

**PEMANFAATAN LIMBAH TONGKOL JAGUNG SEBAGAI BAHAN  
BAKAR KOMPOR GAS**



**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
guna memperoleh Gelar Diploma 3  
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

**Oleh**

**LEO KURNIAWAN**  
342 07 040

**MUH. RAHMAT, R**  
342 07 026

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2010**

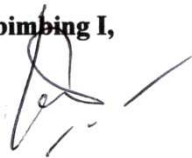
**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING**

Laporan Tugas Akhir dengan judul ***Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Kompor Gas*** oleh Leo kurniawan / Muh. Rachmat Randa dengan stambuk : 342 07 040 / 342 07 026 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar diploma 3 pada program studi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 5 Oktober, 2010

Mengesahkan,

**Pembimbing I,**



**Ir. Laode Musa, MT**  
Nip : 19601231 199003 1 021

**Pembimbing II,**



**Muh. Nuzul, ST, MT**  
Nip : 19681207 199903 1001

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**









**Muh. Tekad, ST, MT**  
Nip : 19650824 199003 1003

## PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini, hari rabu tanggal 20 Oktober 2010, Panitia ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil tugas Akhir oleh mahasiswa Leo kurniawan / Muh. Rachmat Randa dengan stambuk : 342 07 040 / 342 07 026 dengan judul ***Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Kompor Gas.***

Makassar, 20 Oktober 2010

Panitia Ujian Siding Tugas Akhir :

- |                         |                   |  |
|-------------------------|-------------------|--|
| 1. Ir. Firman , MT.     | ( Ketua )         | <br>(.....) |
| 2. Sri Suwasti, SST, MT | ( Sekretaris )    | <br>(.....) |
| 3. Ir. Abdi Wibowo, MT  | ( Anggota I )     | <br>(.....) |
| 4. Jamal, ST, MT        | ( Anggota II )    | <br>(.....) |
| 5. Ir. La ode Musa, MT  | ( Pembimbing I )  | <br>(.....) |
| 6. Muh. Nuzul, ST, MT   | ( Pembimbing II ) | <br>(.....) |

## ABSTRAK

Leo kurniawan dan Muh.Rachmat Randa, “Pemanfatan Limbah Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Kompor Gas” Program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. (La ode Musa dan Muh. Nuzul)

Pengambilan judul tugas akhir ini yaitu ditujukan untuk memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar yang relative efisien, mudah didapatkan dan perolehnya hasil rancang bangun kompor gas yang berbahan bakar tongkol jagung yang nyala apinya kebiru-biruan.

Rancang bangun kompor dengan memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan bakarnya dilaksanakan di laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik mesin dan bengkel las Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan yang digunakan yaitu besi plat lembaran 1,2 mm, pipa dengan diameter 63,5 mm besi siku 15 mm dengan metode penyambungan yaitu penyambungan las dan penyambungan keeling.

Dalam proses pengujian dilakukan pengujian dingin dengan efisiensi termal sebesar 2,057 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 2,064 kg /jam, dan komsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,685, dan pengujian panas dengan efisiensi termal sebesar 2,285 %, laju konsumsi bahan bakar sebesar 1,64 kg /jam, dan komsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,542.

Kesimpulan yang dapat diambil dalam perancangan kompor gas dengan memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar yaitu Limbah pertanian yang berupa tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar energi alternatif dan dapat digunakan di rumah tangga.

## KATA PENGANTAR



*Assalamualaikum Wr Wb,*

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat merampungkan tugas akhir ini dalam rangka penyelesaian studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang

Sebagai manusia biasa yang tak luput dari kekurangan, penulis sangat menyadari bahwa Tugas Akhir ini kemungkinan masih terdapat banyak kekeliruan yang memerlukan perbaikan. Hal ini tidak lain karena keterbatasan ilmu dan kemampuan yang penulis miliki. Karena itu, penulis berharap saran dan kritik dari segenap pihak demi perbaikan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibunda dan ayahanda kami yang tercinta serta saudara(i) yang menyumbangkan doa restunya sehingga terselesainya laporan akhir ini.
2. Bapak Dr. Pirman, M.si selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Muh.Tekad, S.T, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Jamal, S.T, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi.
5. Bapak Ir. La ode Musa, M.T selaku pembimbing I
6. Bapak Muh. Nuzul, S.T, M.T selaku pembimbing II

7. Bapak dosen dan ibu dosen di Jurusan Teknik Mesin yang telah mendidik dan membimbing penulis selama studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
8. Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa, membalas segala jerih payah dari semua pihak yang turut berpartisipasi dalam penyusunan laporan ini. Amin.



Makassar, Oktober 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
LEMBAR JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SIMBOL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Definisi jagung dan tongkol jagung.....	5
2.2 Parameter-parameter yang dihitung.....	12
2.3 Komponen kompor berbahan bakar tongkol jagung.....	13
2.4 Prinsip kerja kompor berbahan bakar tongkol jagung .....	13
2.5 Dasar-dasar rancang bangun .....	15
<b>BAB III METODE RANCANG BANGUN KOMPOR SEKAM PADI</b>	
3.1 Tempat Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.3 Diagram alir rancang bangun kompor gas tongkol jagung.....	22
3.4 Prosedur Kerja.....	23
3.5 Prosedur Pengujian .....	26
3.6 Teknik Analisa Data.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil .....	37
4.2 Pembahasan.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	50
LAMPIRAN.....	51





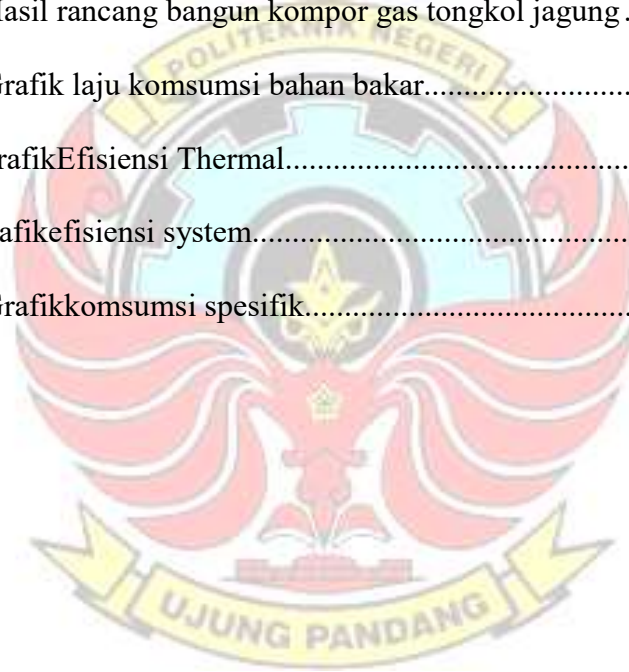
## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Hasil analisa kandungan tongkol jagung .....	7
Tabel 2. Analisa kimia tongkol jagung .....	9
Tabel 3. Flash cabonization dari tongkol jangung .....	10
Tabel 4. Hasil analisa data .....	51
Tabel 5. Sifat uap .....	52
Tabel 6. Nilai kalor bahan bakar .....	53
Tabel 7. Cp air .....	58



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Jagung hasil pertanian .....	6
Gambar 2. Potensi ril energi limbah jagung di indonesia .....	8
Gambar 3. Prinsip kerja kompor gas berbahan bakar tongkol jagung .....	15
Gambar 4. Prinsip kerja ruang bakar.....	15
Gambar 5. Diagram alir proses perancangan kompor gas tongkol jagung .....	22
Gambar 6. Hasil rancang bangun kompor gas tongkol jagung .....	37
Gambar 7. Grafik laju komsumsi bahan bakar.....	45
Gambar 8. Grafik Efisiensi Thermal.....	45
Gambar 9. Grafik efisiensi system.....	46
Gambar 10. Grafik komsumsi spesifik.....	46



## DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
FCR	Fuel Consumption Rate (Laju Konsumsi Bahan Bakar)	kg/jam
SGR	Specific Gasification Rate (Laju Gasifikasi Spesifik)	kg/m <sup>3</sup> .jam
CZR	Combustion Zona Rate (Laju Zona Pembakaran)	m/jam
SH	Sensible Heat (Panas sensibel)	kJ
LH	Laten Heat (Panas Laten)	kJ
QF	Input Energi Panas	kJ
TE	Thermal Efficiency (Efisiensi termal)	%
P <sub>i</sub>	Power Input (Daya Input)	kW
P <sub>o</sub>	Power Output (Daya Output)	kW
SC	Specific Consumption (Konsumsi Spesifik)	
Vol	Volume Reaktor	m <sup>3</sup>
m <sub>a</sub>	Massa Air	kg
C <sub>p</sub>	Panas Spesifik Air	kJ/kg. °C
T <sub>f</sub>	Temperatur didih air	°C
T <sub>i</sub>	Temperatur awal Air	°C
m <sub>g</sub>	Massa air yang diuapkan	kg
h <sub>fg</sub>	Laten air	kJ/kg
m <sub>BB</sub>	Massa bahan bakar yang digunakan dalam kompor	kg

HVF	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg
D	Diameter reaktor	mm
H	Tinggi reaktor	mm
t	Waktu operasi	jam
$\rho$ (tongkol jagung)	Massa jenis tongkol jagung	kg/m <sup>3</sup>
$f_0$	Berat awal bahan bakar sebelum dibakar	kg
$a_f$	Berat arang jika $f_0$ habis terbakar	kg
$d_t$	Berat bahan bakar dan arang pada saat t	kg
$f_t$	Berat bahan bakar pada saat t	kg
$a_t$	Berat arang pada saat t	kg
k	Fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis	kg



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran A DATA PENGAMATAN .....	52
Lampiran B HASIL ANALISA .....	53
Lampiran C SIFAT UAP .....	54
Lampiran D NILAI KALOR BIOMASSA .....	55
Lampiran E ANALISA BAHAN BAKAR .....	56
Lampiran F FOTO ALAT .....	57
Lampiran G WATER BOILING TEST .....	58
Lampiran H GAMBAR DETAIL ALAT .....	59
Lampiran I Cp Air .....	60



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kenaikan harga bahan bakar minyak dan menipisnya cadangan sumber minyak bumi di Indonesia dapat menjadi penghambat pembangunan pertanian berkelanjutan. Atas dasar masalah tersebut, maka diperlukan upaya untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Salah satu potensi energi alternatif adalah limbah biomassa yang dihasilkan dari aktivitas produksi pertanian yang jumlahnya sangat besar.

Biomassa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditi yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan dan pertanian. Potensi limbah biomassa terbesar adalah dari limbah kayu hutan, kemudian diikuti oleh limbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa, kelapa sawit dan tebu. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36 % dari potensi yang ada (Widodo dalam Hendrison, 2010:3). Selain sebagai sumber energi biomassa, limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan pupuk kompos.

Dengan mempertimbangkan potensi limbah pertanian dan penggunaannya di pedesaan, pengembangan energi terbarukan dalam hal pengelolaan konservasi energi dan penggunaan secara efisien adalah penting

untuk dilakukan guna mendukung pembangunan pertanian yang berkelanjutan.

Dari fakta dan data yang ada menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar fosil kian mendekati punah, jumlah cadangan semakin menipis, harga yang tidak stabil (kecenderungan terus meningkat) dan isu-isu bahwa bahan bakar fosil menjadi penyebab pemanasan global serta penyebab terjadinya kerusakan lingkungan sudah mulai terbukti.

Di sisi lain, Indonesia sebagai negara agraris banyak menghasilkan limbah pertanian yang kurang dimanfaatkan. Statistik (BPS) melaporkan bahwa luas lahan pertanian jagung di Indonesia tahun 2004 adalah 3.356.914 ha dengan produksi 11.225.243 ton pipilan. Sedangkan angka ramalan 2005 luas lahan dan produksinya meningkat menjadi 3.504.234 ha dengan 12.013.707 ton pipilan kering (BPS, 2005). Limbah pertanian yang merupakan biomassa tersebut merupakan sumber energi alternatif yang melimpah, dengan kandungan energi yang relatif besar.

Disamping itu menurut Husada dalam Syafi'i (2008:11-12), sumber energi biomassa mempunyai keuntungan pemanfaatan antara lain :

1. Sumber energi ini dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang terbarukan (*renewable resources*).
2. Sumber energi ini relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara sebagaimana yang terjadi pada bahan bakar fosil.

3. Pemanfaatan energi biomassa juga meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan dibahas antara lain:

1. Bagaimana memanfaatkan limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif.
2. Bagaimana membuat model kompor gas berbahan bakar tongkol jagung yang efektif dan efisien untuk digunakan dalam rumah tangga.
3. Bagaimana menentukan indikator performansi kompor gas melalui efisiensi, Laju Konsumsi Bahan Bakar (FCR) dan Spesifik Konsumsi Bahan Bakar (SC).

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin di capai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Memanfaatkan tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif
2. Merancang model kompor gas berbahan bakar tongkol jagung yang efektif dan efisien untuk digunakan dalam rumah tangga sehingga mengurangi dampak polusi udara akibat penggunaan bahan bakar fosil dan limbah tongkol jagung.
3. Menentukan indikator performansi kompor gas melalui efisiensi, Laju Konsumsi Bahan Bakar (FCR) dan Spesifik Konsumsi Bahan Bakar (SC).



#### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang ingin dicapai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Membantu program pemerintah dalam pengembangan energi alternatif, khususnya pada pemanfaatan tongkol jagung sebagai bahan bakar dalam rumah tangga.
2. Meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah pertanian secara maksimal sehingga mengurangi dampak polusi tanah dan air.
3. Sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat dalam ketersediaan energi alternatif ditengah krisis energi global.
4. Perancangan dan pembuatan kompor gas berbahan bakar tongkol jagung diharapkan mampu menjadi acuan dalam pengembangan kompor gas berbahan bakar tongkol jagung dalam skala besar, dan juga nantinya mampu dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik
5. Mengurangi besarnya dampak polusi udara yang diakibatkan oleh penggunaan energi berbahan bakar fosil dalam rumah tangga, industri dan penggunaannya pada kendaraan bermotor

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Jagung dan tongkol jagung**

Jagung adalah merupakan tanaman pangan yang penting di Indonesia. Pada tahun 2006, luas panen jagung adalah 3,5 juta hektar dengan produksi rata-rata 3,47 ton/ha, produksi jagung secara nasional 11,7 juta ton. Menurut Widodo dalam Prasetyo (2010:3), limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12,1 juta ton.

Jagung termasuk tanaman pangan utama di Indonesia. Produksi jagung terbesar di Indonesia terjadi di Pulau Jawa yakni Jawa Timur dan Jawa Tengah masing-masing lima juta ton per tahun, setelah itu menyusul beberapa daerah di Sumatra antara lain Medan dan Lampung, sehingga produksi jagung Indonesia mencapai 16 juta ton per tahun. Produksinya terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun ekspor. Namun, sejauh ini bagian tanaman jagung yang dimanfaatkan masih terfokus terutama pada biji buahnya. Hal ini disebabkan karena biji jagung kaya akan karbohidrat. Sebagian besar berada pada endospermium. Kandungan karbohidrat dapat mencapai 80% dari seluruh bahan kering biji. Karbohidrat dalam bentuk pati umumnya berupa campuran amilosa dan amilopektin. (Auliawati, 2009)



Gambar 1. Jagung merupakan hasil pertanian

Berbagai hasil penelitian menunjukkan potensi bagian-bagian lain tanaman jagung yang bisa dimanfaatkan untuk kegunaan yang bernilai komersial. Di antaranya tongkol jagung yang potensi ketersediaannya cukup besar. Dalam berat keseluruhan, tongkol jagung terdiri dari kurang lebih 30% buah jagung. Pemanfaatan tongkol jagung masih sangat terbatas. Kebanyakan limbah tongkol jagung hanya digunakan untuk bahan tambahan makanan ternak atau hanya digunakan sebagai pengganti kayu bakar.

Bagi masyarakat yang miskin dengan air bersih, pemanfaatan tongkol jagung sangat efektif untuk mengurangi masalah pemenuhan kebutuhan air bersih terutama pada musim kemarau panjang. Hal ini disebabkan karena dalam tongkol jagung terdapat kandungan yang mampu menyerap air. Kandungan tongkol jagung dapat dijelaskan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis kandungan tongkol jagung

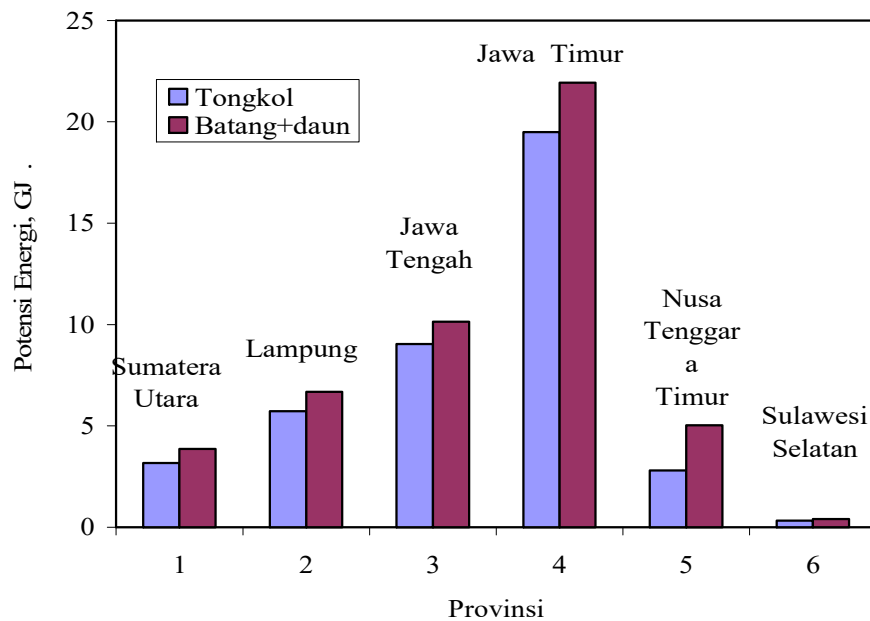
ZAT GIZI	TONGKOL JAGUNG	TONGKOL JAGUNG FERMENTASI
Kadar air	59,21	45,75
Bahan Kering	40,79	54,25
Protein kasar	3,25	3,99
Lemak kasar	0,33	0,52
Serat kasar	29,89	31,15
Abu	1,49	2,04
BETN	65,04	62,30
TDN	46,68	48,63

Sumber: Auliawati (2009)

Menurut Widodo dalam Sudradjat (2010:4) Energi tongkol jagung dapat dihitung dengan menggunakan nilai *Residue to Product Ratio (RPR)* tongkol jagung adalah 0,273 (pada kadar air 7,53%) dan nilai kalori 4451 kkal/kg.

Potensi energi tongkol jagung adalah 55,75 GJ. Potensi energi limbah pada komoditas jagung sangat besar dan diharapkan akan terus meningkat sejalan dengan program pemerintah dalam meningkatkan produksi jagung secara nasional. Namun, limbah jagung memiliki banyak kegunaan, diantaranya adalah untuk pakan ternak, dalam hal ini pemerintah telah mencanangkan program pengembangan peternakan secara terintegrasi (*Crop Livestock System/ CLS*). Oleh karena itu, optimasi pemanfaatan limbah jagung sangat diperlukan untuk mendapatkan keuntungan yang optimal.

Untuk memperkirakan potensi riil energi limbah jagung, penggunaan tongkol jagung untuk keperluan bahan bakar sekitar 90% sedangkan limbah batang dan daun sekitar 30% dari potensi yang ada.



Sumber: Widodo (2010:4)

Gambar 2. Potensi riil energi limbah jagung di Indonesia tahun 2006

### ➤ Bentuk Energi Terbarukan Dari Jagung

Sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Studi mengenai pengembangan potensi sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung telah dilakukan di berbagai negara. Potensi pemanfaatan dan pengembangan sumber energi terbarukan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- **Bahan Bakar Padat**

Sifat tongkol jagung yang memiliki kandungan karbon yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung kering per jam (Widodo dalam Alkuino:2010). Hasil analisis kimia tongkol jagung adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Analisis kimia tongkol jagung (Lachke:2002)

Kadar air ( a )	13,9	a) ASTM E 1756-95
Abu (b)	1,17	b) ASTM E 1755-95
Analisa kandungan zat kimia c)		c) Jasa analisa komersial ( Huffman labs, Inc.USA)
C	43,42	
H	6,32	
O	46,69	
N	0,67	
S	0,07	
Abu	2,3	
HHV (MJ/kg)	14,7 – 18,9	

Dalam bentuk arang (*char*), efisiensi penggunaan energi tongkol jagung dapat ditingkatkan. Proses pembentukan arang (*carbonization*) menggunakan prinsip dasar proses pirolisa cepat/karbonasi cepat, dimana terjadi proses pembakaran pada suhu berkisar 150 – 600 °C dengan udara

yang sangat terbatas. Hasil *Flash Carbonization* dari tongkol jagung (Lachke:2002), adalah sebagai berikut:

Tabel. 3 *Flash carbonization* dari tongkol jagung.

Kandungan	(%)
Kadar Air	13,6
Karbon tetap	87,3
Abu	2,7
y char(%)	33,1
y fc(%)	28,0
HHV (MJ/ kg)	32,0

Keterangan :

y char : produktivitas arang

$$= m \text{ char} / m \text{ bio}$$

m char : masa kering arang

m bio : masa kering bahan

y fc : produktivitas *fixed-carbon*

$$= y \text{ char} \{ \% \text{ fc} / (100 - \% \text{ ash}) \}$$

y char : produktivitas arang

% fc : persentase kandungan *fixed-carbon*

% ash : persentase kandungan abu

HHV : Higher Heating Value

Karbonisasi pada tekanan 1,2 Mpa, menyala setelah 2 menit pemanasan dan aliran udara pada autoclave dihentikan setelah 18 menit. Produktivitas *fixed-carbon* mencapai 100%. Kandungan energi tongkol jagung: 3.500-4.500 kkal/ kg atau 14.7-18.9 MJ/kg, suhu pembakaran dapat

mencapai 205 °C Sedangkan sumber pustaka lain menyebutkan bahwa dengan karbonisasi tongkol jagung, kandungan energinya dapat mencapai 32 MJ/kg (Prostowo, *dkk.*:2008).

Pemanfaatan panas langsung yang paling banyak dilakukan orang adalah untuk memasak atau pengeringan dengan menggunakan tungku. Jika panas yang dihasilkan dipergunakan untuk memanaskan ketel uap maka dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga mekanis atau listrik.

#### ➤ **Komposisi dan Konversi Tongkol jagung**

Sifat kimia dan karakteristik fisik tongkol jagung untuk bahan baku sangat cocok untuk beberapa metode pembangkit energi. Sebuah kelompok studi (Clark, TF dan Lathrop EC, 1953, Foley, K., 1978) menemukan bahwa tongkol jagung mengandung 32,3-45,6% selulosa, hemiselulosa 39,8% sebagian besar terdiri dari pentosan, dan lignin 6,7-13,9%. Hemiselulosa adalah kompleks polisakarida kurang, yang dapat lebih mudah dipecah menjadi monosakarida sederhana atau gula sederhana. Lignin adalah kompleks, non- komponen karbohidrat struktural, yang mengikat selulosa dan kekakuan dinding sel tanaman. Teknologi konversi termokimia seperti pembakaran dan gasifikasi dapat memanfaatkan struktur molekul selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terdapat dalam tongkol yang dapat menghasilkan energi panas dan gas sintesis.

Dalam pembakaran langsung, tongkol jagung benar-benar dibakar dalam lingkungan yang kaya oksigen untuk menghasilkan energi panas. proses pembakaran pemanasan langsung bisa berupa bahan bakar eksklusif



dengan tongkol jagung atau bahan bakar batubara. Manfaat menggunakan tongkol jagung sebagai pengganti batubara berpotensi mengurangi aliran emisi sehingga udara lebih bersih dan pengurangan Limbah abu (Gani, A. dan Naruse, I., 2007).

Proses gasifikasi menggunakan suhu tinggi dan lingkungan yang kekurangan oksigen untuk membuat energi yang lebih rendah produsen gas yang dapat digunakan mirip dengan gas alam. Gasifikasi memungkinkan untuk proses pembakaran parsial yang dikendalikan lebih banyak dan pengurangan emisi yang tidak diinginkan bila dibandingkan dengan pembakaran langsung. Penggunaan tongkol dalam produksi etanol selulosa menciptakan alternatif identik dengan biji-bijian yang dihasilkan etanol dan mengurangi ketergantungan pada jagung butir.

## **2.2 Parameter-parameter yang dihitung**

### **1. Pemakaian bahan bakar (FCR)**

$$\text{FCR} = \text{berat bahan bakar (kg)} / \text{waktu (jam)}$$

### **2. Energi yang diperlukan untuk menaikkan temperatur (SH) (Kcal)**

$$\text{SH} = m_a \times C_p \times (T_f - T_i)$$

Dimana:

$$m_a = \text{massa air (kg)}$$

$$C_p = \text{panas jenis air (kcal/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$T_f = \text{temperature air setelah mendidih (} ^\circ\text{C)}$$

$$T_i = \text{temperature air sebelum mendidih (} ^\circ\text{C)}$$

### 3. Panas laten (LH) (kcal)

$$LH = m_g \times H_{fg}$$

Dimana:

$m_g$  = berat/beban air menguapkan (kg)

$H_{fg}$  = panas laten air (kcal/kg)

### 4. Effisiensi (%)

$$\eta_{Th} = \frac{SH + LH}{HVF \times m_{BB}} \times 100\%$$

Dimana

SH = panas sensible (kcal)

LH = panas laten (kcal)

HVF = nilai pemanasan bahan bakar (kcal/kg)

$m_{BB}$  = berat bahan bakar (kg)

### 2.3 Komponen Kompor Gas Berbahan Bakar Tongkol Jagung

Pada proyek kompor gas berbahan bakar tongkol jagung yang akan kami buat secara umum terdiri dari sungkup, pengarah konvergen, tempat kipas, reaktor/ruang bakar, pipa sambungan, rumah sungkup.

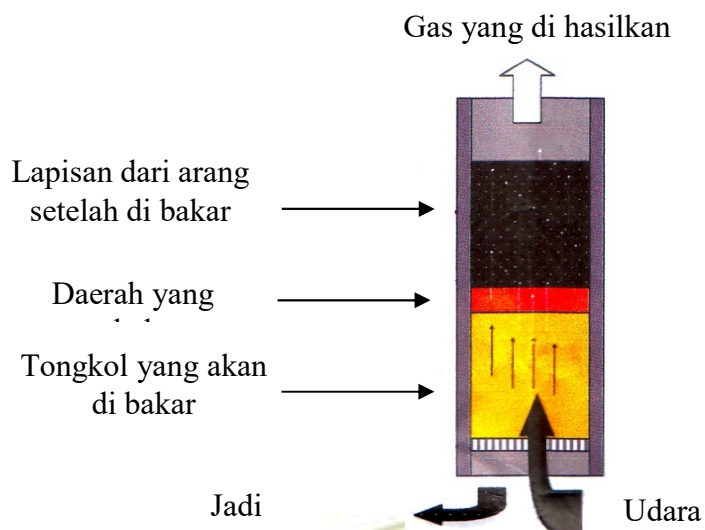
### 2.4 Prinsip Kerja Kompor Gas Berbahan Bakar Tongkol Jagung

Prinsip kerja kompor gas tongkol jagung yaitu mengikuti prinsip dalam memproduksi gas pembakaran, yang menggunakan karbon monoksida, Hidrogen(H<sub>2</sub>) dan Metana(CH<sub>4</sub>) dari tongkol jagung. Dengan pembakaran dan dengan jumlah udara yang terbatas, tongkol jagung dibakar untuk mengkonversi bahan bakar ke dalam lapisan arang dan membiarkan oksigen di udara sekitar. Gas yang dihasilkan sepanjang proses yang

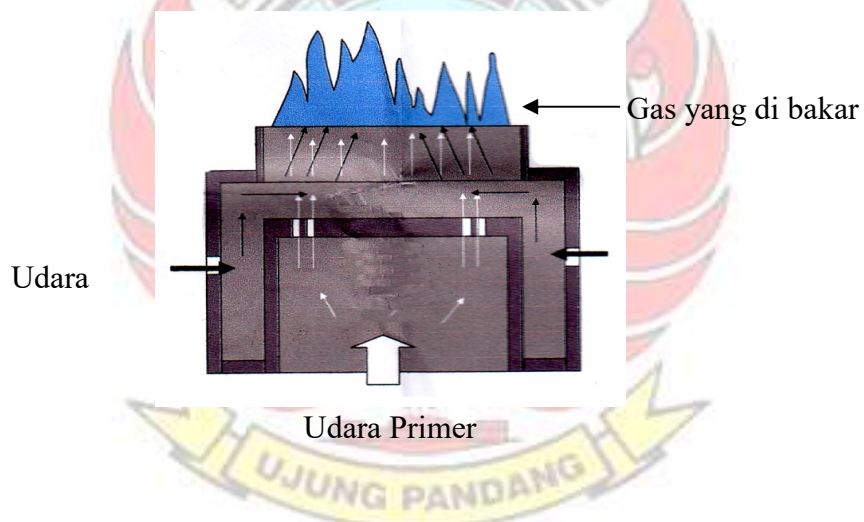
bereaksi dengan karbon di (dalam) ruang tempat arang pada suatu temperatur yang relatif tinggi ( 400 – 900 °C ), menghasilkan Karbon Monoksida ( CO), Hidrogen ( H<sub>2</sub>), dan gas metana ( CH<sub>4</sub>) yang mudah menyala. Adapun gas – gas yang lain, seperti gas asam-arang ( CO<sub>2</sub>) dan uap air air( H<sub>2</sub>O) yang sulit menyala, juga diproduksi selama proses perubahan menjadi gas.

Dengan adanya jumlah udara yang diperlukan untuk mengubah bahan bakar tongkol jagung menjadi gas telah tercapai. Pada gambar 3 ,menunjukkan bahwa bahan bakar tongkol jagung dibakar di dalam reaktor dengan suatu gaya batch. Bahan bakar dinyalakan dari puncak atau sungkup. Reaktor adalah Tempat pembakaran tongkol jagung, semakin besar jumlah hembusan udara yang masuk pada ruang penempatan tongkol jagung, maka semakin cepat tercipta arang atau karbon.

Dimana karbon bereaksi dengan udara yang masuk pada kompor. Sedangkan pada gambar 4, menunjukkan bahwa gas yang keluar melalui pembakaran, diarahkan ke ruang bakar. Udara secara alami akan masuk dan mendorong gas yang telah terbakar, melalui lubang sekunder. Sehingga di peroleh nyala api yang berwarna biru.



Gambar 3. Prinsip Kerja Kompor Gas Berbahan Bakar Tongkol Jagung



Gambar 4. Prinsip Kerja Ruang Bakar (Reaktor)

## 2.5 Dasar-Dasar Rancang bangun

### 2.5.1 Pemilihan bahan Kerja

Dalam pemilihan bahan kerja secara tepat dan efisien dibutuhkan pengetahuan yang luas tentang sifat-sifat mekanisnya sebagai bahan pertimbangan dan memilih bahan. Diantaranya sifat-sifat yang paling penting adalah kekuatan termal bahan, elastisitas dan kekakuan. Sifat-sifat lainnya

adalah keliatan, kemamputempaan, kekerasan daya lenting dan kemampuan mesin. Serta pertimbangan lainnya adalah ekonomis dan dapat dijangkau.

Menurut Jansen/Chenoweth (1983), Baja (steel) adalah suatu produksi besi yang mengandung kadar karbon berkisar 1,7 persen. Produk ini secara teknis dinyatakan sebagai baja karbon (carbon steel). Baja paduan (alloy steel) adalah suatu baja karbon yang telah ditambahkan satu atau lebih unsur-unsur tambahan dalam jumlah yang cukup menghasilkan sifat-sifat dikehendaki, yang dimiliki oleh baja karbon.

Baja karbon. Besi murni (ferit) tidak mengandung karbon. Besi ini relatif lunak dan liat serta mampu tempa, tetapi tidak kuat. Hampir semua besi murni mempunyai kekuatan tarik batas sekitar 40.000 psi. Penambahan karbon dalam besi murni dalam jumlah yang berkisar dari 0,05 sampai 1,7 persen, menghasilkan apa yang dinamakan baja. Karbon menaikkan kekuatan dan kekerasan, tetapi mengurangi keliatan dan keuletan. Suatu kandungan karbon sekitar 0,1 persen menghasilkan apa yang dikatakan baja lunak (soft steel) dengan kekuatan tarik 50.000 psi, yang cocok untuk dirol menjadi pelat. Baja struktur (structural steel) umumnya digunakan untuk dirol menjadi bentuk-bentuk struktur seperti siku, balok, dan kolom yang mengandung sekitar 0,25 persen karbon yang menghasilkan suatu baja yang cukup liat dan ulet dengan kekuatan batas sekitar 64.000 sampai 72.000 psi.

Bila satu atau lebih logam ditambahkan kedalam baja karbon dalam jumlah yang cukup maka akan diperoleh sifat-sifat baja yang baru, hasil ini

dikenal dengan baja paduan (alloy steel). Logam paduan yang umum digunakan adalah nikel, mangan, khrom, vanad, dan molibden.

### **2.5.2 Metode penyambungan**

Metode penyambungan yang biasa digunakan guna menyambungkan dua plat yaitu sambungan solder/sambungan perekat, sambungan keling, sambungan sekrup, sambungan baut/pasak. Tetapi pada proses rancang bangun Kompor Tongkol Jagung ini di gunakan metode penyambungan las dan penyambungan keling.

#### **a. Sambungan las**

Las adalah suatu proses penyambungan dua potong logam dengan pelumeran bahan las. Dimana kedua bagian yang dilas ditempatkan dengan baik dan dipanasi dengan busur listrik atau busur oksiasetilen. Lelehan logam dari batang las diendapkan pada endapan logam dan dibiarkan dingin dan mengeras. Secara garis besar metode pengelasan dapat dibagi dalam 2 kelompok :

1. Pengelasan tekan; dimana 2 bagian yang hendak di sambung ditekan satu sama lain dalam keadaan panas tanpa dicairkan dan tanpa bahan tambahan. Contohnya : pengelasan api, pengelasan tahanan listrik, pengelasan titik, pengelasan tekan termit dan pengelasan tekan otogen.
2. Pengelasan cair; dimana ruangan antara bagian yang hendak disambung yang disebut kampuh diisi sedemikian rupa dengan suatu bahan cair, sehingga pada waktu yang sama tepi bagian berbatasan mencair.

Contoh : pengelasan dengan elektroda terbungkus, pengelasan lebur termit, pengelasan lebur otogen, dan pengelasan celup. Selain itu berdasarkan media las di kenal jenis las lebur gas (las otogen) yang menggunakan gas asetilen sebagai gas bakar dan batang las. Juga ada las busur api listrik (*electric arc welding*) dengan batang elektroda yang berlapis dimana bagian yang dilas dilebur dengan busur elektrik (3500°C), las gas-logam inert (*metal inert gas welding*), las gas logam aktif (*metal active gas welding*), las Wolform Inert Gas (WIG), las plasma dengan busur yang dapat mengecil secara mekanik dan las kawat penuh serta las bubuk.

Pengelasan merupakan metode penyambungan yang paling mudah dengan hasil penyambungan yang lebih efisien dan kuat di banding metode penyambungan lainnya. Pengelasan khususnya sangat sesuai untuk memperbaiki bagian-bagian yang patah dan untuk penyambungan bagian-bagian konstruksi rangka. Pada proses rancang bangun kompor tongkol jagung ini digunakan metode pengelasan Busur api Listrik, dimana bagian sungkup digunakan pengelasan listrik yaitu busur api listrik dan dudukan kompor digunakan metode pengelasan listrik yaitu busur api listrik dan pengelingan.

#### b. Sambungan keling

Paku keling adalah batang logam pendek dengan kepala setengah bola yang telah terbentuk pada salah satu ujungnya. Lubang-lubang penyatuan dipukulkan atau ditanam pada kedua lempengan yang akan disambung. Setelah lempengan-lempengan ditempatkan pada posisi yang tepat, paku

keling di masukkan pada logam biasanya dengan palu tangan atau palu pneumatik, kepala paku keling terikat kuat terhadap lempengan yang disambung sementara ujung lainnya dipukul sampai terbentuk kepala lain yang sama sehingga lempengan saling terikat kuat.

Sambungan keling biasanya dipakai sebagai sambungan kekuatan pada konstruksi baja dan logam ringan serta konstruksi mesin pada umumnya, sebagai sambungan kekuatan ke dalam konstruksi ketel atau tangki dan sebagai sambungan paku untuk kulit pelat dan sebagai sambungan ke dalam tangki, atau cerobong asap pelat.

Ada dua tipe sambungan paku keling yang umum digunakan yaitu sambungan struktur dan sambungan ketel. Sambungan struktur umumnya digunakan untuk menyambung batang struktur seperti kerangka bangunan atau rangka batang dan sebagainya. Sambungan ketel digunakan pada semua kasus yang membutuhkan sambungan yang betul-betul kencang. Selain itu ada juga jenis sambungan tumpang dan sambungan temu. Pada sambungan tumpang, pelat yang akan digunakan ditumpukan diatas pelat lain dan bersama-sama diikat dengan satu atau lebih baris paku keling. Pada pertemuan pelat bersama sama disambung dengan dua pelat kait yang masing-masing dikeling pada pelat utama



## **BAB III**

### **METODE PENGUJIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.**

Perancangan dan pembuatan kompor gas tongkol jagung dilaksanakan pada bulan Juni sampai Agustus 2010 di Laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin dan bengkel Teknik kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

#### **3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan**

*Alat :*

1. Gunting besi
2. Bor
3. Palu
4. Las listrik
5. Alat penggulung (roll)
6. Bending (Alat pemotong)
7. Tang
8. Penitik / penggores
9. Mistar baja
10. Jangka
11. Gergaji besi
12. Thermometer / Thermokopel
13. Stop watch/ Timer Digital
14. Timbangan Digital



15. Alat pengeling
16. Gerinda
17. Kuas
18. Jig saw (mesin pemotong/gergaji).

*Bahan:*

1. Tongkol jagung.
2. Plat lembaran standar.
3. Besi siku.
4. Besi cor.
5. Elektroda.
6. Kawat.
7. Shock L besi.
8. Paku Keling.
9. Korek api.
10. Cat besi Afian.
11. Dempul.
12. Engsel.
13. Water muld.
14. Grendel putih.



### 3.3 Diagramam Alir Rancang Bangun Kompor Gas Tongkol Jangung



Gambar 5. Diagramam alir Proses Perancangan Kompor Gas Tongkol jagung.

### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Perancangan Design

Dalam perancangan design kompor gas berbahan bakar tongkol jagung, ada beberapa hal yang perlu dilakukan baik dalam penentuan bagian-bagian komponen maupun ukuran komponen yang akan dibuat.

. Adapun bagian-bagian dari kompor gas berbahan bakar tongkol jagung yang akan dibuat yaitu:

a. Ruang pembakaran

Perancangan reaktor di sini yaitu menentukan diameter (D) dan tinggi reaktor (H), yaitu :

$$D = \left( \frac{1,27 \times FCR}{SGR} \right)^{0,5}$$

$$D = \left( \frac{1,27 \times 2,5 \text{ kg / jam}}{80 \text{ kg / m}^3} \right)^{0,5}$$

$$= 0,199 \text{ m dibulatkan menjadi } 200 \text{ mm}$$

$$H = \frac{SGR \times T}{\rho(\text{Tongkol Jagung})}$$

$$H = \frac{80 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 2 \text{ jam}}{273,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$= 0,58 \text{ m dibulatkan menjadi } 600 \text{ mm}$$

Asumsi :

$$t = \text{waktu operasi } 120 \text{ menit}$$

$$FCR = \text{laju konsumsi bahan bakar } 2,5 \text{ kg/jam}$$

$$SGR = \text{laju spesifik gasifikasi } 80 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \text{massa jenis tongkol jagung } 273,34 \text{ kg/m}^3$$

([http:// www.powderanbulk.com](http://www.powderanbulk.com), 2010)

dengan ukuran diameter dalam 200 mm dan diameter luar 300 mm dan tinggi 600 mm.

b. Sungkup

Perancangan sungkup pada design kompor gas tongkol jagung ini terdiri dari pengarah gas, kap sungkup, penyembur gas, sarangan, saluran udara sekunder, saluran gas, kap saluran gas dan kap sarangan, dimana bagian ini terbuat dari besi plat 1,2 mm dengan ukuran yang telah ditentukan.

c. Pengarah Konvergen

Untuk design pengarah konvergen terdiri dari beberapa bagian yang terbuat dari bahan besi pelat lembaran antara lain penutup isolator atas, saluran pengarah, penambah saluran bawah dan penutup isolator bawah yang dimana fungsi dari pengarah konvergen mengarahkan gas hasil pembakaran menuju ke pipa alir yang menuju ke sungkup.

d. Rumah Fan

Rumah Fan merupakan dudukan dari Fan yaitu berbentuk persegi yang terbuat dari besi plat lembaran dengan ketebalan 1,2 mm dengan ukuran persegi 125 mm yang berfungsi memberikan udara primer ke dalam reaktor atau ruang bakar dengan spesifikasi Fan yang digunakan AC 220 V / 0,14 A dengan daya 30 Watt.

e. Pipa alir

Pipa alir merupakan bagian yang berfungsi mengalirkan gas hasil pembakaran pada reaktor, terbuat dari pipa besi dengan diameter 63,5 mm dan panjang pipa alir 830 mm yang dibuat berbentuk huruf "Z".

f. Rumah Sungkup.

Rumah sungkup berbentuk menyerupai persegi yang merupakan bagian dari dudukan sungkup pembakaran yang terbuat dari besi siku  $15 \times 15$  mm dengan ukuran 325 mm dan tinggi rumah sungkup 670 mm, berfungsi untuk memposisikan sungkup dengan baik agar tidak mudah bergerak dan sebagai dudukan wajan atau periuk.

g. Kotak abu

Kotak abu merupakan wadah penampungan arang hasil pembakaran dan sebagai dudukan reaktor atau ruang bakar, terbuat dari besi plat lembaran 1,2 mm dan besi siku  $15 \times 15$  mm yang berbentuk persegi dengan ukuran 350 mm dan tinggi kotak 180 mm.

h. Isolator reaktor atau ruang bakar.

Isolator ruang bakar terbuat dari besi plat lembaran dibentuk menyerupai ruang bakar dengan diameter 300 mm dan tinggi 585 mm, yang dibuat dengan lubang-lubang udara yang berfungsi untuk mensirkulasikan udara sekitar reaktor atau ruang bakar.

### 3.4.2 Tahap perakitan

Setelah semua bagian-bagian komponen telah dibuat maka tahap berikutnya adalah tahap perakitan yaitu dengan langkah sebagai berikut :

- a. Ruang bakar atau reaktor disatukan dengan kotak abu dengan cara pengelasan, dimana ruang bakar atau reaktor diletakkan diatas kotak abu.
- b. Isolator reaktor atau ruang bakar di letakkan sejajar dengan reaktor dan dirangkai bersama dengan kotak abu dan reaktor atau ruang bakar dengan cara dilas, dimana posisi isolator berada diatas kotak dan menutupi reaktor atau ruang bakar.
- c. Menghubungkan pengarah konvergen dengan pipa alir dengan menggunakan las sehingga pengarah berhubungan langsung dengan rumah sungkup.
- d. Pemasangan rumah fan pada tempatnya dengan menggunakan las.
- e. Pemasangan kaki kompor gas dengan cara di las yang di letakkan pada bagian bawah kotak abu.

### 3.5 Prosedur Pengujian

Setelah proses perakitan selesai, maka selanjutnya dilakukan pengujian sebagai berikut:

*Langkah awal: dilakukan sekali untuk setiap pengujian*

1. Mengisi format data dan perhitungan yang telah disiapkan. Hal ini termasuk informasi tentang kompor, bahan bakar dan kondisi

pengujian. Nomor masing-masing rangkaian pengujian untuk referensi selanjutnya.

2. Mengukur setiap parameter dan hasil pengukuran tersebut dicatat sekali untuk masing-masing rangkaian pengujian. Mencatat pengukurannya pada halaman 1 dari format data dan perhitungan.

a) Temperatur udara

b) Menimbang panci standar yang disediakan tanpa tutup dalam keadaan kering. Jika lebih dari satu panci yang digunakan, catat berat kering masing-masing panci. Jika beratnya berbeda, pastikan panci-panci tersebut tidak membingungkan jika pengujian berjalan. Jangan menggunakan tutup panci untuk hal ini, atau tahapan lainnya dari Water Boiling Test (WBT). Panci standar (yang disediakan bersama peralatan uji) harus digunakan jika memungkinkan. Jika tidak cocok dengan kompor, gunakan panci yang biasa digunakan dan catat dimensinya di dalam bagian pada lembar kerja data dan perhitungan.

c) Titik didih lokal ditentukan dengan menggunakan termometer digital dan sensor yang sama dengan yang digunakan di dalam pengujian.

3. Setelah parameter-parameter tersebut diukur dan dicatat serta bahan bakar juga telah dipersiapkan, maka lanjutkan dengan pengujian.



### **Tahapan 1: Start dingin**

Data yang dicatat di dalam tahapan pengujian yang tersisa harus dicatat pada halaman dua dalam format data dan perhitungan.

1. Mempersiapkan stopwatch, dan dionkan pada saat api mulai menyala.
2. Mengisi setiap panci dengan 3 kg air bersih temperatur ruangan (jika menggunakan panci standar berukuran kecil, isi panci dengan 2,5 kg liter air). Jumlah air harus ditentukan dengan meletakkan panci di atas timbangan dan menambahkan air hingga berat total panci dan air adalah 3,258 kg. Mencatat berat panci dan air di dalam lembar data dan perhitungan. Mencatat berat panci dengan air pada format data dan perhitungan. (Menggunakan jumlah air yang sama pada setiap pengujian).
3. Dengan menggunakan alat penahan dari kayu, pasang termometer di dalam masing-masing panci agar temperatur air bisa diukur pada bagian tengahnya, 5 cm dari dasarnya. Mencatat temperatur awal air di dalam setiap panci dan pastikan temperatur tersebut tidak berubah terhadap temperatur sekeliling.
4. Kompor harus berada pada temperatur ruangan, dan membakar bahan bakar, penyulut serta mencatatat semua bahan-bahan penyulut yang digunakan (misalnya kertas atau minyak tanah).
5. Setelah api menyala, mencatat waktu start pada seluruh tahapan pengujian start panas dan start dingin, mengontrol nyala api sampai panci pertama mendidih secara cepat.

6. Jika air di dalam panci pertama mencapai temperatur didih lokal yang terbaca pada termometer digital, secara cepat melakukan hal berikut:

- a) Mencatat waktu dan suhu pada saat air di dalam panci utama pertama kali mencapai temperatur didih lokal.
- b) Mengeluarkan semua arang dan sisa tongkol dari kompor dan padamkan apinya lalu menimbang kompor dan sisa tongkol jagung setelah proses pembakaran pada pendidihan panci pertama.
- c) Memperkurangkan hasil timbangan sebelum dan sesudah pendidihan air pada panci pertama untuk memperoleh data jumlah tongkol jagung yang terbakar.

#### **Tahapan 2: Start Panas**

1. Menolkan stopwatch, tetapi jangan mulai sampai api belum menyala.
2. Mengisi ulang panci dengan 3 kg air dingin. Menimbang panci (bersama air) dan ukur temperatur awal air, mencatat kedua pengukuran tersebut pada lembaran data dan perhitungan.
3. Menimbang kompor bersama tongkol jagung, kemudian mencatat hasil pengukuran.
4. Menyalakan api menggunakan penyulut dan tongkol jagung yang telah ditimbang lebih dahulu untuk tahapan pengujian ini.
5. Mencatat waktu mulai, sampai air dalam panci pertama mendidih secara cepat.

6. Mencatat waktu dan suhu ketika panci pertama mencapai titik didih lokalnya.
7. Setelah mencapai temperatur didihnya, dengan cepat melakukan sebagai berikut; kecepatan pengukuran sangat penting pada tahapan ini karena mempertahankan temperatur air sedekat mungkin dengan temperatur didih agar memungkinkan untuk melanjutkan secara langsung ke pengujian berikutnya.

### **3.6 Teknik Analisis Data**

Data-data yang diperoleh dari proses pengujian diolah dengan cara memperhatikan waktu yang dibutuhkan air untuk mendidih, dan berapa lama bahan bakar tongkol jagung dapat digunakan untuk memasak.

1. Waktu mulai

Waktu mulai adalah waktu yang diperlukan untuk menyalakan tongkol jagung dan menghasilkan gas yang mudah terbakar. Parameter ini diukur dari waktu mulai membakar sobekan kertas sampai gas yang mudah terbakar dihasilkan pada burner.

2. Waktu operasi

Waktu operasi adalah durasi dari waktu gasifier menghasilkan gas yang mudah terbakar sampai tidak ada lagi gas yang didapatkan dari pembakaran tongkol jagung.

3. Total waktu operasi

Total waktu operasi adalah durasi dari waktu tongkol jagung dinyalakan sampai tidak ada lagi gas yang dihasilkan di dalam kompor.

Pada dasarnya, waktu tersebut adalah penjumlahan dari waktu mulai dan waktu operasi.

4. Laju konsumsi bahan bakar (FCR)

Laju konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar tongkol yang digunakan dalam pengoperasian kompor dibagi dengan waktu operasi.

Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$\text{Massa bahan bakar yang digunakan} = f_0 - f_t \dots\dots\dots (1)$$

$$f_t = \frac{d_t - f_0 \cdot k}{1 - k} \dots\dots\dots (2)$$

$$k = \frac{a_f}{f_0} \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \frac{(\text{massa kompor} + \text{arang}) - \text{massa kompor}}{(\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - (\text{massa kompor})} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$f_0$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar

$a_f$  = berat arang jika  $f_0$  habis terbakar

$d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat t

$f_t$  = berat bahan bakar pada saat t

$a_t$  = berat arang pada saat t

k = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis

$$FCR = \frac{\text{massa bahan bakar tongkol jagung yang digunakan}(kg)}{\text{Waktu operasi}(jam)} \dots\dots\dots (5)$$

5. Laju gasifikasi spesifik (SGR)

Laju gasifikasi spesifik adalah jumlah bahan bakar tongkol jagung yang digunakan per satuan waktu per satuan volume reaktor. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$SGR = \frac{\text{massa bahan bakar tongkol jagung yang digunakan (kg)}}{\text{volume reaktor (m}^3\text{)} \times \text{waktu operasi (jam)}} \dots\dots (6)$$

6. Laju zona pembakaran (CZR)

Laju zona pembakaran adalah waktu yang diperlukan oleh zona pembakaran bergerak ke bawah di dalam reaktor. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$CZR = \frac{\text{Tinggi reaktor (m)}}{\text{waktu operasi (jam)}} \dots\dots\dots (7)$$

7. Waktu pendidihan

Waktu pendidihan adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mendidih mulai dari waktu panci ditempatkan di atas sungkup sampai temperatur air mencapai 100°C.

8. Panas sensible (SH)

Panas sensibel adalah jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air. Parameter ini diukur sebelum dan setelah air mencapai temperatur didih. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$SH = m_a \times c_p \times (T_f - T_i) \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

SH = panas sensibel (kJ)

$M_a$  = massa air (kg)

$c_p$  = panas spesifik air (kJ/kg · °C)

$T_f$  = temperatur didih air (°C)

$T_i$  = temperatur awal air (°C)

#### 9. Panas laten (LH)

Panas laten adalah jumlah energi panas yang digunakan untuk menguapkan air. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$LH = m_g \times h_{fg} \dots\dots\dots$$

(9)

Dimana:

LH = panas laten (kJ)

$m_g$  = massa uap air (kg)

$h_{fg}$  = panas penguapan atau laten air (kJ/kg )

#### 10. Input energi panas (QF)

Input energi panas adalah jumlah energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$QF = m_{BB} \times HVF \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

$QF$  = energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar (kJ)

$m_{BB}$  = massa bahan bakar yang digunakan di dalam kompor (kg)

$HVF$  = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

### 11. Efisiensi termal

Efisiensi termal adalah rasio energi yang digunakan dalam mendidihkan dan menguapkan air terhadap energi panas yang tersedia di dalam bahan bakar. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$\eta_{Th} = \frac{SH + LH}{HVF \times m_{BB}} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$\eta_{Th}$  = efisiensi termal (%)

$SH$  = panas sensibel (kJ)

$LH$  = panas laten (kJ)

$HVF$  = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

$m_{BB}$  = massa bahan bakar yang digunakan (kg)

### 12. Daya Input

Daya input adalah jumlah energi yang disuplai ke kompor yang didasarkan pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$P_i = \frac{FCR \times HVF}{3600} \dots\dots\dots$$

(12)

Dimana :

$P_i$  = daya input (kW)

$FCR$  = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$HVF$  = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

### 13. Daya Output

Daya output adalah jumlah energi yang dibebaskan kompor untuk memasak. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$P_o = \frac{FCR \times HVF \times \eta_{Th}}{3600} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

$P_o$  = daya output (kW)

$FCR$  = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$HVF$  = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

$\eta_{Th}$  = efisiensi termal (%)

### 14. Persentase arang yang dihasilkan

Persentase arang yang dihasilkan adalah rasio dari jumlah arang yang dihasilkan terhadap jumlah tongkol jagung yang digunakan. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$\%Arang = \frac{massa\ arang(kg)}{massa\ tongkol\ jagung\ yang\ digunakan} \times 100 \dots\dots\dots (14)$$

### 15. Konsumsi spesifik bahan bakar

Konsumsi spesifik bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu liter (kilogramam) air mendidih.

Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,



$$SC = \frac{FCR}{m_a} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

$SC$  = konsumsi spesifik bahan bakar

$FCR$  = konsumsi bahan bakar (kg)

$m_a$  = massa air yang dididihkan (kg)



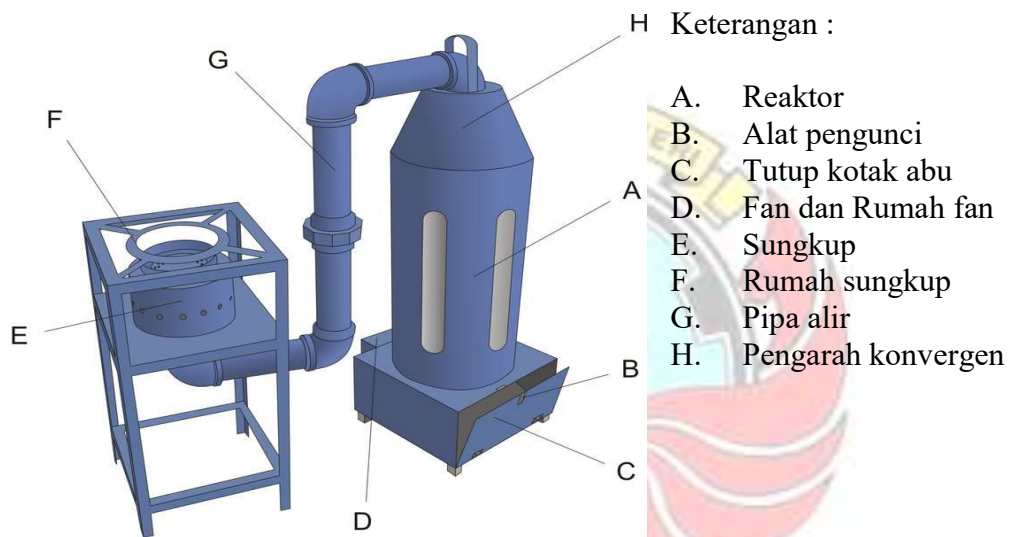
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

##### 1. Hasil Rancang bangun

Setelah melaksanakan proses rancang bangun ini, maka diperoleh bentuk kompor tongkol jagung, sesuai pada Gambar 6 berikut :



Gambar 6. Hasil rancang bangun kompor tongkol jagung

##### 2. Hasil pengujian

Setelah melaksanakan proses pengujian untuk menghasilkan nyala api yang berwarna kebiru-biruan, dalam hal ini digunakan tongkol jagung sebagai bahan bakar. Untuk bahan bakar tersebut dilakukan 2 kali pengujian, yang mana pengujian yang dilakukan adalah start dingin. Start panas. Data hasil pengamatan dapat dilihat pada lampiran A.

### 3. Analisa hasil pengujian

Untuk menganalisa data hasil pengujian diatas, maka diambil sebagai contoh perhitungan data no 2 pada pengujian start dingin, yaitu :

<input type="checkbox"/> Nomor pengujian	: 2
<input type="checkbox"/> Tanggal pengujian	: 24 september 2010
<input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar	: tongkol jagung
<input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar	: 1900 kJ/kg (lampiran D)
<input type="checkbox"/> Massa kompor	: 15,144 kg
<input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar	: 18,452 kg
<input type="checkbox"/> Massa kering panci	: 0,258 kg
<input type="checkbox"/> Massa panci + air	: 3,258 kg
<input type="checkbox"/> Temperatur awal air	: 30°C
<input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling	: 31°C
<input type="checkbox"/> Temperatur didih lokal	: 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

Waktu mulai : 5' 12"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

Waktu mendidih : 19' 02"

Massa air + panci : 3079 gram

Temperatur didih lokal : 100°C

*Catatan:*

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

kompor. : 16.546 gram

Parameter – parameter yang diukur dan dihitung :

- Waktu mulai : 5 menit 12 detik. = 0,085 jam
- Waktu operasi : 1 jam 12 menit 14 detik = 1,202 jam
- Total waktu operasi : 1 jam 17 menit 26 detik = 1,287 jam
- Laju konsumsi bahan bakar (FCR)

$$FCR = \frac{\text{massa bahan bakar tongkol jagung yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (jam)}}$$

Berdasarkan persamaan 1, 2, dan 3 maka diperoleh :

$$\begin{aligned} k &= \frac{(\text{massa kompor} + \text{arang}) - \text{massa kompor}}{(\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - (\text{massa kompor})} \\ &= \frac{16546 \text{ gr} - 15144 \text{ gr}}{18452 \text{ gr} - 15144 \text{ gr}} \\ &= \frac{1402 \text{ gr}}{3308 \text{ gr}} \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

dimana :

$f_0$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar

$a_f$  = berat arang jika  $f_0$  habis terbakar

$d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat t

$f_t$  = berat bahan bakar pada saat t

$a_t$  = berat arang pada saat t

k = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis (Lampiran E. )

$$\begin{aligned} dt &= (\text{massa bahan bakar} + \text{massa kompor}) - (\text{massa arang} + \text{massa kompor}) \\ dt &= 18452 \text{ gr} - 16546 \text{ gr} = 1906 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$f_t = \frac{1906 \text{ gr} - 3308 \text{ gr} (0,42)}{1 - 0,42} = 864 \text{ gr}$$

Maka : massa bahan bakar yang digunakan adalah :

$$m_{BB} = f_o - f_t$$

$$f_o = (\text{massa kompor} + \text{massa bahan bakar}) - (\text{massa kompor})$$

$$f_o = 18452 \text{ gr} - 15144 \text{ gr} = 3308 \text{ gr}$$

$$m_{BB} = 3308 \text{ gr} - 890,75 \text{ gr} = 2417,25 \text{ gr}$$

$$FCR = \frac{2,4172 \text{ kg}}{1,287 \text{ jam}} = 1,87 \text{ kg/jam}$$

- Laju gasifikasi spesifik (SGR)

$$SGR = \frac{\text{massa bahan bakar tongkol jagung yang digunakan (kg)}}{\text{volumereaktor (m}^3\text{)} \times \text{waktu operasi (jam)}}$$

$$h = \text{tinggi reaktor} = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

$$D = \text{diameter reaktor} = 200 \text{ mm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume reaktor} &= \frac{3,14 \times D^2}{4} \times h \\ &= \frac{3,14 \times 0,20^2 \text{ m}}{4} \times 0,60 \text{ m} = 0,018 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$SGR = \frac{2,4172 \text{ kg}}{0,018 \text{ m}^3 \times 1,287 \text{ jam}}$$

$$= 104,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{jam}}$$

- Laju zona pembakaran (CZR)

$$CZR = \frac{\text{Tinggi reaktor (m)}}{\text{waktu operasi (jam)}}$$

$$\text{Tinggi reaktor} = 0,60 \text{ m}$$

$$CZR = \frac{0,60 \text{ m}}{1,287 \text{ jam}} = 0,466 \text{ m/jam}$$

- Waktu pendidihan : 19 menit 02 detik = 0,317 jam
- Panas sensible (SH)

$$SH = m_a \times c_p \times (T_f - T_i)$$

$$m_a = (\text{massa panci} + \text{massa air}) - (\text{massa panci})$$

$$m_a = (3,258 - 0,258) = 3 \text{ kg}$$

$$T_f = \text{Temperatur didih air} = 100^\circ\text{C}$$

$$T_i = \text{Temperatur awal air} = 30^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ pada temperatur } 100^\circ\text{C} = 4,216 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ (lampiran I.)}$$

$$SH = 3 \text{ kg} \times 4,216 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$= 885,36 \text{ kJ}$$

- Panas laten (LH)

$$LH = m_g \cdot h_{fg}$$

Dimana nilai  $h_{fg}$  diperoleh dari tabel uap (lampiran C) pada temperatur  $100^\circ\text{C}$  adalah  $2256,9 \text{ kJ/kg}$ .

$$m_g = (\text{massa panci} + \text{air}) - (\text{massa panci} + \text{air setelah mendidih})$$

$$= 3258 \text{ gr} - 3079 \text{ gr}$$

$$= 179 \text{ gr} = 0,179 \text{ kg}$$

Maka,

$$LH = 0,179 \text{ kg} \times 2256,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 404,003 \text{ kJ}$$

- Input energi panas (QF)

$$QF = m_{BB} \times HVF$$

$$\begin{aligned}
 m_{BB} &= (\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - (\text{massa kompor}) \\
 &= 18452 \text{ gr} - 15144 \text{ gr} \\
 &= 3308 \text{ gr} = 3,308 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$HVF = 19000 \text{ kJ/kg (lampiran D.)}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 QF &= 3,308 \text{ kg} \times 19000 \text{ kJ/kg} \\
 &= 62.852 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- Efisiensi termal ( $\eta_{Th}$ )

$$\eta_{Th} = \frac{SH + LH}{HVF \times m_{BB}} \times 100\%$$

$$\eta_{Th} = \frac{885,36 \text{ kJ} + 403,98 \text{ kJ}}{19000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 3,308 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$= 2,05 \%$$

- Daya Input ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{FCR \times HVF}{3600}$$

$$P_i = \frac{1,87 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 19000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3600}$$

$$= 9,86 \text{ kW}$$

- Daya Output ( $P_o$ )

$$P_o = \frac{FCR \times HVF \times \eta_{Th}}{3600}$$



$$P_o = \frac{1,87 \frac{kg}{jam} \times 19000 \frac{kJ}{kg} \times 0,0205}{3600}$$

$$= 0,202 \text{ kW}$$

- Effisiensi system ( $\eta_s$ )

$$\eta_s = \frac{P_o}{P_i + P_{listrik}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,202 \text{ kW}}{9,86 \text{ kW} + 0,03 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$= 2,04\%$$

- Persentase arang yang dihasilkan (% Arang)

$$\% \text{ Arang} = \frac{\text{Massa arang (kg)}}{\text{Massa tongkol jagung yang digunakan (kg)}} \times 100\%$$

$$\text{Massa arang} = (\text{massa kompor} + \text{bahan bakar setelah air mendidih}) - (\text{massa kompor}).$$

$$= 16546 \text{ gr} - 15144 \text{ gr} = 1402 \text{ gr} = 1,402 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Arang} = \frac{1,402 \text{ kg}}{3,308 \text{ kg}} \times 100\% = 42,3\%$$

- Konsumsi spesifik bahan bakar (SC)

$$SC = \frac{FCR}{m_a}$$

$$m_a = \text{massa air} = 3 \text{ kg}$$

$$SC = \frac{1,87 \frac{kg}{jam}}{3 \text{ kg}}$$

$$= 0,62$$



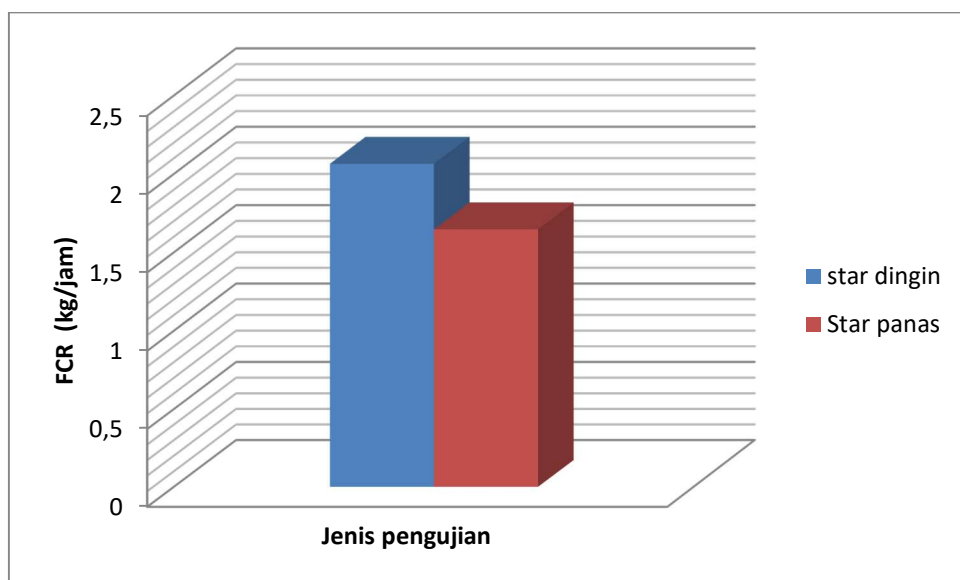
Dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas hasil analisa selanjutnya dapat dilihat pada lampiran B.

#### **4.2 Pembahasan**

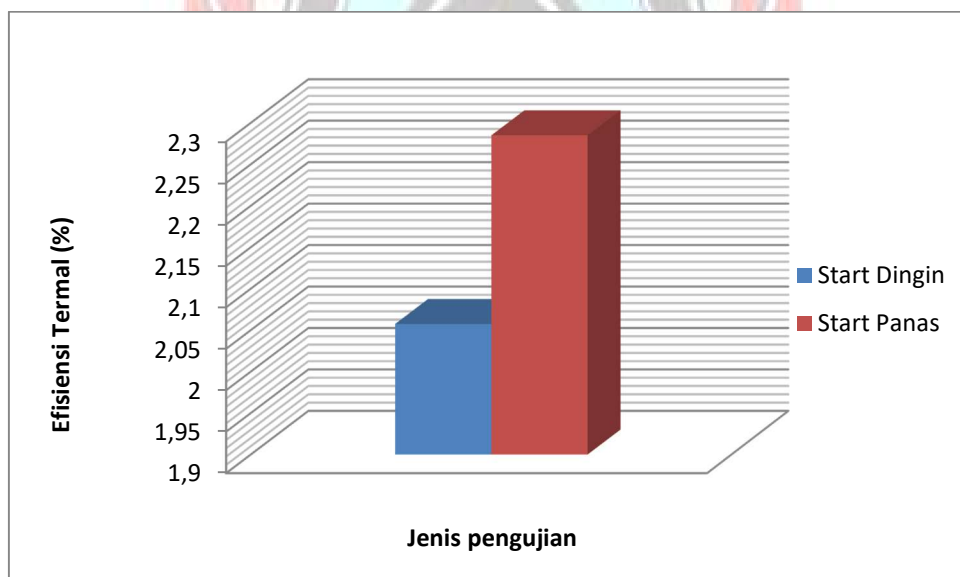
Pada prinsipnya kompor berbahan bakar tongkol jagung ini tidak beda dengan kompor-kompor yang telah ada dimana, kompor ini selain menggunakan bahan bakar tongkol jagung juga dapat menggunakan beberapa jenis limbah pertanian sebagai bahan bakar, namun pada pengujiannya bahan bakar kali ini yang digunakan hanya menggunakan tongkol jagung dalam bentuk dihancurkan.

Pada pengujian kompor dengan bahan bakar tongkol jagung terlihat bahwa bahan bakar ini dapat menghasilkan gas dan nyala api yang berwarna kebiru-biruan, namun penggunaan bahan bakar ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kekeringan bahan bakar yang digunakan hal ini terlihat pada saat pengujian kompor gas dengan kondisi bahan bakar agak lembab, dimana pada waktu penyalaan gas membutuhkan waktu yang lebih lama dibanding dengan kondisi bahan bakar kering baik pada saat pengujian start dingin maupun start panas.

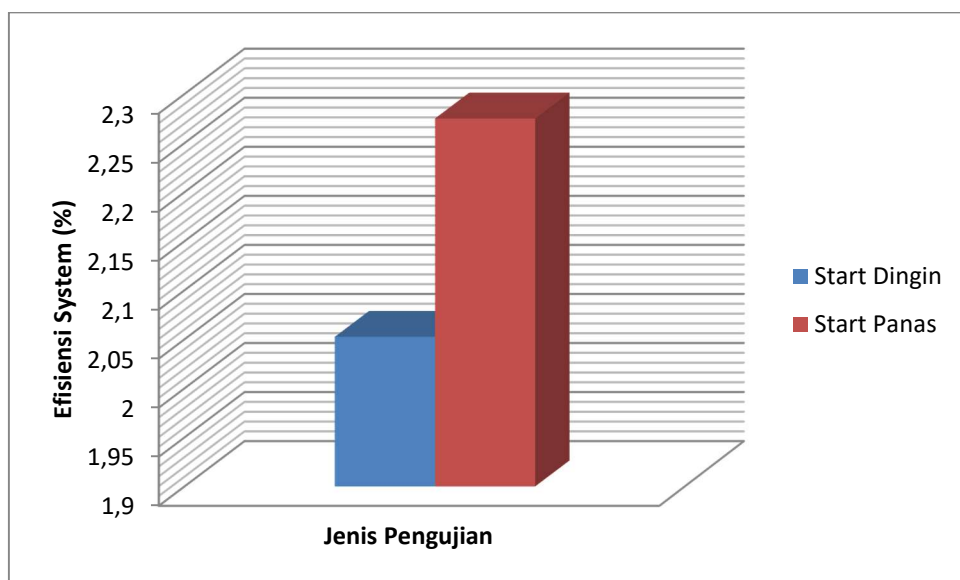
Berikut ini grafik perbandingan nilai laju komsumsi bahan bakar, efisiensi termal, efisiensi system dan komsumsi spesifik dari pengujian Start panas dan dingin sebagai berikut :



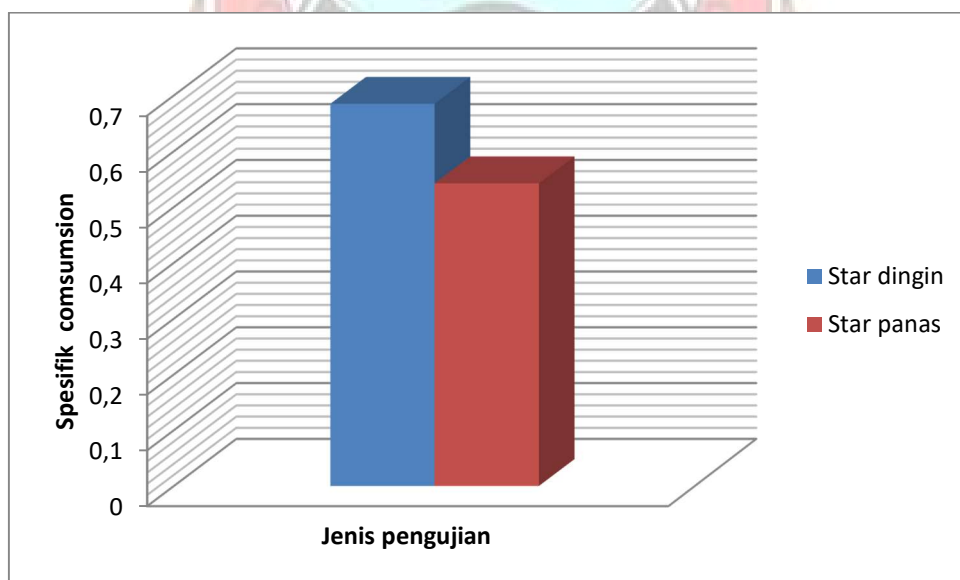
Gambar 7. Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar (FCR) berdasarkan pengujian start dingin dan start panas.



Gambar 8. Grafik perbandingan efisiensi thermal kompor berdasarkan pengujian start dingin dan start panas.



Gambar 9. Grafik perbandingan efisiensi system kompor berdasarkan pengujian start dingin dan start panas



Gambar 10. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi spesifik bahan bakar (SC) untuk pengujian start panas

Berdasarkan gambar 7. Grafik laju konsumsi bahan bakar terlihat nilai rata-rata laju konsumsi bahan bakar pada pengujian start dingin lebih besar dibandingkan dengan laju konsumsi bahan bakar pada pengujian start panas

dimana nilai rata-rata laju konsumsi bahan bakar pada pengujian dingin sebesar 2,064 kg/jam sedangkan nilai rata-rata laju konsumsi bahan bakar pada pengujian panas sebesar 1,64 kg/jam.

Berdasarkan gambar 8. Grafik perbandingan pengujian dingin dan panas berdasarkan besarnya nilai efisiensi thermal terlihat, pada pengujian dingin nilai efisiensi termal rata-rata yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan nilai efisiensi rata-rata pada pengujian panas dimana nilai efisiensi thermal pada pengujian pada pengujian dingin sebesar 2,057 % dan pengujian panas sebesar 2,285 %, demikian juga terlihat pada gambar 9 grafik efisiensi system terlihat besarnya nilai rata-rata efisiensi system pada pengujian dingin lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata efisiensi system pada pengujian panas dimana nilai rata-rata efisiensi system pada pengujian dingin sebesar 2,052 % dan pada pengujian panas sebesar 2,275 %.

Berdasarkan gambar 10 grafik perbandingan pengujian panas dan pengujian dingin berdasarkan besarnya nilai konsumsi spesifik terlihat nilai rata-rata laju konsumsi spesifik bahan bakar pada pengujian kecil lebih besar dibandingkan pengujian dingin dimana nilai rata-rata konsumsi spesifik bahan bakar pada pengujian dingin sebesar 0,685 dan pengujian panas sebesar 0,542

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

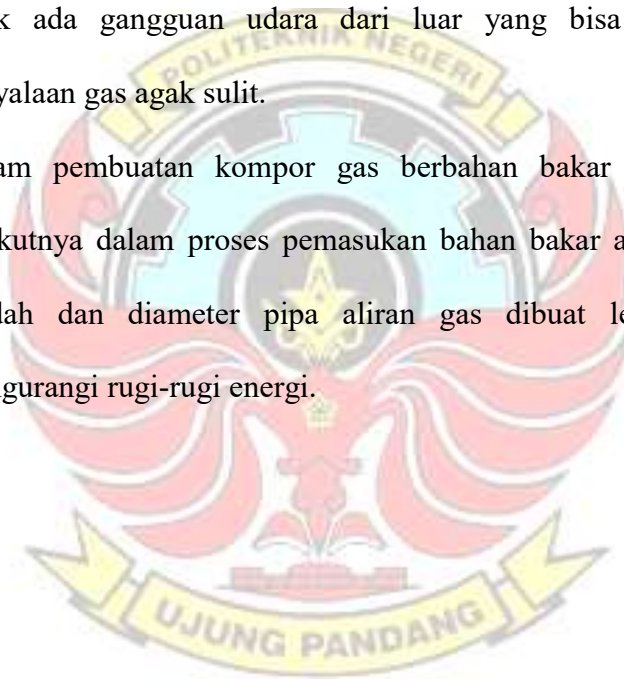
#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada tujuan yang ingin dicapai pada proyek akhir ini maka disimpulkan :

1. Limbah pertanian yang berupa tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar energi alternatif dan dapat digunakan di rumah tangga.
2. Pembuatan kompor gas berbahan bakar tongkol jagung yang efektif dan efisien dapat mengurangi ketergantungan masyarakat pada penggunaan bahan bakar fosil.
3. Limbah tongkol jagung dapat menghasilkan gasifikasi yang mana apabila dibakar dapat menghasilkan nyala api yang kebiru-biruan, dengan efisiensi termal sebesar 2,057 % pada pengujian dingin dan 2,285 %, pada pengujian panas, laju konsumsi bahan bakar sebesar 2,064 kg /jam, pada pengujian dingin dan 1,64 kg /jam pada pengujian panas, konsumsi spesifik bahan bakar sebesar 0,685, dan pada pengujian panas dan 0,542 pada pengujian panas dan efisiensi system sebesar 2,052 % pada pengujian dingin dan 2,275% pada pengujian panas.

## 5.2 Saran

1. Untuk memperoleh hasil yang maksimal maka dalam pemampatan bahan bakar tongkol jagung, sebaiknya lebih memperhatikan faktor kekeringan bahan bakar karena tongkol jagung memiliki kadar air yang tinggi.
2. Dalam proses pengujian, sebaiknya dilakukan di dalam ruangan yang tidak ada gangguan udara dari luar yang bisa mengakibatkan penyalan gas agak sulit.
3. Dalam pembuatan kompor gas berbahan bakar tongkol jagung berikutnya dalam proses pemasukan bahan bakar agar dibuat lebih mudah dan diameter pipa aliran gas dibuat lebih kecil agar mengurangi rugi-rugi energi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Auliawati. 2009. *Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Dalam Proses Penjernihan Air*, (online), (<http://www.pdf-search-engine.com/Auliawati.pdf>, diakses 03 Maret 2010)
- Belonio, A. T. 2005, May. *Gas Stove Handbook*. College of Agraculture Central Philippine University Iloilo City. Pilipina, Asia
- Budiman, Anton dan Priambodo, Bambang. 1999. *Elemen Mesin Jilid 1*. PT. Erlangga : Jakarta.
- Husada, Ibnu Teguh. 2008. *Laporan- PIM- Arang Briket Tongkol Jagung sebagai Energi alternatif*, (online), (<http://www.Scrib.com,Laporan-PIM-Arang-Briket-Tongkol-Jagung-Sebagai-Energi-Alternatif>, diakses 03 Maret 2010)
- Jensen, Alfred dan Chenoweth, Harry H. 1989. *Kekuatan Bahan Terapan edisi ke 4*. PT. Erlangga : Jakarta.
- Lachke, Anil. 2002. *Biofuel from D-xylose the Second Most Abundant Sugar*, (online), (<http://www.iisc.ernet.in/academy/resonance/May2002/pdf/May2002p50-58.pdf>, diakses 22 Februari 2010)
- Prastowo, B.; R. Hanif; T.M. Lando. 2008. *Rekayasa Teknologi Pengeringan dan Penyimpanan Jagung di Daerah Tadah Hujan*, (online), ([http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th\\_2008/tek.\\_pengeringan\\_penyimpanan\\_jagung.htm](http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th_2008/tek._pengeringan_penyimpanan_jagung.htm), diakses 22 Februari 2010)
- Widodo, Teguh Wikan dan Asari, A. 2010. *Bio Energi Berbasis Jagung dan Pemamfaatan Limbahnya*, (online), (<http://www.Mekanisasi.Litbang.com>, diakses 10 Mei 2010)

**L  
A  
M  
P  
I  
R  
A  
N**





# **LAMPIRAN - A**

## **(DATA PENGAMATAN)**



## Lapimran A-1

### Pengujian Mendidihkan Air (Start dingin)

- |  |                     |
|--|---------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 1                 |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 27 september 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung    |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg         |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,452 kg         |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg          |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 3,258 kg          |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 30°C              |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 31°C              |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C             |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 5' 12" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |             |
|---|-------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 19' 02"   |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panic      | : 3056 gram |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C     |

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

kompor : 16,546 gram

## Lampiran A-2

### Pengujian Mendidihkan Air (Start panas)

- |  |                    |
|--|--------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 1                |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 2 september 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung   |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,148 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg         |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 3,258 kg         |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 29°C             |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 31°C             |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C            |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 3' 24" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |            |
|---|------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 21'54 "  |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panic      | : 3,077 kg |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C    |

#### **Catatan:**

Setelah semua parameter diukur,

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

Kompor	: 16,130 kg
--------	-------------

Sumber : Hasil pengujian

### Lampiran A-3

#### Pengujian Mendidihkan Air (Start dingin)

- |  |                   |
|--|-------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 3               |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 25 Oktober 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung  |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg      |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,452 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 3,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 29°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 31°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 5' 02" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |             |
|---|-------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 19' 10"   |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panic      | : 3075 gram |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C     |

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

kompor : 16,550 gram

#### Lampiran A-4

#### Pengujian Mendidihkan Air (Start panas)

- |  |                   |
|--|-------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 4               |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 25 Oktober 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung  |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg      |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,148 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 29 kg           |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 29°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 30°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 3' 11" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |            |
|---|------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 21'30 "  |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panic      | : 3,079 kg |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C    |

#### **Catatan:**

Setelah semua parameter diukur,

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

Kompor	: 16,136 kg
--------	-------------

Sumber : Hasil pengujian

## Lampiran A-5

### Pengujian Mendidihkan Air (Start dingin)

- |                          |                             |                   |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> | Nomor pengujian             | : 5               |
| <input type="checkbox"/> | Tanggal pengujian           | : 25 Oktober 2010 |
| <input type="checkbox"/> | Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung  |
| <input type="checkbox"/> | Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg      |
| <input type="checkbox"/> | Massa kompor                | : 15,144 kg       |
| <input type="checkbox"/> | Massa kompor + bahan bakar  | : 18,452 kg       |
| <input type="checkbox"/> | Massa kering panic          | : 0,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> | Massa panci + air           | : 3,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> | Temperatur awal air         | : 29°C            |
| <input type="checkbox"/> | Temperatur udara sekeliling | : 30°C            |
| <input type="checkbox"/> | Temperatur didih local      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                          |             |          |
|--------------------------|-------------|----------|
| <input type="checkbox"/> | Waktu mulai | : 4' 58" |
|--------------------------|-------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |                          |                        |             |
|--------------------------|------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Waktu mendidih         | : 19' 12"   |
| <input type="checkbox"/> | Massa air + panic      | : 3081 gram |
| <input type="checkbox"/> | Temperatur didih local | : 100°C     |

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

kompor	: 16,562 gram
--------	---------------

## Lampiran A-6

### Pengujian Mendidihkan Air (Start panas)

<input type="checkbox"/> Nomor pengujian	: 6
<input type="checkbox"/> Tanggal pengujian	: 26 Oktober 2010
<input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar	: tongkol jagung
<input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar	: 19000 K/Kg
<input type="checkbox"/> Massa kompor	: 15,144 kg
<input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar	: 18,148 kg
<input type="checkbox"/> Massa kering panic	: 0,258 kg
<input type="checkbox"/> Massa panci + air	: 29 kg
<input type="checkbox"/> Temperatur awal air	: 29°C
<input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling	: 31°C
<input type="checkbox"/> Temperatur didih local	: 100°C

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

Waktu mulai : 3' 04"

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

Waktu mendidih : 21'45 "

Massa air + panic : 3,075 kg

Temperatur didih local : 100°C

#### **Catatan:**

Setelah semua parameter diukur,

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

Kompor : 16,141 kg

Sumber : Hasil pengujian

## Lampiran A-7

### Pengujian Mendidihkan Air (Start dingin)

- |  |                   |
|--|-------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 7               |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 26 Oktober 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung  |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg      |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,452 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 3,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 29°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 30°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 4' 56" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |             |
|---|-------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 19' 08"   |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panci      | : 3073 gram |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C     |

#### **Catatan:**

setelah semua parameter diukur, ketika kompor masih dalam keadaan panas pengujian langsung dilanjutkan dengan pengujian start panas, tanpa menunggu.

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

kompor : 16,567 gram



## Lampiran A-8

### Pengujian Mendidihkan Air (Start panas)

- |  |                   |
|--|-------------------|
| <input type="checkbox"/> Nomor pengujian             | : 8               |
| <input type="checkbox"/> Tanggal pengujian           | : 26 Oktober 2010 |
| <input type="checkbox"/> Jenis bahan bakar           | : tongkol jagung  |
| <input type="checkbox"/> Nilai kalor bahan bakar     | : 19000 K/Kg      |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor                | : 15,144 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kompor + bahan bakar  | : 18,148 kg       |
| <input type="checkbox"/> Massa kering panic          | : 0,258 kg        |
| <input type="checkbox"/> Massa panci + air           | : 29 kg           |
| <input type="checkbox"/> Temperatur awal air         | : 29°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur udara sekeliling | : 30°C            |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local      | : 100°C           |

*Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :*

- |                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mulai | : 3' 01" |
|--------------------------------------|----------|

*Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :*

- |   |            |
|---|------------|
| <input type="checkbox"/> Waktu mendidih         | : 21'15 "  |
| <input type="checkbox"/> Massa air + panic      | : 3,078 kg |
| <input type="checkbox"/> Temperatur didih local | : 100°C    |

#### **Catatan:**

Setelah semua parameter diukur,

Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar

Massa arang yang tersisa + massa

Kompor	: 16,139 kg
--------	-------------

Sumber : Hasil pengujian

# **LAMPIRAN - B**

## **( HASIL ANALISA DATA)**



Lampiran –B

Tabel Nilai rata-rata Hasil analisa data percobaan .

Parameter	Jenis pengujian bahan bakar	
	start dingin	start panas
FCR (kg/jam)	2,067	1,65
SGR (kg/m <sup>2</sup> jam)	114,88	91,66
CZR(m/jam)	0,502	0,66
SH (KJ)	894,84	898,008
LH (Kj)	400,03	408,49
QF (Kj)	62,75	57,076
$\dot{\eta}_{Th}$ (%)	2,06	2,28
Pi (kW)	10,91	8,708
Po (kW)	0,225	0,1
% arang	42,75	33,039
SC	0,63	0,55

# **LAMPIRAN - C**

## **( SIFAT UAP )**



Lampiran. – C

Tabel 4. Sifat uap .

Temp (°C)	Press bars	specific enthalpy (kJ/kg)			specific entropy kJ/kg.°C		Specific Volume (dm <sup>3</sup> /kg)	
		Sat. Liquid H <sub>f</sub>	Evap h <sub>fg</sub>	Sat. vapor h <sub>g</sub>	Sat. Liquid S <sub>f</sub>	Sat. vapor S <sub>g</sub>	Sat. Liquid V <sub>f</sub>	Sat. vapor V <sub>g</sub>
95	0,8453	398,0	2770,2	2668,1	1,2501	7,4166	1,0398	1982,2
96	0,8769	402,2	2267,2	2668,9	1,2615	7,4042	1,0406	1915,3
97	0,9094	406,4	2264,9	2669,7	1,2729	7,3919	1,014	1851,0
98	0,9430	410,6	2262,2	2672,9	1,2842	7,3796	1,0421	1789,3
99	0,9776	414,8	2259,6	2674,4	1,2956	7,3675	1,0429	1730,0
100	1,013	419,1	2256,9	2676,0	1,3069	7,3554	1,0437	1673,0

Sumber : Perusahaan Umum Listrik Negara Pusat Pendidikan Dan Pelatihan





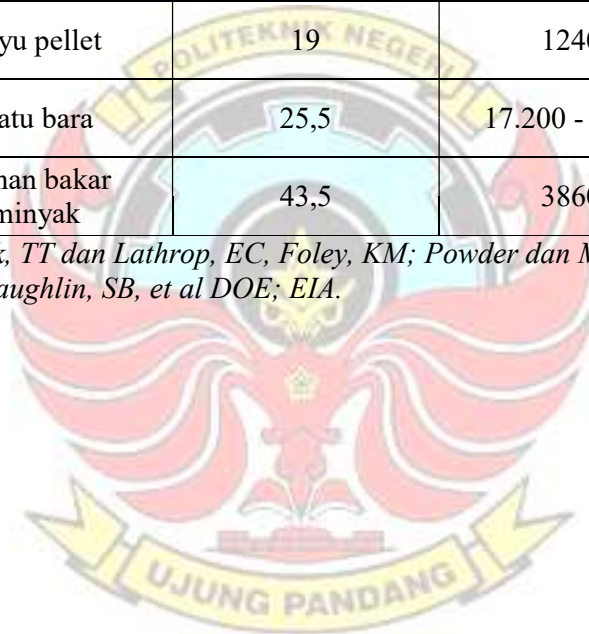
**LAMPIRAN - D**  
**( Nilai Kalor Bahan Bakar)**

Lampiran. D

Tabel. 5 nilai kalor bahan bakar.

Jenis Bahan bakar	nilai kalor bahan bakar	
	Energi Isi (MJ / kg)	Energi Isi (MJ / m3)
tongkol jagung	18,25 -19,18	4960 – 5210
jagung stover	17	2550
Switchgrass	18	2500
kayu pellet	19	12400
Batu bara	25,5	17.200 - 23.300
Bahan bakar minyak	43,5	38600

Sumber : *Clark, TT dan Lathrop, EC, Foley, KM; Powder dan Massal; McLaughlin, SB, et al DOE; EIA.*



# **LAMPIRAN - E**

## **( Analisa Bahan Bakar)**





## Lampiran - E

### Persamaan untuk menghitung bahan bakar yang tersisa selama pembakaran (sumber : Faxälv, Olle, dan Nyström, Olof: 2007)

#### Variabel-variabel

$f_0$  = berat awal bahan bakar sebelum dibakar

$a_f$  = berat arang jika  $f_0$  habis terbakar

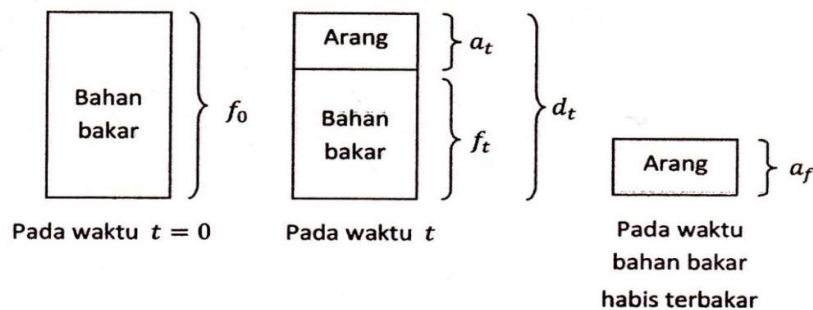
$d_t$  = berat bahan bakar dan arang pada saat  $t$

$f_t$  = berat bahan bakar pada saat  $t$

$a_t$  = berat arang pada saat  $t$

$k$  = fraksi berat arang jika bahan bakar terbakar habis

$f_t$  tidak diketahui dan ingin diekspresikan di dalam variabel-variabel yang diketahui  $f_0, d_t, k$ .



#### Hubungan-hubungan nyata

$$a_f = f_0 \cdot k$$

$$a_f = f_t \cdot k + a_t$$

$$d_t = a_t + f_t$$

#### Cara mendapatkan persamaan

$$f_t \cdot k + a_t = a_f \quad \left\{ \begin{array}{l} a_f = f_0 \cdot k \\ a_t = d_t - f_t \end{array} \right.$$

$$f_t \cdot k + d_t - f_t = f_0 \cdot k$$

$$f_t \cdot (k - 1) = f_0 \cdot k - d_t$$

Jadi, massa bahan bakar yang tersisa pada waktu  $t$  adalah,

$$f_t = \frac{d_t - f_0 \cdot k}{1 - k}$$

# **LAMPIRAN - F**

## **( Foto-Foto Alat )**





Gambar.7 kegiatan mengukur berat kompor.



Gambar.8 arang aktif sisa pembakaran tongkol jagung.



Gambar.9 gas hasil pembakaran



Gambar.10 proses penyalaan awal kompor



Gambar.11 proses pembakaran awal tongkol



Gambar.12 proses mendidihkan air



Gambar.13 kegiatan mengukur massa air.



Gambar.14 kegiatan mengukur temperature air.



Gambar. 15 bahan bakar tongkol jagung yang dihancurkan



Gambar.16 bahan bakar telah dimasukkan ke dalam reaktor



Gambar.17 fan dan korek api yang digunakan



Gambar.18 panci dinaikan ke atas rumah sungkup



Gambar. 19 air yang dipanaskan telah mengalami masa jenuh



Gambar. 20 proses pengukuran temferatur air yang di panaskan.



Gambar.21 air sudah mulai mendidih



Gambar.22 nyala api kompor tongkol jagung.





# **LAMPIRAN - G**

## **( WATER BOLLING TEST)**



# Pengujian Mendidihkan Air (*The Water Boiling Test, WBT*)

Prepared by Rob Bailis, Damon Ogle, Nordica MacCarty, and Dean Still with input from Kirk R. Smith and Rufus Edwards – for the Household Energy and Health Programme, Shell Foundation

## Pendahuluan

Versi modifikasi pengujian mendidihkan air yang telah dikenal adalah simulasi kasar dari proses memasak yang bermaksud membantu perancang kompor memahami sebaik apa energi yang dipindahkan dari bahan bakar ke panci memasak, yang dapat dilakukan pada kebanyakan kompor di seluruh dunia. Pengujian tersebut tidak bermaksud menggantikan bentuk-bentuk pengkajian kompor lainnya, akan tetapi hal itu dirancang sebagai metode sederhana yang dengannya kompor yang dibuat pada tempat-tempat berbeda dan penerapan memasak yang berbeda dapat dibandingkan melalui pengujian yang terstandarisasi dan dapat ditiru.

Adalah penting untuk memahami kekuatan dan kelemahan dari WBT. Kekuatan yang tercakup di dalam WBT adalah kemudahan dan mudah ditiru. Di samping itu, memberikan pemahaman awal dari performansi kompor, yang sangat membantu selama proses desain. Data yang diperoleh dari pengujian yang hanya beberapa hari akan membantu dalam mengembangkan kompor yang lebih baik, yang kemudian diuji dengan memasak di dalam lingkungan di mana kompor tersebut digunakan. Visser (2003) memperlihatkan bahwa melalui penentuan efisiensi termal pada daya tinggi dan rendah, sebagaimana yang dilakukan di dalam versi WBT ini, bahan bakar yang digunakan dapat diprediksi secara kasar untuk berbagai tugas memasak.

Akan tetapi, WBT juga memiliki kelemahan. Agar dapat diterapkan pada beberapa jenis kompor berbeda, WBT hanyalah pendekatan kasar dari memasak yang sebenarnya, yang dilakukan di dalam kondisi yang dikontrol oleh teknisi terlatih. Oleh sebab itu, pengujian tersebut tidak memberikan banyak informasi tentang bagaimana performansi kompor jika memasak bahan makanan nyata. Untuk memahami bagaimana performansi kompor memasak bahan makanan yang dimasak oleh orang-orang setempat, si penguji kompor harus menggunakan Pengujian Memasak Terkontrol (*Controlled Cooking Test, CCT*) yang dilakukan bersamaan dengan pengujian ini. Demikian pula, WBT tidak dapat digunakan untuk memprediksi secara akurat perubahan aktual konsumsi bahan bakar di antara keluarga yang menggunakan kompor yang telah diperbaiki. Pengujian Performansi Dapur (*Kitchen Performance Test, KPT*), yang membandingkan konsumsi bahan bakar di dalam rumah tangga dengan menggunakan kompor yang telah diperbaiki dengan rumah tangga yang menggunakan kompor tradisional, yang harus dilakukan sebelum menarik kesimpulan tentang perubahan konsumsi bahan bakar di antara pengguna nyata kompor. KPT juga dikembangkan untuk digunakan bersama dengan CCT dan WBT. Pembahasan lebih lanjut dari WBT dan variasi-variasi yang digunakan di Cina dan India ditemukan di dalam Lampiran 1.

- 1) Dalam tahapan yang pertama, pengujian daya tinggi start dingin, si penguji memulai dengan kompor pada temperatur ruangan dan menggunakan seikat kayu yang telah ditimbang sebelumnya atau bahan bakar<sup>1</sup> lainnya untuk mendidihkan air dengan jumlah terukur di dalam panci standar. Si penguji kemudian mengganti air yang dididihkan dengan satu panci air dingin segar untuk melakukan pengujian tahapan kedua.
- 2) Tahapan yang kedua, pengujian daya tinggi start panas, yang langsung menyusul setelah pengujian pertama dengan kompor masih dalam keadaan panas. Kembali lagi, si penguji menggunakan seikat bahan bakar yang telah ditimbang lebih dahulu untuk mendidihkan air dengan jumlah terukur di dalam panci standar. Dengan mengulang pengujian dengan kompor dalam keadaan panas akan membantu mengidentifikasi perbedaan performansi di antara kompor jika kompor dalam keadaan dingin dan panas.
- 3) Tahapan yang ketiga langsung menyusul dari tahapan yang kedua. Dalam tahapan ini, si penguji menentukan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk mendidihkan secara perlahan (*simmer*) air dengan jumlah terukur sedikit di bawah mendidih selama 45 menit. Langkah ini menyimulasi memasak kacang-kacangan yang umumnya membutuhkan waktu yang lama di seluruh dunia.

Gabungan dari pengujian ini mengukur beberapa aspek dari performansi kompor pada output daya tinggi dan rendah, yang dihubungkan dengan kemampuan kompor menghemat bahan bakar. Akan tetapi, dibanding hanya melaporkan satu angka yang menunjukkan efisiensi termal kompor, yang bukan menjadi satu-satunya *prediktor* yang baik dari performansi<sup>2</sup> kompor, pengujian ini didesain untuk menghasilkan beberapa output kuantitatif. Perancang kompor lainnya bisa mendapatkan output berbeda lebih atau kurang berguna bergantung pada konteks program kompornya. Outputnya adalah:

- Waktu mendidih (d disesuaikan dengan temperatur mulai)
- Laju pembakaran (d disesuaikan dengan temperatur mulai)
- Daya api
- Rasio *turn-down* (rasio dari output daya tinggi terhadap output daya rendah)
- Efisiensi termal

Untuk informasi lebih lanjut dari masing-masing indikator, lihat Lampiran 2, yang mendefinisikan masing-masing ukuran dan menjelaskan bagaimana menghitungnya.

## Sebelum Memulai Pengujian

Lima langkah berikut harus diselesaikan sebelum memulai pengujian yang sebenarnya.

1. Pastikan bahwa terdapat cukup air dan bahan bakar. Jika mungkin, cobalah mendapatkan semua kayu dari sumber yang sama. Kayu tersebut harus keringnya baik dan berukuran seragam. Jika digunakan penyulut untuk memulai api, bahan penyulutnya juga sudah dipersiapkan sebelumnya dan diikuti di dalam ikatan bahan bakar yang telah ditimbang lebih dahulu.
2. Lakukan sedikitnya satu pengujian latihan pada masing-masing jenis kompor agar lebih mengenal prosedur pengujian dan karakteristik kompor. Hal ini juga memberikan petunjuk berapa banyak

---

<sup>1</sup> Pengujian ini awalnya didesain untuk tungku kayu, tetapi diambil untuk menyesuaikan dengan jenis kompor dan bahan bakar lainnya. Lihat Lampiran 3 untuk pembahasan penggunaan bahan bakar yang bukan kayu.

<sup>2</sup> Perhitungan langsung dari efisiensi termal yang diturunkan dari Pengujian mendidihkan air bukanlah indikator yang baik dari performansi kompor karena pengujian tersebut menghasilkan produksi uap lebih. Dalam kondisi memasak normal, produksi uap lebih membuang energi karena mewakili energi yang tidak dipindahkan ke bahan makanan. Temperatur di dalam panci memasak tidak melebihi titik didih air dengan mengabaikan berapapun uap yang dihasilkan. Jadi, kecuali jika uap diperlukan untuk proses memasak—misalnya mengukus sayuran[1], produksi uap lebih tidak boleh digunakan untuk menaikkan indikator performansi kompor.

bahan bakar yang diperlukan untuk mendidihkan jumlah air yang diperlukan. Sebagai petunjuk kasar, dapatkanlah sedikitnya 15 kg bahan bakar yang keringnya baik untuk masing-masing kompor untuk meyakinkan bahwa terdapat cukup bahan bakar untuk menguji masing-masing kompor tiga kali. Kompor dengan multi panci berukuran besar yang mungkin diperlukan lebih dari 15 kg.

3. Pengujian latihan juga harus digunakan untuk menentukan titik didih lokal air. Titik didih lokal air adalah titik ketika temperaturnya tidak lagi naik, berapapun banyaknya panas yang diberikan. Hal ini ditentukan melalui prosedur berikut:
  - Pilihlah apakah menggunakan panci standar berukuran besar atau kecil. Ukuran 5 liter air untuk panci standar berukuran besar (atau 2,5 liter untuk panci standar berukuran kecil). Didihkan air tersebut. Pastikan output daya kompor tinggi, dan air mendidih sepenuhnya.
  - Gunakan termometer yang sama dengan yang digunakan untuk pengujian, ukur temperatur mendidih jika termometer diposisikan di tengah, 5 cm di atas dasar panci. Anda akan menemukan bahwa sekalipun pada mendidih penuh, jika temperatur tidak lagi bertambah, air akan tetap beresilasi beberapa kali pada derajat di atas dan di bawah titik mendidih sebenarnya
  - Si penguji harus mencatat temperaturnya selama periode lima menit pada mendidih penuh dan mencatat temperatur maksimum dan minimum yang diamati selama periode ini. Temperatur minimum dan maksimum kemudian harus dirata-ratakan dan hasilnya dicatat sebagai "temperatur mendidih lokal" pada format data dan perhitungan (ini hanya perlu dilakukan sekali untuk lokasi pengujian Anda – lihat catatan 2).
4. Satu WBT lengkap memerlukan sedikitnya 10 liter air dingin untuk masing-masing panci yang digunakan. Jika air sulit di daerah anda, air yang telah digunakan satu hari bisa didinginkan dan digunakan kembali pada hari pengujian berikutnya. Tetapi jangan lakukan pengujian apapun terhadap air yang temperaturnya berada di atas temperatur ruangan.
5. Pastikan bahwa terdapat cukup ruangan dan cukup waktu untuk melakukan pengujian tanpa gangguan. Pengujian harus dilakukan di dalam ruangan yang terlindung dari angin, tetapi dengan ventilasi yang cukup untuk membuang emisi kompor yang berbahaya. Membutuhkan 1½ – 2 jam untuk melakukan pengujian daya tinggi dan rendah untuk masing-masing kompor. Anda akan menghemat waktu jika mempersiapkan cukup ikat bahan bakar untuk melakukan beberapa pengujian sebelum memulai pengujian yang pertama.

## Awal Prosedur Pengujian

### Peralatan yang digunakan untuk Pengujian mendidihkan air:

- Timbangan dengan kapasitas sedikitnya 6 kg, akurasi sebesar  $\pm 1$  gram
- Alas tahan panas untuk melindungi timbangan
- Termometer digital, akurat sampai 1/10 derajat, dengan *probe* yang dapat direndam di dalam cairan
- Sekop/sudip berukuran kecil untuk mengeluarkan arang dari kompor
- Meteran *moisture* kayu (opsional)
- Tang/jepitan untuk memindahkan arang
- *Timer*
- Wadah abu untuk memindahkan arang
- Panci standar (lihat catatan 1)
- Baki logam untuk meletakkan arang untuk ditimbang

- Alat penahan dari kayu untuk menahan *probe* termokopel di dalam air (lihat diagram di dalam Lampiran 4)
- Sarung tangan yang tahan panas
- Sedikitnya 10 liter air bersih untuk setiap WBT (di lokasi yang sulit air, air dapat didinginkan dan digunakan kembali untuk pengujian selanjutnya).
- 2 ikat bahan bakar kayu yang keringnya baik beratnya antara 1 dan 2 kg untuk masing-masing pengujian (setiap kompor diuji tiga kali). Lebih banyak bahan bakar dibutuhkan untuk jumlah kompor yang lebih banyak.

**Langkah-langkah awal: dilakukan sekali untuk setiap pengujian**

1. Isilah halaman pertama dari format Data dan Perhitungan. Hal ini termasuk informasi tentang kompor, bahan bakar dan kondisi pengujian. Nomor masing-masing rangkaian pengujian untuk referensi selanjutnya.
2. Ukurlah setiap parameter berikut. Hasil pengukuran tersebut dicatat sekali untuk masing-masing rangkaian pengujian. Catatlah pengukurannya pada halaman 1 dari format Data dan Perhitungan.
  - a) Temperatur udara
  - b) Dimensi rata-rata kayu (panjang × lebar × tinggi). Ini memberikan ide kasar dari ukuran bahan bakar yang digunakan untuk pengujian. Anda harus menggunakan ukuran kayu yang sama untuk setiap pengujian untuk mengurangi variasi di dalam kondisi pengujian. Jika desain kompor memerlukan ukuran bahan bakar tertentu, maka Anda harus menggunakan ukuran optimalnya untuk kompor tersebut. Jika tidak, gunakan potongan berdiameter 2 – 5 cm (lihat Catatan 3 untuk pembahasan pengaruh variasi bahan bakar kayu terhadap performansi kompor).
  - c) Kandungan *moisture* kayu (% - basis basah): ditentukan 1) Dengan menimbang sampel bahan bakar, mengeringkan sampel secara lengkap dengan cara terkontrol, dan menimbanginya kembali atau 2) Dengan menggunakan meteran *moisture* kayu yang termasuk di dalam perlengkapan pengujian. (Lihat Catatan 4 dan bagian variabel dan perhitungan di bawah untuk detail lengkap mendefinisikan dan mengukur kandungan *moisture*). Format Data dan Perhitungan berisi lembar kerja khusus untuk mencatat dan memproses pengukuran Anda. Lihat format untuk penjelasan yang lebih detail.
  - d) Timbang panci standar yang disediakan tanpa tutup dalam keadaan kering. Jika lebih dari satu panci yang digunakan, catat berat kering masing-masing panci. Jika beratnya berbeda, pastikan panci-panci tersebut tidak membingungkan jika pengujian berjalan. Jangan menggunakan tutup panci untuk hal ini, atau tahapan lainnya dari WBT (lihat Catatan 5). Panci standar (yang disediakan bersama peralatan uji) harus digunakan jika memungkinkan (lihat catatan). Jika tidak cocok dengan kompor, gunakan panci yang biasa digunakan dan catat dimensinya di dalam bagian “komentar” pada lembar kerja Data dan Perhitungan.
  - e) Timbang wadah yang digunakan untuk arang.
  - f) Titik didih lokal ditentukan dengan menggunakan termometer digital dan sensor yang sama dengan yang digunakan di dalam pengujian (lihat Catatan 2).
  - g) Jika anda mempunyai sebuah kamera (tidak termasuk di dalam perlengkapan standar), fotolah kompor. Jika tidak, gunakan pita ukuran untuk mencatat dimensi kompor dan gambarkan di dalam ruang yang disediakan.
3. Persiapkan 2 ikat bahan bakar kayu. Bahan bakar tersebut harus sudah ditimbang lebih dahulu: satu untuk masing-masing dua tahapan pengukuran dalam pengujian. Bahan bakar harus relatif

seragam ukuran dan bentuknya: belahlah potongan kayu yang besar dan hindari menggunakan potongan berukuran kecil (kecuali untuk menyulut, yang juga harus dipersiapkan untuk pengujian selanjutnya jika perlu) (lihat Catatan 3).

4. Setelah parameter-parameter ini diukur dan dicatat dan bahan bakar dipersiapkan, lanjutkan dengan pengujian.

### Tahapan 1: Daya Tinggi

Data yang dicatat di dalam tahapan pengujian yang tersisa harus dicatat pada halaman dua dalam format Data dan Perhitungan.

1. Persiapkan *timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.
2. Isi setiap panci dengan 5 kg (5 liter) air bersih temperatur ruangan (jika menggunakan panci standar berukuran kecil, isi panci dengan 2,5 kg atau 2,5 liter air). Jumlah air harus ditentukan dengan meletakkan panci di atas timbangan dan menambahkan air hingga berat total panci dan air adalah 5 kg (atau 2.5 kg) lebih berat dari berat panci saja. Catat berat panci dan air di dalam Lembar Data dan Perhitungan.  
(Jika kompor tidak memuat panci standar dan panci yang digunakan tidak muat 5 kg (atau 2,5 kg) air, atau jika kompor dengan multi panci digunakan bersama panci yang tidak standar tidak muat 5 kg (atau 2,5 kg) air, isilah setiap panci  $\sim 2/3$  penuh dan catat perubahan prosedur di dalam ruangan komentar. Catat berat panci dengan air pada Format Data dan Perhitungan. Gunakan jumlah air yang sama pada masing-masing ulangan pengujian).
3. Dengan menggunakan alat penahan dari kayu, pasang termometer di dalam masing-masing panci agar temperatur air bisa diukur pada bagian tengahnya, 5 cm dari dasarnya. Jika terdapat kelebihan panci, gunakan termometer tambahan jika mungkin. Catat temperatur awal air di dalam setiap panci dan pastikan temperatur tersebut tidak berubah terhadap temperatur sekeliling.
4. Kompor harus berada pada temperatur ruangan. Mulailah api dengan mengikuti cara setempat. Catatlah semua bahan-bahan awal yang digunakan selain kayu yang berasal dari ikatan pertama kayu yang telah ditimbang lebih dahulu (misalnya kertas atau minyak tanah).
5. Setelah api telah diperoleh, catatlah waktu mulainya. Di seluruh tahapan pengujian “daya tinggi” berikut, kontrollah api menggunakan cara lokal yang umum digunakan untuk menyebabkan panci pertama mendidih secara cepat tanpa memboroskan bahan bakar secara berlebihan.
6. Jika air di dalam panci pertama mencapai temperatur didih lokal yang telah ditentukan sebelumnya sebagaimana yang ditunjukkan oleh termometer digital, secara cepat lakukanlah sebagai berikut:
  - a) Catat waktu pada saat air di dalam panci utama (Panci #1) pertama kali mencapai temperatur didih lokal. Catat juga temperatur ini.
  - b) Keluarkan semua kayu dari kompor dan padamkan apinya (api dapat dipadamkan dengan meniup ujung potongan atau menaruhnya di dalam wadah abu atau pasir; jangan menggunakan air – air akan mempengaruhi berat kayu). Ketukkan semua arang yang lepas dari ujung kayu ke dalam wadah untuk menimbang arang.
  - c) Timbang kayu yang tidak terbakar yang dikeluarkan dari kompor bersama dengan sisa kayu dari ikatan yang telah ditimbang lebih dahulu. Catat hasilnya pada format data dan Perhitungan.
  - d) Untuk kompor dengan multi panci, ukurlah temperatur air dari setiap panci (panci utama harus berada pada titik didih). Catat temperaturnya pada Format Data dan Perhitungan.
  - e) Timbang setiap panci, bersama airnya. Catat beratnya pada format Data dan Perhitungan.

- f) Keluarkan semua sisa arang dari kompor, masukkan bersama arang yang lepas dari pengetukan potongan dan timbang semuanya. Catat berat dari arang + wadah pada Format Data dan Perhitungan.

### Ringkasan

- Pastikan Anda telah mencatat waktu dan temperatur air mendidih di dalam panci pertama, jumlah kayu yang tersisa, berat Panci #1 bersama air yang tersisa, dan jumlah arang yang tersisa pada Format Data dan Perhitungan. Untuk kompor dengan multi panci, pastikan Anda telah mencatat temperatur pada masing-masing panci tambahan dicapai jika Panci #1 pertama kali mencapai temperatur didih penuhnya.
- Ini menyelesaikan tahapan daya tinggi. Selanjutnya, mulailah pengujian daya tinggi start panas, secara langsung pada saat kompor masih panas. Hati-hati jangan membakar diri anda sendiri!

### Tahapan 2: Daya Tinggi (Start Panas)

1. *Reset timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.
2. Isi ulang panci dengan 5 kg (atau 2,5 kg) air dingin segar. Timbang panci (bersama air) dan ukur temperatur awal air; catat kedua pengukuran tersebut pada lembaran Data dan Perhitungan. Untuk kompor dengan multi panci, isi panci-panci tambahan, timbang dan catat beratnya.
3. Nyalakan api menggunakan penyulut dan kayu dari ikatan yang diberi tanda kedua yang telah ditimbang lebih dahulu untuk tahapan pengujian ini.
4. Catat waktu mulai, dan buatlah panci pertama mendidih secara cepat tanpa memboroskan bahan bakar secara berlebihan dengan menggunakan kayu dari ikatan kedua yang telah ditimbang lebih dahulu.
5. Catat waktu ketika panci pertama mencapai titik didih lokalnya sebagaimana ditunjukkan pada format Data dan Perhitungan. Catat temperatur ini untuk panci pertama.
6. Setelah mencapai temperatur didihnya, dengan cepat lekukan sebagai berikut (kecepatan penting pada tahapan ini karena diinginkan menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan temperatur didih agar memungkinkan untuk melanjutkan secara langsung ke pengujian *simmer*):
  - a. Keluarkan kayu yang tidak terbakar dari kompor. Ketukkan semua arang yang lepas, tetapi cobalah untuk menaruhnya di dalam daerah pembakaran (Anda tidak menimbang arang pada tahapan ini). Timbang kayu yang dikeluarkan dari kompor, bersama dengan kayu yang tidak terpakai dari berat yang disediakan sebelumnya. Catat hasilnya pada format Data dan Perhitungan.
  - b. Catat temperatur air dari panci-panci lainnya jika lebih dari satu panci yang digunakan.
  - c. Timbang setiap panci, bersama airnya dan catat beratnya. Setelah penimbangan, secara langsung ganti setiap panci yang berada di atas kompor (ingat, diinginkan menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan temperatur didih untuk langsung melanjutkan dengan pengujian *simmer*!).
7. Ganti dan nyalakan kembali kayu yang dikeluarkan dari api langsung lanjutkan dengan pengujian daya rendah.

### Tahapan 3: Daya Rendah (*Simmering*)

Bagian pengujian ini didesain untuk menguji kemampuan kompor untuk berpindah ke tahapan daya rendah mengikuti tahapan daya tinggi untuk mendidihkan air secara perlahan (*simmer*) selama 45

menit dengan menggunakan jumlah bahan bakar minimum. Untuk kompor dengan multi panci, hanya panci utama yang dinilai untuk performansi *simmering* (lihat pembahasan pengujian kompor multi panci di dalam Lampiran 5).

#### Memulai Pengujian Daya Rendah

1. *Reset timer.*
2. Keluarkan termometer di dalam panci. Atur api untuk menjaga air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didih yang ditetapkan.

*Dapat diterima jika temperatur berubah naik dan turun, tetapi:*

- Si penguji harus tetap waspada menjaga air yang mendidih secara perlahan (*simmering*) sedekat mungkin dengan 3 derajat C di bawah titik didih lokal (lihat catatan 6 dan 7).
- Pengujian tidak sah jika temperatur di dalam panci jatuh lebih dari 6°C di bawah temperatur didih lokal.

3. Selama 45 menit jagalah api pada tingkat yang menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didihnya.
4. Setelah 45 menit, secara cepat lakukan sebagai berikut:
  - a. Catat waktu selesai pengujian (ini harus 45 menit). Catat pengukuran ini dan semua sisa pengukuran pada Format Data dan Perhitungan di bawah judul "Selesai: 45 menit setelah Panci #1 mendidih".
  - b. Keluarkan semua kayu dari kompor dan ketukkan semua arang yang lepas ke dalam wadah arang. Timbang kayu yang tersisa, termasuk kayu yang tidak digunakan dari ikatan yang telah ditimbang lebih dahulu.
  - c. Catat temperatur akhir air pada Format Data dan Perhitungan – secara kasar tetap 3°C di bawah titik didih yang ditetapkan.
  - d. Timbang panci bersama air yang tersisa. Catat beratnya pada Format Data dan Perhitungan.
  - e. Keluarkan semua arang yang tersisa dari kompor dan timbanglah (termasuk arang lepas yang diketukkan dari potongan). Catat berat panci plus arang.

Ini menyelesaikan WBT. Pengujian harus dilakukan tiga kali untuk masing-masing kompor.

#### Analisis

Inputkan hasil dari WBT ini ke dalam software Data dan Perhitungan. Outputnya akan dapat ditampilkan di dalam lembar kerja "Hasil".

Walaupun pembahasan lengkap untuk teori statistik di luar cakupan pedoman pengujian kompor ini, kami mendasarkan pada beberapa ide dasar teori statistis untuk memutuskan apakah hasil pengujian tersebut dapat digunakan untuk membuat pernyataan tentang performansi model-model kompor yang berbeda atau tidak. Untuk pembahasan lanjut, lihat Lampiran 6.

#### Catatan-Catatan untuk WBT

1. **Panci:** Kapasitas, dimensi dan bahan panci memiliki pengaruh yang signifikan pada performansi kompor. Untuk memaksimalkan sifat-sifat yang dapat dibandingkan dari WBT terhadap jenis



kompot berbeda disarankan agar si penguji menggunakan salah satu dari dua panci standar bergantung pada desain dan output daya kompor yang diuji. Panci yang disarankan adalah 1) panci berukuran besar (dengan kapasitas 7 liter) dan 2) panci berukuran kecil (dengan kapasitas 3,4 liter) [SERTAKAN FOTO ATAU SKEMATIS PANCI]. Bergantung pada output daya kompor dan praktek memasak di daerah di mana kompor digunakan, si penguji harus menggunakan panci standar berukuran besar atau berukuran kecil kecuali jika kompor membutuhkan panci khusus agar berfungsi dengan baik. Jika si penguji menggunakan panci yang tidak standar, maka kapasitasnya, dimensi, berat, dan bahannya harus dicatat. Penggunaan panci yang tidak standar bisa membiaskan hasil dan membuatnya sulit untuk dibandingkan dengan WBT lainnya.

2. **Titik didih:** Titik didih lokal air adalah titik pada saat temperaturnya tidak lagi naik, tidak peduli berapapun banyaknya panas yang diberikan. Ini harus ditentukan secara empirik dengan mengikuti prosedur berikut: Masukkan 5 liter air ke dalam panci standar dan buatlah mendidih. Dengan menggunakan termometer yang sama dengan yang digunakan untuk pengujian, ukurlah temperatur didih jika termokopel diposisikan di tengah, secara kasar 5 cm di atas dasar panci. Si penguji akan mendapatkan bahwa sekalipun pada mendidih penuh (jika temperatur baru yang lebih tinggi tidak lagi diamati), temperaturnya beresilasi berkali-kali pada derajat di atas dan di bawah titik didih sebenarnya. Si penguji harus mencatat temperatur tersebut selama periode lima menit pada mendidih penuh dan mencatat temperatur maksimum dan minimum yang diamati selama periode ini. Temperatur maksimum dan minimum kemudian harus dirata-ratakan dan hasilnya dicatat sebagai "temperatur didih lokal" pada format data dan perhitungan. (Ini hanya perlu dilakukan sekali untuk lokasi pengujian anda).

Temperatur didih lokal dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk ketinggian tempat (dari permukaan laut), ketidak-akurasi minor di dalam termometer, dan kondisi cuaca. Dengan alasan tersebut, temperatur didih lokal tidak dapat diasumsikan sebesar 100°C. Untuk ketinggian tertentu  $h$  (dalam meter), titik didih air bisa diestimasi dengan rumus berikut:

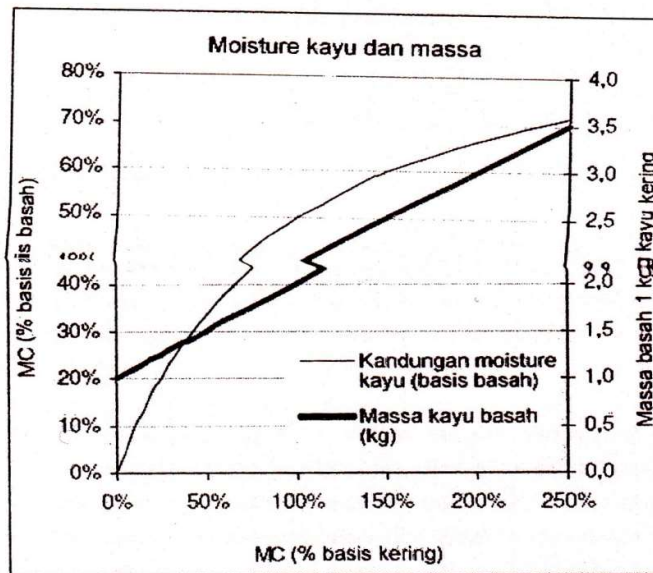
$$T_b = \left(100 - \frac{h}{300}\right) ^\circ\text{C}$$

3. **Bahan bakar:** Jenis dan ukuran bahan bakar dapat mempengaruhi hasil pengujian performansi kompor. Untuk meminimumkan variasi yang berpotensi ditambahkan oleh variasi di dalam karakteristik bahan bakar, VITA (1985) menyarankan mengambil tindakan pencegahan berikut:
  - Cobalah hanya menggunakan kayu (atau bahan bakar lainnya) yang seluruhnya telah kering karena udara. Potongan kayu berdiameter 3 – 4 cm membutuhkan 3 – 8 bulan untuk kering sepenuhnya. Kotoran hewan atau residu hasil panen dapat dipercepat dengan memastikan bahwa kayu disimpan dengan cara mensirkulasikan udara melaluinya.
  - Ukuran bahan bakar padat yang berbeda memiliki karakteristik pembakaran berbeda. Walaupun pengguna kompor tidak mempunyai kemampuan mengoptimalkan ukuran bahan bakar, si penguji harus mencoba hanya menggunakan kayu dengan ukuran yang sama untuk meminimumkan sumber variasi ini.
4. **Kandungan *moisture* kayu:** Bahan bakar yang dikeringkan dengan baik mengandung 10–20% air sementara potongan kayu segar bisa mengandung lebih dari 50% air menurut massa (basis basah). Idealnya, bahan bakar yang digunakan untuk pengujian kompor dan untuk memasak keringnya harus mendekati kondisi lingkungan lokal. Akan tetapi, bahan bakar kering tidak selalu tersedia dan si penguji dan tukang memasak rumah tangga harus menggunakan apa yang mereka dapatkan.

Untuk mengontrol variasi di dalam kandungan *moisture* bahan bakar, si penguji harus mengukurnya dan menghitungnya untuk perhitungan performansi kompornya. Jadi, terdapat ruang untuk kandungan *moisture* untuk diinputkan ke dalam format Data dan Perhitungan dan software. Terdapat dua cara mendefinisikan kandungan *moisture* bahan bakar: menurut basis basah dan basis kering. Lebih dahulu massa air di dalam bahan bakar dilaporkan sebagai persentase massa bahan bakar basah dan setelahnya, dilaporkan sebagai persentase massa bahan bakar kering. Perhitungan untuk masing-masing cara ditunjukkan di bawah diikuti dengan plot yang memperlihatkan bagaimana *moisture* kayu menurut basis basah dan massa kayu berubah terhadap *moisture* kayu yang didefinisikan menurut basis kering untuk 1 kg kayu yang dikeringkan dengan oven. Kecuali jika ditetapkan lain, *moisture* kayu dilaporkan menurut basis kering. Si penguji selalu harus berhati-hati menetapkan basis mana yang digunakan.

dan

Kedua kandungan *moisture* tersebut dihubungkan dengan cara:



Pengukuran kandungan *moisture* dapat dilakukan dengan dua cara. Cara yang paling teliti adalah menggunakan persamaan yang disebutkan di atas dengan menimbang sampel bahan bakar kering di udara (massa bahan bakar) basah dan menimbanginya kembali setelah sepenuhnya kering (massa bahan bakar) kering. Ambillah sampel bahan bakar berukuran kecil (200 – 300 g) secara

acak dari persediaan bahan bakar yang digunakan untuk pengujian. Timbang sampel dan catat massanya. Keringkan sampel di dalam oven pada beberapa derajat di atas 100°C dan timbang kembali. Ini bisa dilakukan di tempat pengujian jika oven tersedia, atau sampel basah bisa ditimbang di tempat pengujian kemudian disimpan dan dikeringkan selanjutnya, jika oven tersedia.

Untuk mengeringkan sampel, masukkan di dalam oven dan keluarkan kembali dan timbang sampel setiap dua jam pada timbangan sensitif (akurasi ±1g) hingga massanya tidak lagi berkurang. Temperatur oven harus dikontrol secara teliti agar tidak melebihi 110°C (230°F). Jika kayu dikenakan pada temperatur yang mendekati 200°C (390°F), maka akan terurai secara termal dan kehilangan unsur pokoknya yang bukan air, yang menyebabkan pengukuran kandungan *moisture* tidak akurat.

Cara yang kedua untuk mengukur *moisture* kayu adalah dengan meteran *moisture* kayu. Alat ini mengukur *moisture* bahan bakar menurut basis kering dengan mengukur konduktivitas antara dua *probe* runcing yang dimasukkan ke dalam kayu. Ini lebih baik dari pengeringan oven karena pengukurannya dapat langsung dilakukan secara cepat di tempat jika bahan bakar telah dipersiapkan. *Probe* harus dimasukkan sejajar dengan butiran kayu. Alat ukur tersebut dapat diatur untuk spesies berbeda dan di kalibrasi untuk temperatur sekeliling berbeda. Meteran dapat membaca *moisture* antara 6% dan 40% (basis kering). Jika sampel kayu lebih basah dari 40%, meteran akan menghasilkan kesalahan<sup>3</sup>. *Moisture* kayu bisa berubah dalam bagian potongan kayu demikian pula di antara potongan berbeda dari ikatan yang berbeda. Jika menggunakan meteran, ambil tiga potong kayu secara acak dari ikatan dan ukur setiap potongan pada tiga tempat. Ini menghasilkan sembilan pengukuran. *Moisture* ikatan dilaporkan sebagai rata-rata kesembilan pengukuran tersebut. Ubahlah rata-rata tersebut ke basis basah dengan menggunakan rumus (ini dilakukan secara otomatis di dalam spreadsheet komputer)

$$MC_{basah} = \frac{MC_{kering}}{MC_{kering} + 1}$$

Catat rata-ratanya di dalam lembar Data dan Perhitungan.

*Catatan – meteran moisture tidak didesain untuk mengukur bahan bakar yang bukan kayu dan jangan digunakan untuk kotoran hewan atau residu hasil panen. Jika kotoran hewan atau residu hasil panen digunakan, maka disarankan metode pengeringan dengan oven. Lihat Lampiran 3 untuk pembahasan selanjutnya.*

**Tutup panci:** WBT dilakukan tanpa tutup panci. Hal ini tampak berlawanan dengan kebiasaan, karena tutup panci umumnya menambah performansi kompor. Akan tetapi, tujuan utama dari WBT adalah mengukur panas yang dipindahkan dari kompor ke panci memasak. Walaupun tutup panci membantu menahan panas di dalam panci, dan oleh sebab itu digunakan dalam semua tugas memasak, tutup panci tidak mempengaruhi perpindahan panas dari kompor ke panci. Oleh sebab itu, tutup panci tidak diperlukan untuk WBT sekalipun tutup panci digunakan secara umum oleh masyarakat untuk maksud memperbaiki kompor.

---

40% *moisture* menurut basis kering ekuivalen secara kasar dengan 29% *moisture* menurut basis basah

Pada kenyataannya, tutup panci dapat menyulitkan WBT dengan menambah variabilitas hasil dan membuatnya lebih sulit untuk membandingkan hasilnya dengan pengujian yang berbeda. Sebagaimana Baldwin menulis, "jika tutup panci digunakan maka jumlah air yang diuapkan dan lepas sedikit bergantung pada ketatnya pemasangan tutup panci ke panci, dan sangat bergantung pada daya api. Jika daya api sangat rendah yang menjaga temperatur beberapa derajat di bawah didih, maka secara efektif tidak ada uap air yang lepas. Jika daya api cukup tinggi yang menyebabkan air mendidih, uap yang lepas akan mendorong tutup panci untuk membuka dan lepas," (dari Bab 5, catatan 2, hal. 263).

Air yang hilang memiliki efek yang berbeda pada masing-masing indikator performansi kompor. Akan tetapi, jika sulit menstandarisasikan "ke-ketat-an pemasangan" tutup panci, sekalipun untuk panci standar, si penguji disarankan tidak menggunakan tutup panci untuk WBT. Hal ini sedikit berpengaruh pada tahapan pengujian daya tinggi – indikator-indikator seperti konsumsi spesifik dan efisiensi termal relatif tidak peka terhadap air yang diuapkan.

Akan tetapi, indikator-indikator yang diturunkan dari pengujian daya rendah lebih peka terhadap jumlah air yang diuapkan. Kembali lagi, dari Baldwin, "Dengan tidak menggunakan tutup panci, laju penguapan lebih tinggi dan kompor seharusnya berjalan pada daya yang sedikit lebih tinggi untuk menjaga temperaturnya dibandingkan menggunakan tutup panci" (hal. 263).

6. **Kontrol daya:** Beberapa kompor kehilangan kemampuan turndown-nya. Si penguji mungkin mengetahui bahwa tidak mungkin menjaga temperatur yang diinginkan tanpa menghilangkan api (khususnya setelah beban arang awal di dalam kompor telah dikonsumsi). Jika hal tersebut terjadi, si penguji harus menggunakan jumlah kayu minimum yang diperlukan untuk menjaga api dari padam sepenuhnya. Temperatur air dalam hal ini menjadi lebih tinggi dari 3° di bawah didih, tetapi pengujiannya tetap sah. Si penguji tidak boleh berusaha mengurangi daya dengan memotong kayu menjadi potongan-potongan berdiameter lebih kecil lebih lanjut.
7. **Perubahan prosedur:** Pengukuran performansi kompor pada output daya tinggi dan rendah dapat memberikan indikasi bagaimana kompor berjalan dalam kondisi memasak sebenarnya. Jika kembali ke tahun 1985, beberapa ahli kompor mulai mempertanyakan sandaran kebijakan yang hanya pada perhitungan efisiensi termal, dan menyarankan agar kebijakan tersebut digantikan dengan standar lainnya:  
...beberapa prosedur yang dijelaskan di sini sangat berbeda dengan apa yang disarankan sebelumnya. Perbedaan utamanya berada di dalam konsep efisiensi yang digunakan. Standar tersebut didasarkan pada deskripsi yang lebih luas dan pembenaran efisiensi daripada persentase pemanfaatan panas (Percent Heat Utilized, PHU). Mereka menerjemahkan penguapan sebagai suatu ukuran energi yang diboroskan, bukan energi yang digunakan [2, hal. ix].

Pengujian yang diperbaiki yang diberikan di sini di dasarkan pada prosedur-prosedur yang diusulkan oleh VITA (1985) dan Baldwin (1987), tetapi disertai sedikit perubahan yang dijelaskan di bawah:

- Konsumsi spesifik didefinisikan sebagai rasio dari jumlah total kayu yang digunakan terhadap jumlah air "yang dimasak" [3], tetapi dimodifikasi untuk kompor dengan multi panci dengan memberikan panas yang dipindahkan ke panci memasak kedua (lihat Lampiran 5).

- Menjadi sulit membuat transisi yang rata dari pengujian daya tinggi ke daya rendah. Metode yang digunakan di dalam prosedur pengujian sebelumnya menyarankan pemadaman dan penimbangan kayu dan arang demikian pula penimbangan air panas mendidih, dan menyusun ulang api dan panci memasak dalam urutannya secara cepat, yang berisiko dan membuat stres. Versi WBT yang diperbaiki ini mengikuti saran yang dijelaskan di dalam Catatan Prosedur 3 VITA [2], yang membuat prosedur pengujian lebih santai dengan kehilangan akurasi yang minimal.
- Selama pengujian *simmer* daya rendah, si penguji dilatih untuk mencoba menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan 3°C di bawah titik didih yang telah ditetapkan lebih dahulu. Jumlah uap berbeda dihasilkan pada setiap derajat di bawah didih. Untuk alasan ini, maka perlu meminimumkan perubahan temperatur untuk memastikan bahwa pengujian dapat disamakan.
- Pengujian start panas yang tergabung di dalam tahapan daya tinggi untuk menghitung perbedaan performansi kompor yang tetap panas seharian. Ini penting untuk kompor raksasa, yang performansinya bias berubah secara signifikan antara kondisi start dingin dan panas.
- *Simmering* terjadi selama 45 menit bukannya 30 menit (seperti yang disarankan di dalam VITA, 1985) karena banyaknya jumlah arang terbentuk pada beberapa kompor selama tahapan daya tinggi dapat menyimpangkan hasil jika pengujian *simmering* terlalu singkat. Terdapatnya arang membantu menjaga jumlah kayu yang terbakar menjadi sedikit. Periode *simmering* 45 menit cukup panjang untuk kompor pada daya rendah untuk menetapkan kesetimbangan pembakaran, karena lebih arang yang terbentuk pada daya tinggi secara normal dikonsumsi selama 30 menit.

## REFERENSI

1. FAO, Wood fuel surveys. 1983, UN Food and Agriculture Organization: Rome.
2. VITA, Testing The Efficiency Of Wood-Burning Cookstoves: Provisional International Standards. 1985, Volunteers in Technical Assistance: Arlington, VA. p. 76.
3. Baldwin, S.F., Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination. 1986, Center for Energy and Environmental Studies: Princeton, NJ. p. 287.
4. Kishore, V.V.N. and P.V. Ramana, Improved cookstoves in rural India: how improved are they?: A critique of the perceived benefits from the National Programme on Improved Chulhas (NPIC). *Energy*, 2002. 27(1): p. 47-63.
5. World Bank, India: Household Energy, Indoor Air Pollution, and Health. 2002, World Bank Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP): Washington DC. p. 148.
6. FAO, Indian Improved Cookstoves: A Compendium. 1993, Regional Wood Energy Development Program (RWEDP): Bangkok. p. 109.
7. Edwards, R.D., et al., Implications of changes in household stoves and fuel use in China. *Energy Policy*, 2004. 32(3): p. 395-411.
8. Smith, K.R., et al., One Hundred Million Improved Cookstoves in China: How was it done? *World Development*, 1993. 21(6): p. 941-961.

9. Zhang, J., et al., Greenhouse Gases and Other Airborne Pollutants from Household Stoves in China: A database for emission factors. *Atmospheric Environment*, 2000. 34: p. 4537-4549.
10. FAO, Chinese Fuel-Saving Stoves: A Compendium. 1993, Regional Wood Energy Development Program (RWEDP): Bangkok. p. 57.



# **LAMPIRAN - I**

## **( Cp Air)**



Lampiran – I  
Tabel. 7 Cp Air.

temperature		$\rho(kg/m^3)$	$C_p(J/kg..K)$	$k(w/m.K)$	$\alpha(m^2/s)$	$\nu(m^2/s)$	Pr
K	$^{\circ}C$						
305	32	995,0	4180	0,6184	1,487	7,708	5,18
310	37	993,3	4179	0,6260	1,508	6,982	4,63
320	47	989,3	4181	0,6396	1,546	5,832	3,77
340	67	979,5	4189	0,6605	1,610	4,308	2,68
360	87	967,4	4202	0,6737	1,657	3,371	2,03
373,15	100	958,3	4216	0,6791	1,681	2,940	1,75
400	127	937,5	4256	0,6836	1,713	2,332	1,36

Sumber : John H.Lienhar IV dan John H.Lienhar V (A Heat Transfer Text Book  
Third Edition)

