayu bakar satu tolong  
(sumber: <http://www.endangkusman.com/inilah-model-tungku-hemat-kayu/>)

## 2. Tungku bahan bakar arang

Tungku dengan bahan bakar arang biasanya terbuat dari tanah lempung. Tungku bahan bakar arang ini tidak mempunyai ruang panas tertutup sehingga api pembakaran banyak terbangun langsung dari bahan bakarnya. Tungku ini berbahan bakar arang yang diletakkan di cekungan atas dan abu sisa pembakaran akan terjatuh melalui lubang dan di tampung di bagian dasar.



Gambar 2.4. Tungku bahan bakar arang  
(sumber: <https://www.pinterest.com/pin/396035360954280467/>)

### 3. Tungku kayu bakar dua tobong

Tungku ini dibuat dengan bata merah yang dilumuri dengan adonan tanah liat atau semen, juga menggunakan bahan bakar berupa kayu, bambu dan memiliki dua tobong atau lebih. Biasanya tinggi pada lubang pertama, ke dua ke tiga dan ke empat memiliki tinggi yang berbeda, fungsinya agar api semakin kebelakang akan semakin naik.



Gambar 2.5. Tungku kayu bakar dua tobong  
(sumber <http://arsip.tembi.net/ensiklopedi-aneka-rupa/luweng>)

## F. Material Pembuatan Tungku Pembakaran

Adapun material pembuatan tungku adalah sebagai berikut:

### 1. Bata tahan api

Batu bata tahan api berfungsi untuk menahan suhu tinggi pada saat terjadinya pembakaran dan juga bata tahan api harus memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah agar panas yang terjadi pada saat pembakaran panas tidak banyak keluar.



Gambar 2.6. Bata Tahan Api  
(sumber: [https://www.indotrading.com/batutahanapi\\_1811/](https://www.indotrading.com/batutahanapi_1811/))

*Refraktori* adalah material konstruksi yang dapat mempertahankan bentuk dapat digunakan pada saat kondisi berat dengan temperatur tinggi dan bersinggungan langsung dengan bahan - bahan yang *korosif*. *Refraktori* terbuat dari material terutama keramik yang termasuk bahan bahan seperti alumina, lempung, *magnesia*, *chromit*, *silicon karbrida* dll. *Refraktrori* dapat dipergunakan untuk struktur kontruksi atau melapisi struktur yang berhubungan dengan temperatur tinggi dari proses pembakaram (Kurniansyah, 2015).

Tabel 2.1. Jenis – jenis bata tahan api

No.	Spesifikasi	SK-30	SK-32	SK-34	SK-36
1	Temperatur Kerja Maksimum (°C)	1100	1200	1350	1500
2	Porositas (%)	21-25	21-24	19-22	17-21
3	Berat Jenis (ton/m <sup>3</sup> )	1.90-1.95	1.90-2.00	1.98-2.10	2.15-2.25
4	Kuat Tekan (kg/cm <sup>3</sup> )	>200	>225	>300	>350
5	Perubahan Tetapan Linear (%)	Di 1050°C ±0.42	Di 1150°C ±0.40	Di 1300°C ±0.32	Di 1400°C ±0.30
6	Komposisi Kimia (%) Al <sub>2</sub> O SiO <sub>2</sub>	≥26 ≤70	≥32 ≤65	≥40 ≤55	≥50 ≤45

## 2. Semen tahan api

Semen tahan api (*fire mortar*) berfungsi sebagai perekat batu tahan api satu dengan bata tahan api lainnya untuk mencegah panas keluar. Sifatnya tidak langsung mengeras sebelum terkena panas atau terbakar. Semen tahan api yang berbentuk *powder* ini cara pakainya cukup tambahkan *sodium silika* (Kurniansyah, 2015).



Gambar 2.7. Semen Tahan Api  
(sumber: [https://www.indotrading.com/medan/mortar\\_297/](https://www.indotrading.com/medan/mortar_297/))

### 3. *Sodium silicate*

*Sodium Silicate* atau yang lebih lazim dikenal dengan istilah *water – glass*. *Sodium silicate* adalah zat yang biasa digunakan untuk industri tekstil sebagai pembunuh warna (agar warna tidak berubah menjadi tua maupun muda yang diakibatkan oleh panas matahari), dan juga di industri dapat digunakan sebagai pengganti penguat beton untuk semen api, dan *casting plater gypsum*. Sifat silika cukup unik, umumnya silika digunakan untuk proses *coating* atau pelapisan pada *substrat - substrat* material tertentu (Kurniansyah, 2015).



Gambar 2.8. *Sodium Silicate*

(sumber: <http://indonesian.alibaba.com/product-detail/liquid-sodium-silicate-price-na2sio3-with-low-price-60417254851.html>)

### 4. *Ceramic wool*

*Ceramic wool* adalah isolasi tahan panas berfungsi sebagai peredam panas yang bisa menahan panas sampai temperatur 1200 °C, *ceramic wool* adalah salah satu dari jenis keramik tahan panas selain *insulating fire bricks* dan *monolithics*. *Ceramic wool* merupakan peredam panas

super tinggi yang terbuat dari alumina, silika, dan oksida logam lainnya, atau yang jarang digunakan seperti silikon karbida

*Ceramic wool* material peredam panas adalah material isolasi yang digunakan sebagai peredam panas pada *furnace*, oven maupun boiler yang terbuat dari lelehan bahan - bahan murni, melalui proses pelelehan secara panas elektronik, disertai semburan angin tekanan tinggi, dan proses *woolized*. Membuat *ceramic wool* material lebih kuat dalam meredam panas dan lebih awet dalam pemakaian, produk *ceramic wool* lebih favorit dalam pemakaian isolasi (Morgan, 2017)



Gambar 2.9. *ceramic wool*

(sumber: <http://www.temteksolutions.com/products/ceramic-wool-products-5388>)

Karakteristik atau sifat-sifat dari material ini antara lain :

- a. Kemampuan menjaga suhu yang sangat baik.
- b. Tingkat pengerutan atau pengempisan yang rendah.
- c. Kemampuan sebagai isolator yang bagus.

## 5. Batu bata

Batu bata adalah gumpalan tanah yang terbuat dari campuran tanah liat dan abu yang dibakar dan dibentuk seperti balok. Batu bata merupakan salah satu bahan material sebagai bahan pembuat dinding. Ada kalanya kita melihat batu bata yang warna dan tingkat kekerasannya berbeda. Perbedaan kekerasan ini dapat dikarenakan adanya perbedaan bahan baku yang digunakan serta adanya perbedaan teknik pembakaran yang diterapkan (Kurniansyah, 2015).



Gambar 2.10. Batu Bata Merah  
(sumber: <http://www.batamerahsuper.com/>)

## 6. Semen

Semen adalah bahan perekat atau lem yang bisa merekatkan bahan – bahan material padat menjadi satu kesatuan kompak dan kuat. Semen akan menjadi perekat apabila dicampurkan menggunakan air dan material bahan lainnya seperti pasir dan batu dan lain-lain yang akan mengikat satu sama lain menjadi kesatuan kelompok yang akan

bereaksi hidrasi membentuk serbuk halus yang akan digunakan sebagai bahan pengikat (Kurniansyah, 2015).

## G. Bahan Bakar

Adapun bahan bahan bakar yang digunakan

### 1. Kayu karet

Alternatif energi biomassa sebagai sumber energi baru di Indonesia dapat menjadi pilhan yang tepat karena disamping sebagai energi baru, Indonesia juga memiliki banyak area hutan dan juga perkebunan yang cukup besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan energi biomassa tersebut. Salah satu sumber energi biomassa yang tepat untuk digunakan adalah pohon karet.

Berikut ini adalah kandungan pada kayu karet berdasarkan penelitian dari BPPT

Tabel 2.2. Analisis *proximate* dan *ultimate* pada kayu karet

Proximate analysis	Result (%)	Standard method
Moisture	10,24	ASTM D-3173
A	2,71	ASTM D-3174
Volatile matter	71,81	ASTM D-3175
Fixed karbon	15,25	By difference
Calorific value	Result	Standard method
Cal/gram	4069	ASTM D 5865
Density	Result	Standard method
Gram/cm <sup>3</sup>	0.64	ASTM D 167
Ultimate analysis	Result (%)	Standard method

<b>Moisture</b>	10,24	ASTM D-3173
<b>A</b>	2,71	ASTM D-3174
<b>Karbon</b>	43,33	ASTM D-5373
<b>Hydrogen</b>	5.11	ASTM D-5373
<b>Nitrogen</b>	0,0	ASTM D-5373
<b>Oxygen</b>	38,61	By difference

Sumber data berdasarkan hasil pengujian BPPT Tangerang

Pada pengujian di atas digunakan dua jenis analisis yaitu *proximate* analisis dan *ultimate* analisis. *Proximate* analisis adalah sebuah metode pengujian bahan yang menganalisis *fixed karbon*, bahan yang menguap, kadar air, dan persen abu. Analisis ini berguna untuk perancangan *grate* tungku, volume ruang pembakaran, peralatan kendali polusi, dan sistem *handling* abu pada tungku berdasarkan hasil uji dan analisis kadar abunya. *Fixed karbon* adalah bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku pembakaran setelah bahan yang mudah menguap didistilasi yang penting untuk memperhitungkan perkiraan kasar nilai panas bahan bakar. Sedangkan *ultimate* analisis adalah sebuah metode analisis bahan dimana seluruh komponen bahan baik padat maupun gas diperhitungkan dalam analisisnya yang bertujuan untuk mendapatkan kandungan kimia pada bahan uji seperti karbon, sulfur, hidrogen, oksigen, dll. Analisis ini berguna untuk menentukan jumlah udara yang dibutuhkan saat pembakaran, volume dan komposisi gas mampu bakar (Kurniawan, 2012)

## H. Metode *Water Boiling Test*

*Water boiling test* adalah suatu uji unjuk kerja dengan cara mendidihkan air yang berada di dalam panci, yang bertujuan untuk mengetahui jumlah energi yang akan dihasilkan dari bahan bakar yang dipindahkan kedalam panci yang berisikan air (Subekti, 2012).

Pada dasarnya pengujian WBT dapat dibedakan menjadi 3 bagian penting yaitu pengujian WBT *start* dingin, pengujian WBT *start* panas dan pengujian WBT *simmering*

1. Metode WBT *start* dingin yaitu metode pengujian yang dilakukan pada saat kompor atau tungku dalam keadaan dingin, kemudian air yang berada didalam 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 suhu air yang telah mendidih supaya constant selama 45 menit, dan suhu tidak boleh naik atau turun lebih dari 3° dari suhu 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

## I. Perhitungan Efisiensi Kompor

Dasar teori yang digunakan untuk perhitungan efisiensi tungku dengan menggunakan metode *water boiling test* (WBT) adalah sebagai berikut (Subekti, 2012):

### 1. FCR (*fuel consumption rate*) atau laju bahan bakar

FCR atau laju bahan bakar adalah parameter untuk mengukur tingkat efisiensi penggunaan bahan bakar. Semakin kecil angkanya berarti semakin bagus.

$$FCR = \frac{Massa}{waktu} \dots\dots\dots(1)$$

### 2. Panas sensibel

Panas sensibel adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air. Panas sensibel diukur sebelum dan sesudah air mencapai temperatur pendidihan. Panas sensible dihitung menggunakan rumus:

$$SH = m \times Cp \times \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

### 3. Panas laten

Panas laten adalah jumlah energi panas yang digunakan untuk mendidihkan air. Panas laten dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$LH = We \times H_{fg} \dots\dots\dots(3)$$

4. Input energi panas

Input energi panas adalah jumlah energi yang tersedia dalam bahan bakar. input energi panas dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{in} = LHV \times W_F \dots\dots\dots(4)$$

5. Efisiensi termal

Efisiensi termal adalah rasio energi yang digunakan terhadap energi yang digunakan dalam pendidihan air terhadap energi panas yang tersedia dalam bahan bakar. efisiensi termal dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$TE = \frac{SH+LH}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Alat dan Bahan**

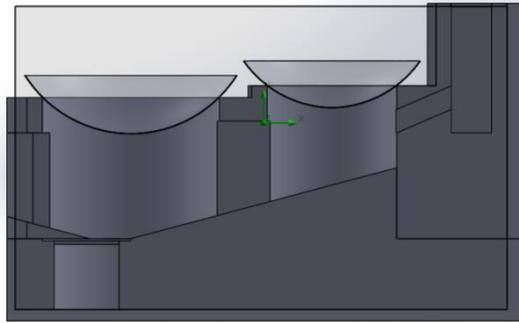
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengujian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

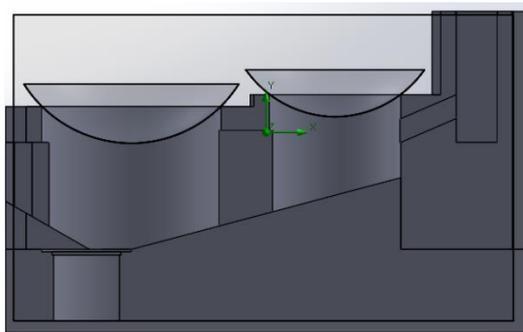
##### a. Tungku pembakaran

Tungku pembakaran pada penelitian ini digunakan untuk proses pengambilan data, pada tungku dengan material batu tahan api ini juga diharapkan untuk meminimalisir kehilangan panas pada saat dilakukan pembakaran agar panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin pada proses pembakaran. Pada penelitian ini tungku yang akan digunakan untuk pengujian pengambilan data mempunyai desain yang baru dengan variasi pada peletakan sudut bahan bakar sebesar  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  dan kemiringan lantai sebesar  $15^{\circ}$ .



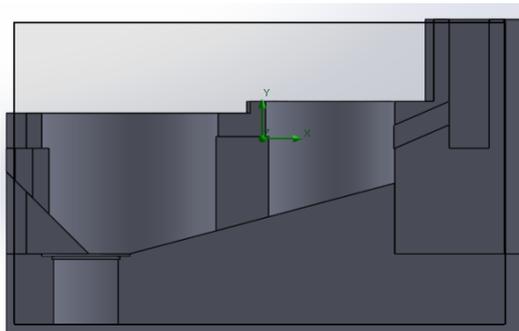
Gambar 3.1. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar

15°



Gambar 3.2. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar

30°



Gambar 3.3. Tungku pembakaran dengan variasi sudut bahan bakar

45°

b. Wajan

Wajan disini digunakan sebagai tempat terjadinya transfer panas antara api dan air, sebagai perantara bagi air dan api. Wajan juga sebagai tempat tampungan air untuk media pemanas air. Wajan yang digunakan akan sebanyak dua wajan yang berdiameter 90 cm dan 70 cm



Gambar 3.4. Wajan

c. Termokopel

Termokopel digunakan sebagai alat pendeteksi suhu panas yang terdapat pada ruang pembakaran (pada ruang bakar pertama dan pada ruang bakar ke dua)



Gambar 3,5. Termokopel

d. Timbangan digital

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk mengukur berat dari bahan baku pembakaran yang diakan digunakan untuk bahan bakar pada tungku pembakaran.



Gambar 3.6. Timbangan digital

e. *Stopwacth*

*Stopwacth* pada penelitian ini digunakan untuk mengukur waktu lama pemanasan air.



Gambar 3.7. *Stopwacth*

f. Gelas ukur

Gelas ukur disini berfungsi untuk mengukur volume air yang akan digunakan pada saat proses pengambilan data



Gambar 3.8. Gelas ukur

g. Termometer

Termometer disini berfungsi untuk mengukur temperatur lingkungan dan temperatur air pada saat proses pembakaran



Gambar 3.9. Termometer

h. Cetok

Cetok berfungsi sebagai alat untuk menganbil semen tahan api dan semen biasa, untuk mengambil adonan semen dan untuk mengaduk adonan semen dengan pasir



Gambar 3.10. Cetok

i. Meteran

Meteran berfungsi sebagai alat pengukur panjang, tinggi dari tungku dan diameter tungku



Gambar 3.11. Meteran

j. Pacul

Pacul berfungsi sebagai alat untuk meratakan tanah yang akan dibuat tungku pembakaran



Gambar 3.12. Pacul

k. Ember

Ember berfungsi sebagai tempat adukan semen biasa dan semen tahan api



Gambar 3.13. Ember

1. Selang *waterpass*

Selang *waterpass* berfungsi sebagai alat untuk mengukur kerataan pada bidang tungku



Gambar 3.14. Selang *waterpass*

2. Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam deskripsi sebagai berikut

a. Bata tahan api SK32

Bata tahan api SK32 digunakan sebagai dinding dalam pada tungku pembakaran. Bata tahan api ini mempunyai temperatur kerja maksimum sebesar 1200 °C.



Gambar 3.15. Bata tahan api SK32

b. *Ceramic wool*

*Ceramic wool* ini berfungsi untuk meredam panas yang keluar dari bata tahan api. *Ceramic wool* mampu meredam panas sampai temperatur 1260 °C.



Gambar 3.16. *Ceramic wool*

c. *Sodium silicate*

*Sodium silicate* berfungsi untuk perekat atau penguat bata tahan api dengan semen tahan api api



Gambar 3.17. *Sodium silicate*

d. Semen tahan api

Semen tahan api sebagai perekat batu tahan api satu dengan bata tahan api lainnya dan untuk mencegah panas keluar diantara celah – celah batu tahan api



Gambar 3.18. Semen tahan api

e. Bata dan Semen

Bata dan semen berfungsi sebagai pengokoh bagian luar pada tungku pembakaran



Gambar 3.19. Bata dan semen

f. Kayu karet

Kayu karet disini digunakan untuk bahan bakar variasi pertama dari proses pembakaran yang akan dilakukan



Gambar 3.20. Kayu karet

g. Air sumur

Pada penelitian ini air digunakan sebagai media penerima kalor yang peroleh dari proses pembakaran pada tungku dan sebagai media dalam pengambilan data dari panas yang didapat. Jumlah air yang digunakan dalam pengambilan data setiap kali dilakukan sebanyak 10 kg.



Gambar 3.21. Air sumur

## B. Prosedur Pembuatan Tungku Pembakaran

Dalam melakukan pembuatan tungku dilakukan prosedur sebagai berikut

1. Meratakan tanah ditempat yang akan dibangun tungku
2. Melakukan pembuatan pondasi dengan menggunakan bata tanah merah yang dicampur dengan semen
3. Memasang bata tahan api dengan perekat semen tahan api yang dicampur dengan *sodium silicate* pada pondasi
4. Membuat mal berbentuk lingkaran untuk tungku ruang bakar pertama dengan diameter 65 cm dan pada ruang bakar kedua berdiameter 55 cm
5. Meletakkan bata tahan api dengan perekat semen tahan api yang dicampur dengan *sodium silicate* pada posisi horizontal di mal berbentuk lingkaran dan membuat cerobong dengan tinggi 1 meter.
6. Melakukan pembakaran agar semen tahan api yang dicampur dengan *sodium silicate* mengeras
7. Setelah dinding dingin kemudian menempelkan *ceramic woll* pada bagian luar bata tahan api dan pada cerobong
8. Setelah *ceramic wool* terpasang pada setiap dinding bagian luar, melapisi bagian luar pada tungku dengan bata tanah merah yang dicampur dengan semen
9. Membuat dudukan wajan pada atas tungku dengan meletakkan wajan lalu ditempelkan adukan semen agar api dari proses pembakaran tidak keluar melalui dudukan wajan
10. Setelah itu lakukan variasi sudut peletakan bahan bakar sebesar  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$   $45^{\circ}$  dengan sudut lantai belakang sebesar  $15^{\circ}$

### C. Prosedur Pengujian

Adapun tahapan pengambilan data yang akan dilakukan adalah:

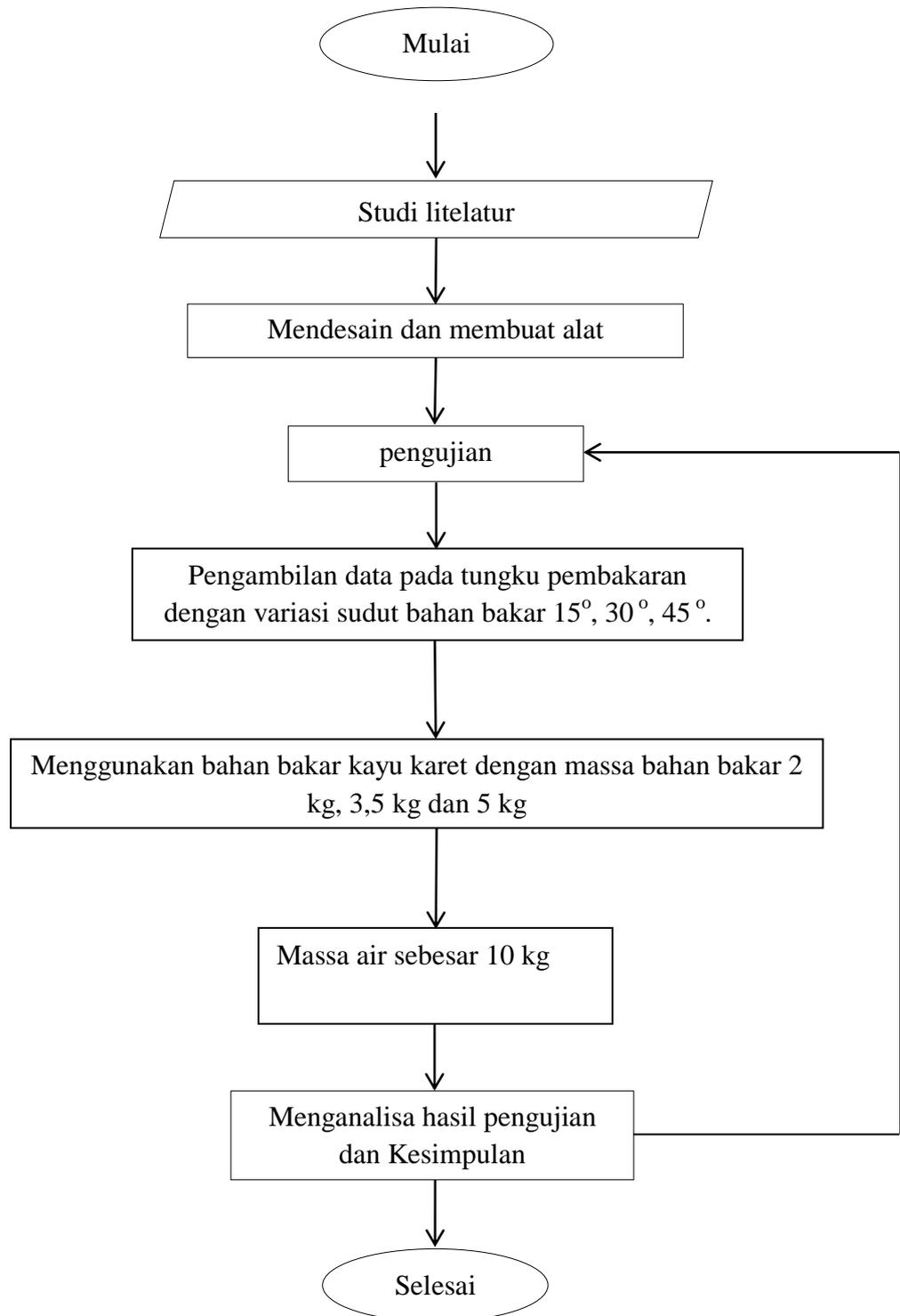
- a. Persiapan pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi yang akan dikakukan pada proses pengambilan data yaitu dengan sudut bahan bakar sebesar  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  kemiringan sudut lantai sebesar  $15^{\circ}$
- b. Pastikan tungku pembakaran dalam kondisi siap digunakan untuk pengujian
- c. Bahan bakar dengan menggunakan kayu karet dengan ukuran pada tiap bahan bakar sepanjang 20 cm. Bahan bakar yang akan digunakan tersedia dalam jumlah yang memenuhi selama proses pengujian dan pastikan bahan bakar yang akan digunakan dalam kondisi kering
- d. Alat uji yang akan digunakan seperti *stopwatch*, termokopel sudah pada kondisi siap digunakan
- e. Siapkan dua buah wajan untuk tempat pendidihan air
- f. Siapkan air sebanyak 10 kg yang akan di didihkan pada wajan dan ukur temperatur awal air
- g. Letakkan bahan bakar pada ruang pembakaran dan dilanjutkan dengan proses pembakaran
- h. Letakkan wajan yang berisi air diatas ruang bakar dan catat waktu ketika wajan diletakkan diatas ruang bakar
- i. Tunggu hingga air sampai mendidih dan catat waktu yang dibutuhkan pada setiap kenaikan temperatur.
- j. Lakukan dengan cara yang sama (dari d sampai i) untuk pengujian untuk beberapa variasi

#### **D. Analisa Data**

Setelah melakukan percobaan dan mendapatkan data pengujian yang dibutuhkan kemudian melakukan perhitungan untuk mendapatkan efisiensi dari tungku. Selain itu dilihat juga bahan bakar mana yang memiliki nilai kalor terbaik dengan variasi sudut peletakan bahan bakar. Kemudian mengukur lama waktu tungku dapat menahan panas setelah proses pembakaran.

### E. Alur Pengambilan Data

Adapun alur pengambilan data yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.22. Alur pengambilan data

## F. Variabel Pengujian

Variabel pengujian merupakan variasi yang dilakukan dalam proses pengambilan data.

Tabel 3.1. Variasi Percobaan

No	Variabel	Variasi Proses
1	Bahan bakar	Kayu karet
2	Sudut bahan bakar	45°, 30°, 15°
3	Massa bahan bakar	2 kg, 3,5kg dan 5 kg
4	Massa air yang digunakan	10 kg pada wajan 1 dan wajan 2

Tabel 3.2. Uji kinerja tungku WBT (*Water boiling test*)

Bahan bakar	Massa bahan bakar	Sudut peletakan bahan bakar	m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>1</sub> (kg)	B <sub>0</sub> (kg)	B <sub>1</sub> (kg)	t (jam)	We (kg/s)	WF (kg/s)	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>1</sub> (°C)	ΔT (°C)	
Kayu karet	2 kg	15°											
		30°											
		45°											
	3,5 kg	15°											
		30°											
		45°											
	5 kg	15°											
		30°											
		45°											

Table 3.3. Hasil perhitungan dengan metode WBT (*Water boiling test*)

Bahan bakar	Massa bahan bakar	Sudut peletakan bahan bakar	FCR (kg/s)	SH (W)	LH (W)	Qin (W)	Efisiensi (%)
Kayu karet	2 kg	15°					
		30°					
		45°					
	3,5 kg	15°					
		30°					
		45°					
	5 kg	15°					
		30°					
		45°					

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Kesimpulan dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Waktu pendidihan air paling lama dengan konsumsi bahan bakar sebanyak 5 kg dan sudut peletakan  $45^{\circ}$  pada menit ke 32.
2. Semakin besar panas yang dihasilkan pada ruang bakar akan meningkatkan temperatur pada ruang bakar kedua.
3. Temperatur pendidihan air pada wajan 1 dengan massa bahan bakar 5 kg menunjukkan hasil pendidihan temperatur air yang tertinggi dibandingkan dengan parameter variasi yang lainnya.
4. Pada ruang bakar, kehilangan panas yang terjadi di ruang tengah tungku pertama yaitu ruang diantara bata tahan api dan tembok luar lebih tinggi dibandingkan dengan bagian ruang tengah lainnya.
5. Nilai efisiensi tungku pembakaran terbaik dari parameter sudut peletakan bahan bakar 15o diperoleh nilai efisiensi rata – rata sebesar 28,16 %, dibandingkan pada sudut peletakan bahan bakar  $30^{\circ}$  dan  $45^{\circ}$  dengan nilai efisiensi tungku 26,89 % dan 27,96 %.

6. Variasi massa bahan bakar 2 kg dan 5 kg yaitu 29,15 % dan 24,07 % menunjukkan nilai efisiensi rata – rata yang lebih rendah dibandingkan dengan massa bahan bakar 3,5 kg yaitu 29,80 %
7. Nilai efisiensi tungku pembakaran tertinggi pada massa bahan bakar 2 kg dengan sudut peletakan bahan bakar 15° sebesar 32,49 %, akan tetapi kinerja tungku pada variasi parameter massa bahan 3,5 kg menunjukkan nilai efisiensi rata - rata yang lebih tinggi sebesar 29,80 %, sedangkan penggunaan massa bahan bakar 2 kg sebesar 29,15 %.

## **B. Saran**

Adapun saran yang penulis dapat berikan adalah sebagai berikut :

1. Sebelum dilakukannya penelitian sebaiknya harus mempunyai alat untuk mengukur tingkat kadar air pada kayu agar mempermudah proses penelitian dan agar dapat memperkecil eror pada bahan bakar yang terpakai.
2. Kelengkapan alat ukur pengukur panas harus memadai dalam proses pengambilan data.
3. Diharapkan adanya variasi lain dipenelitian selanjutnya yang menggunakan blower untuk mengontrol kecepatan udara agar temperatur pembakaran lebih stabil.
4. Batas temperatur pendidihan air harus ditentukan.
5. Pengukuran kelembapan udara harus diketahui

## DAFTAR PUSTAKA

- Adan. (1998). *Membuat Tungku Bio-arang*. Yogyakarta: Kanisius.
- Badaruddin, M. (2017). Peningkatan Efisiensi Termal Tungku Biomassa Untuk Proses Pengering Biji Kakao Di Desa Wiyono Kabupaten pesawaran Lampung. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Belinio. (1985). *Rice Huso Gas Store Hanbook. Approriate Technology Center. Departemen Of Agricultural Enginering And Environmetal Management. Philiphine: Collage Of Agricultural Central Philipine University Iloilo.*
- Budianto, a. (2014). uji efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang. *laporan akhir penelitian*.
- Budiyanto, W. (2009). *Uji Unjuk Kinerja Kompor Etanol Kadar Rendah*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Darmanto, d. (2016). modifikasi tungku untuk meningkatkan produktifitas industri rumah tangga gula aren. *Momentum, Vol 12, no 1, April 2016, 60 - 63.*
- Darmasetiawan. (2010). kajian hasil pembuatan tiga macam ukuran lubang berbentuk persegi panjang pada tubuh tungku sekam. *ISSN : 1410-9662, Vol 13. No.2.*

- Darmawan, Y. (2013). INOVASI TEKNOLOGI TUNGKU PEMBAKARAN DENGAN VARIASI KETINGGIAN CEROBONG. *Naskah publikasi*.
- Dwiprabowo, H. (2010). Kajian Kebijakan Kayu Bakar Sebagai Sumber Energi Di Pedesaan Pulau Jawa. *Jurnal Analisis Kebijakan Kayu Hutan*, 1-11.
- Kurniansyah, Y. (2015). *Proses Pembuatan Tungku Gula Merah Hemat Energi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Kurniawan. (2012). *Karakteristik Konvensional Updraft Gasifer Dengan Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet Melalui Pengujian Variasi Flow Rate Udara*. Depok: Universitas Indonesia.
- Kurniawati, S. D. (2013). pengaruh jenis dan ketebalan material terhadap distriusi temperatur dinding tungku dengan pendekatan CFD (STUDI KASUS DI INDUSTRI TEMPE kecamatan tenggilis mejo surabaya). *jurnal sains dan seni pomits vol. 1 no. 1*, 1-6.
- Morgan. (2017). *Thermal Ceramics Products*. United Kingdom: Morgan Advanced Material.
- Munir, S. (2011). Pemantau Kinerja Tungku Perbaikan Yang Dioperasikan Berkala Dengan Banyak Bahan Bakar Padat (MULTI FUEL STROKE IMPROVED FURNANCE) Di Sentra UMKM Kabupaten Ciamis . *Prosiding sNaPP2011 Siains, Teknologi Kesehatan*, Vol 2, No. 1.

Napitupulu, F. H. (2006). *Pengaruh Nilai kalor (HEATING VALUE) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar Yang Diperlukan*. Volume 7: Jurnal Sistem Teknik Industri.

Siswantoro, S. (2014). pengaruh perbandingan tinggi dan diameter keluar ruang bakar pada tungku kayu bakar tradisional terhadap kebutuhan bahan bakar. *laporan akhir penelitian*.

Subekti, P. (2012). *Perhitungan Komparasi Energi Bahan Bakar Sekam Padi Dengan Minyak Tanah*. Vol. 4 No. 1: Jurnal Aptek.

Vogel, M. (2005). *Heating With Wood: Principel Of Combustion*. Amerika Serikat: Montana State University.