

**RANCANG BANGUN KOMPOR BERBAHAN BAKAR
SEKAM PADI**



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Diploma Tiga (D-3)
Pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh

DZULJALALI WAL IKRAM 0535002

IMRAN 0535007

**PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2008**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul RANCANG BANGUN KOMPOR BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI oleh Dzuljalali Wal Ikram / Imran, nomor induk mahasiswa 0535002 / 0535007 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, 10 November 2008

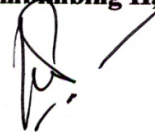
Mengesahkan,

Pembimbing I,



Muh. Nuzul, ST
Nip : 132 238 884

Pembimbing II,



Ir. Laode Musa, MT
Nip : 131 884 442

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muh. Tekad, ST, MT
Nip : 131 884 322

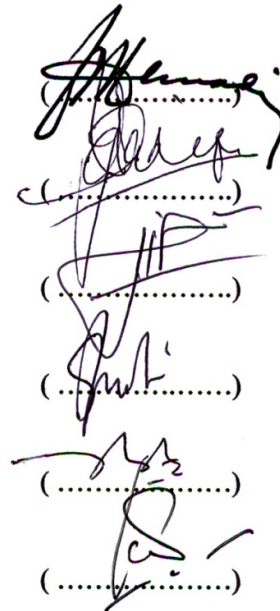
PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini, hari Senin tanggal 10 November 2008, Panitia ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil tugas Akhir oleh mahasiswa Dzuljalali Wal Ikram / Imran, nomor induk mahasiswa 0535002 / 0535007 dengan judul RANCANG BANGUN KOMPOR BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI

Makassar, 10 November 2008

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- | | |
|----------------------------|---------------|
| 1. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd | ketua |
| 2. Edy Sudiro, ST | sekretaris |
| 3. Ir. Suryanto, M. Sc | Anggota |
| 4. Sri Suwasti, S.ST | Anggota |
| 5. Muh. Nuzul, ST | pembimbing I |
| 6. Ir. Laode Musa, MT | pembimbing II |



(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

ABSTRAK

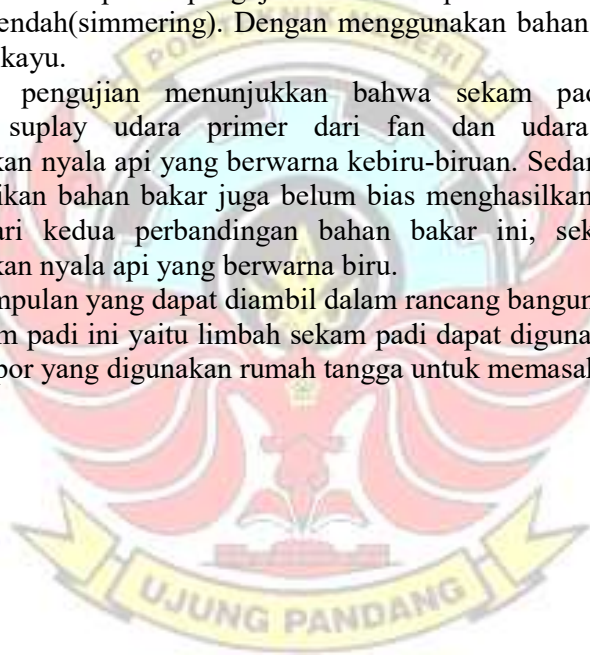
Dzuljalali wal ikram, Imran. "Rancang Bangun Kompor Berbahan Bakar Sekam Padi." Program studi Teknik Konversi Energi jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar. (Muh. Nuzul dan Laode Musa)

Pengambilan judul tugas akhir ini yaitu untuk memanfaatkan limbah sekam padi sebagai bahan bakar kompor yang relatif efisien.mudah di dapatkan. Dan diperolehnya rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi yang nyala apinya berwarna biru.

Rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi dilaksanakan di laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan yang digunakan yaitu aluminium dan menggunakan las asetilin. Dalam proses pengujian dilakukan proses start dingin, start panas dan daya rendah(simmering). Dengan menggunakan bahan bakar sekam padi dan sekam kayu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sekam padi yang terbakar mendapat suplay udara primer dari fan dan udara sekunder dapat menghasilkan nyala api yang berwarna kebiru-biruan. Sedangkan serbuk kayu yang dijadikan bahan bakar juga belum bias menghasilkan nyala api kebiru-biruan. Dari kedua perbandingan bahan bakar ini, sekam padi mampu menghasilkan nyala api yang berwarna biru.

Kesimpulan yang dapat diambil dalam rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi ini yaitu limbah sekam padi dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor yang digunakan rumah tangga untuk memasak.



KATA PENGANTAR

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, ST. MT** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak **Jamal, ST. MT** selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi.
5. Bapak **Muh Nuzul, ST** selaku pembimbing I
6. Bapak **Ir. Laode Musa, MT** 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. Bapak rustam, rahmat dan marling selaku teknisi lab dan bengkel di Jurusan Teknik Mesin.
9. 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, November 2008



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
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
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan	3
D. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Definisi sekam padi	5
B. Pembakaran sekam	8
C. proses menjadi gas	8
D. Prinsip kerja kompor berbahan bakar sekam padi	10
E. Dasar-dasar rancang bangun	12
BAB III METODE RANCANG BANGUN KOMPOR BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI	
A. Tempat Penelitian	17
B. Alat dan Bahan	17
C. Pelaksanaan Rancang Bangun	19
D. Prosedur Kerja	20
E. Prosedur Pengujian	22

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil	32
B. PEMBAHASAN	39
BAB V Kesimpulan dan Saran	
A. Kesimpulan	44
B. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	46



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai kalor (Kkal/kg) beberapa jenis limbah pertanian	7
Tabel 2. Jenis dan persentase komposisi yang di butuhkan bahan bakar sekam untuk berubah menjadi gas pada temperatur 1000° C dan perbandingan rasio 0,3	10
Tabel 3. komposisi gas dari sekam padi pada temperatur 1000° C dan kaadar air 30 %	10



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Prinsip kerja dari daerah pembakaran	11
Gambar 2. Prinsip kerja dari tungku bakar	12
Gambar 3. Diagram alir proses rancang bangun	19
Gambar 4. Diameter dan tinggi reaktor	32
Gambar 5. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan efisiensi thermal kompor untuk pengujian start dingin	39
Gambar 6. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi bahan bakar (FCR) untuk pengujian start dingin	40
Gambar 7. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi spesifik bahan bakar (SC) untuk pengujian start dingin	40
Gambar 8. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan efisiensi thermal kompor untuk pengujian start panas	41
Gambar 9. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi bahan bakar (FCR) untuk pengujian start panas ...	41
Gambar 10. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi spesifik bahan bakar (SC) untuk pengujian start panas	42

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
FCR	Fuel Consumption Rate (Laju Konsumsi Bahan Bakar)	kg/jam
SGR	Specific Gasification Rate (Laju Gasifikasi Spesifik)	kg/m ³ .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 _i	Power Input (Daya Input)	kW
P _o	Power Output (Daya Output)	kW
SC	Specific Consumption (Konsumsi Spesifik)	
Vol	Volume Reaktor	m ³
m _w	Massa Air	kg
C _p	Panas Spesifik Air	kJ/kg. °C
T _f	Temperatur didih air	°C
T _i	Temperatur awal Air	°C
m _g	Massa air yang diuapkan	kg
h _{fg}	Laten air	kJ/kg
WFU	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
ρ (sekam padi)	Massa jenis sekam padi	kg/m ³
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

		Halaman
Lampiran A	DATA PENGAMATAN	47
Lampiran B	HASIL ANALISA	66
Lampiran C	SIFAT UAP	68
Lampiran D	NILAI KALOR BIOMASSA	70
Lampiran E	ANALISA BAHAN BAKAR	72
Lampiran F	GAMBAR DETAIL ALAT	74
Lampiran G	FOTO ALAT	81
Lampiran H	WATER BOILING TEST	89



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi dewasa ini menunjukkan peningkatan yang cukup tinggi dan akan terus meningkat dimasa yang akan datang, terutama kebutuhan akan minyak bumi (bahan bakar minyak dan gas). Meskipun telah dilakukan penghematan dalam hal penggunaan energi minyak namun minyak diprediksi akan tetap berperan besar dalam kebutuhan energi. Karenanya timbul pemikiran untuk pemanfaatan sumber-sumber energi yang menghasilkan daya guna (efisien) yang lebih tinggi, cara pelaksanaannya dilakukan dengan cara-cara yang memiliki kelayakan teknis, serta dapat diterima masyarakat dan tidak mengganggu lingkungan.

Mengingat akan peningkatan kebutuhan energi yang dipengaruhi oleh laju pertumbuhan pembangunan termasuk didalamnya pertumbuhan penduduk dan kebutuhan energi dibidang transportasi, industri dan rumah tangga, maka dalam memenuhi kebutuhan akan energi alternatif diperlukan suatu alat yang dapat mengefisienkan penggunaan energi. Salah satu sumber energi yang perlu dipikirkan untuk dimanfaatkan adalah penggunaan sekam padi.

Sekam padi kebanyakan dimanfaatkan/digunakan sebagai abu gosok untuk membersihkan alat-alat rumah tangga. Limbah sekam padi juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dan diharapkan dapat mengurangi penggunaan energi minyak bumi.

Masyarakat kini tengah dihadapkan pada pilihan sulit dalam memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari, menyusul kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) sebesar 30 %. Naiknya harga BBM jelas menuntut tambahan biaya rumah tangga. Sementara pada saat yang sama, sumber penghasilan cenderung tetap. Ini sangat memberatkan, terutama bagi masyarakat pedesaan dan daerah persawahan yang mengandalkan minyak tanah sebagai sumber bahan bakar mereka.

Selain minyak tanah, masih ada sumber energi lain seperti: kayu bakar dan biomassa yang lain. Namun, menggunakan kayu bakar secara massal memberi risiko besar, karena kelestarian hutan terancam. Demikian pula dengan batu bara yang penggunaannya hanya cocok untuk sistem pembakaran siklus tertutup (*closed cycles*) pada boiler dan mesin uap sejenisnya, sehingga rentan mengancam kesehatan bila digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi kebutuhan rumah tangga.

Uraian di atas menggambarkan betapa pentingnya mencari energi alternatif khususnya bagi masyarakat pedesaan dan sekam padi dapat dijadikan pilihan karena tersedia melimpah dan dianggap sebagai limbah. Caranya, dengan memodifikasi dalam bentuk kompor sekam yang praktis dan murah, sehingga mudah terjangkau oleh masyarakat luas. Fungsi kompor sekam, bisa sebagai alat substitusi menggantikan 100 persen minyak tanah. namun bisa juga sebagai komplementasi yang bisa mengurangi biaya pembelian minyak tanah.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas, maka perumusan masalah dapat dinyatakan bahwa penggunaan energi alternatif optimal dimanfaatkan khususnya sekam padi dan rancang bangun kompor juga belum ditemukan model atau rancangan yang tepat.

Sehubungan dengan rumusan masalah penelitian di atas, maka pertanyaan penelitiannya dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Bagaimana memanfaatkan limbah sekam padi sebagai bahan bakar kompor.
2. Bagaimana rancang bangun kompor yang tepat untuk memperoleh nyala api yang berwarna biru pada kompor berbahan bakar sekam padi.

C. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Dimanfaatkannya limbah sekam padi sebagai bahan bakar kompor yang relatif efisien, murah, dan mudah didapatkan.
2. Diperolehnya rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi yang nyala apinya berwarna biru.

D. Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam proyek akhir ini adalah :

1. Membantu program pemerintah dalam memasyarakatkan dan mengembangkan energi alternatif khususnya pada pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar dalam rumah tangga.

2. Untuk dijadikan sebagai bahan pengabdian kepada masyarakat, dalam hal ini pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar.
3. Hasil rancang bangun ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengembangan kompor sekam padi yang lebih efisien dan pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar untuk kapasitas yang lebih besar.



BAB II

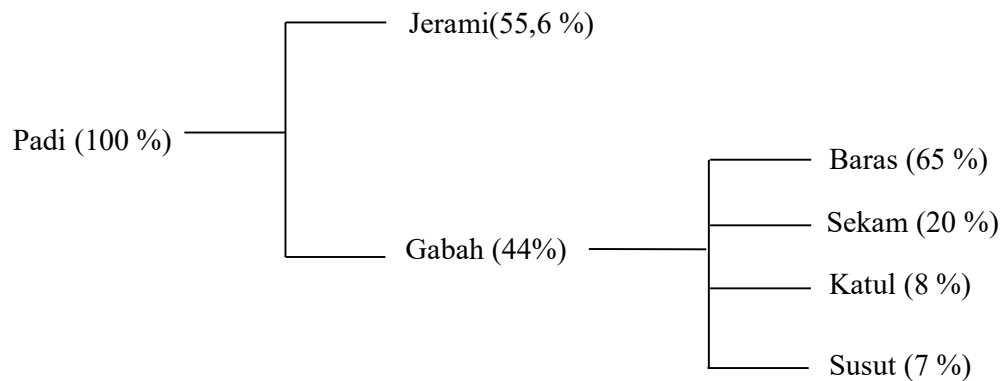
TINJAUAN PUSTAKA

A. Defenisi Sekam padi

Sekam padi sebenarnya merupakan hasil limbah dari hasil pertanian dalam bidang tanaman padi. Kebanyakan masyarakat pertanian tidak menyadari dan mengetahui bagaimana cara untuk memanfaatkan limbah sekam padi, karena jika dilihat dari segi ekonomis maka tidak terlihat keuntungan.

Sulawesi Selatan sebagai lumbung padi, dari 23 kabupaten menghasilkan 3.297.829,79 ton produksi padi pada tahun 1986. Produksi tersebut ditunjang 6.177 penggilingan padi yang terdiri atas 5.939 penggilingan padi kecil dan 238 penggilingan besar (Machmud, 1988)

Selama ini sebagian masyarakat pertanian hanya menggunakan sekam padi untuk dijadikan sebagai abu gosok untuk keperluan rumah tangga sebagai pembersih alat-alat rumah tangga, yaitu dengan membakar langsung sekam padi sampai menjadi abu. Dalam penggilingan padi diperoleh sebanyak 20 % sekam, 65 % beras, 8 % bekatul dan 7 % zat yang hilang (Soemaatmadja dalam Mahmud, 1986). Berikut skemanya dapat dilihat di bawah ini :



Sekam yang dibakar menurut beberapa percobaan akan menghasilkan kalor kering sebanyak 3715 KKal/Kg dan jika di gunakan sebagai bahan bakar untuk memasak sebanyak 2,4 Kg, maka mempunyai jumlah energi yang setara dengan satu liter minyak tanah. Dibandingkan dengan menggunakan kayu bakar, mempunyai nilai kalor yang lebih besar dari pada sekam padi. Tapi pemanfaatan limbah sekam padi juga mengurangi beban lingkungan, meningkatkan kualitas dan melestarikan lingkungan. Berikut beberapa nilai biomassa yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. Nilai kalor (Kkal/kg) beberapa jenis limbah pertanian

No	Jenis bahan bakar	Nilai kalor (kering)	Kadar air (KA)	Nilai kalor untuk KA tersebut
1	Sekam padi	3175	21	3050
2	Janggal jagung	4450	30	3525
3	Kelobot jagung	4190	18	3620
4	Batang singkong	4350	12	3890
5	Ampas tebu	4400	23	3380
6	Kulit kacang	4650	14	4150
7	Tempurung kelapa	4725	15	4120
8	Sabut kelapa	4650	25	4000
9	Ranting bambu	4490	28	3850
10	Karet tua	4505	14	3957
11	Kalindra	4615	25	4035
12	Lamtoro	4465	24	3580
13	Angsana	4330	17	3760
14	Arang kayu	7500	7	7150

(Sumber : Coto, 1984)

Dengan melihat perbandingan nilai kalor tersebut di atas. nilai kalor yang dikandung arang kayu lebih besar dibanding nilai kalor sekam padi, tetapi apabila sekam padi diolah menjadi bahan bakar maka diharapkan kalor yang dihasilkan akan semakin baik dan tahan lama serta tidak mengganggu ekosistem alam, tidak seperti arang kayu yang apabila dipakai secara terus-menerus akan merusak keseimbangan alam serta beberapa hasil pertanian. (Menurut Thanit Swasdisevi 2002) “Nilai kalor yang dikandung sekam padi sendiri sebesar 13 MJ/Kg atau 13000 KJ/Kg “

B. Pembakaran sekam padi

(Menurut Belonio, A.T 2005), Didalam membakar sekam padi 4,7 kg udara adalah jumlah yang diperlukan per kg sekam padi, pembakaran itu menggunakan 30 sampai 40% atau sama dengan perbandingan 0,3 sampai 0,4 udara luar yang dibutuhkan untuk pembakaran yang akan mengubah menjadi gas sekam padi, yang mana gas ini mudah terbakar dan akan menghasilkan suatu nyala api yang berwarna kebiru-biruan. Gas yang diproduksi dari ruang pembakaran mempunyai suatu kandungan energi sekitar 3,4 sampai 4,8 MJ/m³. Setelah proses perubahan menjadi gas, jumlah arang yang diperoleh dari pembakaran sekam yaitu sekitar 32% dari total volume sekam padi yang sebelumnya terisi penuh

C. Proses Menjadi Gas

Proses perubahan sekam padi menjadi gas yaitu proses dengan mengubah bahan bakar sekam padi ke dalam karbon monoksida dengan reaksi kimia.

Didalam pembakaran sekam padi proses pembakaran terjadi dengan cara tidak sempurna atau biasa disebut pembakaran parsial dimana hanya memberikan sekitar 30 sampai 40% jumlah udara yang stoikiometrik (4,7 kg udara per kg dari sekam padi) untuk dijadikan gas yang mudah menyala.

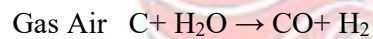
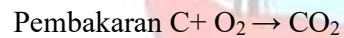
Proses pembakaran ini terjadi disuatu tempat yang tertutup, dengan jumlah udara yang terbatas yang disuplai oleh kipas ke ruang bakar sehingga mengkonversi sekam padi menjadi karbon yang sedemikian sehingga reaksi

itu akan menghasilkan karbon monoksida, hidrogen, dan gas metana, di mana akan menghasilkan gas yang mudah menyala.

Pada dasarnya, gas yang diproduksi selama proses perubahan menjadi gas yang terdiri dari :

- a) karbon monoksida,
- b) hidrogen,
- c) metana
- d) karbon dioksida, dan
- e) uap udara .

Reaksi kimia di bawah ini menjelaskan proses perubahan menjadi gas sepanjang proses pembakaran.



Karbon monoksida, hidrogen, dan gas metana adalah gas yang mudah menyala. Beberapa laporan yang mengatakan bahwa selama proses perubahan menjadi gas sekam padi, ada zat nitrogen yang juga dapat menghasilkan gas.

Tabel 2. Jenis dan persentase komposisi yang dibutuhkan bahan bakar sekam untuk berubah menjadi gas pada temperatur 1000° C dan perbandingan rasio 0,3

Gas	% komposisi
Karbon Monoksida, CO	26.1 – 15.0
Hidrogen, H ₂	20.6 – 21.2
Metana, CH ₄	0
Karbon Dioksida, CO ₂	6.6 – 10.3
Air , H ₂ O	8.6 – 24.0

(Sumber : Belonio, 2005)

Tabel. 3 komposisi gas dari sekam padi pada temperatur 1000° C dan kadar air 30 %

Gas	% komposisi
Karbon Monoksida, CO	18,6 – 8,6
Hidrogen, H ₂	21,5 – 8,7
Metana, CH ₄	0
Karbon Dioksida, CO ₂	9,5 – 2,6
Air , H ₂ O	18 – 21,1

(Sumber : Belonio, 2005)

Makin rendah perbandingan kadar air bahan bakar sekam padi, maka makin baik pula yang diperoleh mutu gas untuk CO dan H₂. Metana (CH₄) hanya dapat dicapai jika daerah pembakaran dioperasikan pada temperatur yang lebih rendah sekitar 400 sampai 500°C.

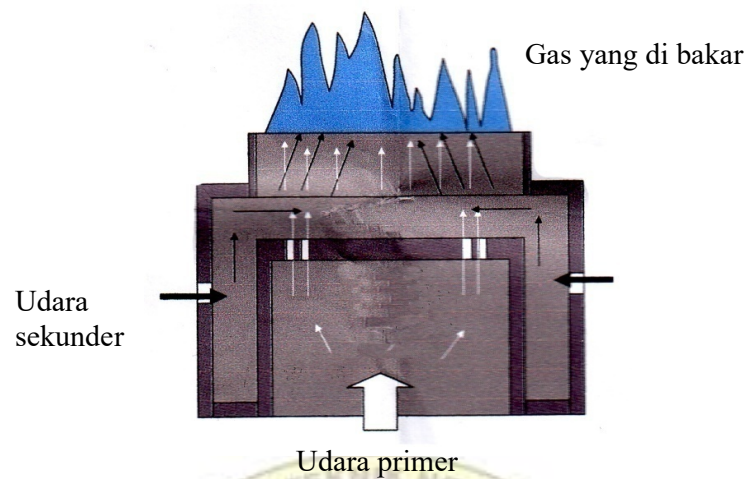
D. Prinsip kerja kompor berbahan bakar sekam Padi

Pada dasarnya kompor berbahan bakar sekam padi menggunakan beberapa komponen, yaitu ruang bakar (sungkup), kipas, stop kontak, tempat arang sekam, jaring-jaring (*grate*) dan dudukan kompor.

Prinsip kerja kompor berbahan bakar sekam padi yaitu dengan cara membakar tidak sempurna atau biasa disebut proses pembakaran parsial. Dimana udara primer yang diberikan dari kipas hanya sekitar 30-40%. Supaya proses pembakaran yang tidak sempurna ini bisa menghasilkan gas yang mudah terbakar seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂), dan metana (CH₄). Gas-gas ini apabila diberikan udara lebih lanjut yang diambil dari udara sekitar atau biasa disebut udara sekunder maka akan terjadi proses pembakaran yang sempurna. Karbon bereaksi dengan udara yang disediakan oleh kipas sementara gas yang dikonversi pembakaran gas. Berikut adalah gambar prinsip kerja dari daerah pembakaran.



Gambar 1. Prinsip kerja dari daerah pembakaran



Gambar 2. Prinsip kerja dari tungku bakar

E. Dasar-Dasar Rancang Bangun

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 elastisitas dan kekakuan. Sifat-sifat lainnya adalah ketahanan, kemampuan, kekerasan daya lenting dan kemampuan-mesinan. Serta pertimbangan lainnya adalah ekonomis dan dapat dijangkau.

Menurut Anton Budiman (1999 : 103) Aluminium adalah bahan kerja dengan berat jenis yang rendah ($2,7 - 2,85 \text{ kg/dm}^3$) dan kekuatan yang relatif tinggi. Saat ini aluminium juga termasuk bahan kerja yang paling sering digunakan karena mudah di bentuk.

Berdasarkan komponen-komponennya biasanya digunakan aluminium tempa (*wrought aluminium*) dan aluminium cor hanya untuk keperluan khusus digunakan aluminium murni. Spesifikasi pelat aluminium itu sendiri yaitu DIN 1788.

Berdasarkan karakteristik aluminium dipijarkan sampai plastis lunak (tarik dalam), tetapi kekuatannya sangat bertambah bila dikerjakan dingin. Pada suhu 100° C kekuatan ini menurun drastis, tetapi pada suhu rendah akan naik lagi. Aluminium bersifat non-magnetis, konduktor listrik yang baik (60 % Cu) dan juga konduktor panas (56 % Cu). Aluminium juga merefleksikan panas dan sinar (isolasi alfol), dapat dilas tetapi sukar di solder karena adanya lapisan oksid.

Aluminium juga tidak berkarat seperti besi karena adanya lapisan pelindung dipermukaannya. Aluminium tahan terhadap air murni, asam fosfat encer, asam nitrat konsentrat, dioksida belerang dan senyawa nitrogen lainnya, tetapi tidak tahan terhadap air laut, asam anorganik, soda, mortar dan beton.

Pelat aluminium yang digunakan dalam proses rancang bangun kompor sekam padi yaitu pelat aluminium dengan ketebalan 1,2 mm, sedangkan untuk sungkup digunakan pelat besi dengan ketebalan 1 – 1,2 mm dan besi cor dengan diameter 10 mm, serta dudukan dengan menggunakan besi siku.

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 ini di gunakan metode penyambungan las dan 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 sekam ini digunakan metode pengelasan gas oxiasetilen, sedangkan bagian sungkup dan dudukan kompor digunakan metode pengelasan listrik yaitu busur api listrik.

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 keeling dimasukkan 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 kedap dalam konstruksi ketel atau tangki dan sebagai sambungan paku untuk kulit pelat dan sebagai sambungan kedap untuk 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 RANCANG BANGUN KOMPOR BERBAHAN BAKAR

SEKAM PADI

A. Tempat penelitian

Rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi ini akan dilaksanakan di laboratorium Teknik konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

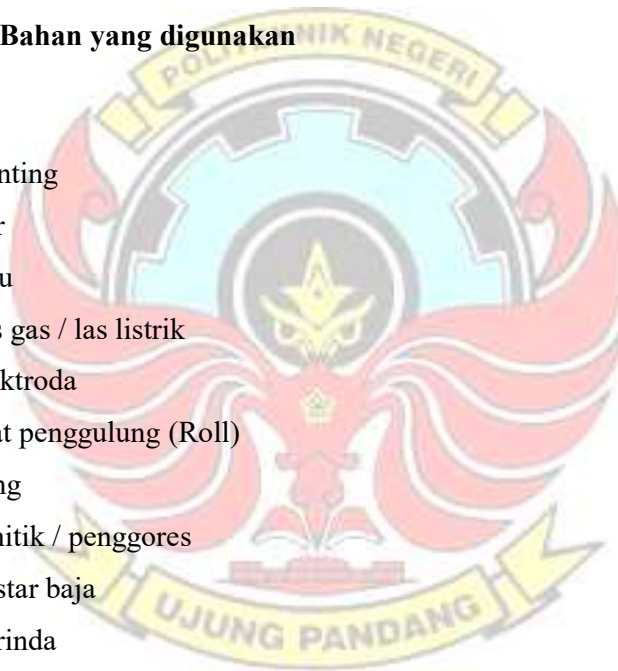
B. Alat dan Bahan yang digunakan

Alat :

1. Gunting
2. Bor
3. Palu
4. Las gas / las listrik
5. Elektroda
6. Alat penggulung (Roll)
7. Tang
8. Penitik / penggores
9. Mistar baja
10. Gerinda
11. Kikir
12. Jangka
13. Gergaji
14. Termokopel
15. Timbangan digital
16. Stopwat

Bahan:

1. Sekam padi



2. Plat aluminium 1,2 mm
3. Plat 1,2 mm
4. Besi beton
5. Engsel
6. Kipas
7. Kawat
8. Stop kontak
9. Jaring aluminium
10. Paku keling
11. Minyak tanah
12. Korek api
13. Panci 5 liter 2 buah



C. Pelaksanaan Rancang bangun



Gambar 3. Diagram alir proses rancang bangun

D. Prosedur Kerja

1. Perancangan desain

Hal-hal yang dilakukan dalam perancangan desain yaitu mulai dari bentuk dan penempatan bagian-bagian sampai dengan ukuran tiap-tiap bagian. Perancangan ini akan dituangkan dalam bentuk desain gambar. Adapun bagian-bagian yang akan dibuat yaitu:

a. Ruang pembakaran

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

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

$$D = \left(\frac{1,27 \times 1,5 \text{ sekam padi/jam}}{90 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} \right)^{0,5}$$

$$= 0,15 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

$$H = \frac{SGR \times T}{\rho(\text{sekam padi})}$$

$$H = \frac{90 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam} \times 0,75 \text{ jam}}{100 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0,675 \text{ m} \text{ dibulatkan menjadi } 0,70 \text{ m}$$

$$= 700 \text{ mm}$$

Asumsi :

- waktu operasi 45 menit
- laju konsumsi bahan bakar 1,5 kg/jam
- laju spesifik gasifikasi 90 kg/m³
- massa jenis sekam padi kg/m³

dengan ukuran diameter dalam 150 mm dan diameter luar 200 mm dan tinggi 700 mm. Diameter luar > diameter dalam dengan tujuan diberi isolasi.

b. Tempat arang

Merupakan bagian bawah dari reaktor, berbentuk persegi dengan ukuran panjang 320 mm, lebar 300 mm, tinggi 160 mm yang di buat dari plat aluminium. Plat diukur sesuai ukuran yang direncanakan sebelumnya, lalu kemudian digunting dengan menggunakan mesin pemotong, kemudian dilipat dengan menggunakan mesin pelipat, serta metode penyambungannya menggunakan paku keling.

c. Tempat kipas

Tempat kipas angin merupakan dudukan dari kipas angin- yaitu berbentuk persegi dengan ukuran panjang 140 mm, lebar 120 mm, panjang 120 mm, yang terbuat dari aluminium. dengan spesifikasi kipas AC 220 V / 0,14 A dengan daya 30 W.

d. Ruang bakar atau sungkup

Sungkup merupakan bagian atas dari kompor yaitu terdiri atas gagang sungkup dibuat dari besi beton dengan ukuran panjang 150 mm, dan bagian dalam dari ruang bakar terbuat dari plat besi yang berdiameter 100 mm dan dilubangi sebanyak 40 lubang kecil, tinggi ruang bakar 120 mm dan diameter luar ruang bakar 205 mm.

e. Jaring-jaring (*Grate*)

Terbuat dari jaring aluminium dan besi beton, besi beton ini di buat segi empat dengan ukuran 200 mm x 200 mm, kemudian dibungkus jaring aluminium dengan mengikatkan jaring ke besi yang dibuat rangka tersebut.

f. Kaki kompor merupakan bagian bawah di buat dari potongan besi siku, dengan ukuran panjang 320 mm, lebar 300 mm.

2. Tahap perakitan

Setelah semua bagian-bagian telah selesai dibuat maka selanjutnya tahap perakitan yaitu langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pemasangan kipas pada tempatnya.
2. Tempat kipas di pasang pada tempat arang dengan menggunakan paku keling.
3. Ruang bakar diletakkan pada bagian atas daerah pembakaran dengan cara mengelas.
4. Daerah pembakaran diletakkan di bagian atas dari tempat arang yang telah di beri lubang sesuai dengan diameter reaktor.
5. Pemasangan kaki kompor dipasang.

E. Prosedur Pengujian

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

Langkah-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. 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) 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 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. Persiapkan stopwatch, tetapi dionkan pada saat api mulai menyala.
2. Isi 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 3,196 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 mencatat 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 sekam dari kompor dan padamkan apinya lalu menimbang kompor dan sisa sekam padi setelah proses pembakaran pada pendidihan panci pertama.
 - c) Memperkurangkan hasil timbangan sebelum dan sesudah pendidihan air pada panci pertama untuk memperoleh data jumlah sekam padi 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 sekam padi, kemudian mencatat hasil pengukuran.
4. Menyalakan api menggunakan penyulut dan sekam padi 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 daya rendah (*simmer*).

Tahapan 3: Daya Rendah (*Simmering*)

1. Me-nol-kan stopwatch.
2. Mengeluarkan termometer dari dalam panci. Mengatur api untuk menjaga air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didih yang ditetapkan.
3. Selama 10 menit menjaga api pada tingkat temperatur air 3 derajat di bawah titik didihnya.
4. Setelah 10 menit, secara cepat melakukan sebagai berikut:
 - a. Mencatat waktu selesai pengujian (ini harus 10 menit). Mencatat pengukuran ini ke dalam format data dan perhitungan.
 - b. Mencatat temperatur akhir air pada format data dan perhitungan untuk di bawah titik didih yang ditetapkan.
 - c. Menimbang panci bersama air yang tersisa. Mencatat beratnya pada format data dan perhitungan.
 - d. Menimbang kompor beserta arang sekam padi setelah proses pendidihan.

F. Teknik analisis data

Beberapa parameter-parameter yang dibutuhkan dalam menganalisis data yaitu :

- 1. Waktu mulai.** Waktu mulai adalah waktu yang diperlukan untuk menyalakan sekam padi 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 sekam padi.
- 3. Total waktu operasi.** Total waktu operasi adalah durasi dari waktu sekam padi 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 sekam yang digunakan dalam pengoperasian kompor dibagi dengan waktu operasi. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$FCR = \frac{\text{Massa bahan bakar sekam padi yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (jam)}} \dots\dots\dots (1)$$

- 5. Laju gasifikasi spesifik (SGR).** Laju gasifikasi spesifik adalah jumlah bahan bakar sekam padi yang digunakan per satuan waktu per satuan volume reaktor. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$SGR = \frac{\text{Massa bahan bakar sekam padi yang digunakan (kg)}}{\text{volume reaktor (m}^3\text{) x Waktu operasi (jam)}} \dots\dots\dots (2)$$

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,

$$CZR = \frac{\text{Tinggi reaktor (m)}}{\text{Waktu operasi (jam)}} \dots\dots\dots (3)$$

7. Waktu pendidihan. Waktu pendidihan adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mendidih mulai dari waktu panci ditempatkan di atas ruang bakar 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,

$$SH = m_w \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

SH = panas sensibel (kJ)

m_w = 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,

$$LH = m_g \cdot h_{fg} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

LH = panas laten (kJ)

m_g = massa air yang diuapkan (kg)

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

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

$$QF = WFU \times HVF \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

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

WFU = 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,

$$TE = \frac{SH+LF}{HF \times WF} \times 100 \% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

TE = efisiensi termal (%)

SH = panas sensibel (kJ)

LH = panas laten (kJ)

HVF = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

WFU = 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,

$$P_i = \frac{FCR \times HVF}{3600} \dots\dots\dots (8)$$

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,

$$P_o = \frac{FCR \times HVF \times TE}{3600} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

P_o = daya output (kW)

FCR = laju konsumsi bahan bakar (kg/jam)

HVF = nilai pemanasan bahan bakar (kJ/kg)

TE = efisiensi termal

14. Persentase arang yang dihasilkan. Persentase arang yang dihasilkan adalah rasio dari jumlah arang yang dihasilkan terhadap jumlah sekam padi yang digunakan. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$\% \text{ Arang} = \frac{\text{Massa arang (kg)}}{\text{Massa sekam padi yang digunakan (kg)}} \times 100 \dots\dots (10)$$

15. Konsumsi spesifik bahan bakar. Konsumsi spesifik bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu liter (kilogram) air mendidih. Parameter ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$SC = \frac{FC}{m_w} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

SC = konsumsi spesifik bahan bakar

FC = konsumsi bahan bakar (kg)

m_w = massa air yang dididihkan (kg)

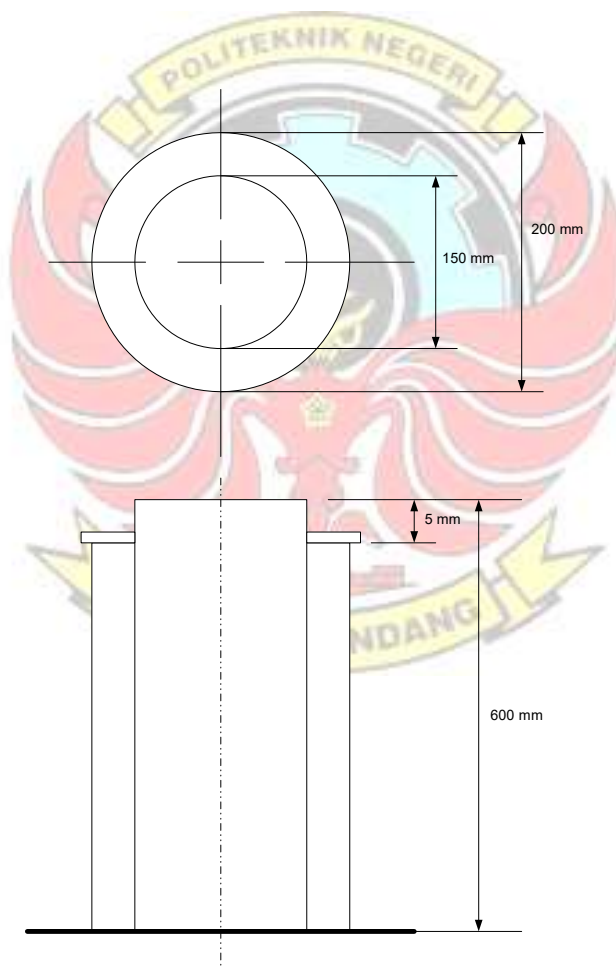


BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Hasil Rancang bangun

Setelah melaksanakan proses rancang bangun ini, maka diperoleh dimensi utama yaitu diameter dan tinggi reaktor dari kompor sekam padi, sesuai pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Diameter dan tinggi reaktor

2. Hasil pengujian

Setelah melaksanakan proses pengujian untuk menghasilkan nyala api yang berwarna biru, dalam hal ini digunakan serbuk kayu dan sekam padi sebagai bahan bakar. setiap bahan bakar dilakukan 3 kali pengujian, yang mana pengujian yang dilakukan adalah start dingin. Start panas dan simmering. 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 1 pada pengujian start dingin, yaitu :

• Nomor pengujian	: 1
• Tanggal pengujian	: 2 september 2008
• Jenis bahan bakar	: sekam padi
• Nilai kalor bahan bakar	: 13000 Kj/Kg
• Massa kompor	: 7893 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8912 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,014 gram
• Massa kering panci	: 196 gram
• Massa panci + air	: 3196 gram
• Temperatur awal air	: 29°C
• Temperatur udara sekeliling	: 30°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C

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

• Massa kompor + bahan bakar	: 8926 gram
• Waktu mulai	: 2' 10"

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

• Waktu mendidih	: 24' 44"
• Massa air + panci	: 3024 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8524 gram

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 : 8228 gram

Parameter – parameter yang diukur dan dihitung :

- **Waktu mulai** : 2 menit 10 detik. = 0,036 jam
- **Waktu operasi** : 47 menit 40 detik = 0,794 jam
- **Total waktu operasi** : 49 menit 50 detik = 0,830 jam
- **Laju konsumsi bahan bakar.**

$$FCR = \frac{\text{Massa bahan bakar sekam padi yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (jam)}}$$

$$\text{Massa bahan bakar yang digunakan} = f_0 - f_t \dots\dots\dots (12)$$

$$f_t = \frac{dt - f_0 k}{1 - k} \dots\dots\dots (13)$$

$$k = \frac{a_f}{f_0} \dots\dots\dots (14)$$

$$k = \frac{(\text{massa kompor} + \text{arang}) - \text{massa kompor}}{(\text{massa kompor} + \text{bahan bakar}) - (\text{massa kompor})} \dots\dots (15)$$

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)

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

$$= \frac{(8228-7893)}{(8912-7893)}$$

$$= \frac{335}{1019} = 0,328$$

$$dt = 8524 - 7893 = 631 \text{ gr}$$

$$f_t = \frac{631 - 1019(0,328)}{1 - 0,328}$$

$$= 441,619$$

Maka : massa bahan bakar yang digunakan = $1019 - 441,619 = 577,381 \text{ gr}$

$$FCR = \frac{0,577}{0,830}$$

$$= 0,657 \text{ Kg/jam}$$

- Laju gasifikasi spesifik.

$$SGR = \frac{Massa\ bahan\ bakar\ sekam\ padi\ yang\ digunakan\ (kg)}{Volume\ reaktor(m^3) \times Waktu\ operasi\ (jam)}$$

$$Volume\ reaktor = \frac{3,14 \times D^2}{4} \times h$$

$$= \frac{3,14 \times 0,15^2}{4} \times 0,70$$

$$= 0,012 \text{ m}^3$$

$$SGR = \frac{0,577}{0,012 \times 0,830}$$

$$= 32,374 \text{ Kg/m}^3 \cdot jam$$

- Laju zona pembakaran.

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

$$CZR = \frac{0,70}{0,830}$$

$$= 0,843 \text{ m/jam}$$

- Waktu pendidihan. : 22 menit 34 detik = 0,376 jam

- Panas sensibel.

$$SH = m_w \cdot c_p \cdot (T_f - T_i)$$

$$SH = 3 \cdot 4,186 \cdot (100 - 29) \\ = 891,618 \text{ kJ}$$

- Panas laten.

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

Dimana nilai h_{fg} di lihat pada tabel uap (lampiran C-1) pada temperatur 100°C adalah 2257 kJ/kg .

$$m_g = (\text{massa panci + air}) - (\text{massa panci + air ketika mendidih}) \\ = 3196 - 3024 \\ = 172 \text{ gr} = 0,172 \text{ kg}$$

Maka,

$$LH = m_g \cdot h_{fg} \\ = 0,172 \times 2257 = 388.204 \text{ kJ}$$

- Input energi panas.

$$QF = WFU \times HVF$$

$$WFU = (\text{massa kompor + bahan bakar}) - (\text{massa kompor}) \\ = 8912 - 7893$$

$$= 1019 \text{ gr} = 1,019 \text{ kg}$$

$$\text{HVF} = 13000 \text{ kJ/kg}$$

Maka,

$$QF = \text{WFU} \times \text{HVF}$$

$$= 1,019 \times 13000$$

$$= 13247,86 \text{ kJ}$$

- Efisiensi termal.

$$TE = \frac{SH+LH}{\text{HVF} \times \text{WF}} \times 100 \%$$

$$TE = \frac{891,618 + 388,204}{13000,84 \times 1,019} \times 100 \%$$

$$= 0,1 = 10 \%$$

- Daya Input

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

$$P_i = \frac{0,657 \times 13000,84}{3600}$$

$$= 3,444 \text{ kW}$$

- Daya Output

$$P_o = \frac{\text{FCR} \times \text{HVF} \times TE}{3600}$$

$$P_o = \frac{0,657 \times 13000,84 \times 0,1}{3600}$$

$$= 0,345 \text{ kW}$$

- Efisiensi sistem

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

$$= \frac{0,345}{3,444 + 0,03} \times 100 \%$$

$$= 0,09 = 9 \%$$

- **Persentase arang yang dihasilkan.**

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

Massa arang = (massa kompor + bahan bakar) – (massa kompor + bahan bakar setelah air mendidih)

$$= 8912 - 8524 = 388 \text{ gr} = 0,388 \text{ Kg}$$

$$= \frac{0,388}{1,019} \times 100$$

$$= 38,07 \%$$

- **Konsumsi spesifik bahan bakar.**

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

m_w = massa air = 3 kg

$$SC = \frac{0,577}{3}$$

$$= 0,192$$

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

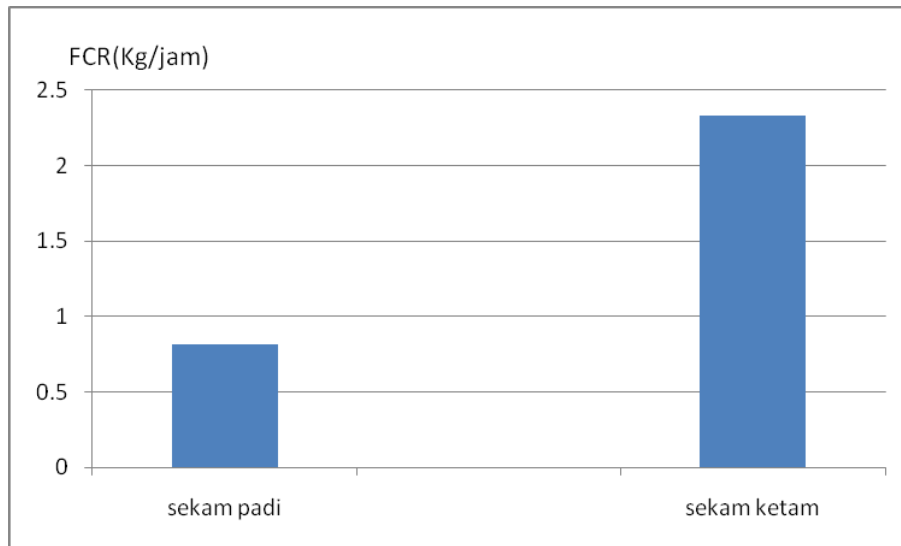
B. Pembahasan

Pada dasarnya kompor ini dapat menggunakan beberapa jenis limbah yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, namun pada proses ini hanya digunakan dua jenis bahan bakar yaitu sekam padi dan serbuk ketam. Setelah diuji kedua jenis bahan bakar ini mampu menghasilkan gas yang mudah terbakar. Nyala api yang dihasilkan sekam padi tampak lebih kebiru-biruan dari pada serbuk ketam. Berikut adalah grafik perbandingan nilai efisiensi dari kedua bahan bakar.

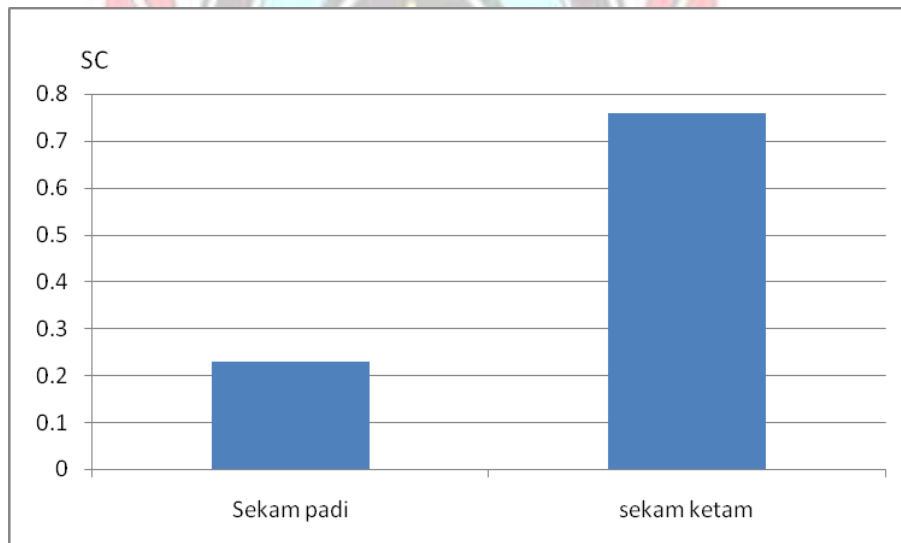
- *Start dingin*



Gambar 5. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan efisiensi thermal kompor untuk pengujian start dingin

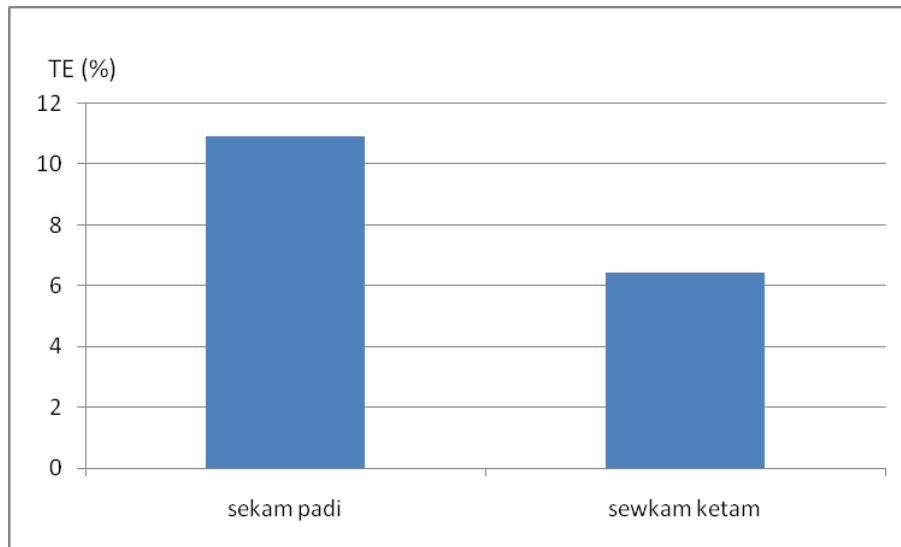


Gambar 6. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi bahan bakar (FCR) untuk pengujian start dingin



Gambar 7. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi spesifik bahan bakar (SC) untuk pengujian start dingin

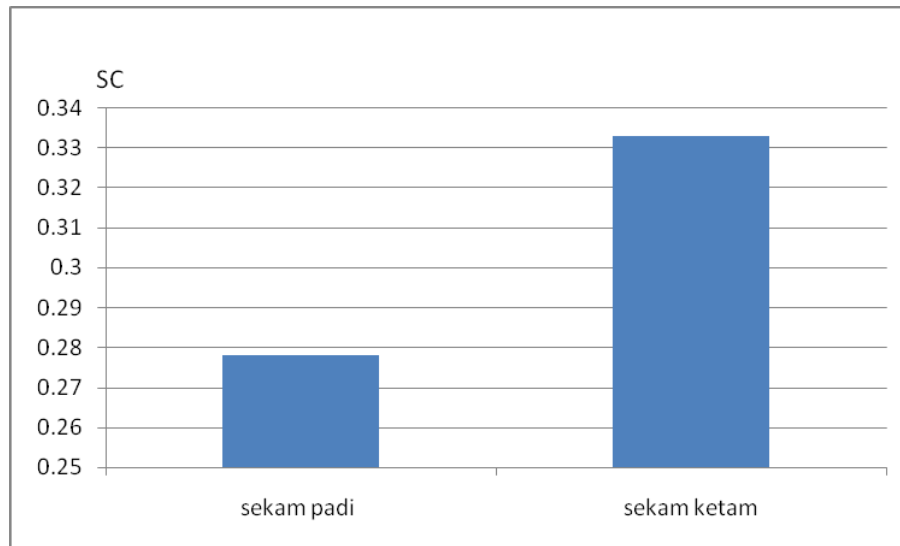
- *Start panas*



Gambar 8. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan efisiensi thermal kompor untuk pengujian start panas



Gambar 9. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi bahan bakar (FCR) untuk pengujian start panas



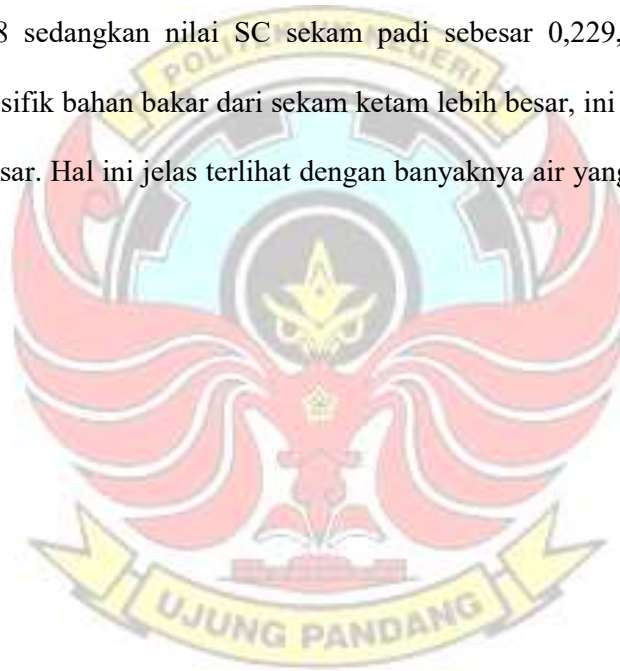
Gambar 10. Grafik perbandingan bahan bakar berdasarkan laju konsumsi spesifik bahan bakar (SC) untuk pengujian start panas

Berdasarkan gambar 5 yaitu grafik yang menunjukkan nilai efisiensi sekam padi sebesar 9,7 % dan nilai efisiensi sekam ketam 6,83 %. Ini berarti efisiensi thermal yang dihasilkan sekam padi lebih besar di banding sekam ketam, ini dikarenakan nilai kalor dari sekam padi lebih kecil dari pada sekam ketam, dan juga laju konsumsi bahan bakar dari sekam ketam yang lebih besar sehingga mengakibatkan efisiensi sekam ketam terlihat lebih kecil. Begitupula gambar 8 dari grafik menunjukkan nilai efisiensi sekam padi lebih besar untuk pengujian start panas yang menunjukkan nilai 10,9 %. Dengan kata lain kompor tersebut lebih efisien digunakan dalam keadaan panas.

Pada gambar 6 yaitu grafik yang menunjukkan nilai FCR dari sekam padi sebesar 0,715 dan nilai FCR dari sekam ketam sebesar 2,330. Ini berarti laju konsumsi bahan bakar sekam ketam lebih besar daripada sekam padi, ini dikarenakan bahan bakar sekam padi terlihat lebih padat bila dimasukkan kedalam

reaktor, sedangkan bahan bakar sekam ketam tampak lebih renggang yang mengakibatkan udara yang dihasilkan fan sebagai udara primer lebih cepat bertiup ke ruang bakar sehingga laju konsumsi bahan bakar akan lebih besar. Pada gambar 9 untuk pengujian start panas yang menunjukkan laju konsumsi bahan bakar sekam ketam juga terlihat lebih besar yaitu sebesar 1,065. Jika melihat nilai FCR pada pengujian start dingin jauh lebih besar dari pada start panas.

Pada gambar 7 yaitu grafik menunjukkan nilai SC dari sekam ketam sebesar 0,758 sedangkan nilai SC sekam padi sebesar 0,229, ini berarti nilai konsumsi spesifik bahan bakar dari sekam ketam lebih besar, ini dikarenakan nilai FCR lebih besar. Hal ini jelas terlihat dengan banyaknya air yang diuapkan dalam pengujian.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan rancang bangun kompor berbahan bakar sekam padi, yaitu diantaranya :

1. Limbah Sekam padi dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor yang digunakan rumah tangga untuk memasak.
2. Sekam padi menghasilkan gasifikasi yang apabila dibakar dapat menghasilkan nyala api yang kebiru-biruan dan dapat mendidihkan 3 kg air dalam waktu 22 menit dengan efisiensi thermal 9,7 pada start dingin dan 10,9 pada start panas, sedangkan sekam ketam dapat mendidihkan air dalam waktu sekitar 12 menit dengan efisiensi thermal 6,83 pada start dingin dan 6,43 pada start panas.

B. Saran

1. Dalam proses pembuatan kompor berbahan bakar sekam padi ini selanjutnya, sebaiknya tidak menggunakan fan. Agar kompor ini dapat digunakan di beberapa daerah yang tidak dijangkau kelistrikan.
2. Dalam proses pembuatan kompor sekam padi ini selanjutnya, sebaiknya dengan ukuran yang lebih besar, agar waktu waktu operasinya juga lebih lama.
3. Dalam proses pengujian, sebaiknya dilakukan di dalam ruangan yang tidak ada gangguan udara dari luar yang bisa mengakibatkan gas terbang sia-sia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshar, Muhammad, Dkk. (1996), *Efektifitas Pemamfaatan limbah sekam padi Sebagai Bahan bakar tungku Dalam Rumah tangga*, politeknik Unhas, Ujung Pandang
- Belonio, A. T. (2005, May). *Gas Stove Handbook*. College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City. Pilipina, Asia
- Budiman, Anton dan Priambodo, Bambang. 1999. *Elemen Mesin Jilid 1*. PT. Erlangga : Jakarta.
- Ciferno, Jared P dan Marano John J (2002), *benchmarking Biomass Gasification Technologies For Fuels, Chemicals and Hydrogen Production*.
- Faxalf, Olle, dan Nystrom, Olof. 2007. *Biomass Briquettes in Malawi*, Degree Project Department of Management and Engineering, LIU-IEI-TEK-A-07/00129-SE, Minor Field Study, MFS-report nr 103, issn 1400-3562. Linkoping University Institute of Technology
- H, Hendarsin dan Ranchman, Abdul. 1896. *Elemen Mesin dan Elemen Konstruksi Mesin*. PT. Erlangga : Jakarta
- MA, Sumanto. 1996. *Pengetahuan Bahan Untuk Mesin dan Listrik*. Penerbit Andi Offset : Yogyakarta
- Sebayang, Darwin, 1995. *Ilmu Kekuatan Bahan*. PT. Erlangga : jakarta
- Tonapa, Agustinus, (1998), *Pembuatan Dan Pengujian Tungku sekam Padi Untuk Penggunaan rumah Tangga*, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

LAMPIRAN-LAMPIRAN



LAMPIRAN A (DATA PENGAMATAN)



Lampiran A-1

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Dingin

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 1• Tanggal pengujian : 2 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7893 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8912 gram• Massa bahan penyulut : 0,014 gram• Massa kering panci : 196 gram• Massa panci + air : 3196 gram• Temperatur awal air : 29°C• Temperatur udara sekeliling : 30°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8926 gram• Waktu mulai : 2' 10"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 24' 44"• Massa air + panci : 3024 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8524 gram
<p>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</p> <p>Massa arang yang tersisa : 8228 gram</p>

Lampiran A-2

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 1• Tanggal pengujian : 2 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7878 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8918 gram• Massa bahan penyulut : 0,01 gram• Massa kering panci : 196 gram• Massa panci + air : 3196 gram• Temperatur awal air : 32°C• Temperatur udara sekeliling : 30°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8928 gram• Waktu mulai : 4' 47"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 39' 52"• Massa air + panci : 2868 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8312 gram
<p>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 : 8156 gram</p>

Lampiran A-3

Pengujian Mendidihkan Air Daya Rendah (Simmering)

• Nomor pengujian	: 1
• Tanggal pengujian	: 3 sep 2008
	: sekam
• Jenis bahan bakar	padi
	: 13000
• Nilai kalor bahan bakar	KJ/Kg
• Massa kompor	: 7866 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8898 gram
	: 0,008
• Massa bahan penyulut	gram
• Massa kering panci	: 196 gram
• Massa panci + air	: 3196 gram
• Temperatur awal air	: 28°C
• Temperatur udara sekeliling	: 29°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C
<i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i>	
• Massa kompor + bahan bakar	: 8904 gram
• Waktu mulai	: 8' 52"
<i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i>	
• Waktu mendidih	: 29' 29"
• Massa air + panci	: 3034 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8502 gram
<i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter berikut:</i>	
• Waktu selesai	: 49' 50

<ul style="list-style-type: none"> • Massa air + panci : 2650 gram • Massa kompor + bahan bakar : 8228 gram • Temperatur akhir air : 98°C
<p>Catatan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar <p>Massa arang yang tersisa : 8228 gram</p>



Lampiran A-4

Pengujian Mendidihkan Air

Daya Tinggi Start Dingin

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 2• Tanggal pengujian : 3 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7836 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8886 gram• Massa bahan penyulut : 0,028 gram• Massa kering panci : 196 gram• Massa panci + air : 3196 gram• Temperatur awal air : 28°C• Temperatur udara sekeliling : 29°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8934 gram• Waktu mulai : 9' 18"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 29' 55"• Massa air + panci : 3052 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8508 gram
<p>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 : 8218 gram</p>

Lampiran A-5

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 2• Tanggal pengujian : 3 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7866 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8898 gram• Massa bahan penyulut : 0,008 gram• Massa kering panci : 196 gram• Massa panci + air : 3196 gram• Temperatur awal air : 28°C• Temperatur udara sekeliling : 29°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8898 gram• Waktu mulai : 8' 52"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 29' 29"• Massa air + panci : 3034 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8502 gram
<p>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 : 8250 gram</p>

Lampiran A-6

Pengujian Mendidihkan Air Daya Rendah (Simmering)

• Nomor pengujian	: 2
• Tanggal pengujian	: 3 sep 2008
	: sekam
• Jenis bahan bakar	padi
	: 13000
• Nilai kalor bahan bakar	KJ/Kg
• Massa kompor	: 7886 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8878 gram
	: 0,016
• Massa bahan penyulut	gram
• Massa kering panci	: 198 gram
• Massa panci + air	: 3198 gram
• Temperatur awal air	: 29°C
• Temperatur udara sekeliling	: 32°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C
<i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i>	
• Massa kompor + bahan bakar	: 8882 gram
• Waktu mulai	: 13' 16"
<i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i>	
• Waktu mendidih	: 34' 02"
• Massa air + panci	: 3016 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8470 gram
<i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter</i>	

berikut:

• Waktu selesai	: 50' 40
• Massa air + panci	: 2678 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8222 gram
• Temperatur akhir air	: 96°C

Catatan:

- Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar
- | | |
|--------------------------|-------------|
| Massa arang yang tersisa | : 8222 gram |
|--------------------------|-------------|



Lampiran A-7

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Dingin

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 3• Tanggal pengujian : 3 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7886 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8878 gram• Massa bahan penyulut : 0,016 gram• Massa kering panci : 198 gram• Massa panci + air : 3198 gram• Temperatur awal air : 29°C• Temperatur udara sekeliling : 32°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8882 gram• Waktu mulai : 13' 16"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 34' 02"• Massa air + panci : 3016 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8470 gram
<p>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</p> <p>Massa arang yang tersisa : 8222 gram</p>

Lampiran A-8

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 3• Tanggal pengujian : 3 september 2008• Jenis bahan bakar : sekam padi• Nilai kalor bahan bakar : 13000 Kj/Kg• Massa kompor : 7820 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8850 gram• Massa bahan penyulut : 0,01 gram• Massa kering panci : 198 gram• Massa panci + air : 3198 gram• Temperatur awal air : 29°C• Temperatur udara sekeliling : 27°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8856 gram• Waktu mulai : 15' 16"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 36' 01"• Massa air + panci : 3030 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8498 gram
<p>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 : 8338 gram</p>

Lampiran A-9

Pengujian Mendidihkan Air Daya Rendah (Simmering)

• Nomor pengujian	: 3
• Tanggal pengujian	: 3 sep 2008
	: sekam
• Jenis bahan bakar	padi
	: 13000
• Nilai kalor bahan bakar	KJ/Kg
• Massa kompor	: 7820 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8850 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,01 gram
• Massa kering panci	: 198 gram
• Massa panci + air	: 3198 gram
• Temperatur awal air	: 29°C
• Temperatur udara sekeliling	: 27°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C
<i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i>	
• Massa kompor + bahan bakar	: 8856 gram
• Waktu mulai	: 16' 16"
<i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i>	
• Waktu mendidih	: 36' 01"
• Massa air + panci	: 3030 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8498 gram
<i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter berikut:</i>	
• Waktu selesai	: 51' 08"

<ul style="list-style-type: none"> • Massa air + panci : 2798 gram • Massa kompor + bahan bakar : 8338 gram • Temperatur akhir air : 97°C
<p>Catatan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar <p>Massa arang yang tersisa : 8338 gram</p>



Lampiran A-10

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Dingin

• Nomor pengujian	: 1
• Tanggal pengujian	: 5 september 2008
• Jenis bahan bakar	: sekam ketam
• Nilai kalor bahan bakar	: 19300 Kj/Kg
• Massa kompor	: 7874 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8974 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,012 gram
• Massa kering panci	: 196 gram
• Massa panci + air	: 3196 gram
• Temperatur awal air	: 29°C
• Temperatur udara sekeliling	: 29°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C

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

• Massa kompor + bahan bakar	: 8948 gram
• Waktu mulai	: 6' 22"

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

• Waktu mendidih	: 18' 48"
• Massa air + panci	: 3048 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8228 gram

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	: 7848 gram
--------------------------	-------------

Lampiran A-11

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| • Nomor pengujian | : 1 |
| • Tanggal pengujian | : 5 september 2008 |
| • Jenis bahan bakar | : sekam ketam |
| • Nilai kalor bahan bakar | : 19300 Kj/Kg |
| • Massa kompor | : 7878 gram |
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8918 gram |
| • Massa bahan penyulut | : 0,01 gram |
| • Massa kering panci | : 196 gram |
| • Massa panci + air | : 3196 gram |
| • Temperatur awal air | : 32°C |
| • Temperatur udara sekeliling | : 30°C |
| • Temperatur didih lokal | : 100°C |

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

- | | |
|------------------------------|-------------|
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8928 gram |
| • Waktu mulai | : 4' 47" |

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

- | | |
|------------------------------|-------------|
| • Waktu mendidih | : 39' 52" |
| • Massa air + panci | : 2868 gram |
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8312 gram |

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 | : 8156 gram |
|--------------------------|-------------|

Lampiran A-12

Pengujian Mendidihkan Air Daya Rendah (Simmering)

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 1• Tanggal pengujian : 8 sep 2008• Jenis bahan bakar : sekam ketam : 19300• Nilai kalor bahan bakar : KJ/Kg• Massa kompor : 7866 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8898 gram	<ul style="list-style-type: none">• Massa bahan penyulut : 0,008 gram• Massa kering panci : 196 gram• Massa panci + air : 3196 gram• Temperatur awal air : 28°C• Temperatur udara sekeliling : 29°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8904 gram• Waktu mulai : 8' 52"	
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 29' 29"• Massa air + panci : 3034 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8502 gram	
<p><i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter berikut:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu selesai : 49' 50"• Massa air + panci : 2650 gram	

<ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8228 gram• Temperatur akhir air : 98°C
<p>Catatan:</p> <ul style="list-style-type: none">• Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar <p>Massa arang yang tersisa : 8228 gram</p>



Lampiran A-13

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Dingin

• Nomor pengujian	: 2
• Tanggal pengujian	: 5 september 2008
• Jenis bahan bakar	: sekam ketam
• Nilai kalor bahan bakar	: 19300 Kj/Kg
• Massa kompor	: 7836 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8886 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,028 gram
• Massa kering panci	: 196 gram
• Massa panci + air	: 3196 gram
• Temperatur awal air	: 28°C
• Temperatur udara sekeliling	: 29°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C

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

• Massa kompor + bahan bakar	: 8934 gram
• Waktu mulai	: 9' 18"

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

• Waktu mendidih	: 29' 55"
• Massa air + panci	: 3052 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8508 gram

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	: 8218 gram
--------------------------	-------------

Lampiran A-14

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

• Nomor pengujian	: 2
• Tanggal pengujian	: 5 september 2008
• Jenis bahan bakar	: sekam ketam
• Nilai kalor bahan bakar	: 19300 Kj/Kg
• Massa kompor	: 7866 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8898 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,008 gram
• Massa kering panci	: 196 gram
• Massa panci + air	: 3196 gram
• Temperatur awal air	: 28°C
• Temperatur udara sekeliling	: 29°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C

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

• Massa kompor + bahan bakar	: 8898 gram
• Waktu mulai	: 8' 52"

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

• Waktu mendidih	: 29' 29"
• Massa air + panci	: 3034 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8502 gram

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 : 8250 gram

Lampiran A-15

**Pengujian Mendidihkan Air
Daya Rendah (Simmering)**

<ul style="list-style-type: none">Nomor pengujian : 2Tanggal pengujian : 8 sep 2008Jenis bahan bakar : sekam ketam: 19300Nilai kalor bahan bakar KJ/KgMassa kompor : 7886 gramMassa kompor + bahan bakar : 8878 gram: 0,016Massa bahan penyulut gramMassa kering panci : 198 gramMassa panci + air : 3198 gramTemperatur awal air : 29°CTemperatur udara sekeliling : 32°CTemperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">Massa kompor + bahan bakar : 8882 gramWaktu mulai : 13' 16"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">Waktu mendidih : 34' 02"Massa air + panci : 3016 gramMassa kompor + bahan bakar : 8470 gram
<p><i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter berikut:</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> • Waktu selesai : 50' 40" • Massa air + panci : 2678 gram • Massa kompor + bahan bakar : 8222 gram • Temperatur akhir air : 96°C
<p>Catatan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar <p>Massa arang yang tersisa : 8222 gram</p>



Lampiran A-16

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Dingin

• Nomor pengujian	: 3
• Tanggal pengujian	: 5 september 2008
• Jenis bahan bakar	: sekam ketam
• Nilai kalor bahan bakar	: 19300 Kj/Kg
• Massa kompor	: 7886 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8878 gram
• Massa bahan penyulut	: 0,016 gram
• Massa kering panci	: 198 gram
• Massa panci + air	: 3198 gram
• Temperatur awal air	: 29°C
• Temperatur udara sekeliling	: 32°C
• Temperatur didih lokal	: 100°C

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

• Massa kompor + bahan bakar	: 8882 gram
• Waktu mulai	: 13' 16"

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

• Waktu mendidih	: 34' 02"
• Massa air + panci	: 3016 gram
• Massa kompor + bahan bakar	: 8470 gram

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	: 8222 gram
--------------------------	-------------

Lampiran A-17

Pengujian Mendidihkan Air Daya Tinggi Start Panas

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| • Nomor pengujian | : 3 |
| • Tanggal pengujian | : 8 september 2008 |
| • Jenis bahan bakar | : sekam ketam |
| • Nilai kalor bahan bakar | : 19300 Kj/Kg |
| • Massa kompor | : 7820 gram |
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8850 gram |
| • Massa bahan penyulut | : 0,01 gram |
| • Massa kering panci | : 198 gram |
| • Massa panci + air | : 3198 gram |
| • Temperatur awal air | : 29°C |
| • Temperatur udara sekeliling | : 27°C |
| • Temperatur didih lokal | : 100°C |

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

- | | |
|------------------------------|-------------|
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8856 gram |
| • Waktu mulai | : 16' 16" |

Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :

- | | |
|------------------------------|-------------|
| • Waktu mendidih | : 36' 01" |
| • Massa air + panci | : 3030 gram |
| • Massa kompor + bahan bakar | : 8498 gram |

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	: 8338 gram
--------------------------	-------------

Lampiran A-18

Pengujian Mendidihkan Air Daya Rendah (Simmering)

<ul style="list-style-type: none">• Nomor pengujian : 3• Tanggal pengujian : 8 sep 2008• Jenis bahan bakar : sekam ketam : 19300• Nilai kalor bahan bakar KJ/Kg• Massa kompor : 7820 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8850 gram• Massa bahan penyulut : 0,01 gram• Massa kering panci : 198 gram• Massa panci + air : 3198 gram• Temperatur awal air : 29°C• Temperatur udara sekeliling : 27°C• Temperatur didih lokal : 100°C
<p><i>Jika gas yang mudah terbakar sudah dihasilkan, naikkan panci dan air ke atas kompor dan ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8856 gram• Waktu mulai : 16' 16"
<p><i>Jika pertama kali air mendidih, ukurlah parameter berikut :</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu mendidih : 36' 01"• Massa air + panci : 3030 gram• Massa kompor + bahan bakar : 8498 gram
<p><i>Panci + air mendidih dikembalikan ke atas kompor dan pengujian dilanjutkan selama 45 menit, dengan mengatur temperatur air jatuh sekitar 3°C di bawah titik didih lokal (pengujian tidak valid/sah jika temperatur air jatuh lebih dari 6°C di bawah titik didih lokalnya). Jika waktu 45 menit telah tercapai, ukurlah parameter berikut:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Waktu selesai : 51' 08"• Massa air + panci : 2796 gram

<ul style="list-style-type: none">• Massa kompor + bahan bakar : 8338 gram• Temperatur akhir air : 97°C
<p>Catatan:</p> <ul style="list-style-type: none">• Timbang massa arang yang tersisa setelah bahan bakar habis terbakar <p>Massa arang yang tersisa : 8338 gram</p>





**LAMPIRAN B
(HASIL ANALISA)**

Tabel 4. hasil analisa untuk percobaan start dingin

parameter	bahan bakar							
	sekam padi				sekam ketam			
	1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
FCR(kg/jam)	0,657	0,768	0,72	0.715	2,227	2,482	2,282	2.33
SGR(kg/m ²)	32,374	31,547	34,045	32.655	57,169	59,344	41,53	52.681
CZR	0,843	1,421	1,234	1.457	2,272	2,44	3,206	2.639
SH (kJ)	891,618	904,176	891,618	897.3247	891,618	904,176	916,734	904.176
LH (kJ)	388,204	230,214	410,774	343.064	388,204	325,008	261	324.73
QF (kJ)	13247,86	13650,88	13156,85	13351.86	22393.4	19033.16	20694.59	20707.05
TE(%)	10	9,1	10,1	9,7	7,7	6,3	6,5	6,83
Pi (kW)	3,444	2,775	2,602	2.94	0.651	0.726	0.667	0.681
Po (kw)	0.345	0,254	0,263	0.287	0,918	0,835	0,801	0.851
Eff sistem(%)	9,9	9	9,9	9,6	113	110	114	112
% arang	38	36	40,3	38,1	59,1	72,2	46,4	59,233
SC	0,192	0,256	0,24	0,229	0,742	0,827	0,706	0,758

Tabel 5. hasil analisa untuk percobaan start panas

parameter	bahan bakar							
	sekam padi				sekam ketam			
	1	2	3	rata-rata	1	2	3	rata-rata
FCR(kg/jam)	1.105	0.812	0.588	0.835	1	1	1	1.065
SGR(kg/m ²)	51	33	29	37.665	34	19	29	26.93
CZR	1	1	1	1.29	2	4	1	2.515
SH (kJ)	854	904	892	883.246	867	879	892	879.06
LH (kJ)	740	366	379	495.03	235	366	235	278.36
QF (kJ)	13520.87	13416.9	13390.9	13442.87	26519.35	16482.92	19571.05	20857.78
TE(%)	12,7	10	10	10,9	7,88	5,50	5,91	6,43
Pi (kW)	4	3	2	2.98	7.13	6.93	3.076	5.71
Po (kw)	0.508	0.295	0.213	0.33	0.558	0,29	0,31	0.374
eff sistem(%)	12	9	10	10,3	7	4,1	9,9	7
% arang	58,2	38,3	34,1	43,5	29,2	29,3	29,8	29,66
SC	0,368	0,270	0,196	0,278	0,333	0,333	0,333	0,333



LAMPIRAN C (SIFAT UAP)

Lampiran C-1

Tabel 6. Sifat uap

Temp (°C)	Press bars	specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		enthalpy kJ/kg	Entropy kJ/kg.K			
		Sat Liquid $v_f \times 10^3$	Sat Vapor v_g	Sat Liquid u_f	Sat Vapor u_g	Sat Liquid h_f	Evap h_{fg}	Sat Vapor h_g	Sat Liquid s_f	Sat Vapor s_g
50	0,1235	1,121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	0,7038	8,0763
60	0,1994	1,072	7,671	251,11	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	0,8312	7,9096
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	0,9549	7,7553
80	0,4739	1,0259	3,407	334,86	2482,2	334,91	230,8	2643,7	1,0173	7,6122
90	0,7014	1,0360	2,361	376,85	2494,5	376,92	2283,2	2660,1	1,1925	7,4791
100	1,014	1,0435	1,673	418,94	2506,5	419,04	2257,0	2676,1	1,3069	7,3549



LAMPIRAN D
(NILAI KALOR BIOMASSA)

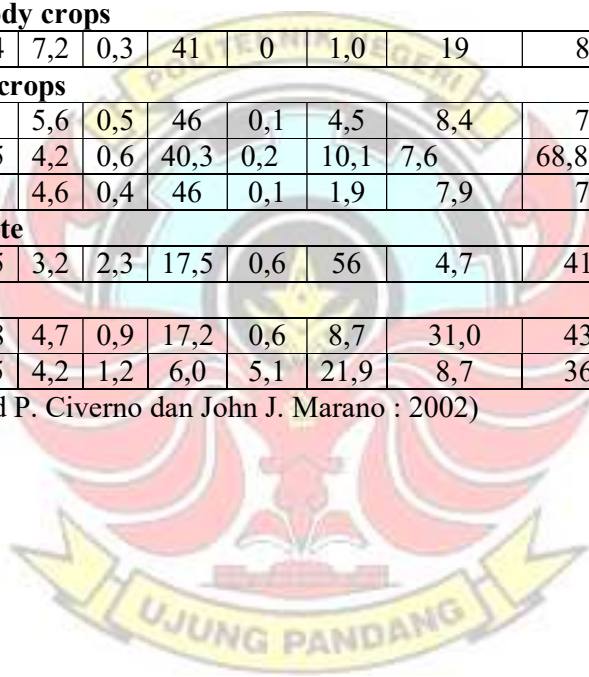


Lampiran D-1

Tabel 7. Nilai kalor dari biomassa

	Ultimate analysis (Wt %dry basis)						Proximate analysis Wt %dry basis			
	C	H	N	O	S	Ash	Moisture	Volatiles	Fixed Carbon	Heating Value HHV (MJ/Kg)
Agricultural Residues										
Sawdust	50	6,3	0,8	43	0,03	0,03	7,8	74	25,5	19,3
Bagasse	48	6,0	-	42	-	4	1	80	15	17
Corn cob	49	5,4	0,4	44,6	-	1	5,8	76,5	15	17
Short Rotation Woody crops										
Beech wood	50,4	7,2	0,3	41	0	1,0	19	85	14	18,4
Herbaceous energy crops										
Switchgrass	43	5,6	0,5	46	0,1	4,5	8,4	73	13,5	15,4
Starw	43,5	4,2	0,6	40,3	0,2	10,1	7,6	68,8	13,5	17
Miscanthus	48	4,6	0,4	46	0,1	1,9	7,9	79	11,5	12
Municipal solid waste										
Dry sewage	20,5	3,2	2,3	17,5	0,6	56	4,7	41,6	2,3	8
Coals										
Subbituminous	67,8	4,7	0,9	17,2	0,6	8,7	31,0	43,6	47,7	24,6
Bituminous	61,5	4,2	1,2	6,0	5,1	21,9	8,7	36,1	42,0	27,0

(Sumber : Jared P. Civero dan John J. Marano : 2002)



LAMPIRAN E
(ANALISA BAHAN BAKAR)



Lampiran E-1

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

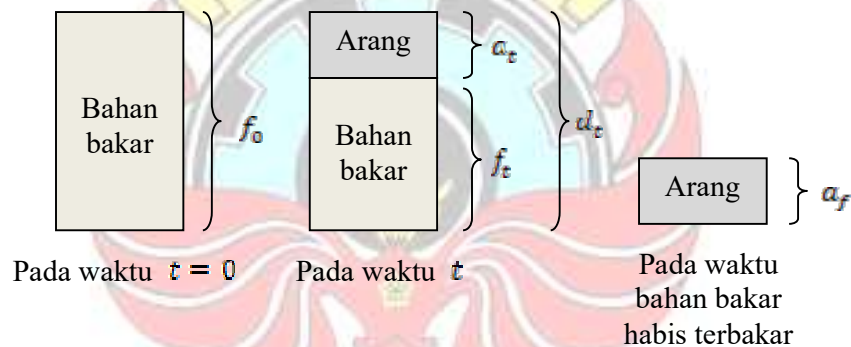
d_t = berat bahan bakar dan arang pada saat t

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,

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

The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a stylized red and white bird with its wings spread, perched on a yellow banner at the bottom that reads "UJUNG PANDANG". The background of the emblem includes a gear and a book.

LAMPIRAN F
(GAMBAR DETAIL ALAT)



LAMPIRAN G (FOTO ALAT)



Gambar 11. Alat ukur timbangan



Gambar 12. Alat ukur thermokopel dan stopwatch serta bahan penyulut



Gambar 13. Alat ukur thermokopel



Gambar 14. Seorang mahasiswa menimbang berat panic



Gambar 15 kompor sekam padi serta bahan bakar sekam padi



Gambar 16. Seorang mahasiswa memasukkan bahan bakar ke dalam reactor



Gambar 17. Reaktor telah terisi penuh bahan bakar



Gambar 18. Bahan bakar diberi kertas dibagian atas



Gambar 19. Kertas telah terbakar



Gambar 20. Sungkup dipasang dibagian atas reactor



(a)



(b)

Gambar 21. Nyala api berwarna biru



Gambar 22. Panci diletakkan diatas sungkup



Gambar 23. Mengukur temperatur air dengan menggunakan thermokopel

LAMPIRAN H (WATER BOILING 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.

WBT yang dikembangkan untuk program *Shell* HEH terdiri dari tiga tahapan yang langsung saling mengikuti satu dengan lainnya.

- 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 bakar¹ 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 performansi² kompor, pengujian ini didesain

¹ 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.

² Perhitungan langsung dari efisiensi termal yang diturunkan dari Pengujian mendidihkan air bukanlah indikator yang baik dari performansi kompor karena pengujian tersebut menghasilkan produksi uap berlebihan. Dalam kondisi memasak normal, produksi uap berlebihan 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,

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 diikutkan 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 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

kecuali jika uap diperlukan untuk proses memasak—misalnya mengukus sayuran[1], produksi uap lebihan tidak boleh digunakan untuk menaikkan indikator performansi kompor.

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 ± 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

4. 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.
5. Ukurlah setiap parameter berikut. Hasil pengukuran tersebut dicatat sekali untuk masing-masing rangkaian pengujian. Catatlah pengukurannya pada halaman 1 dari format Data dan Perhitungan.
 - d) Temperatur udara
 - e) Dimensi rata-rata kayu (panjang \times lebar \times 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).
 - f) 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.
 - g) 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.
 - h) Timbang wadah yang digunakan untuk arang.

- i) Titik didih lokal ditentukan dengan menggunakan termometer digital dan sensor yang sama dengan yang digunakan di dalam pengujian (lihat Catatan 2).
 - j) Jika anda mempunyai sebuah kamera (tidak termasuk di dalam perlengkapan standar), fotolah kompor. Jika tidak, gunakan pita ukuran untuk mencatat dimensi kompor dan gambarlah di dalam ruang yang disediakan.
6. 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).
 7. 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.

7. Persiapkan *timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.
8. 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 ~ 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).
9. 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.
10. 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).

11. 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.
12. 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:
 - d) Catat waktu pada saat air di dalam panci utama (Panci #1) pertama kali mencapai temperatur didih lokal. Catat juga temperatur ini.
 - e) 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.
 - f) 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.
 - g) Untuk kompor dengan multi panci, ukurlah temperatur air dari setiap panci (panci utama harus berada pada titik didih). Catat temperturnya pada Format Data dan Perhitungan.
 - h) Timbang setiap panci, bersama airnya. Catat beratnya pada format Data dan Perhitungan.
 - i) 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)

8. *Reset timer*, tetapi jangan mulai sampai api telah dimulai.

9. 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.
10. Nyalakan api menggunakan penyulut dan kayu dari ikatan yang diberi tanda kedua yang telah ditimbang lebih dahulu untuk tahapan pengujian ini.
11. 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.
12. Catat waktu ketika panci pertama mencapai titik didih lokalnya sebagaimana ditunjukkan pada format Data dan Perhitungan. Catat temperatur ini untuk panci pertama.
13. Setelah mencapai temperatur didihnya, dengan cepat lakukan 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!*).
14. 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

5. *Reset timer.*
6. 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

7. Selama 45 menit jagalah api pada tingkat yang menjaga temperatur air sedekat mungkin dengan 3 derajat di bawah titik didihnya.
8. Setelah 45 menit, secara cepat lakukan sebagai berikut:
 - e. 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”.
 - f. 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.
 - g. Catat temperatur akhir air pada Format Data dan Perhitungan – secara kasar tetap 3°C di bawah titik didih yang ditetapkan.
 - h. Timbang panci bersama air yang tersisa. Catat beratnya pada Format Data dan Perhitungan.
 - i. 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 kompor 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 temperturnya 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), temperturnya berosilasi 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-akurasian 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.

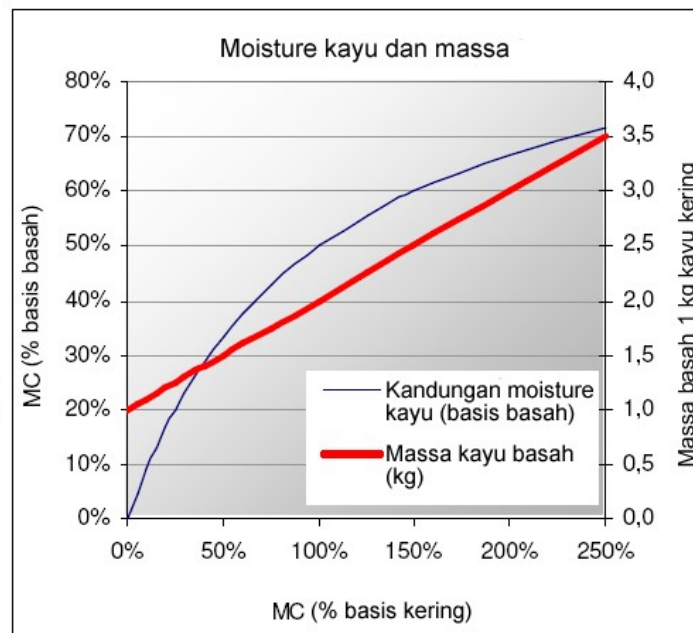
$$MC_{\text{basah}}(\%) = \frac{(Massa \text{ bahan bakar})_{\text{basah}} - (Massa \text{ bahan bakar})_{\text{kering}}}{(Massa \text{ bahan bakar})_{\text{basah}}} \times 100$$

dan

$$MC_{kering}(\%) = \frac{(Massa\ bahan\ bakar)_{basah} - (Massa\ bahan\ bakar)_{kering}}{(Massa\ bahan\ bakar)_{kering}} \times 100$$

Kedua kandungan *moisture* tersebut dihubungkan dengan cara:

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



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 kesalahan³. *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)

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

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.

5. **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.

³ 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 (sebagaimana 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.

Pengujian Performansi Kompor

Pengujian performansi kompor terbentang dari pengujian pendidihan air yang didasarkan pada laboratorium dan pengujian memasak sampai penelitian kualitatif dan kuantitatif kompor pengguna di lapangan. Terdapat keunggulan dan kelemahan pada kedua jenis pengujian. Pengujian yang didasarkan pada laboratorium lebih cocok pada tahap awal pengembangan kompor untuk membandingkan berbagai aspek teknis desain kompor. Sebagai contoh, Baldwin menyarankan pengujian yang didasarkan pada laboratorium untuk membandingkan dan mengoptimalkan dimensi dan detail desain berbeda lainnya dari kompor. Pengujian yang didasarkan pada laboratorium juga lebih cocok jika membandingkan kompor yang digunakan di daerah-daerah berbeda di dunia. Terdapat sangat banyak variasi dalam praktek memasak, bahan bakar, dan lingkungan rumah tangga di seluruh daerah-daerah berkembang di dunia yang membuat perbandingan kompor nyata di dapur orang-orang sangat sulit. Pengujian yang didasarkan pada laboratorium untuk menampung banyak aspek pengujian performansi kompor yang menghilangkan variabilitas dalam faktor-faktor yang bisa mempengaruhi performansi kompor selain dari karakteristik fisik kompor itu sendiri.

Untuk menampung berbagai aspek pengujian performansi kompor yang dihadapi perancang kompor yang diperbaiki, protokol yang dijelaskan di dalam pedoman ini memasukkan kedua jenis pengujian yang didasarkan pada laboratorium demikian pula pengujian lapangan. Pengujian laboratorium memasukkan versi Pengujian mendidihkan air (Water Boiling Test, WBT) milik VITA yang dimodifikasi dan demikian pula Pengujian Memasak Terkontrol (Controlled Cooking Test, CCT). Pengujian lapangan memasukkan dua penelitian kualitatif: pertama membantu perancang proyek untuk menilai praktek memasak rumah tangga sebelum memperkenalkan kompor yang diperbaiki dan lainnya memberikan kepada mereka data 3–6 bulan setelah kompor diperkenalkan ke keluarga-keluarga. Pengujian lapangan juga memasukkan prosedur untuk membandingkan konsumsi bahan bakar di dalam rumah tangga dengan menggunakan jenis kompor berbeda. Pengujian ini kritis jika perancang proyek ingin membuat penegasan pembenaran tentang pengaruh nyata pada konsumsi bahan bakar yang dihasilkan dari kompor yang mereka promosikan. Penegasan tersebut tidak boleh didasarkan pada pengujian yang didasarkan pada pengujian laboratorium saja.

Walaupun pengujian laboratorium memungkinkan pengembang kompor dapat membedakan kompor yang didesain dengan baik dan tidak, akan tetapi pengujian tersebut memberikan sedikit petunjuk bagaimana kompor digunakan secara nyata oleh orang-orang yang dituju proyek kompor. Untuk mengetahui jika proyek kompor memiliki pengaruh nyata yang diinginkan (apakah penghematan bahan bakar, pengurangan asap, atau keduanya), kompor harus diukur dalam kondisi penggunaan nyata.

Dua Program Utama Kompor dan Manfaat Pengujian Performansi Kompor

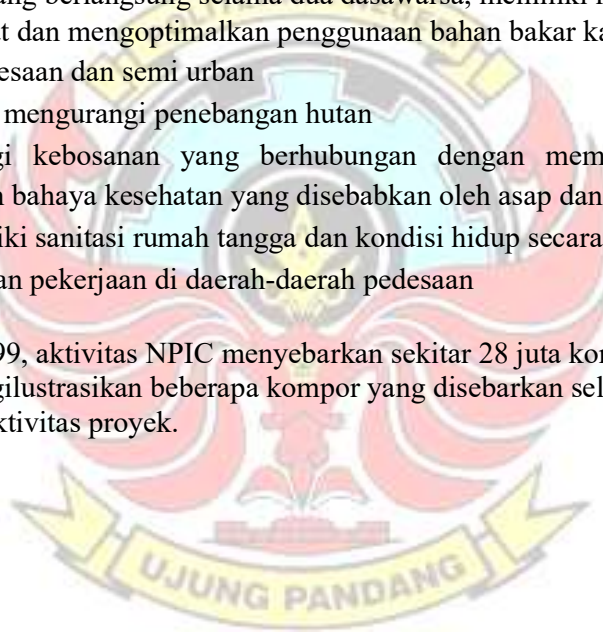
Di samping pengujian yang diperkenalkan oleh VITA dan yang diuraikan oleh Baldwin, upaya berskala besar lainnya dilakukan untuk menilai perbaikan performansi kompor dan program kompor. Dua upaya yang paling utama adalah upaya yang dilakukan selama 20 tahun lalu di India dan Cina. Bersamaan dengan itu, program tersebut mewakili yang terbanyak dari kompor yang diperbaiki yang diperkenalkan secara global: mendekati sekitar 200 juta kompor yang dinilai di antaranya. Program tersebut mengalami beberapa perubahan sejak kemunculannya di awal tahun 1980-an. Tinjauan lengkap dari program tersebut di luar cakupan dokumen ini, tetapi tinjauan singkat dari masing-masing program tersebut diberikan di bawah, dengan meninjau pada metode pemantauan performansi kompor yang digunakan. Referensinya juga diberikan untuk membaca lebih lanjut.

India's National Improved Chula Program (NPIC)

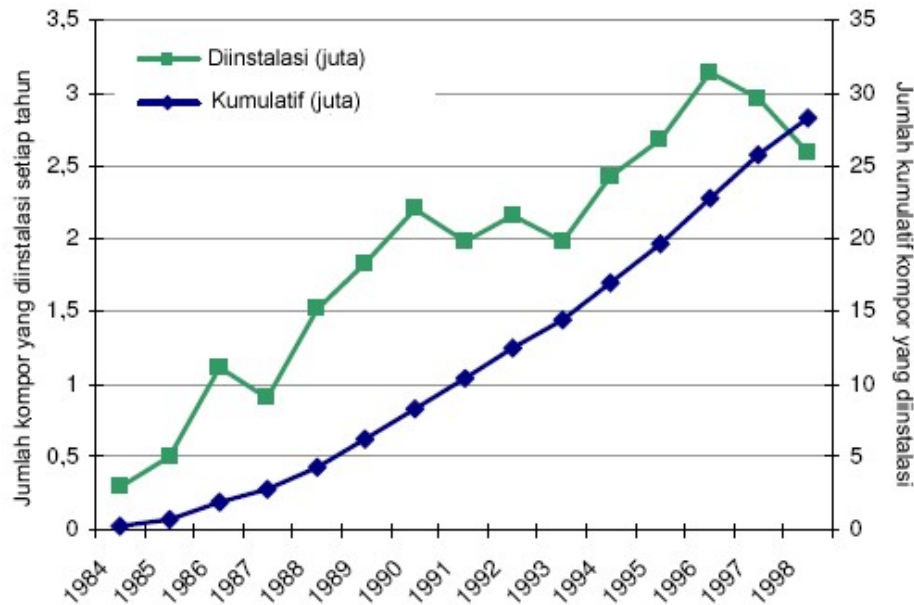
Program ini, yang berlangsung selama dua dasawarsa, memiliki lima tujuan:

- Menghemat dan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar kayu, khususnya di daerah pedesaan dan semi urban
- Membantu mengurangi penebangan hutan
- Mengurangi kebosanan yang berhubungan dengan memasak, khususnya wanita, dan bahaya kesehatan yang disebabkan oleh asap dan panas di dapur
- Memperbaiki sanitasi rumah tangga dan kondisi hidup secara umum
- Menciptakan pekerjaan di daerah-daerah pedesaan

Pada tahun 1999, aktivitas NPIC menyebarkan sekitar 28 juta kompor [4]. Grafik di bawah mengilustrasikan beberapa kompor yang disebarkan selama 15 tahun pertama dari aktivitas proyek.



Kompor yang diinstalasi dalam Program NPIC India: 1983 - 1998



Berdasarkan data dari [4]

Meskipun berkesan, NPIC dianggap tidak sukses sepenuhnya. Pertama, data kumulatif menyembunyikan kenyataan bahwa kebanyakan kompor umurnya terbatas - yang biasanya tidak lebih dari dua tahun - sehingga jumlah total kompor yang digunakan pada tahun 1998 sebenarnya sebahagian kecil dari jumlah kumulatif yang diperlihatkan di dalam grafik tersebut. Beberapa faktor lainnya juga memberi kontribusi pada program NPIC. Faktor-faktor tersebut diringkaskan di dalam bagian berikut, yang diambil dari laporan World Bank yang baru dalam *India's experience with cookstoves in the context of indoor air pollution reduction*:

Pada awal program diasumsikan bahwa jika kompor yang diperbaiki dihadiahkan ke orang, dengan cepat mereka akan memakai dan cenderung mengganggu program yang menopang dirinya sendiri. Seringkali ini tidak terjadi karena beberapa alasan. Alasan yang pertama adalah energi efisien yang dicapai di laboratorium tidak berubah menjadi efisiensi serupa yang diperoleh di rumah-rumah di pedesaan. Alasan lainnya bersandar pada kegagalan nyata mengidentifikasi pasar untuk kompor yang diperbaiki; sebagai contoh, beberapa program memperkenalkan kompor ke daerah-daerah yang orang-orangnya tidak membeli baik kompor tradisional maupun bahan bakar kayu, sehingga sedikit penghargaan pada efisiensi yang diperoleh. Keuntungan kesehatan dari kompor yang diperbaiki tidak diiklankan dengan baik. Akhirnya, harga dari kompor yang diperbaiki menjadi penghambat yang nyata terhadap penggunaan, khususnya di daerah-daerah yang sangat sedikit uang dikeluarkan untuk kompor atau bahan bakar [5].

Meskipun setiap masalah tersebut memberikan hambatan yang berarti untuk perancang proyek kompor, masalah yang menghubungkan efisiensi berdasarkan laboratorium dengan konsumsi bahan bakar aktual di rumah-rumah di pedesaan yang paling berhubungan dengan ide-ide yang diberikan di dalam dokumen ini. Persoalan ini akan dibahas lebih detail di bawah.

Tabel 1 Perbandingan konsumsi bahan bakar dalam Chulhas yang diperbaiki dan tradisional di tiga negara bagian India

	Chulha yang diperbaiki		Chulha tradisional		Persen penghematan chulha yang diperbaiki terhadap chulha tradisional
	Jumlah rumah tangga	Konsumsi kayu kg/hari/kompor ^a	Jumlah rumah tangga	Konsumsi kayu kg/hari/kompor ^a	
Tamil Nadu					
Manachai	14	5,99	8	5,34	-12
Muthupattai	10	7,27	10	4,77	-62
Rajasthan					
Motuka	11	7,2	12	5,91	-22
Bengal Barat					
Golti	14	9,34	14	11,65	19,8
Iswarigacha	15	7,34	13	7,83	6,3
<i>Rata-rata</i>					-14

Dari [4]

^aDengan asumsi enam orang per keluarga, satu chulha per keluarga dan nilai kalor sebesar 17,6 MJ/kg untuk kayu

Laporan NPIC menegaskan bahwa konsumsi bahan bakar kayu setiap kompor berkurang sebesar 30-40% relatif terhadap kompor tradisional chulha, yang mewakili secara kasar 700 kg bahan bakar kayu keluarga per tahun [6]. World Bank melaporkan penghematan yang lebih rendah sebesar 19-23% relatif terhadap kompor-kompor tradisional. Kishore dan Ramana juga melaporkan perbaikan yang lebih kecil. Mereka memuji satu studi yang memperoleh penghematan sekitar 35 kg bahan bakar kayu per tahun dan selain itu diperoleh pertambahan neto konsumsi bahan bakar secara aktual. Hasil dari studi tersebut ditunjukkan di dalam Tabel 1 di bawah. Data tersebut adalah hasil dari penelitian konsumsi bahan bakar yang mengikuti protokol pengujian performansi dapur VITA [2, 4]. Hasilnya memperlihatkan bahwa dalam beberapa hal, kompor NPIC mengonsumsi lebih banyak bahan bakar dari kompor tradisional Chula yang mereka ganti.

Kishore dan Ramana meninjau performansi kompor NPIC didasarkan pada pengujian lapangan, tetapi program NPIC itu sendiri mendasarkan penilaian performansi kompornya sebahagian besar pada pengujian “efisiensi termal”. Efisiensi termal didefinisikan sebagai “rasio dari panas sebenarnya yang dimanfaatkan terhadap panas yang dihasilkan secara teoritis oleh pembakaran

sempurna dari jumlah bahan bakar tertentu,” [6, hal. 96]. Untuk memberi syarat yang masuk di dalam NPIC, chulhas yang diperbaiki harus memiliki efisiensi minimum sebesar 20% untuk kompor tanah yang tetap dan 25% untuk kompor logam yang dapat dipindah-pindahkan. Pengujian yang didasarkan pada laboratorium yang digunakan pada dasarnya berbeda dengan WBT yang dirancang oleh VITA dan diberikan di bawah dengan sedikit perubahan. Lihat [6, Annex 2] untuk deskripsi lengkap prosedurnya.

NPIC dilanjutkan sampai tahun 2002, ketika pemerintah India menyerahkan wewenang ke tingkat Negara bagian sehingga masing-masing negara bagian di India bertanggung jawab menerapkan program kompor yang diperbaiki. Apalagi, di tahun terakhir, banyak perwakilan yang non-pemerintahan terlibat di dalam pengembangan dan sosialisasi kompor, dalam bentuk kerja sama.

The Chinese National Improved Stove Program (CNISP)

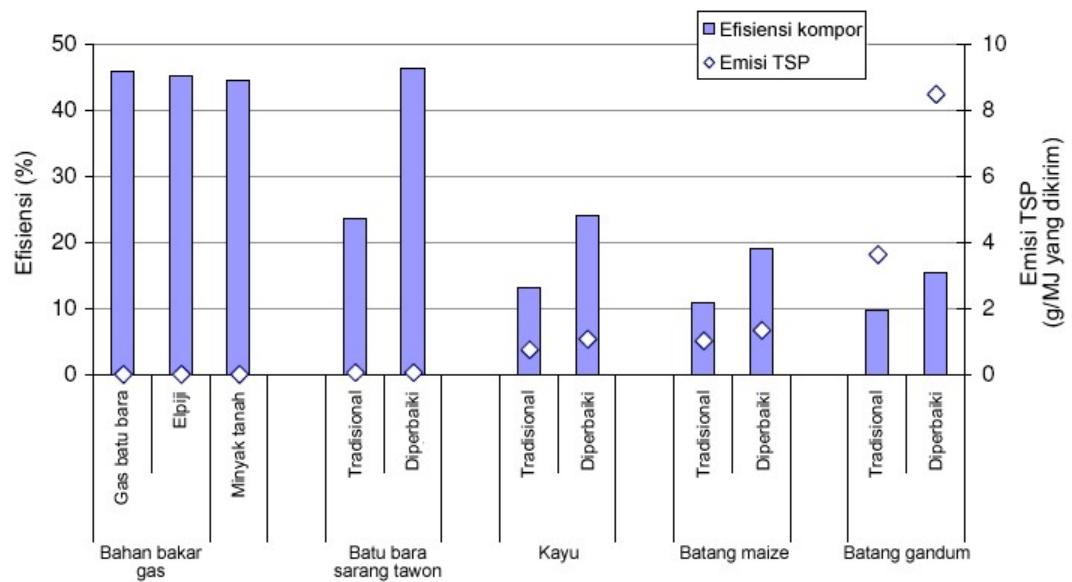
Cina menjalankan program kompor yang diperbaiki yang paling luas di dunia. Pada kemunculannya antara tahun 1983 dan 1998, secara kasar 185 juta kompor yang tersebar di Cina [7]. Sebagaimana NPIC India, CNISP awalnya bertujuan untuk menghemat bahan bakar biomassa dan mengurangi waktu dan usaha anggota rumah tangga untuk memenuhi kebutuhan energinya sendiri⁴. Akibat skalanya curam dan tingkat perubahan sosial dan ekonomi Cina yang dialami sejak program tersebut berjalan, pengaruh kuat yang dimiliki CNISP adalah sulitnya menilai ketidaktergantungan perubahan lainnya di pedesaan Cina. Konsumsi bahan bakar biomassa di beberapa daerah pedesaan berkurang, tetapi ini berhubungan dengan pengalihan bahan bakar bukannya memperoleh efisiensi energi. Beberapa keluarga di pedesaan mulai menggunakan batu bara, listrik, atau bahan bakar lainnya di samping biofuel, yang mungkin menyebabkan konsumsi biofuel berkurang tanpa memandang jenis kompor yang digunakan.

Sebagaimana yang dinyatakan Smith 10 tahun lalu, informasi menyangkut aspek kuantitatif kompor Cina yang diperbaiki tidak tersedia secara luas [8]. Data tentang performansi kompor yang disebarkan melalui CNISP tidak dipublikasikan secara luas. Zhang dan rekan-rekannya menguji emisi dan efisiensi dari 28 kombinasi bahan bakar dan kompor di Cina. Mereka melaporkan efisiensi rata-rata berdasarkan laboratorium yang didapatkan dari 3 pengulangan versi WBT VITA yang dimodifikasi [9]. Contoh hasilnya yang dituliskan kembali di bawah di dalam grafik di bawah memperlihatkan empat pasang kompor Cina tradisional dan yang diperbaiki masing-masing menggunakan bahan bakar padat yang berbeda: batu bara, kayu, tangkai jagung dan tangkai gandum. Tiga bahan bakar fosil pilihan juga dimasukkan untuk perbandingan. Tampak efisiensi yang ditentukan dengan WBT yang dimodifikasi lebih tinggi untuk kompor yang diperbaiki. Akan tetapi, kompor biomassa yang diuji sangat kurang efisien dari

⁴ Seorang ahli menyampaikan bahwa di samping tujuan penghematan biofuel dan mengurangi beban kerja rumah tangga di pedesaan, program kompor Cina juga menjadi upaya yang digerakkan oleh negara untuk memodernisasikan konsumsi biofuel untuk mengurangi dan/atau menunda tumbuhnya permintaan akan bahan bakar fosil antar penduduk pedesaan Cina [8].

bahan bakar fosil cair dan gas. Hasil menarik lainnya menyangkut dampak kesehatan dari kompor; biofuel yang digunakan di dalam kompor yang diperbaiki tampak menghasilkan emisi unsur pokok partikulasi yang lebih tinggi (diukur sebagai total partikel-partikel diam atau *Total Suspended Particulates*, TSP). Semua kompor yang diuji mempunyai cerobong asap, sehingga pertambahan TSP tidak perlu perhatian sepanjang cerobong asapnya berfungsi dengan baik, akan tetapi diperlihatkan bahwa efisiensi menyeluruh kompor yang diperbaiki tersebut yang lebih tinggi mungkin tercapai dengan mengorbankan efisiensi pembakaran.

Kompor Cina: Efisiensi (WBT) dan Emisi TSP



Berdasarkan data dari [9]

Akan tetapi, sulit memprediksi konsumsi bahan bakar keluarga-keluarga di pedesaan dalam kondisi memasak nyata semata-mata hanya melalui hasil efisiensi energi yang ditentukan melalui WBT. Sayangnya, beberapa laporan tentang konsumsi bahan bakar aktual kompor yang diperbaiki di Cina dipublikasikan di luar Cina. Penulis akan menerima dengan senang hati semua informasi menyangkut performansi lapangan dari kompor Cina yang diperbaiki.

Penjelasan Perhitungan yang Digunakan dalam WBT

WBT terdiri dari tiga tahapan: tahapan daya tinggi dengan start dingin, tahapan daya tinggi dengan start panas, dan tahapan daya rendah (*simmer*). Masing-masing tahapan menyangkut suatu rangkaian pengukuran dan perhitungan. Perhitungan untuk pengujian satu panci dijelaskan di bawah. Untuk kompor yang memuat lebih dari satu panci, perhitungannya akan diatur untuk menghitung masing-masing panci. Pengaturan tersebut dijelaskan di bawah.

Variabel-variabel yang konstan di seluruh masing-masing tahapan pengujian

HHV	Nilai kalor gross (kayu kering)	(MJ/kg)
LHV	Nilai kalor neto (kayu kering)	(MJ/kg)
m	Kandungan <i>moisture</i> kayu (% - basis basah)	
c_{eff}	Nilai kalor efektif (memperhitungkan kandungan <i>moisture</i> kayu)	
P	Berat kering panci kosong	(gram)
k	Berat wadah arang kosong	(gram)
T_b	Titik didih local air	(°C)

Penjelasan Variabel

HHV – Nilai pemanasan atas (*Higher heating value*, yang juga disebut nilai kalor gross). Ini adalah jumlah energi maksimum teoritis yang dapat diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang bebas *moisture* jika terbakar secara sempurna dan produk-produk pembakarannya didinginkan ke temperatur ruangan sehingga air yang dihasilkan oleh reaksi bahan bakar yang dibatasi hidrogen terkondensasi ke fase cair.

LHV – Nilai pemanasan bawah (*Lower heating value*, yang juga disebut nilai pemanasan neto). Ini adalah jumlah energi maksimum teoritis yang dapat diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang bebas *moisture* jika terbakar sempurna dan produk-produk pembakarannya didinginkan ke temperatur ruangan tetapi air yang dihasilkan oleh reaksi bahan bakar yang dibatasi hidrogen tetap dalam fase gas. Untuk bahan bakar kayu, perbedaan **LHV** dengan **HHV**-nya biasanya sekitar 1,32 MJ/kg⁵.

m – Ini adalah persentase kandungan *moisture* menurut basisi basah, yang didefinisikan oleh rumus berikut:

$$m = \frac{(\text{massa bahan bakar basah}) - (\text{massa bahan bakar kering})}{\text{massa bahan bakar basah}} \times 100$$

Ini dapat ditentukan secara *gravimetrik* (dengan menimbang sampel bahan bakar basah, mengeringkan sampel, dan menimbanginya kembali) atau menggunakan meteran *moisture* kayu (lihat deskripsi prosedur pengujian).

Jika meteran *moisture* Delmhorst J-2000 yang digunakan dalam pengujian ini untuk mengukur kandungan *moisture* kayu, berhati-hatilah karena hasilnya adalah kandungan *moisture* menurut basis kering. Untuk menggunakan **m** dalam analisis berikut, output dari alat ukur harus diubah ke kandungan *moisture* menurut basis basah. Basisi kering harus diubah ke basis basah dengan menggunakan persamaan berikut:

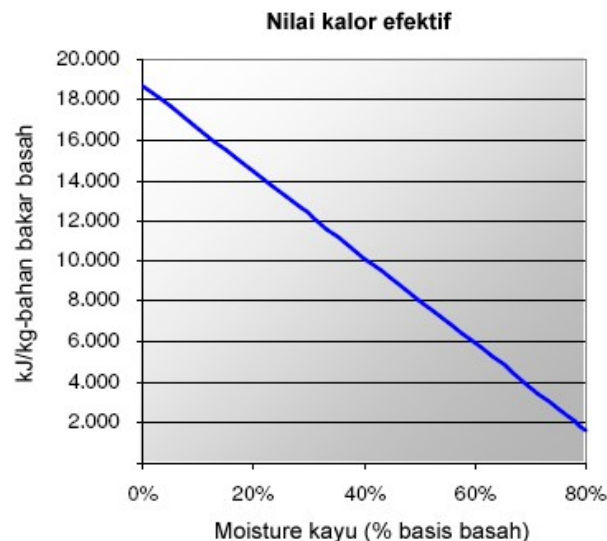
⁵ Kayu kering biasanya terdiri dari 6% hidrogen menurut massa. Jadi, satu kg kayu kering mengandung 60 g hidrogen, yang bereaksi membentuk 540 g H₂O. Perbedaan entalpi antara fase cair dan gas 540 g air pada temperatur ruangan secara kasar 1,32 MJ, sehingga untuk sampel kayu bebas *moisture* tertentu, HHV dan LHV-nya berbeda sebesar 1,32 MJ. Dalam Baldwin (1986), perbedaan antara HHV dan LHV diberikan sebesar 1,39 MJ/kg, tetapi ini berlaku untuk uap air pada 100°C, yang bukan cara mendefinisikan LHV [3, hal. 55].

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

c_{eff} – Ini adalah nilai kalor efektif bahan bakar, yang memperhitungkan energi yang dibutuhkan untuk memanaskan dan menguapkan *moisture* yang ada. Ini dihitung dengan cara berikut:

$$c_{\text{eff}} = \frac{LHV \times (m_{\text{bb, kering}}) - (massa \text{ air di dalam bahan bakar}) \times (80 \times 4,186 + 2260)}{m_{\text{bb, basah}}}$$

dengan m_{bb} adalah massa bahan bakar dan 80°C mewakili perubahan dari temperatur sekeliling ke titik didih air; 4,186 kJ/(kg · °C) adalah kapasitas panas spesifik air, dan 2260 kJ/kg adalah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan satu kilogram air. Grafik di bawah memperlihatkan c_{eff} sebagai fungsi dari kandungan *moisture* kayu (basis basah) dengan mengasumsikan *HHV* sebesar 20.000 kJ/kg (*LHV* sebesar 18.680 kJ/kg), untuk nilai yang umum untuk kayu. Perlu dicatat bahwa pada *moisture* 50%, yang tidak umum untuk potongan kayu segar (hijau) di dalam iklim lembab, kandungan energi efektif bahan bakar berkurang lebih dari setengah.



P – Ini adalah berat dari panci kosong. Untuk kompor dengan multi panci, ini diikuti dengan nomor indeks 1 – 4.

k – Ini adalah berat wadah arang yang digunakan untuk menampung arang jika dikeluarkan dari kompor dan ditimbang.

T_b – Ini adalah titik didih lokal air, yang harus ditentukan secara empirik yang memperhitungkan perubahan-perubahan akibat ketinggian tempat dari permukaan air laut.

Pengujian Daya Tinggi (Start Dingin)

Variabel-variabel yang diukur secara langsung

f_{ci}	Berat bahan bakar sebelum pengujian	(gram)
P_{ci}	Berat panci dan air sebelum pengujian	(gram)
T_{ci}	Temperatur air sebelum pengujian	(°C)
t_{ci}	Waktu pada saat pengujian mulai	(menit)
f_{cf}	Berat kayu setelah pengujian	(gram)
c_c	Berat arang dan wadah setelah pengujian	(gram)
P_{cf}	Berat panci dan air setelah pengujian	(gram)
T_{cf}	Temperatur air setelah pengujian	(°C)
t_{cf}	Waktu pada saat pengujian selesai	(menit)

Variabel-variabel yang dihitung

f_{cm}	Kayu yang dikonsumsi, basah	(gram)
Δc_c	Perubahan arang selama tahapan pengujian	(gram)
f_{cd}	Ekuivalen kayu kering yang dikonsumsi	(gram)
w_{cu}	Air yang diuapkan	(gram)
w_{cr}	Air yang tersisa pada akhir pengujian	(gram)
Δt_c	Durasi dari tahapan	(menit)
η_c	Efisiensi termal	
r_{cb}	Laju pembakaran	(gram/menit)
SC_c	Konsumsi bahan bakar spesifik	(gram kayu/gram air)
SC_h^T	Konsumsi spesifik terkoreksi temperature	(gram kayu/gram air)
FP_c	Daya api	(W)

Penjelasan Perhitungan

f_{cm} – Kayu yang dikonsumsi (basah): Ini adalah massa kayu yang telah digunakan untuk mendidihkan air yang diketahui dengan mengambil perbedaan dari ikat kayu yang telah ditimbang sebelumnya dan kayu yang tersisa pada akhir tahapan pengujian:

$$f_{cm} = f_{cf} - f_{ci}$$

Δc_c – Perubahan neto arang selama tahapan pengujian: Ini adalah massa arang yang terbentuk selama pengujian yang diketahui dengan mengeluarkan arang dari kompor pada akhir tahapan pengujian. Karena sangat panas, arang dimasukkan ke dalam wadah kosong yang telah ditimbang sebelumnya dengan massa k (yang

disediakan oleh si penguji) dan menimbang arang bersama wadah tersebut, kemudian memperkurangkan kedua massa tersebut.

$$\Delta c_c = c_c - k$$

f_{cd} – Ekuivalen kayu kering yang dikonsumsi: Ini adalah perhitungan yang mengatur jumlah kayu yang telah dibakar untuk memperhitungkan dua faktor: (1) energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture* di dalam kayu dan (2) jumlah arang yang tetap tidak terbakar. Perhitungannya dilakukan dengan cara berikut:

$$f_{cd} = (1 - 1,12 \cdot m) \cdot f_{cm} - 1,5 \cdot \Delta c_c$$

Faktor sebesar $(1 - 1,12 \cdot m)$ mengatur massa dari kayu yang terbakar melalui jumlah kayu yang diperlukan untuk memanaskan dan menguapkan $(m \cdot f_{cm})$ gram air. Diambil secara kasar 2260 kJ untuk menguapkan satu kilogram air, yang secara kasar 12% dari nilai kalornya untuk mengeringkan kayu. Jadi jika kayu mengandung $m\%$ *moisture*, massa kayu yang dapat memanaskan air secara efektif di dalam panci berkurang secara kasar sebesar $(1 - 1,12 \cdot m)$ karena air harus mendidih (lihat [3] untuk pembahasan selanjutnya).

Faktor sebesar $(1,5 \cdot \Delta c_c)$ memperhitungkan kayu yang diubah menjadi arang yang tidak terbakar. Secara kasar arang memiliki 150% kandungan kalor kayu, jadi jumlah kayu yang memanaskan air di dalam panci diatur melalui $(1,5 \cdot \Delta c_c)$ untuk memperhitungkan arang yang tersisa. Catatan, dalam tahapan *simmer* memungkinkan terdapatnya kehilangan neto jumlah arang sebelum dan setelah pengujian, yang dalam hal itu Δc menjadi negatif dan ekuivalen kayu kering menjadi bertambah bukannya berkurang.

w_{ev} – Air yang diuapkan: Ini adalah ukuran jumlah air yang hilang melalui penguapan selama pengujian. Ini dihitung cukup dengan mengurangkan berat awal panci dan air minus berat akhir panci dan air.

$$w_{ev} = P_{ai} - P_{af}$$

w_{er} – Air yang tersisa pada akhir pengujian: Ini adalah ukuran jumlah air yang dipanaskan untuk mendidih. Yang dihitung cukup dengan mengurangkan berat akhir panci dan air minus berat panci.

$$w_{er} = P_{af} - P$$

Δt_c – Waktu untuk mendidih panci #1: Ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian, yang merupakan perbedaan waktu:

$$\Delta t_c = t_{vf} - t_{vi}$$

Δt_c^T – Waktu mendidih terkoreksi temperature panci #1: Ini sama dengan di atas, tetapi hasilnya diatur ke perubahan temperatur standar 75°C (dari 25°C ke 100°C). Pengaturan ini menstandarisasi hasil dan memudahkan membandingkan antara pengujian yang mungkin menggunakan temperatur awal air lebih tinggi atau lebih rendah.

$$\Delta t_c^T = (t_{cf} - t_{ci}) \times \frac{75}{(T_{cf} - T_{ci})}$$

η_c – Efisiensi termal: Ini adalah rasio dari kerja yang dilakukan oleh pemanasan dan penguapan air terhadap energi yang dikonsumsi oleh kayu yang dibakar. Ini dihitung dengan cara berikut.

$$\eta_c = \frac{(4,186) \cdot (P_{ci} - P) \cdot (T_{cf} - T_{ci}) + 2260 \cdot w_{cv}}{f_{cd} \cdot LHV}$$

Dalam perhitungan ini, kerja yang dilakukan oleh pemanasan air ditentukan dengan menambahkan dua besaran: (1) perkalian massa air di dalam panci, $(P_{ci} - P)$, panas spesifik air $(4,186 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C})$, dan perubahan temperatur air $(T_{cf} - T_{ci})$ dan (2) perkalian dari jumlah air yang diuapkan dari panci dan panas laten penguapan air (2260 J/g) . Pembagi (bagian bawah dari rasio) ditentukan dengan menggunakan perkalian dari kayu kering yang dikonsumsi selama tahapan pengujian ini dan LHV -nya.

r_{cb} – Laju pembakaran: Ini adalah ukuran dari laju konsumsi kayu saat membawa air ke mendidih. Ini dihitung dengan membagi kayu kering ekuivalen yang dikonsumsi dengan waktu pengujian.

$$r_{cb} = \frac{f_{cd}}{t_{ci} - t_{cf}}$$

SC_c – Konsumsi bahan bakar spesifik: Konsumsi spesifik dapat didefinisikan untuk semua jenis tugas memasak dan harus dianggap “bahan bakar kayu yang diperlukan untuk menghasilkan satu satuan output” apakah output-nya adalah air yang dididihkan, buncis yang dimasak, atau roti yang dipanggang. Dalam hal WBT daya tinggi start dingin, ini adalah ukuran dari jumlah kayu yang diperlukan untuk menghasilkan satu liter (kilogram) air mendidih yang dimulai dengan kompor dingin. Ini dihitung dengan cara:

$$SC_c = \frac{f_{cd}}{P_{cf} - P}$$

SC_c^T – Konsumsi bahan bakar spesifik terkoreksi temperatur: Ini mengoreksi konsumsi spesifik yang memperhitungkan perbedaan temperatur awal air. Ini memudahkan membandingkan kompor yang diuji pada hari yang berbeda atau dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Koreksinya adalah faktor yang “menormalisasi” perubahan temperatur yang diamati di dalam kondisi pengujian

terhadap perubahan temperatur standar sebesar 75°C (dari 25°C sampai 100°C). Ini dihitung dengan cara berikut:

$$SC_e^T = \frac{f_{cd}}{P_{cf} - P} \cdot \frac{75}{T_{cf} - T_{ci}}$$

FP_e – Daya api: Ini adalah rasio dari energi kayu yang dikonsumsi oleh kompor per satuan waktu. Variabel ini menyatakan output daya rata-rata dari kompor (dalam watt) selama pengujian daya tinggi.

$$FP_e = \frac{f_{cd} \cdot LHV}{60 \cdot (t_{ci} - t_{cf})}$$

Ingat, dengan menggunakan f_{cd} dalam perhitungan ini, maka arang yang tersisa dan kandungan *moisture* kayu sudah diperhitungkan.

Pengujian Daya Tinggi (Start Panas)

Dalam pengujian ini, pengukuran dan perhitungannya identik dengan pengujian start dingin kecuali pada arang yang tersisa tidak ekstrak dan ditimbang. Cukup dengan mengubah subskrip ‘*h*’ menjadi subskrip ‘*c*’ di dalam masing-masing variable seperti dalam table di bawah. Arang yang tersisa diasumsikan sama dengan arang yang tersisa dari tahapan “start dingin”.

Variabel-variabel yang diukur secara langsung

f_{hi}	Berat bahan bakar sebelum pengujian	(gram)
P_{hi}	Berat panci dan air sebelum pengujian	(gram)
T_{hi}	Temperatur air sebelum pengujian	(°C)
t_{hi}	Waktu pada saat memulai pengujian	(menit)
f_{hf}	Berat kayu setelah pengujian	(gram)
c_h	Berat arang dan wadah setelah pengujian	(gram)
P_{hf}	Berat panci dan air setelah pengujian	(gram)
T_{hf}	Temperatur air setelah pengujian	(°C)
t_{hf}	Waktu pada akhir pengujian	(menit)

Variabel-variabel yang dihitung

f_{hm}	Kayu yang dikonsumsi, basah	(gram)
	$f_{hm} = f_{hf} - f_{hi}$	
Δc_h	Perubahan neto arang selama tahapan pengujian	(gram)
	$\Delta c_h = c_c - k$	
	(diasumsikan sama dengan start dingin)	
f_{hd}	Ekuivalen kayu kering yang dikonsumsi	(gram)

$$f_{hd} = (1 - 1,12 \cdot m) \cdot f_{hm} - 1,5 \cdot \Delta c_h$$

w_{hv} Air yang diuapkan (gram)

$$w_{hv} = P_{hi} - P_{hf}$$

w_{hr} Air yang tersisa pada akhir pengujian (gram)

$$w_{hr} = P_{hf} - P$$

Δt_h Waktu untuk mendidih panci #1 (menit)

$$\Delta t_h = t_{hf} - t_{hi}$$

Δt_h^T Waktu terkoreksi temperatur untuk mendidih panci #1 (menit)

$$\Delta t_h^T = (t_{hf} - t_{hi}) \times \frac{75}{(T_{hf} - T_{hi})}$$

η_h Efisiensi termal

$$\eta_h = \frac{(4,186) \cdot (P_{hi} - P) \cdot (T_{hf} - T_{hi}) + 2260 \cdot w_{hv}}{f_{hd} \cdot LHV}$$

r_{hb} Laju pembakaran (gram/menit)

$$r_{hb} = \frac{f_{hd}}{t_{hi} - t_{hf}}$$

SC_h Konsumsi bahan bakar spesifik kayu/gram air (gram)

$$SC_h = \frac{f_{hd}}{P_{hf} - P}$$

SC_h^T Konsumsi bahan bakar spesifik terkoreksi temperatur kayu/gram air (gram)

$$SC_h^T = \frac{f_{hd}}{P_{hf} - P} \cdot \frac{75}{T_{hf} - T_{hi}}$$

FP_h Daya api (watt)

$$FP_h = \frac{f_{hd} \cdot LHV}{60 \cdot (t_{hi} - t_{hf})}$$

Pengujian Daya Rendah (*Simmering*)

Dalam pengujian ini, pengukuran awal sama dengan pengujian daya tinggi, akan tetapi sasaran dari pengujian ini adalah menjaga air pada temperatur yang tinggi dengan output daya minimal dari kompor. Jika sasarannya berbeda, interpretasi dari perhitungannya juga berbeda dengan tahapan daya tinggi. Di samping itu, satu asumsi penting dibuat dengan menggunakan data dari pengujian daya tinggi start panas dan satu perhitungan tambahan dilakukan tidak tampak di dalam pengujian daya tinggi. Hal tersebut dijelaskan di bawah.

Asumsi yang dibuat di dalam pengujian ini didasarkan pada jumlah arang yang terbentuk jika pertama kali air mendidih. Tahapan daya rendah dimulai dengan mengulangi pengujian start panas daya tinggi, akan tetapi jika air mendidih, dengan cepat ditimbang tanpa mengganggu arang yang dengan demikian tanpa mengganggu api ditujukan untuk menjaga air beberapa derajat bawah didih selama 45 menit, akan membentuk arang yang tersisa di dalam kompor dari kayu yang digunakan untuk membawa air ke mendidih. Dengan mengeluarkan arang tersebut dari kompor, menimbanginya dan menyalakannya kembali mengganggu api dan bisa menyebabkan temperatur air jatuh terlalu jauh di bawah didih. Oleh sebab itu, prosedur yang direkomendasikan adalah mengasumsikan bahwa arang yang ada pada awal tahapan *simmer* sama dengan arang yang diukur setelah pengujian daya tinggi start dingin (Δc_g). Walaupun ini tidak seluruhnya akurat, kesalahan yang diberikan oleh asumsi ini dapat diminimumkan—khususnya jika si penguji mengikuti prosedur yang identik dalam membawa air ke didih.

Variabel-variabel yang diukur secara langsung

f_{si}	Berat bahan bakar yang tidak digunakan jika pertama kali air mendidih (gram)	
P_{si}	Berat panci dan air jika pertama kali air mendidih	(gram)
T_{si}	Temperatur air saat mendidih ($T_{si} = T_b$)	(°C)
t_{si}	Waktu pada saat memulai pengujian tahapan <i>simmer</i> (menit)	
f_{sf}	Berat kayu yang tidak terbakar yang tersisa setelah pengujian (gram)	
c_g	Berat arang dan wadah setelah pengujian	(gram)
P_{sf}	Berat panci dan air setelah pengujian	(gram)
T_{sf}	Temperatur air pada akhir pengujian	(°C)
t_{sf}	Waktu pada akhir pengujian	(menit)

Variabel-variabel yang dihitung

f_{sm}	Kayu yang dikonsumsi, basah	(gram)
$f_{sm} = f_{sf} - f_{si}$		
Δc_g	Perubahan neto arang selama tahapan pengujian	(gram)
$\Delta c_g = c_g - k - \Delta c_c$		
f_{sd}	Ekuivalen kayu kering yang dikonsumsi (gram)	
$f_{sd} = (1 - 1,12 \cdot m)f_{sm} - 1,5 \cdot \Delta c_g$		

w_{sv} Air yang diuapkan (gram)

$$w_{sv} = P_{si} - P_{sf}$$

w_{sr} Air yang tersisa pada akhir pengujian (gram)

$$w_{sr} = P_{sf} - P$$

Δt_s Durasi tahapan (menit)

$$\Delta t_s = t_{sf} - t_{si}$$

η_s Efisiensi termal

$$\eta_s = \frac{(4,186) \cdot (P_{si} - P) \cdot (T_{sf} - T_{si}) + 2260 \cdot w_{sv}}{f_{sd} \cdot LHV}$$

r_{sb} Laju pembakaran (gram/menit)

$$r_{sb} = \frac{f_{sd}}{t_{si} - t_{sf}}$$

SC_s Konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/gram air)

$$SC_s = \frac{f_{sd}}{P_{sf} - P}$$

FP_s Daya api (watt)

$$FP_s = \frac{f_{sd} \cdot LHV}{60 \cdot (t_{si} - t_{sf})}$$

TDR Rasio turndown

$$TDR = \frac{FP_h}{FP_s}$$

Tidak ada konsumsi spesifik terkoreksi temperatur di dalam tahapan *simmer* karena pengujian dimulai pada T_b dan perubahan temperatur dibatasi ke beberapa derajat. Penting untuk diingat bahwa sasaran bagian pengujian ini adalah untuk menjaga air pada temperatur sedikit di bawah didih, dan interpretasinya disesuaikan. Sedangkan konsumsi spesifik dalam pengujian daya tinggi (SC_c dan SC_h) menunjukkan massa bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu liter (atau kilogram) air mendidih, konsumsi spesifik dalam tahapan *simmer* (SC_s) menunjukkan massa kayu yang diperlukan untuk menjaga setiap liter (atau kilogram) air tiga derajat di bawah temperatur mendidih. Hal tersebut tidak secara langsung sebanding, tetapi hanya menunjukkan dua perbedaan pengukuran dari performansi kompor. Hal yang sama berlaku untuk indikator-indikator lainnya, seperti laju pembakaran dan daya api.

Juga penting untuk dinyatakan bahwa dengan hanya bersandar pada efisiensi termal cenderung menyesatkan hasil, khususnya dalam tahapan *simmer*. Karena efisiensi termal memperhitungkan panas *sensibel* demikian pula kehilangan penguapan, maka efisiensi termal tersebut memperhitungkan bangkitan uap. Dalam kondisi memasak kebanyakan, produksi uap lebih tidak mengurangi waktu memasak, jika temperatur di dalam panci dibuat tetap pada titik didih. Jadi,

dengan menghasilkan uap lebih, walaupun hal itu mencerminkan energi kayu yang dipindahkan ke panci memasak, tetapi bukanlah menjadi indikator yang baik dari performansi kompor. Sebagaimana disebutkan pada bagian sebelumnya, ingin ditegaskan ulang peran yang dimainkan efisiensi termal di dalam pembahasan performansi kompor dan menekankan indikator lainnya yang lebih informatif seperti laju pembakaran dan konsumsi spesifik pada daya tinggi dan rendah, dan rasio *turn-down*, yang menunjukkan tingkat yang dengannya output daya dari kompor dapat dikontrol oleh pengguna.

WBT ini bisa dilakukan dengan beberapa kombinasi kompor dan bahan bakar yang berbeda, termasuk kompor yang membakar bahan bakar cair dan gas, demikian pula bahan bakar padat seperti batu bara, arang, residu-residu panen dan kotoran hewan. Akan tetapi, jika bahan bakar yang digunakan bukan kayu maka ada beberapa faktor khusus yang dipertimbangkan jika mengisi format masukan data dan perhitungan. Hal tersebut dibahas di bawah untuk masing-masing bahan bakar.

Bahan Bakar Cair dan Gas

Jika digunakan bahan bakar cair dan/atau gas, prosedurnya disingkat karena tidak ada arang maupun abu yang diukur. Selain itu, beberapa kompor berbahan bakar cair dan gas cukup kecil untuk diukur langsung di atas timbangan, sehingga konsumsi bahan bakar langsung dapat diketahui. Akan tetapi, jika kompornya terlalu besar untuk ditempatkan di atas timbangan, maka konsumsi bahan bakar bisa sulit ditaksir. Dengan cara yang sama, jika sumber gas berasal dari pipa, maka meteran aliran dibutuhkan untuk mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Di samping itu, si penguji harus mengetahui nilai kalor bahan bakar. Untuk bahan bakar fosil, ini berbeda-beda bergantung pada campuran distilasi yang digunakan. Beberapa nilai kalor yang dilaporkan di dalam literatur diberikan di bawah, tetapi disarankan si penguji menggunakan nilai lokalnya jika memungkinkan.

Bahan bakar	Nilai kalor (MJ/kg)	Sumber
Kerosin	43,3	Zhang et al., 2000
	43,6	IEA, 2005
	43,1	Smith et al., 2001
Elpiji	49,0	Zhang et al., 2000
	47,1	IEA, 2005
	45,8	Smith et al., 2001
Gas alam	51,3	Zhang et al., 2000
Biogas	17,7	Smith et al., 2001

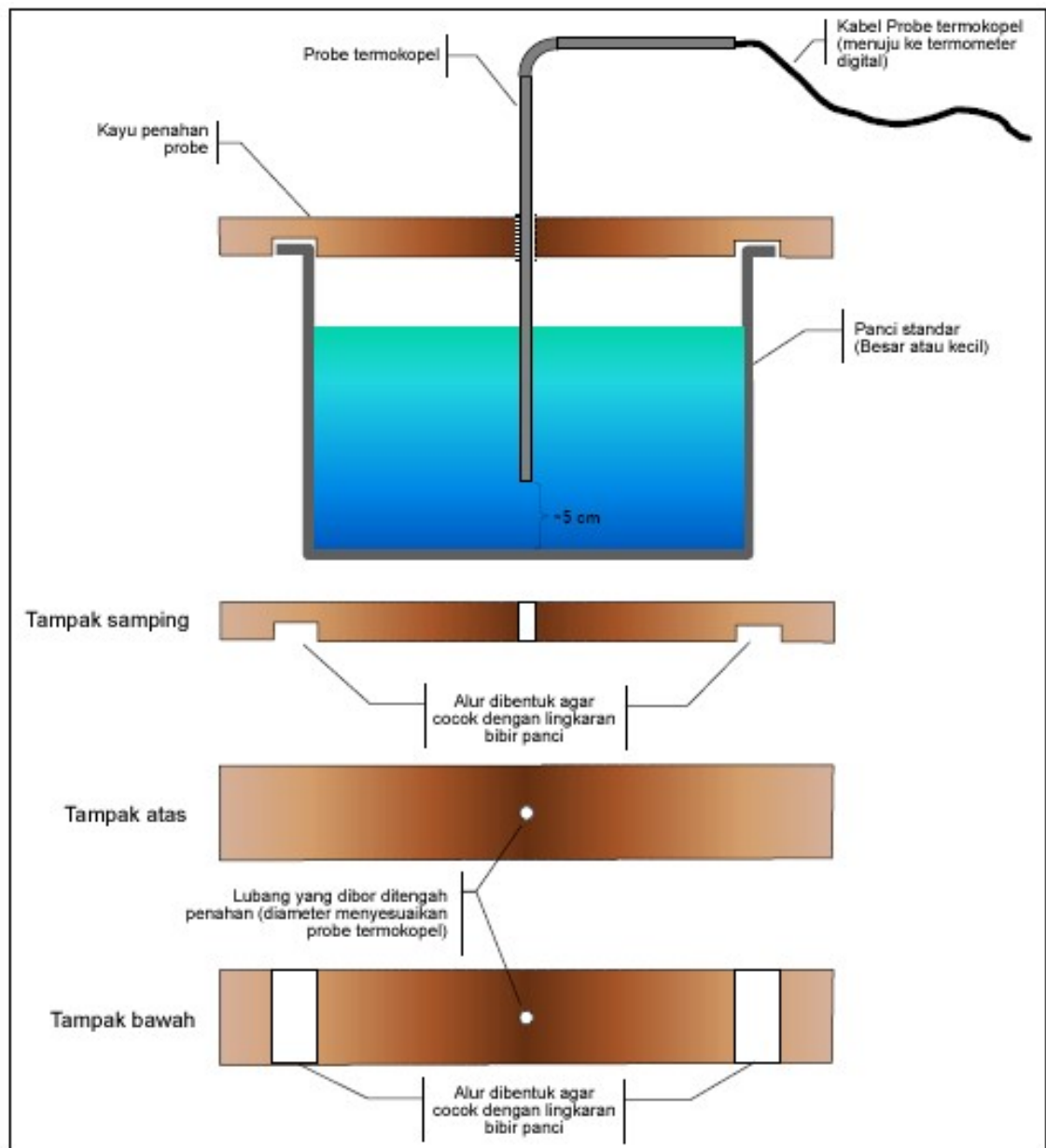
Bahan Bakar Padat Bukan Kayu

Dua kesulitan yang muncul dengan bahan bakar padat yang bukan kayu. Yang pertama yaitu meteran *moisture* yang digunakan untuk mengukur kandungan

moisture kayu tidak dapat mengukur kandungan *moisture* bahan bakar yang bukan kayu. Oleh sebab itu si penguji harus menggunakan metode oven untuk menentukan kandungan *moisture*. Yang kedua, nilai kalor bahan bakar, yang dipengaruhi oleh kandungan *moisture*, harus ditentukan. Sebagaimana pada bahan bakar cair dan gas, bahan bakar padat mempunyai rentang nilai kalor. Akan tetapi, jika mungkin, si penguji harus mencoba mengetahui nilai kalor bahan bakar tersebut melalui kalorimeter. Prosedur ini memerlukan peralatan khusus dan pelatihan⁶. Jika mungkin, si penguji memeriksanya pada universitas setempat jika fasilitas pengujian tersebut tersedia. Jika pengujian tidak dapat dilakukan secara lokal, gunakan nilai dari studi-studi sebelumnya. Beberapa nilai kalor bahan bakar bukan kayu yang dilaporkan dalam studi energi rumah tangga sebelumnya diberikan di dalam tabel di bawah dan disertakan sebagai pendukung spreadsheet Data dan Perhitungan.

Bahan bakar	Nilai kalor (MJ/kg)	Sumber
Arang	25,7 pada 1,7% MC_{basah}	Smith et al., 2001
	27,6 – 31,5 pada ~5% MC_{basah}	Pennise et al., 2002
Batang/ranting maize	16,1 pada 9,1% MC_{basah}	Zhang et al., 2000
	15,4 pada 5,0% MC_{basah}	RWEDP, 1993
Batang gandum	14,0 pada 7,3% MC_{basah}	Zhang et al., 2000
	15,4 pada 5,0% MC_{basah}	RWEDP, 1993
Batang padi	13,0 pada 8,8% MC_{basah}	Smith et al., 2001
	14,2 pada 5,0% MC_{basah}	RWEDP, 1993
Kotoran hewan	11,8 pada 7,3% MC_{basah}	Smith et al., 2001
	15,4 pada 5,0% MC_{basah}	RWEDP, 1993
Batu bara		
Cina	22,5	IEA, 2005
Cina	27,3 pada 2,1% MC_{basah}	Zhang et al., 2000
Cina (dicuci)	30,1 pada 4,7% MC_{basah}	Zhang et al., 2000
Amerika	26,2	IEA, 2005
India	18,4	IEA, 2005
Afrika Selatan	23,5	IEA, 2005

Diagram yang memperlihatkan penahan dari kayu yang menahan *probe* termokopel di dalam panci. Dimensinya tidak dapat menyesuaikan, tetapi penahan dibuat agar *probe* termokopel cocok masuk secara ketat dan penahan itu sendiri cocok terpasang dengan aman di atas panci.



WBT Modifikasi untuk Kompor dengan Multi Panci

Beberapa kompor didesain untuk memasak dengan lebih dari satu panci. Jika ini halnya, si penguji sebaiknya menggunakan jumlah panci yang dapat dimuat oleh kompor (Format Data dan Perhitungan yang disediakan sampai empat panci).

Prosedur pengujian ini tetap sama kecuali tambahan pengukuran berat dan temperatur. Di samping itu, perhitungannya sedikit dimodifikasi.

Untuk menguji kompor yang memuat banyak panci memasak, format datanya dimodifikasi (lihat file Template_for_multipot_WBT.xls). Modifikasinya mengizinkan berat dan temperatur yang dicatat sampai empat panci. Perhitungannya juga dimodifikasi untuk memasukkan pengukuran tambahan tersebut ke dalam perhitungan. Modifikasinya dijelaskan di bawah.

Pengujian Daya Tinggi

Agar sangat mendekati pengujian panci tunggal dan memastikan bahwa tugas memasak dapat diselesaikan dalam waktu yang pantas, pengujian daya tinggi dihentikan jika panci utama (panci yang terdekat dengan sumber panas) mendidih. Indikator performansi panci memperhitungkan air yang dipanasi di dalam panci-panci tambahan. Untuk menghitungnya indikator-indikator tersebut dimodifikasi dengan cara berikut.

Perhitungan yang dimodifikasi untuk memperhitungkan banyak panci dalam pengujian daya tinggi*

f_{cm}	Kayu yang dikonsumsi, basah (gram)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
Δc_e	Perubahan neto arang selama tahapan pengujian (gram)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
f_{cd}	Ekuivalen kayu kering yang dikonsumsi (gram)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
w_{ev}	Air yang diuapkan (gram)	$w_{ev} = \sum_{j=1}^4 (P_{j,ci} - P_{j,cf})$
w_{cr}	Air mendidih yang tersisa pada akhir pengujian (gram)	$w_{cr} = \sum_{j=1}^4 \left((P_{j,cf} - P_j) \cdot \left(\frac{T_{j,cf} - T_{j,ci}}{T_b - T_{j,ci}} \right) \right)$
Δt_e	Durasi tahapan (menit)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
η_e	Efisiensi termal	$\eta_e = \frac{[(4,186) \cdot \sum_{j=1}^4 (P_{j,ci} - P_j) \cdot (T_{j,cf} - T_{j,ci})] + 2260 \cdot w_{ev}}{f_{cd} \cdot LHV}$
r_{cb}	Laju pembakaran (gram/menit)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
SC_e	Konsumsi spesifik bahan bakar (gram kayu/gram air)	$SC_e = \frac{f_{cd}}{\sum_{j=1}^4 \left[(P_{j,cf} - P_j) \cdot \left(\frac{T_{j,cf} - T_{j,ci}}{T_b - T_{j,ci}} \right) \right]}$
SC_e^T	Konsumsi spesifik terkoreksi temperatur (gram kayu/gram air)	$SC_e^T = SC_e \cdot \frac{75}{T_{cf} - T_{ci}}$

FP_c	Daya api (watt)	Sama dengan untuk kompor panci tunggal
--------	-----------------	--

* Perhitungan menggunakan subskrip ‘c’ untuk pengujian start dingin, tetapi perhitungan start panas yang dimodifikasi adalah identik.

Dalam setiap hal, j adalah indeks dari masing-masing panci (1 – 4)

Faktor

$$\left(\frac{T_{j,cf} - T_{j,ci}}{T_b - T_{j,ci}} \right)$$

digunakan untuk mengurangi nilai air yang dipanaskan di dalam panci-panci tambahan yang tidak mendidih penuh. Sebagai contoh, jika menghitung konsumsi spesifik, yang dalam pengujian ini, mengukur jumlah air yang diperlukan untuk mendidihkan satu satuan jumlah air, kami ingin memberikan nilai untuk air yang dipanasi di dalam panci-panci lainnya, walaupun tidak mendidih. Selama energi (Q) diperlukan untuk membawa air ke mendidih secara kasar adalah fungsi linier dari perubahan temperatur ($Q \propto \Delta T$) nilai air yang tidak mendidih dikurangi faktor yang berubah antara nol dan satu, yang mewakili fraksi panas sensibel yang diserap oleh air relatif terhadap panas yang diperlukan untuk mendidihkannya.

Pengujian Daya Rendah

Dalam pengujian daya rendah lebih sulit menggabungkan output dari panci-panci memasak tambahan. Untuk alasan ini, kompor dengan multi panci tidak menguntungkan dalam bagian pengujian ini, yang menilai kemampuan kompor untuk menjaga sepanci air sedikit di bawah temperatur didih. Dengan menurunkan daya yang dikirim ke panci memasak utama, kompor tersebut mungkin tidak mampu mengirim banyak panas ke panci-panci sekunder. Fluktuasi temperatur di dalam panci-panci lainnya sangat rumit penilaiannya, sehingga diabaikan. Pengujian Performansi Kompor untuk menilai kompor yang diperbaiki di Cina menggunakan prosedur yang sama [10].

Tentu saja, diakui kekuatan dari kompor multi panci yang didesain dengan baik, yang terletak pada kemampuan kompor memberikan daya tinggi ke panci memasak utama, sementara pada waktu yang bersamaan juga memberikan daya rendah ke panci (atau panci-panci) tambahan. Akan tetapi, pengujian ini didesain hanya untuk membawa air yang berada di dalam panci utama ke temperatur mendidih dan indikator performansi kompor yang dihitung dari hasil pengujian *simmer* hanya bersandar pada pengukuran yang diambil dari panci utama. Walaupun mungkin hal ini tidak menangkap semua kekuatan kompor multi panci, kekuatan tersebut ditangkap di dalam hasil pengujian daya tinggi, demikian pula di dalam pengujian memasak terkontrol dan pengujian performansi (lapangan) dapur, yang juga harus dilakukan untuk menilai secara keseluruhan performansi kompor.

Aspek Statistik yang Dipikirkan Jika Melakukan WBT

Sedikitnya tiga pengujian harus dilakukan pada masing-masing kompor. Jika dua model kompor ingin dibandingkan, si penguji harus memperhatikan signifikansi statistik hasil dari rangkaian pengujian. Sebagai contoh, jika si penguji ingin membandingkan satu indikator dari performansi kompor seperti konsumsi spesifik bahan bakar, maka tidak mungkin mengatakan dengan yakin bahwa satu kompor lebih baik daripada kompor lainnya dengan jaminan 100%. Si penguji hanya dapat melaporkan satu kompor lebih baik daripada kompor lainnya dengan tingkat keyakinan tertentu. Tingkat tersebut bergantung pada beberapa faktor, termasuk perbedaan konsumsi spesifik rata-rata dari masing-masing kompor, variabilitas hasil pengujiannya, dan jumlah pengujian yang dilakukan.

Walaupun pembahasan lengkap dari teori statistik di luar cakupan dari petunjuk pengujian kompor ini, tetapi disandarkan pada beberapa ide dasar dari teori statistik untuk memutuskan apakah hasil dari pengujian tersebut dapat digunakan untuk membuat pembenaran (klaim) tentang performansi relatif model-model kompor yang berbeda atau tidak. Sebagai contoh, Tabel 2 memperlihatkan data dari suatu rangkaian pengujian mendidihkan air start dingin yang dilakukan di Institut Aprovecho pada dua kompor kayu panci tunggal yang berbeda. Setiap kompor diuji tiga kali. Dari data tersebut, jelas bahwa performansi Kompor-2 jauh lebih baik dari Kompor-1 di dalam kebanyakan performansi kompor. Akan tetapi perhatikan, beberapa indikator performansi kompor, yaitu laju pembakaran dan daya api, menunjukkan perbedaan antara kedua kompor. Ini memberi petunjuk pentingnya mempertimbangkan indikator berganda jika mendefinisikan performansi kompor.

Tabel 2. Hasil dari tiga pengujian mendidihkan air daya tinggi start dingin pada dua kompor berbeda

	Satuan	Kompor-1			Kompor-2			Statistik		
		Rata-rata	SD	CoV	Rata-rata	SD	CoV	%perbedaan antara Kompor-1 dan Kompor-2	Uji-T	Signifikan dengan 95% keyakinan?
• Kayu yang dikonsumsi	g	837	34	4%	468	60	13%	-44%	7,55	Ya
• Waktu untuk mendidihkan 5 liter air	min	36	3	7%	20	2	10%	-44%	6,89	Ya
• Efisiensi termal	-	0,19	0,01	4%	0,28	0,04	14%	49%	-3,30	Ya
• Laju konsumsi kayu	g/min	23	1	3%	24	4	18%	1%	-0,04	Tidak
• Konsumsi bahan bakar spesifik	g/ltr	155	8	5%	91	11	12%	-41%	6,77	Ya
• Daya api	kW	6,6	0,2	3%	6,6	1,2	18%	1%	-0,04	Tidak

SD = Standar Deviasi; CoV = Koefisien variasi (CoV = SD/Rata-rata)

Tabel 3, di sisi lain, memperlihatkan pengaruh yang kuat dari variabilitas yang lebih besar pada keyakinan secara statistik. Tabel tersebut memperlihatkan konsumsi spesifik yang diturunkan dari perbandingan dua pasang kompor dengan

masing-masing tiga kali percobaan. Di dalam hal variabilitas lebih tinggi dan lebih rendah, kompor tersebut memiliki konsumsi spesifik rata-rata yang sama, Kompor-2 lebih baik sebesar 23% (104 dibandingkan dengan 134 g kayu per liter air yang dididihkan). Akan tetapi, dalam hal variabilitas yang lebih rendah koefisien variasi (CoV) adalah 6% untuk Kompor-1 dan 9% untuk Kompor-2, sementara di dalam hal variabilitas yang lebih tinggi CoV-nya lebih tinggi (9% dan 13% berturut-turut). Dalam hal variabilitas lebih rendah, perbedaan di dalam kedua kompor signifikan secara statistik dengan keyakinan 95%, sementara dalam hal variabilitas lebih tinggi, tidak. Jadi, meskipun konsumsi bahan bakar spesifik Kompor-2 tampak lebih baik daripada Kompor-1 sebesar lebih dari 20% tidak dapat dikatakan dengan keyakinan 95% bahwa Kompor-2 lebih baik menurut data dengan variabilitas lebih tinggi. Untuk meralat/memperbaiki situasinya, standar keyakinannya perlu diturunkan, atau melakukan pengujian tambahan. Jika standarnya diturunkan, dapat dikatakan perbedaan yang diamati antara Kompor-1 dan Kompor-2 signifikan dengan keyakinan 90% (10% kesempatan kesalahan). Kemungkinan lainnya, jika diinginkan mempertahankan standar keyakinan sebesar 95%, kita mencoba melakukan lebih banyak pengujian. Sebagai contoh, jika pengujian tambahan dilakukan dan standar deviasi di dalam hasil pengujiannya tidak berubah dari yang diperlihatkan di dalam hal variabilitas lebih tinggi dalam Tabel 3, maka 5 pengujian dari masing-masing kompor cukup untuk menyatakan bahwa perbedaan yang diamati sebesar 23% antara Kompor-1 dan kompor-2 adalah signifikan dengan keyakinan 95%.

Tabel 3. Hasil uji hipotesis yang memperlihatkan pengaruh dari variabilitas data pada keyakinan statistik berdasarkan tiga pengujian terhadap masing-masing kompor

Konsumsi spesifik	Satuan	Kompor-1			Kompor-2			Statistik		
		Rata-rata	SD	CoV	Rata-rata	SD	CoV	%perbedaan antara Kompor-1 dan Kompor-2	Uji-T	Signifikan dengan 95% keyakinan?
• Variabilitas lebih rendah	g/liter	134	8	6%	104	9	9%	-23%	3,4	Ya
• Variabilitas lebih tinggi	g/liter	134	12	9%	104	13	13%	-23%	2,4	Tidak



