

UJI EFISIENSI KOMPOR BIOMASSA UB-03-1

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang fisika

oleh :

ALBERTUS M.A.E.TOKAN

0510930006-93



JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2011

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

UJI EFISIENSI KOMPOR BIOMASSA UB-03-1

oleh :

ALBERTUS M.A.E.TOKAN

0510930006-93

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

DR.Rer.Nat.M.Nurhuda
NIP. 196409101990021001

Drs.Arinto Yudi P.W.,M.Sc.,Ph.D
NIP.196407021989031001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs.Adi Susilo, M.Si.,Ph.D
NIP. 196312271991031002

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : AlbertusM.A.E.Tokan
NIM : 0510930006
Jurusan : Fisika
Penulis tugas Akhir berjudul : Uji Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka TA ini, semata-mata digunakan sebagai acuan / referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi TA saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, November 2011
Yang menyatakan,

(Albertus M.A.E.Tokan)
NIM. 0510930006

UJI EFISIENSI KOMPOR BIOMASSA UB-03-1

ABSTRAK

Pada penelitian ini, sudah diukur nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 dengan tiga kondisi pembakaran yang berbeda, yaitu pembakaran dengan volume udara primer kecil, volume udara primer sedang, dan volume udara primer besar. Kondisi pembakaran diatur dengan jumlah debit angin yang masuk pada kompor sebesar $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk volume udara primer kecil, $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk volume udara primer sedang, dan $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk volume udara primer besar. Pada penelitian ini digunakan tiga jenis kayu yaitu kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu sebagai bahan bakar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa diperoleh nilai efisiensi *overall* kompor biomassa UB-03-1 sebesar 19,4% - 30,4% yang tergantung pada tipe atau spesies kayu dan jumlah debit angin yang masuk pada kompor ini.

Kata Kunci : Kompor Biomassa UB-03-1, Kondisi pembakaran, Efisiensi.

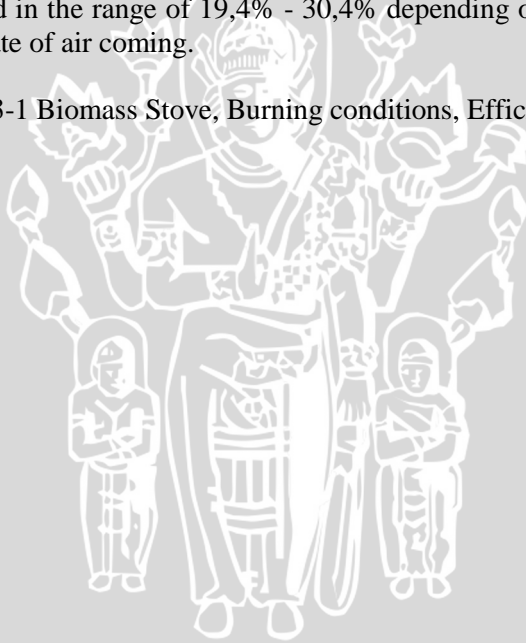
EFFICIENCY TESTING OF UB-03-1 BIOMASS STOVE

ABSTRACT

In this research, the efficiency of UB-03-1 biomass stove has been measured using three different burning conditions called slow burning, medium burning, and fast burning. The burning conditions were set up for the flow rate of debit of the air introduced to the stove of $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ for slow burning, $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ for medium burning, and $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ for fast burning representatively. In this research, it was used three different kinds of wood, for example *Tectona grandis*, *Syzygium samarangense*, and *Psidium guajava* L. wood as fuels.

The result shows that the overall efficiency of UB-03-1 biomass stove was obtained in the range of 19,4% - 30,4% depending on the type of wood and the rate of air coming.

Keywords: UB-03-1 Biomass Stove, Burning conditions, Efficiency.



KATA PENGANTAR

Skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran terkait dengan penelitian yang dilaksanakan mulai bulan April sampai Agustus 2011 di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilaksanakan supaya dapat mengimplementasikan ilmu fisika yang diperoleh selama kuliah khususnya di bidang Fisika Lingkungan yang erat kaitannya dengan ketersediaan sumber energi.

Permasalahan yang ditulis dalam skripsi ini dititikberatkan pada efisiensi dari kompor biomassa UB-03-1. Metode penulisan laporan ini berdasarkan atas hasil penelitian dan didukung oleh literatur-literatur yang ada.

Selama melaksanakan penelitian dan penulisan tugas akhir pada dasarnya tidak ada hambatan yang berarti, hanya saja perlu mempelajari prinsip kerja kompor biomassa, kadar air kayu, dan teori dasar yang mendukung penelitian ini.

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa atas segala RahmatNya, sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan dapat menyelesaikan laporan ini dengan sebaik-baiknya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan dan pembuatan laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Drs.Adi Susilo,M.Si,Ph.D., selaku Ketua Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr.Rer.Nat.Abdurrouf, M.Si, selaku Sekretaris Jurusan Fisika.

3. Bapak DR.Rer.Nat.M.Nurhuda selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Drs.ArintoYudi, P.W.,M.Sc.,P.hD selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang selalu memberikan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
5. Kedua orangtua beserta keluarga yang dengan sabar selalu memberikan motivasi untuk kelancaran penulisan skripsi ini.
6. Teman-teman kos Jolotundo dan Joyo Sari 570B.
7. Teman-teman fisika angkatan 2005, yang merupakan teman seperjuangan.
8. Seluruh pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Malang, November 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK/ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Biomassa.....	3
2.2. Kompor Biomassa.....	3
2.2.1. Kompor Biomassa UB-03-1.....	4
2.2.2. Gasifier Stove dengan Burner Terpisah....	6
2.2.3. Rice Husk Gas Stove.....	6
2.2.4. Kompor SWOSTHEE.....	7
2.2.5. Rocket Stove.....	8
2.2.6. Save 80 Stove.....	8
2.3. Cara Menguji Kompor.....	9
2.3.1. Efisiensi Kompor Biomassa.....	12
2.4. Pembakaran.....	13
2.4.1. Pembakaran Biomassa.....	13
2.4.2. Konversi Biomassa.....	14
2.4.2.1. Gasifikasi.....	14
2.4.2.2. Pirolisis.....	15
2.4.3. Kadar Air Kayu.....	15

2.5. Kalor.....	17
2.6. Perpindahan Panas.....	17
2.7. Termometer Digital.....	19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2. Alat dan Bahan.....	21
3.2.1. Perlakuan Sampel.....	22
3.2.2. Kondisi Eksperimen.....	22
3.2.2.1. Ruangan.....	22
3.2.2.2. Temperatur.....	23
3.2.2.3. Sirkulasi Udara.....	23
3.3. Tahapan Penelitian.....	24
3.4. Pengambilan Data.....	24
3.5. Pengolahan Data.....	24
3.5.1. Plotting Data.....	24
3.5.2. Perhitungan Efisiensi Kompor.....	25
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian.....	27
4.1.1. Analisis Kayu Jati putih.....	27
4.1.2. Analisis Kayu Jambu Air.....	29
4.1.3. Analisis Kayu Jambu Batu.....	32
4.2. Analisis Perbandingan Tiga Kayu.....	35
4.2.1. Volume Udara Kecil.....	35
4.2.2. Volume Udara Sedang.....	37
4.2.3. Volume Udara Besar.....	38
4.3. Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1.....	40

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	43
5.2. Saran.....	43

DAFTAR PUSTAKA.....	45
----------------------------	-----------

LAMPIRAN 1.....	49
------------------------	-----------

LAMPIRAN 2.....	63
------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kompor Biomassa UB-03-1.....	5
Gambar 2.2 Gasifier Stove.....	6
Gambar 2.3 Rice Husk Gas Stove.....	7
Gambar 2.4 Kompor SWOSTHEE.....	8
Gambar 2.5 Rocket Stove.....	8
Gambar 2.6 Save 80 Stove.....	9
Gambar 2.7 Struktur Perubahan dan Pertumbuhan Kayu.....	16
Gambar 2.8 Contoh Perpindahan Panas Secara Konveksi....	19
Gambar 3.1 Kayu Jati Putih.....	21
Gambar 3.2 Kayu Jambu Air.....	22
Gambar 3.3 Kayu Jambu Batu.....	22
Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 4.1 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu menggunakan bahan bakar kayu jati putih.....	28
Gambar 4.2 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara	29
Gambar 4.3 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu menggunakan bahan bakar kayu jambu air.....	30
Gambar 4.4 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.....	32
Gambar 4.5 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu menggunakan bahan bakar kayu jambu batu.....	33
Gambar 4.6 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.....	35
Gambar 4.7 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara kecil dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.....	36
Gambar 4.8 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.....	36

Gambar 4.9	Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara sedang dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.....	37
Gambar 4.10	Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.....	38
Gambar 4.11	Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara besar dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.....	39
Gambar 4.12	Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.....	39



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Dasar Bejana.....	11
Tabel 2.2 Perbandingan Kinerja Kompor Biomassa UB dengan Kompor Lain.....	12
Tabel 2.3 Keseimbangan RH dan MC.....	16
Tabel 3.1 Jumlah Debit Angin yang Masuk pada Kompor....	23
Tabel 4.1 Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1.....	40



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi karena tingginya konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak). Pemerintah mulai mengambil langkah untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan yang ada di Indonesia untuk mengatasi ketergantungan terhadap konsumsi bahan bakar minyak. Salah satunya adalah biomassa yang dinilai mempunyai potensi sebagai bahan bakar.

Biomassa merupakan bahan organik seperti kayu, tanaman, sampah, panen, ataupun ganggang laut. Biomassa memperoleh energi dari matahari melalui proses yang disebut dengan proses fotosintesis. Sinar matahari memberikan energi yang dibutuhkan oleh tanaman untuk mengkonversi air dan karbondioksida menjadi oksigen dan gula. Biomassa merupakan bahan yang dapat diperbaharui karena sumber energinya tidak terbatas.

Pemanfaatan biomassa yang sudah dilakukan di antaranya dengan tungku tradisional. Tungku tradisional ini memiliki efisiensi dengan rentang 5-10 % dan mengeluarkan banyak asap yang dapat menyebabkan penyakit (Baldwin, 1987). Karena itu, didisain sebuah kompor biomassa yang dapat meminimalisasi banyaknya asap yang dihasilkan oleh tungku tradisional. Salah satu disainnya adalah kompor biomassa UB-03-1 berbahan bakar biomassa yang memiliki level efisiensi tinggi dan emisi rendah serta ramah lingkungan dan mudah dalam penggunaannya.

Prinsip kerja kompor ini adalah *pre-heating* dan *counter flow burning mechanism* dengan mengelola asap menjadi api. Kunci pengolahan asap menjadi api adalah pada gerak turbulen yang ditimbulkan aliran gasifikasi terpanaskan dan aliran udara sekunder, tetapi alirannya mengarah ke bawah atau bertolak belakang dengan nyala api yang ke atas dari sumber pembakaran biomassa (Nurhuda, 2010).

Kompor Biomassa UB-03-1 sekarang ini sudah banyak dipasarkan di berbagai daerah di Indonesia. Kompor ini diklaim

sangat efisien dalam penggunaan bahan bakarnya. Berdasarkan hal di atas, penelitian ini dilakukan untuk menguji, menganalisis, dan mengetahui nilai efisiensi dari kompor biomassa UB-03-1 ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan yang ada, maka rumusan masalah dapat ditekankan pada:

- a. Bagaimana menentukan efisiensi kompor biomassa UB-03-1 terhadap berbagai jenis kayu?
- b. Bagaimana mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi pada kompor biomassa UB-03-1?

1.3. Batasan Masalah

Dari masalah yang dirumuskan di atas, agar penelitian yang dilakukan terkonsentrasi maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Kompor yang digunakan adalah kompor biomassa UB-03-1.
- b. Jenis bahan bakar biomassa yang digunakan kayu jati, kayu jambu air, dan kayu jambu batu.
- c. Volume aliran udara yang digunakan adalah volume udara kecil dengan debit udara $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, volume udara sedang dengan debit udara $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, dan volume udara besar dengan debit udara $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.
- d. Penelitian hanya membahas efisiensi keseluruhan (overall efficiency) yang dihasilkan kompor biomassa UB-03-1.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji, menganalisis, dan mengetahui efisiensi kompor biomassa UB-03-1.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah memudahkan penentuan jenis bahan bakar yang baik dan disain kompor biomassa yang memiliki efisiensi kerja yang tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biomassa

Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis baik berupa produk maupun buangan, seperti kayu, tanaman, sampah, panen, limbah, dan lain-lain. Biomassa memperoleh energi dari matahari melalui proses fotosintesis (sinar matahari memberikan energi yang dibutuhkan tanaman untuk mengkonversi air dan karbondioksida menjadi oksigen dan gula).

Wardana (1998) mengemukakan bahwa salah satu sumber energi potensial yang dapat diperbaharui adalah biomassa. Biomassa ini dapat digunakan sebagai bahan bakar padat atau dapat dikonversi menjadi bentuk minyak atau gas. Biomassa dapat dikonversi menjadi energi alternatif dengan tiga proses utama yaitu pembakaran langsung, konversi termokimia, dan proses biologi (Bain, 2004).

Biomassa merupakan bahan yang dapat diperbaharui karena sumber energinya tidak terbatas. Biomassa juga dapat diganti dengan cepat tanpa harus menunggu proses sumber natural dari bumi (White, 2000).

2.2. Kompor Biomassa

Kompor biomassa merupakan suatu kompor yang menggunakan biomassa sebagai bahan bakarnya. Prinsip pembakaran kompor biomassa ini berbeda dengan kompor konvensional pada umumnya. Berbeda dengan kompor briket arang, penggunaan bahan bakar pada kompor biomassa tidak perlu mengubah biomassa menjadi arang. Biomassa terbakar oleh proses pirolisis dan gasifikasi dan menghasilkan asap (Nurhuda, 2010).

Pembakaran pada kompor biomassa terjadi dengan dua tahap dalam satu kompor yang sama. Pembakaran tahap pertama yaitu pembakaran bahan bakar dengan pasokan oksigen terbatas. Pada tahap ini api membakar bahan bakar padat dan menghalangi pasokan oksigen. Akibatnya, muncul asap yang

sangat banyak dan jelaga yang ditimbulkan residu karbon. Asap dan oksigen yang terbakar menghasilkan api.

Proses pembakaran tahap kedua yaitu pembakaran asap. Proses ini dimungkinkan karena asap mengandung gas seperti hidrogen, karbon monoksida, dan metana yang dapat terbakar. Hasil pembakaran asap inilah yang menghasilkan api yang menyala lebih bersih yang muncul dari lubang di sekeliling kompor. Semua komponen biomassa dari asap sampai arang digunakan untuk menghasilkan energi sehingga hampir tak ada sisa pembakaran.

Kompor biomassa ini antara lain terdiri atas komponen tabung luar yang menghasilkan udara panas serta tabung dalam yang berfungsi untuk pengaturan udara dan penghasil asap, penampung abu, ruang bahan bakar (Nurhuda, 2010).

2.2.1. Kompor Biomassa UB-03-1

Kompor biomassa UB-03-1 menggunakan sistem gasifikasi terpanaskan dan pembakaran secara turbulen. Prinsip kerjanya dengan mengelola asap menjadi api. Kunci pengolahan asap menjadi api adalah pada gerak turbulen atau gerakan mengaduk yang menyebabkan pembakaran menjadi sempurna. Gerakan turbulen ini ditimbulkan oleh aliran gasifikasi terpanaskan dan aliran udara sekunder. Namun alirannya mengarah ke bawah atau bertolak belakang dengan nyala api yang ke atas dari sumber pembakaran biomassa. Prinsip aliran udara tersebut dinamakan *counter flow burning mechanism*, yaitu mekanisme aliran udara melawan arah api ke atas. Inilah yang menyebabkan pembakaran menjadi lebih efisien (Nurhuda, 2010).

Dengan mekanisme ini, diperoleh keuntungan yaitu, selain asap bahan bakar lebih sempurna terbakar, juga sebagian besar lidah api yang menjulur ke bawah bisa menyebabkan suhu ruang bawah makin tinggi. Kenaikan suhu ruang bawah mempermudah proses gasifikasi terpanaskan. Pemanfaatan suhu gasifikasi yang mencapai 200°Celsius merupakan efisiensi pemanfaatan panas dari pembakaran sumber biomassa.



Gambar 2.1 Kompor Biomassa UB-03-1.

Cara menggunakan kompor biomassa adalah sebagai berikut :

Masukkan secukupnya bahan bakar lewat mulut tabung bakar. Bila dirasa kurang, bahan bakar dapat ditambahkan lagi, tetapi jangan sampai menutupi lubang-lubang di leher tabung bakar. Tuangkan sedikit minyak tanah untuk penyulutan pertama. Alternatif lain dapat juga digunakan kertas, sampah kering/plastik bekas. Sulut api dari lubang tabung pembakaran. Biarkan api membesar agar udara dalam ruangan kompor cepat panas. Setelah api yang terbentuk merata, kecilkan volume api dengan menggeser gagang pengatur volume api ke kiri. Setelah api mengecil, baru alat masak ditaruh. Usahakan api jangan terlalu besar agar tidak muncul asap. Untuk membesarkan api, geser gagang pengatur volume api ke kanan secukupnya. Untuk penambahan bahan bakar, gunakan penjepit dan masukkan bahan bakar melalui sela antara kompor dan alat masak. Api merupakan hasil pembakaran asap proses gasifikasi yang terjadi di bawah tabung pembakaran. Mekanisme pembakaran dengan sistem turbulen menjamin setiap gas/asap yang dihasilkan terbakar dengan sempurna. Untuk mematikan api, pengatur volume ditutup rapat, demikian juga lubang tabung pembakaran harus ditutup rapat.

Spesifikasi kompor biomassa UB-03-1 :

1. Tinggi kompor 43 cm, diameter luar kompor 24,5 cm, berat kompor 2,75 – 3 kg.
2. Tabung bakar berbentuk gentong dengan bagian besar mempunyai diameter 14,5 cm, tinggi 26 cm, dan bagian kecil sebagai *burner* dengan diameter 10 cm dan tinggi 5 cm.
3. Kompor biomassa ini dilengkapi dengan tutup tabung pembakaran dan penjepit untuk penambahan bahan bakar.

2.2.2. Kompor Gasifikasi dengan Burner Terpisah

Mekanisme kompor biomassa Gasifikasi dengan *burner* terpisah ini adalah pembakaran dua kali atau yang disebut gasifikasi. Biomassa dibakar terlebih dahulu dengan jumlah oksigen terbatas, sekitar 1/3 kebutuhan pembakaran lengkap secara stoikiometrik, disebut *incomplete combustion*. Saat Kemudian ‘asap’ hasil pembakaran dibakar lagi saat asap ini bergerak ke atas disalurkan outletnya. ‘Asap’ ini merupakan hasil pembakaran terbatas berisi gas CO, CH₄, dan H₂, yang mudah terbakar, disamping N₂ yang *non-flamable*. Kompor ini memiliki *over all* efisiensi dan efisiensi termal sekitar lebih dari 49% (Bhattacharya dkk.).



Gambar 2.2 Gasifier Stove dengan Burner Terpisah.

2.2.3. Kompor Gas Sekam Padi (*Risk Husk Gas Stove*)

Kompor ini terdiri atas beberapa komponen sebagai berikut: ruang pembakaran, ruang reaktor, dan ruang arang.

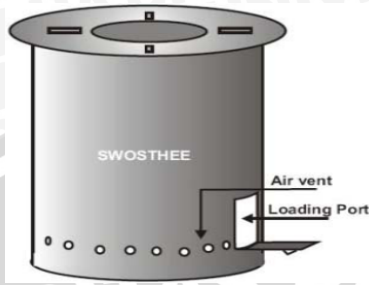
Dalam ruang pembakaran, gas-gas yang mudah terbakar menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk memasak. Ruang ini terdiri atas pegangan segi empat untuk menyokong panci, pelat bakar, lubang udara, dan penjepit untuk penambahan sekam. Sedangkan dalam ruang reaktor, sekam padi tergasifikasi oleh jumlah udara terbatas yang cukup untuk membuat sekam terbakar. Ruang ini terdiri atas tabung luar dan dalam. Di antara tabung ini terdapat sekat yang membatasi panas di sekitar reaktor. Ruang abu terdiri atas ruang silinder sebagai tempat penyimpanan abu, pintu keluar abu, pelat untuk menaruh sekam, dan sebuah kipas 220 V-0,15 A sebagai penyuplai udara yang dibutuhkan bahan bakar agar tergasifikasi. Kompor ini memiliki efisiensi termal yang relatif besar yaitu 23,2% - 36,9% (Belonio, 2005).



Gambar 2.3 Kompor Gas Sekam Padi.

2.2.4. Kompor SWOSTHEE

Prinsip kerja kompor ini adalah pembakaran terjadi melewati sebuah pelat, sehingga gas-gas yang mudah terbakar dapat mencapai temperatur maksimal. Suatu ruang silinder penuh lubang di sekitar nyala api digunakan agar nyala api dapat menarik udara dari beberapa titik. Dengan demikian, ketergantungan pembakaran terhadap aliran udara yang diserap dari tempat bahan bakar diletakkan dapat dikurangi (Mukunda dkk, 1988).



Gambar 2.4 Kompor Swosthee.

2.2.5. Rocket Stove

Keunggulan kompor ini adalah kayu dan ranting tidak perlu dipotong kecil-kecil, dapat memasak dalam waktu lama, mempunyai efisiensi tinggi, api yang dihasilkan sangat bersih dan hampir tidak ada asap. Kompor ini memanfaatkan panas buangan untuk mengkombinasikan aliran udara sekunder dengan *counter flow mechanism*. Mekanisme pembakarannya dengan sistem turbulen atau gerak mengaduk, sehingga pembakarannya sempurna walaupun bahan bakar yang digunakan mulai habis atau api yang dihasilkan mulai mengecil (ESMAP, 1991).



Gambar 2.5 Rocket stove.

2.2.6. Save 80 Stove

Semua komponen kompor ini terbuat dari bahan *stainless steel* dengan berat 4 kg. Potongan kayu kecil dengan diameter dan panjang seperti jari tangan dapat digunakan.

Hampir tidak ada asap yang dihasilkan saat pembakaran. Kompor ini cocok digunakan untuk memasak, memanaskan, dan mengeringkan.

Save 80 hanya membutuhkan 250 g kayu untuk mendidihkan 6 liter air selama 25 menit. Bagian untuk pengisian bahan bakar ke dalam ruang pembakaran berbentuk segi enam. Setelah menyala, udara dihisap dan masuk ke dalam ruang pembakaran dari bawah kompor. Desain *save 80* ini menunjukkan pemanasan awal udara dan pembakaran sempurna yang terjadi yang rendah emisi dan sedikit abu (Kramer, 2008).



Gambar 2.6 *Save 80 Stove*.

2.3. Cara Menguji Kompor

Cara menguji efisiensi kompor dilakukan berdasarkan metode air mendidih (*Water Boiling Test*) sesuai *Provisional International Standards for Testing Woodstove* (VITA 1982 & revised May 1985) dan standar SNI 12-3745-1995, seperti yang dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain Puppung dari PPPTMGM-LEMIGAS tentang Pengujian Daya dan Efisiensi Kompor Minyak Tanah Bersumbu. Daya kompor dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{m_f \times LHV}{t} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan,

- P : daya kompor (kW)
- m_f : konsumsi bahan bakar selama pembakaran (kg)
- LHV : nilai kalori netto bahan bakar (kJ/kg)
- t : waktu pengukuran (s)

Sedangkan efisiensi kompor dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{m_a.c_a.\Delta T + m_p.c_p.\Delta T + m_u H}{m_{bb}.E} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

- η : efisiensi kompor
- m_a : massa air (kg)
- c_a : kalor jenis air (J/kg⁰C)
- ΔT : Perbedaan temperatur (⁰C)
- m_p : massa panci (kg)
- c_p : kalor jenis panci (J/kg⁰C)
- m_u : massa uap air (kg)
- m_{bb} : massa bahan bakar (kg)
- E : nilai kalori bahan bakar (kJ/kg)

Dalam banyak pengukuran kompor, ukuran diameter dasar bejana dipilih berdasarkan saran *Urban Household Energy Study* yaitu

$$D = 19,12 P^{1/3} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

- D : diameter panci (cm)
- P : daya kompor (kW)

Namun untuk lebih praktis, Puppung menyarankan untuk menyesuaikan ukuran bejana yang ada di pasar Indonesia dengan memberikan tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 Dasar Bejana (Puppung, 1989).

Tinggi Daya Maksimum (W)	Diameter Panci (cm)
0,981 – 1,325	20
1,325 – 1,741	22
1,741 – 2,235	24
2,235 – 2,816	26
2,816 – 3,489	28
3,489 – 4,262	30

Sedangkan menurut rekomendasi dari *International Standards for Testing Woodstoves 2/3* bejana/panci harus terisi air.

Pada penelitian dan pengujian Kompor biomassa *Dung*, dilakukan pengukuran efisiensi kompor dengan metode *Water Boiling Test* yaitu dengan pengujian memasak 5 liter air di ASAT laboratorium Aprovecho (Witt, 2006). Roy Bailis dalam penelitiannya di Kirkland, 2007 menguji performa kompor biomassa dengan metode WBT (*Water Boiling Test*) dihubungkan dengan konsumsi bahan bakar setiap hari dan penggunaan energi setiap hari oleh masyarakat (Bailis, 2007).

Pada penelitian bersama yang dilakukan oleh Alexia Belonio dan kawan-kawan di PTMJ Approtech R&D, Tangerang-Banten November 2008, efisiensi *Coal Gasifier Stove* diukur dengan metode mendidihkan air (*Water Boiling Test*) dan performa dapur dengan menghitung jumlah konsumsi bahan bakar, efisiensi termal, daya keluaran, dan lain-lain yang dibandingkan dengan kompor LPG (Belonio, 2008).

Metode yang sama dilakukan di Universitas Humboldt State pada saat mendemonstrasikan *Rocket Stove* yaitu dengan memasak air dan menghitung berapa banyak bahan bakar yang diperlukan untuk memasak air tersebut (Anonymous, 2009).

Pada pengujian kompor biomassa *Witt Alpha Prototype* berbahan bakar kayu lain di *Aprovecho Research Center* di Cottage Grove-Oregon, digunakan metode *Water Boiling Test* dengan memasak 1 liter air. Penelitian ini juga memperhitungkan massa kayu, kadar air kayu, dan karakteristik

kayu dan diperoleh temperatur nyala api, efisiensi kompor, dan emisi keluaran dari kompor (Witt, 2005).

Tabel 2.2 Perbandingan Kinerja Kompor Biomassa UB dengan Kompor Lain.

No	Jenis Kompor	Kebutuhan bahan bakar untuk mendidihkan air
1	Witt Alpha Prototype	Mendidihkan 1 liter air membutuhkan 71,8 gram potongan ranting kayu
2	Vesto	Mendidihkan 4 liter air membutuhkan 420 gram potongan ranting kering
3	Turbo	Mendidihkan 4 liter air membutuhkan 600 gram potongan ranting kering
4	Dung	Mendidihkan 5 liter air membutuhkan 1005 gram potongan ranting kayu
5	UB-02	Mendidihkan 6 liter air membutuhkan 350 gram potongan ranting kayu

2.3.1. Efisiensi Kompor Biomassa

Dalam fisika perbandingan antara kalor keluaran (*output*) dengan kalor masukan (*input*) dikali 100%, disebut *Efisiensi*. Kalor yang masuk ke sistem hanya sebagian yang digunakan untuk melakukan usaha. Sementara sebagian lagi (terbuang) digunakan untuk menambah energi dalam sistem.

Sedangkan efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya.

Perbandingan antara jumlah kalor yang masuk dan usaha yang dilakukan mesin dinyatakan sebagai efisiensi mesin.

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{Q_o}{Q_i} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.4)$$

Efisiensi tidak mempunyai satuan maupun dimensi.

2.4. Pembakaran

Pembakaran merupakan runutan reaksi kimia antara suatu bahan bakar dan oksidan, disertai dengan produksi panas yang kadang disertai cahaya dalam bentuk pendar atau api. Jika zat direaksikan dengan oksigen dan menghasilkan api, maka proses ini disebut pembakaran.

Proses pembakaran terdiri atas dua jenis yaitu pembakaran lengkap (*complete combustion*) dan pembakaran tidak lengkap (*incomplete combustion*). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya menghasilkan CO₂, seluruh unsur H menghasilkan H₂O dan seluruh S menghasilkan SO₂. Sedangkan pembakaran tidak sempurna terjadi apabila unsur C yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO₂. Keberadaan CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna (Loo and Koppejan, 2008).

Dalam suatu reaksi pembakaran sempurna, suatu senyawa bereaksi dengan zat pengoksidasi, dan produknya adalah senyawa dari tiap elemen dalam bahan bakar dengan zat pengoksidasi, salah satu contohnya seperti persamaan dibawah :



Dalam kenyataannya, proses pembakaran tidak pernah berlangsung sempurna. Dalam gas cerobong dari pembakaran karbon (pembakaran batubara) atau senyawa karbon (pembakaran hidrokarbon, kayu, dan lain-lain) akan ditemukan karbon yang tidak terbakar maupun senyawa karbon (CO dan lainnya). Jika udara digunakan sebagai oksidan, beberapa nitrogen akan teroksidasi menjadi berbagai jenis nitrogen oksida (NOx) yang kebanyakan berbahaya untuk kerja pembakaran.

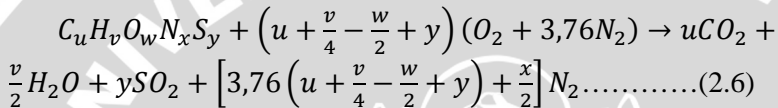
2.4.1. Pembakaran Biomassa

Pembakaran biomassa merupakan sumber dari gas efek rumah kaca, CO₂, methana, dan gas nitrogen. Pembakaran biomassa juga dapat menimbulkan gas kimia aktif seperti karbonmonoksida, hidrokarbon, dan asam. Pembakaran

biomassa akan dapat meningkatkan laju pembakaran dan mengontrol emisi NO-x termasuk juga jenis Nvolatile sebagai contoh NH₃ karena biomassa banyak mengandung *volatile matter* (Lobert, 1991).

Pembakaran biomassa dalam keadaan ideal dari pembakaran sempurna, akan menghasilkan karbondioksida (CO₂) dan penguapan air (H₂O), sesuai dengan persamaan (Strehlow, 1985):

Persamaan stoikiometri pembakaran biomassa menyeluruh:



Ketika pembakaran sempurna tidak tercapai pada proses pembakaran biomassa, jenis karbon lain yang terdiri atas karbon monoksida (CO), methana (CH₄), non-methana hidrokarbon (NMHCs), dan partikel karbon, akan dihasilkan dari material biomassa.

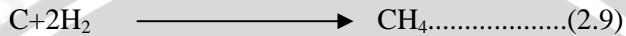
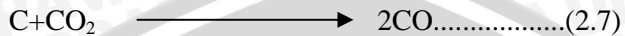
2.4.2. Konversi Biomassa

2.4.2.1. Gasifikasi

Salah satu proses konversi biomassa adalah dengan cara gasifikasi. Gasifikasi biomassa merupakan suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas menggunakan proses degradasi termal material-material organik pada temperatur tinggi di dalam pembakaran tidak sempurna. Gasifikasi juga dapat diartikan proses pembakaran parsial dalam bahan baku padat, melibatkan reaksi antara oksigen dengan bakar padat. Produk hasil gasifikasi ini berupa gas yang mudah terbakar, yaitu CO, H₂, dan CH₄.

Pada proses gasifikasi, karbon yang terjadi dari hasil pirolisasi sekunder cepat hanya 10-15% dari total biomassa. Oleh karena itu proses ini tertutup oleh dominasi proses lain. Pada gasifikasi arang, reaksi arang (karbon) menjadi gas adalah tahapan yang dominan. Perubahan karbon menjadi

gas dapat melalui beberapa reaksi antara lain (Loo *and* Koppejan, 2008) :



2.4.2.2. Pirolisis

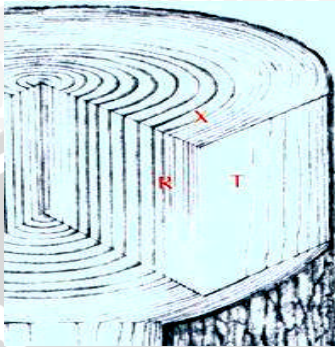
Pirolisis berasal dari kata *Pyro* (Fire/Api) dan *Lyo* (Loosening/Pelepasan). Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis menghasilkan arang karbon, minyak, dan gas yang dapat dibakar. Besarnya produk yang akan dihasilkan dipengaruhi kondisi proses, terutama temperatur dan laju pemanasan.

Pirolisis ekstrem yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Fungsi utama karbonisasi adalah meningkatkan nilai kalor karena pelepasan kandungan air, juga pembentukan tar yang bisa berfungsi mencegah penyerapan kembali kandungan air.

2.4.3. Kadar Air Kayu

Salah satu faktor yang paling penting dalam pembakaran kayu adalah kadar air kayu. Kayu yang baru dipotong akan mengandung kandungan air sekitar 65-90%. Untuk hasil terbaik, kayu harus memiliki kadar air kurang dari 20%. Kadar air kayu yang baik merupakan faktor penting dalam laju pembakaran biomassa.

Persentase kandungan kadar air dalam kayu (*wood moisture*) bergantung pada ukuran kayu. Perubahan ukuran merupakan perbedaan setiap pertumbuhan kayu secara radial (*R*), tangensial (*T*), dan panjang (*X*) seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur Perubahan Pertumbuhan Kayu.

Pengeringan kayu dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan melalui pembakaran dan pengeringan kelembaban udara dalam kayu. Dengan menggunakan metode pengeringan kelembaban udara dapat ditentukan dengan perkiraan keseimbangan *moisture content* (MC) persentase kelembaban udara seperti pada tabel 2.2 (Siau, 1984).

Tabel 2.3 Keseimbangan RH dan MC.

Relative humidity %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Moisture content %	0	3	5	7	9	11	13	15	18	23	35

Kadar air (MC) dari kayu didefinisikan dengan metode *ovendry*.

Menurut Buku Pegangan Kayu, kayu *ovendry* didefinisikan sebagai "kayu kering untuk berat relatif konstan dalam oven berventilasi di 102-105 °C (218 °F oF +3)."

Kadar air kayu dapat dihitung dengan rumus (Siau, 1984) :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat oven-dry}} \times 100 \dots\dots\dots(2.10)$$

Di sini m_g adalah massa hijau dari kayu, sedangkan m_{od} adalah oven-kering massa (pencapaian massa konstan umumnya setelah pengeringan dalam oven diatur pada kurang lebih 105°C seperti yang disebutkan oleh (Walker, 1993).

Atau dengan rumusan lain:

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{massa basah} - \text{massa kering}}{\text{massa kering}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana berat basah adalah berat dari 'basah' sampel asli dan berat kering menjadi berat sampel setelah pengeringan dalam oven. Kadar air yang dinyatakan sebagai persentase.

2.5. Kolor

Kolor merupakan suatu bentuk energi yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah temperatur atau wujud bentuknya atau dengan kata lain kolor adalah energi yang berpindah dari satu benda ke benda lain karena perbedaan suhu, bukan karena jumlah energi dalam suatu sistem. Kolor berbeda dengan temperatur, karena temperatur adalah ukuran dalam satuan derajat panas sedangkan kolor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas, baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Besarnya kolor tergantung pada 3 faktor, yaitu massa zat, kolor jenis zat, dan perubahan temperatur.

Secara matematis dapat dirumuskan (Goddam, 2006) :

$$Q = m.c.(\Delta T) \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

Q = kolor yang dibutuhkan (J atau kal)

m = massa benda (kg)

c = kolor jenis (J/kg $^{\circ}\text{C}$)

(ΔT) = perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2.6. Perpindahan Panas

Menurut Halliday dan Resnick (terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto, 1992), panas merupakan energi yang ditransfer dari satu benda ke benda lain karena perbedaan

temperatur. Bila energi panas ditambahkan pada suatu zat, maka temperatur zat itu biasanya naik (pengecualian terjadi selama perubahan fase, seperti bila air membeku atau menguap).

Stockley, 2009 (dalam Kamus Fisika Bergambar) mengatakan bahwa saat sebuah benda menyerap atau kehilangan energi panas, akan mengakibatkan kenaikan atau penurunan suhu benda (yang besarnya tergantung pada kapasitas panas benda). Efek dari perpindahan panas ini adalah terjadi perubahan dari suatu wujud fisis ke wujud fisis yang lainnya. Ketika perubahan wujud terjadi, tidak ada perubahan suhu. Sebagai gantinya, semua energi yang diserap maupun dilepaskan, dipergunakan untuk membentuk atau memutuskan ikatan-ikatan molekul.

Energi termal ditransfer dari satu tempat ke tempat lain lewat tiga proses yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Cengel dalam buku *Heat Transfer* mengatakan bahwa perpindahan panas secara konduksi merupakan suatu proses transfer energi dari molekul dengan energi kinetik yang lebih tinggi ke molekul yang memiliki energi kinetik lebih rendah ketika bertumbukan. Konduksi kalor hanya terjadi jika ada perbedaan temperatur.

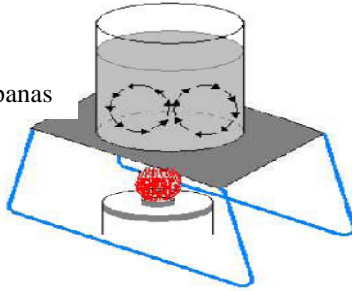
Perpindahan panas secara konveksi merupakan suatu proses transfer panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul dari satu tempat ke tempat lainnya. Dari definisi tersebut laju perpindahan panas secara konveksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h.A.(\Delta T) \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana:

- q = laju perpindahan panas konveksi ($J s^{-1}$)
- h = koefisien perpindahan panas konveksi ($J s^{-4}/m^2 K^4$)
- A = luas penampang (m^2)
- ΔT = perubahan atau perbedaan temperatur ($^{\circ}C; K$)

Air panas



Gambar 2.8 Contoh perpindahan panas secara konveksi.

Proses radiasi adalah proses perpindahan kalor (energi) dari semua benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Pada sinar matahari yang jatuh pada suatu permukaan, jika semua cahaya diserap dan tidak ada sedikitpun yang dipantulkan, permukaan tersebut benar-benar hitam. Semua benda yang secara sempurna mampu menyerap dan memancarkan semua radiasi gelombang elektromagnetik disebut *benda hitam*.

2.7. Termometer Digital

Pada termometer digital, biasanya digunakan termokopel sebagai sensornya. Termokopel yang sederhana dapat dipasang dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C . Thermometer digital memiliki material penyusun yang terpenting yaitu, sensor termokopel/RTD, komparator (*op-amp* atau sejenisnya), *analog to digital converter*, *decoder display*, dan *display (seven segment, LCD, monitor)*.

Prinsip kerja termometer digital yaitu, sensor yang berupa PTC atau NTC dengan tingkat sensitivitas tinggi akan berubah nilai tahanannya jika terjadi suatu perubahan suhu yang mengenainya. Perubahan nilai tahanan ini linear terhadap perubahan arus, sehingga nilai arus ini bisa dikonversi ke dalam tampilan. Sebelum dikonversi, nilai arus ini dikomparasi dengan nilai acuan dan nilai *offset* di bagian komparator. Fungsinya adalah untuk menerjemahkan setiap satuan ampere ke dalam

satuan *volt* yang akan dikonversi ke tampilan/*display*.
Kalibrasinya dimulai dari 0 derajat untuk *setting offsetnya*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang, pada bulan April sampai Agustus 2011.

3.2. Alat dan bahan

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan peralatan dan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Kompor Biomassa UB-03-1
2. Termometer Digital
3. Timbangan
4. *Stopwatch*
5. Panci
6. Air

Adapun sampel atau bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Kayu Jati Putih (*Tectona grandis*)



Gambar 3.1 Kayu Jati Putih.

2. Kayu Jambu Air (*Syzygium samarangense*)



Gambar 3.2 Kayu Jambu Air.

3. Kayu Jambu Batu (*Psidium guajava L.*)



Gambar 3.3 Kayu Jambu Batu.

3.2.1. Perlakuan Sampel

Sebelum dilakukan pembakaran, sampel dipotong kecil-kecil dengan ukuran diameter 1-6 cm dan panjang 5 cm. Setelah itu sampel kayu dikeringkan dengan cara dijemur pada terik matahari dan diukur kadar air kayu masing-masing. Sampel ditimbang 500 gram selanjutnya dimasukkan ke dalam kompor biomassa model UB-03-1. Hal yang perlu diperhatikan dalam pembakaran sampel yaitu lubang sirkulasi udara yang terdapat pada lubang kompor biomassa harus disesuaikan agar pembakaran dapat berjalan secara optimal.

3.2.2. Kondisi Eksperimen

3.2.2.1. Ruangan

Pengambilan data pada ruangan terbuka yang tidak terpengaruh angin kencang, dengan ukuran ruangan $4 \times 5 \text{ m}^2$.

3.2.2.2. Temperatur

Dalam setiap pengambilan data, diukur temperatur ruangan terlebih dahulu dan temperatur awal air. Kemudian diukur kenaikan temperatur air dari awal pembakaran sampai mendidih.

3.2.2.3. Sirkulasi Udara

Sirkulasi udara harus baik agar proses pembakaran bisa optimal dengan mengatur sirkulasi udara pada kompor biomassa UB-03-1. Pada penelitian ini dilakukan tiga perlakuan pengaturan volume udara yaitu volume udara kecil, sedang, dan besar dengan debit udara tertentu yang masuk pada kompor biomassa UB-03-1 seperti diberikan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah debit angin yang masuk pada kompor biomassa.

Besaran	Volume Udara Kecil	Volume Udara Sedang	Volume Udara Besar
Panjang Bukaannya (m)	0,02	0,37	0,65
Lebar Bukaannya (m)	0,3	0,3	0,3
Luas (m^2)	0,006	0,111	0,195
Kecepatan Angin Rata-rata v (m/s)	0,021	0,026	0,021
Debit Angin (m^3/s)	$1,26 \times 10^{-4}$	$28,86 \times 10^{-4}$	$40,95 \times 10^{-4}$

3.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan antara lain :

1. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan dan mempelajari literatur dari buku-buku dan artikel-artikel yang berhubungan dengan biomassa, kompor biomassa, efisiensi kompor biomassa, termometer digital, karakteristik kayu yang baik untuk pembakaran, dan kadar air kayu.
2. Menentukan berat awal dari masing-masing sampel, kemudian masing-masing sampel ditimbang 500 gram, lalu dimasukkan ke dalam kompor biomassa UB-03-1 sebagai bahan bakarnya. Air sebanyak 12 L dimasak pada kompor tersebut.
3. Merangkai kompor biomassa UB-03-1, panci yang berisi air, termometer digital, termokopel, dan *stopwatch* dalam satu rangkaian.
4. Pengambilan data dan analisis.

3.4. Pengambilan Data

Pengambilan data dimulai dari suhu awal air yang diukur dan dicatat perubahan kenaikan suhu airnya setiap menit dengan menggunakan termometer digital, selama proses pemanasan sampai air mendidih. Hal ini dilakukan untuk air yang dimasak 12 liter dan $\frac{1}{2}$ liter.

3.5. Pengolahan Data

3.5.1. Plotting Data

Data yang sudah diperoleh dari proses pemanasan air sampai mendidih dibuatkan dalam bentuk tabel, kemudian diplot dalam bentuk grafik hubungan antara kenaikan suhu (temperatur) dan waktu menggunakan Microsoft Excel 2007. Perubahan temperatur awal dan akhir dihitung dengan integral temperatur air terhadap waktu memasak menggunakan Original Pro 8.0 karena data yang diperoleh tidak linier. Perlakuan ini sama untuk semua jenis sampel. Ketiga jenis sampel tersebut digabung menjadi satu grafik, sehingga diperoleh perbedaan temperatur dan waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air.

3.5.2. Perhitungan Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1

Setelah diperoleh grafik dari data pengujian memasak air 12 liter dan ½ liter, dilakukan perhitungan efisiensi kompor biomassa yang dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{m_a \cdot c_a \cdot \Delta T}{m_k \cdot C_k} = \frac{m_a \cdot c_a \int T(t) dt}{\int dt} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

η : Efisiensi

m_a : Massa air (kg)

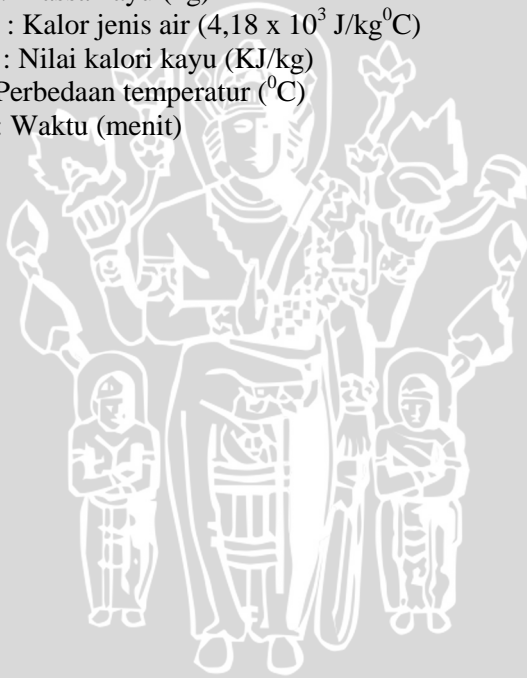
m_k : Massa kayu (kg)

c_a : Kalor jenis air ($4,18 \times 10^3 \text{ J/kg}^0\text{C}$)

C_k : Nilai kalori kayu (KJ/kg)

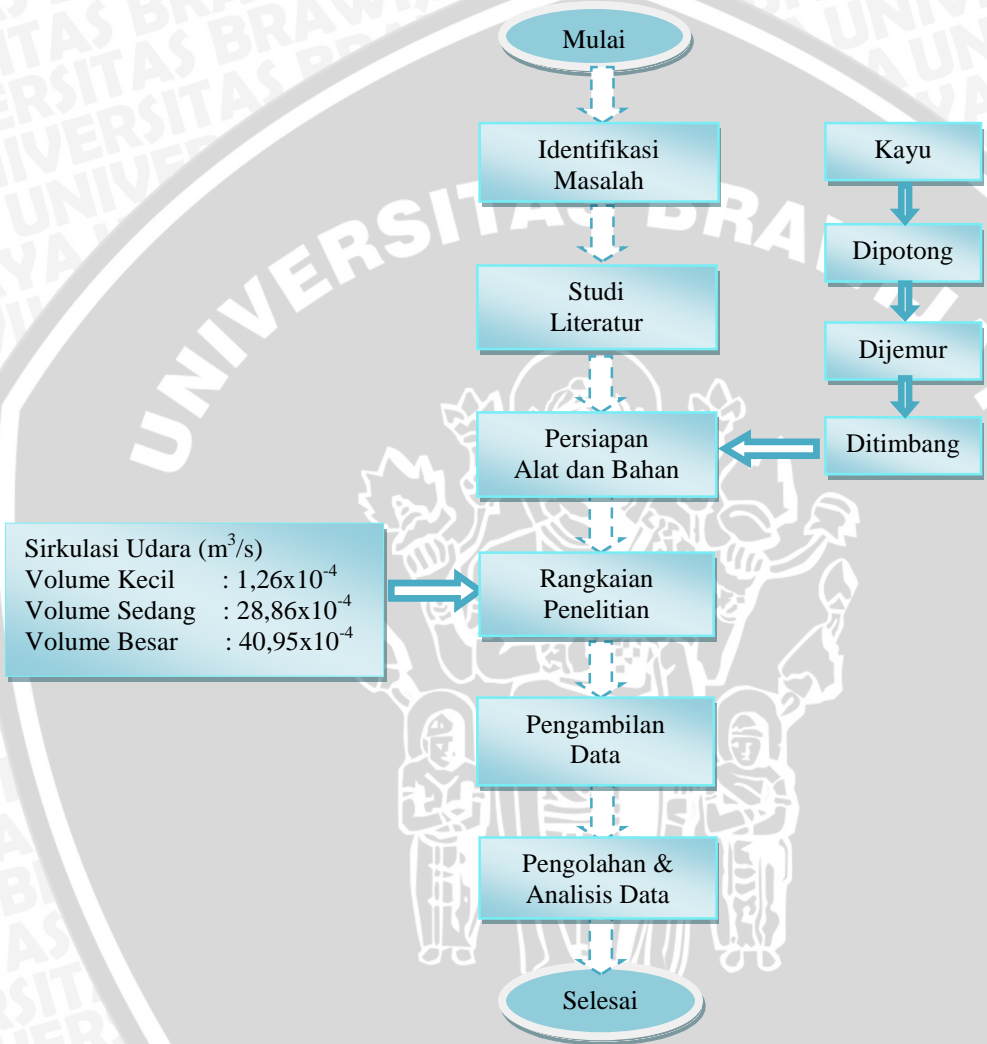
ΔT : Perbedaan temperatur (^0C)

t : Waktu (menit)



3.6. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

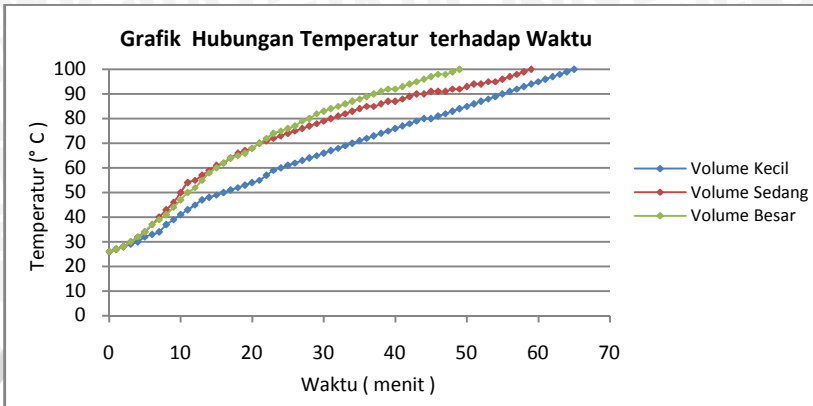
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Analisis Hasil Pengujian 12 liter Air yang Dipanaskan Menggunakan Kompor Biomassa UB-03-1 dengan Bahan Bakar Kayu Jati Putih (*Tectona grandis*).

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah kayu jati putih yang masih muda sebagai bahan bakar untuk memanaskan 12 liter air dengan kompor biomassa UB-03-1. Kadar air kayu jati putih setelah dikeringkan adalah 13,5%. Bahan bakar yang digunakan juga berbeda massanya, misalnya untuk volume udara kecil digunakan kayu jati sebanyak 860 gram, volume udara sedang sebanyak 810 gram, dan volume udara besar sebanyak 760 gram. Hal ini dikarenakan, penambahan bahan bakar setelah 500 gram pertama berbeda-beda agar air yang dimasak mendidih atau mencapai titik didihnya pada suhu 100 °C.

Pada awal pembakaran kompor biomassa UB-03-1 cenderung mengeluarkan sedikit asap dan api yang dihasilkan juga sangat besar.



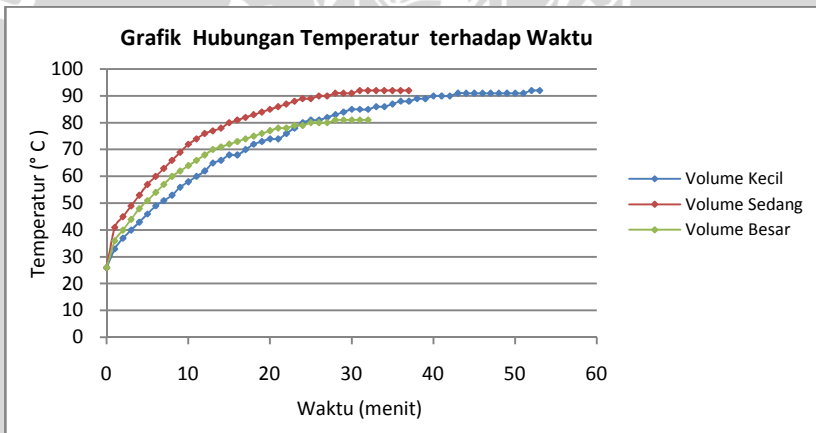
Gambar 4.1 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara kecil, sedang, dan besar menggunakan bahan bakar kayu jati putih.

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pada awal pembakaran-sekitar 5 menit pertama, temperatur air yang dipanaskan dengan ketiga volume relatif sama. Akan tetapi, setelah itu hanya volume sedang dan besar saja yang relatif sama sampai kenaikan temperaturnya sampai menit 21. Sedangkan untuk volume kecil temperatur airnya naik perlahan-lahan dari awal pembakaran. Kenaikan temperatur air dari ketiga volume berjalan cepat karena sampel dalam keadaan menyala besar. Selanjutnya kenaikan temperatur mulai melambat karena sampel sudah tidak besar nyalanya. Temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara besar lebih tinggi daripada temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara sedang dan kecil. Sedangkan temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara sedang lebih besar daripada volume udara kecil.

Hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan kompor biomassa UB-03-1 menunjukkan bahwa dengan volume udara besar dapat mendidihkan air selama 49 menit, dengan volume udara sedang mendidihkan air selama 59 menit, dan dengan volume udara kecil mendidihkan air selama 65 menit. Setelah mendidihkan 12 liter air, nyala bara api ketiga volume ini digunakan untuk memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nyala bara api pada volume udara besar dapat memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air sampai temperatur maksimum 81°C dan bara api bertahan selama 32 menit, volume udara sedang memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air sampai dengan temperatur maksimum 92°C dan bertahan selama 37 menit, dan volume udara kecil memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air sampai dengan temperatur maksimum 92°C dan bertahan selama 53 menit sebelum menjadi abu.

Dari hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan bahan bakar kayu jati putih dengan tiga perlakuan volume udara (kecil, sedang, dan besar), dapat dikatakan bahwa volume udara besar memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan volume udara sedang dan kecil, karena bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit dan waktu yang dibutuhkan untuk memasak 12 liter air lebih cepat.



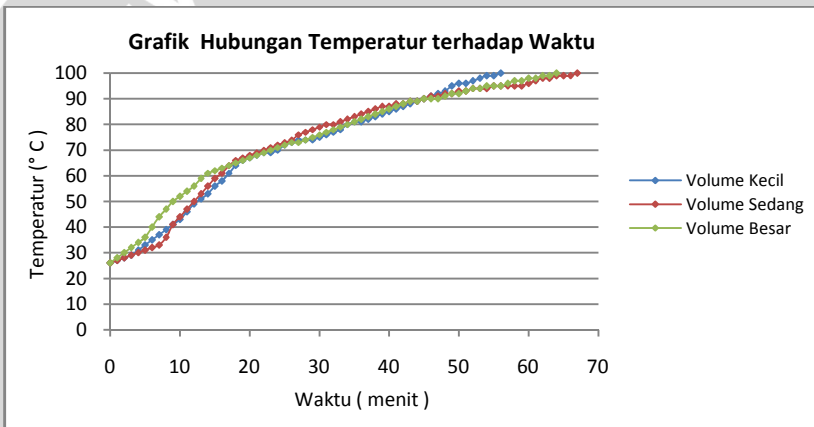
Gambar 4.2 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.1.2. Analisis Hasil Pengujian 12 liter Air yang Dipanaskan Menggunakan Kompor Biomassa UB-03-1 dengan Bahan Bakar Kayu Jambu Air (*Syzygium samarangense*).

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah kayu jambu air atau yang biasa disebut klampo sebagai bahan bakar untuk memanaskan 12 liter air dengan kompor biomassa

UB-03-1. Kadar air kayu jambu air setelah dikeringkan adalah 12,8%. Bahan bakar yang digunakan juga berbeda massanya, misalnya untuk volume udara kecil digunakan kayu jambu air sebanyak 710 gram, volume udara sedang sebanyak 680 gram, dan volume udara besar sebanyak 650 gram. Hal ini dikarenakan, penambahan bahan bakar setelah 500 gram kayu pertama berbeda-beda, sampai air yang dimasak mendidih atau mencapai titik didihnya pada suhu 100 °C.

Pada awal pembakaran kompor biomassa UB-03 cenderung mengeluarkan sedikit asap dan api yang dihasilkan juga sangat besar.



Gambar 4.3 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara kecil, sedang, dan besar menggunakan bahan bakar kayu jambu air.

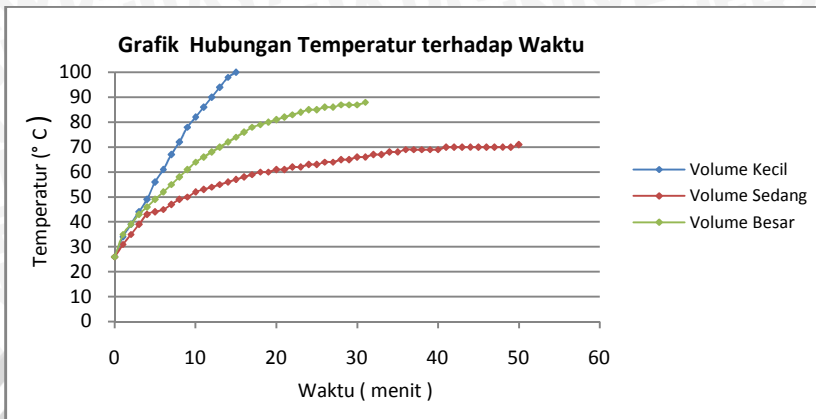
Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada awal pembakaran-sekitar 4 menit pertama, temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara kecil dan sedang relatif sama, berbeda dengan volume udara besar karena kenaikan temperaturnya relatif cepat. Temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara besar lebih tinggi daripada temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara sedang dan kecil. Sedangkan temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara sedang lebih besar daripada volume udara kecil. Kenaikan temperatur

air dari ketiga volume berjalan cepat karena sampel dalam keadaan menyala. Selanjutnya kenaikan temperatur mulai melambat karena sampel sudah tidak menyala lagi seperti terlihat pada grafik: volume udara kecil temperaturnya mulai melambat menit 20, volume udara sedang menit 19, dan volume udara besar menit 14.

Hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan kompor biomassa UB-03-1 menunjukkan bahwa volume udara besar dapat mendidihkan air selama 64 menit, volume udara sedang mendidihkan air selama 67 menit, dan volume udara kecil mendidihkan air selama 54 menit. Volume udara kecil dapat lebih cepat untuk mendidihkan air dari volume udara besar karena nyala api yang dihasilkan lebih fokus dan kalor yang dihasilkan kayu diserap dengan baik oleh air, sehingga air lebih cepat mendidih dan kondisi angin pada saat itu tidak terkontrol sehingga kalor yang dihasilkan oleh volume udara besar lebih banyak terbuang menyebabkan air lebih lambat untuk mendidih atau mencapai suhu 100°C . Setelah mendidihkan 12 liter air, nyala bara api ketiga volume ini digunakan untuk memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nyala bara api pada volume udara besar dapat memanaskan air sampai suhu maksimum 88°C dan bara api bertahan sampai 31 menit, volume udara sedang memanaskan air dengan suhu maksimum 71°C dan bertahan sampai 51 menit, dan volume udara kecil memanaskan air sampai mendidih dan bertahan 15 menit sebelum menjadi abu.

Dari hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan bahan bakar kayu jambu air dengan tiga perlakuan volume udara (kecil, sedang, dan besar), dapat dikatakan bahwa volume udara besar memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan volume udara kecil dan sedang, karena bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit dan waktu yang dibutuhkan untuk memasak 12 liter air lebih cepat.

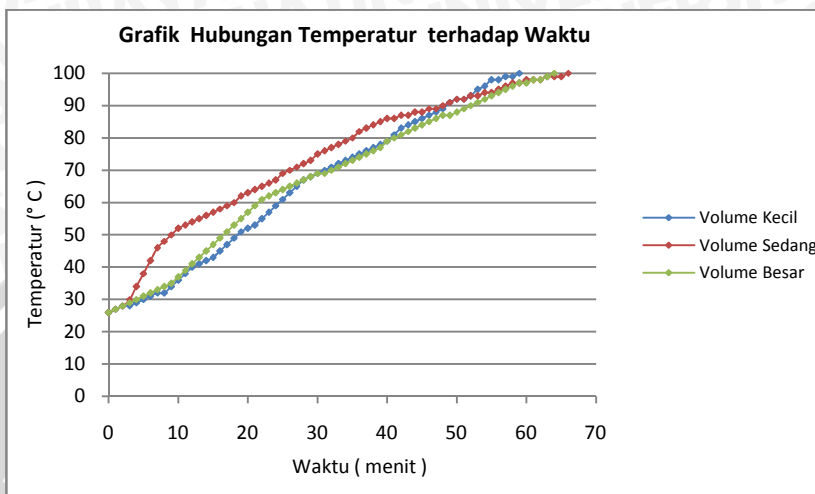


Gambar 4.4 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.1.3. Analisis Hasil Pengujian 12 liter Air yang Dipanaskan Menggunakan Kompor Biomassa UB-03-1 dengan Bahan Bakar Kayu Jambu Batu (*Psidium guajava L*).

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah kayu jambu batu atau yang biasa disebut jambu biji sebagai bahan bakar untuk memanaskan 12 liter air dengan kompor biomassa UB-03-1. Kadar air kayu jambu batu setelah dikeringkan adalah 13,1%. Bahan bakar yang digunakan juga berbeda massanya, misalnya untuk volume udara kecil digunakan kayu jambu air sebanyak 750 gram, volume udara sedang sebanyak 690 gram, dan volume udara besar sebanyak 660 gram. Hal ini dikarenakan, penambahan bahan bakar setelah pemasukan 500 gram kayu pertama berbeda-beda, sampai air yang dimasak mendidih atau mencapai titik didihnya pada suhu 100 °C.

Pada awal pembakaran kompor biomassa UB-03-1 cenderung mengeluarkan sedikit asap dan api yang dihasilkan juga sangat besar.



Gambar 4.5 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara kecil, sedang, dan besar menggunakan bahan bakar kayu jambu batu.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa pada awal pembakaran sekitar tiga menit pertama, temperatur air yang dipanaskan dengan ketiga volume relatif sama. Setelah itu keadaan berubah seiring dengan terbakarnya bahan bakar. Temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara sedang lebih tinggi daripada temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara besar dan kecil. Sedangkan temperatur air yang dipanaskan dengan volume udara besar lebih besar daripada volume udara kecil. Kenaikan temperatur air pada volume sedang relatif cepat dibandingkan dengan dua volume lainnya. Hal ini dikarenakan sampel atau bahan bakar cepat terbakar dan menghasilkan api yang besar. Selanjutnya kenaikan temperatur mulai melambat karena sampel sudah tidak menyala lagi seperti terlihat pada grafik: volume udara kecil temperaturnya mulai melambat menit 28, volume udara sedang menit 20, dan volume udara besar menit 22.

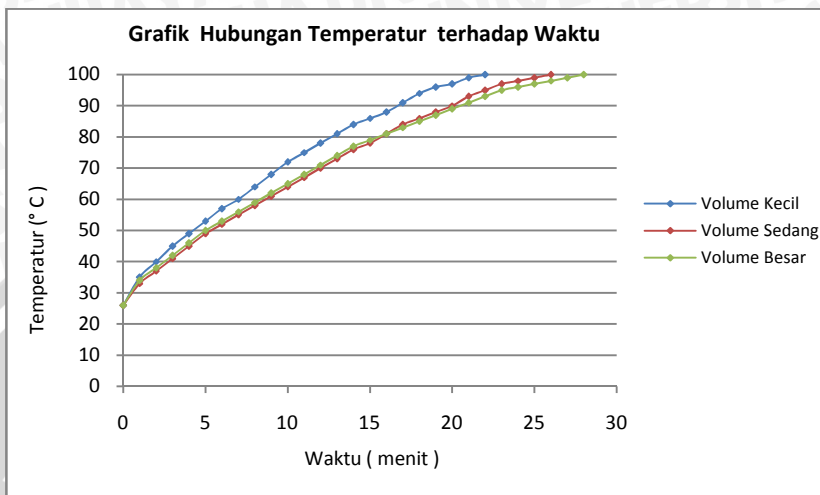
Hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan kompor biomassa UB-03-1 menunjukkan bahwa volume udara besar dapat mendidihkan air selama 64 menit, volume udara

sedang mendidihkan air selama 66 menit, dan volume udara kecil mendidihkan air selama 59 menit. Volume udara kecil dapat lebih cepat untuk mendidihkan air dari volume udara besar karena nyala api yang dihasilkan lebih fokus dan kalor yang dihasilkan kayu diserap dengan baik oleh air, sehingga air lebih cepat mendidih dan kondisi angin pada saat itu tidak terkontrol sehingga kalor yang dihasilkan oleh volume udara besar lebih banyak terbuang menyebabkan air lebih lambat untuk mendidih atau mencapai suhu 100°C . Setelah mendidihkan 12 liter air, nyala bara api ketiga volume ini digunakan untuk memanaskan $\frac{1}{2}$ liter air.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nyala bara api pada volume udara besar dapat mendidihkan $\frac{1}{2}$ liter air dengan waktu selama 28 menit, volume udara sedang dapat mendidihkan $\frac{1}{2}$ liter air dengan waktu selama 26 menit dan volume udara kecil memanaskan air sampai mendidih dengan waktu selama 22 menit sebelum menjadi abu.

Dari hasil pengujian memasak 12 liter air menggunakan bahan bakar kayu jambu batu dengan tiga perlakuan volume udara (kecil, sedang, dan besar), dapat dikatakan bahwa volume udara besar memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan volume udara kecil dan sedang, karena bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit dan waktu yang dibutuhkan untuk memasak 12 liter air lebih cepat.





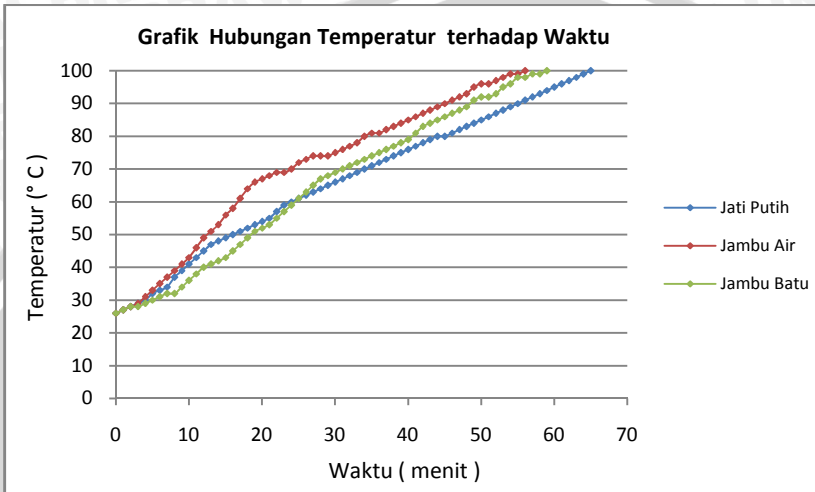
Gambar 4.6 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.2. Analisis Perbandingan Tiga Jenis Kayu dengan Volume Udara Kecil, Sedang, dan Besar

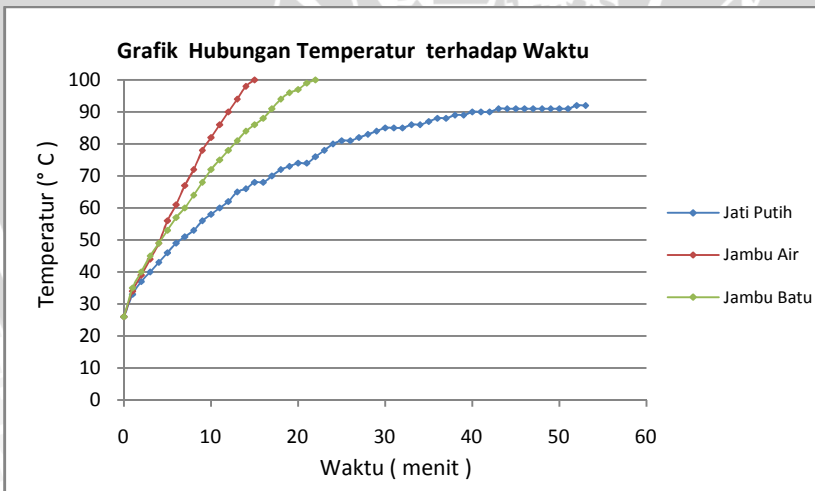
4.2.1. Volume Udara Kecil

Pada proses memasak 12 liter air dengan volume udara kecil yaitu dengan jumlah debit angin yang masuk pada kompor biomassa UB-03-1 sebesar $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk semua jenis kayu (jati putih, jambu air, dan jambu batu) yang ditunjukkan grafik 4.7, terlihat bahwa jenis kayu jambu air membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mendidihkan 12 liter air dibandingkan dengan pengujian dengan jenis kayu lainnya, yaitu selama 56 menit. Kemudian diikuti dengan kayu jambu batu 59 menit, dan kayu jati putih selama 65 menit. Proses pembakaran ini disebabkan oleh tipe kayu yang berbeda. Masing-masing jenis kayu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Semakin keras jenis kayu tersebut, semakin baik kayu tersebut untuk dibakar dan menyala. Kadar air kayu juga berpengaruh, semakin kering kondisi suatu kayu

bakar (mengandung sedikit air), semakin cepat untuk terbakar dan menyala.



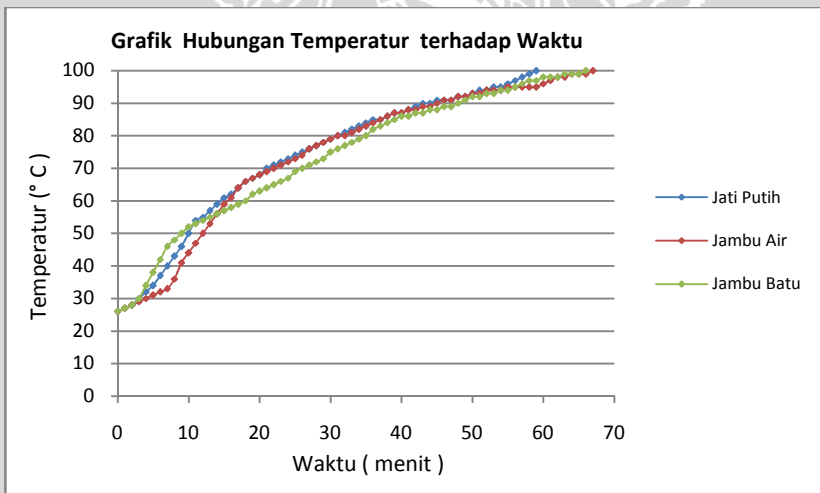
Gambar 4.7 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara kecil dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.



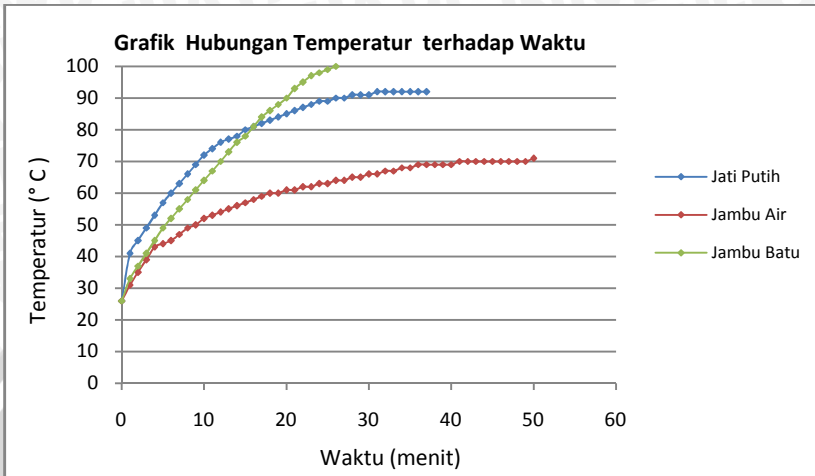
Gambar 4.8 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.2.2. Volume Udara Sedang

Pada proses memasak 12 liter air dengan volume udara sedang yaitu dengan jumlah debit angin yang masuk pada kompor biomassa UB-03-1 sebesar $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk semua jenis kayu (jati putih, jambu air, dan jambu batu) yang ditunjukkan grafik 4.9, terlihat bahwa jenis kayu jati putih membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mendidihkan 12 liter air dibandingkan dengan pengujian dengan jenis kayu lainnya, yaitu selama 59 menit. Kemudian diikuti dengan kayu jambu batu 66 menit, dan kayu jambu air (klampo) selama 67 menit. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain tipe kayu yang berbeda. Masing-masing jenis kayu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Semakin keras jenis kayu tersebut, semakin baik kayu tersebut untuk dibakar dan menyala. Kadar air kayu juga berpengaruh, semakin kering kondisi suatu kayu bakar (mengandung sedikit air), semakin cepat untuk terbakar dan menyala.



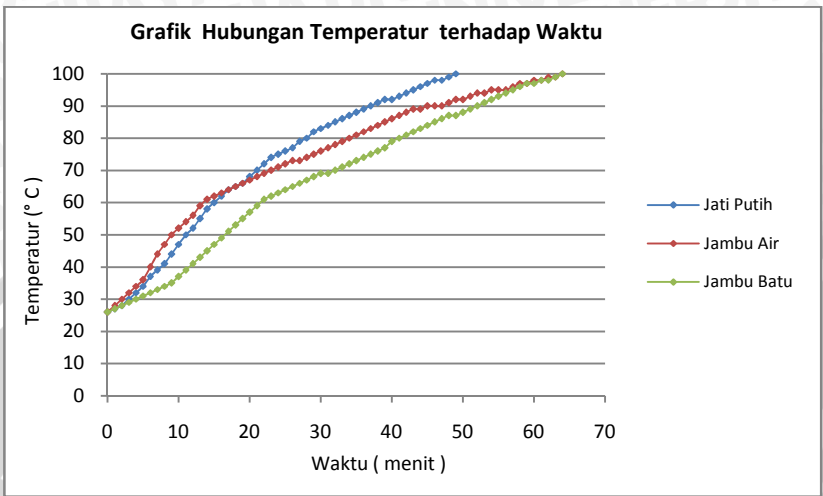
Gambar 4.9 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara sedang dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.



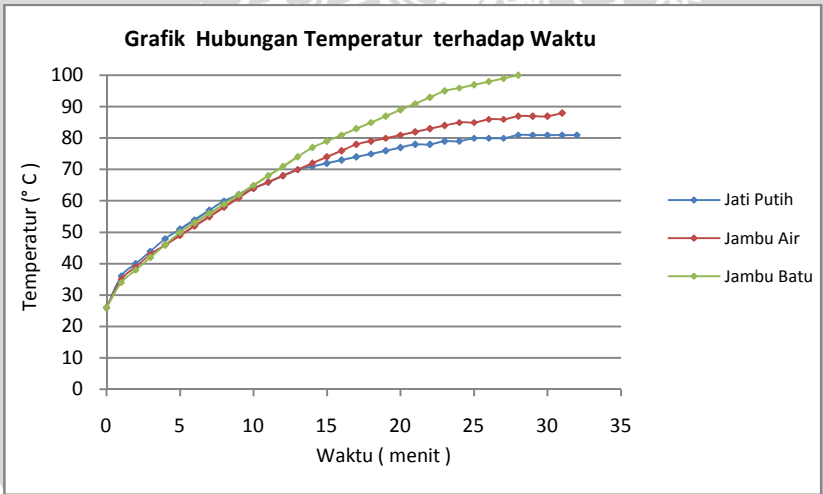
Gambar 4.10 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.2.3. Volume Udara Besar

Pada proses memasak 12 liter air dengan volume udara besar yaitu dengan jumlah debit angin yang masuk pada kompor biomassa UB-03-1 sebesar $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ untuk semua jenis kayu (jati putih, jambu air, dan jambu batu) yang ditunjukkan grafik 4.11, terlihat bahwa jenis kayu jati putih membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mendidihkan 12 liter air dibandingkan dengan pengujian dengan jenis kayu lainnya, yaitu selama 49 menit. Kemudian diikuti dengan kayu jambu air 64 menit, dan kayu jambu batu selama 64 menit. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi lamanya proses pembakaran ini seperti tipe kayu yang berbeda. Masing-masing jenis kayu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Semakin keras jenis kayu tersebut, semakin baik kayu tersebut untuk dibakar dan menyala. Kadar air kayu juga berpengaruh, semakin kering kondisi suatu kayu bakar (mengandung sedikit air), semakin cepat untuk terbakar dan menyala.



Gambar 4.11 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu pada volume udara besar dengan bahan bakar kayu jati putih, jambu air, dan jambu batu.



Gambar 4.12 Grafik kenaikan temperatur pembakaran terhadap waktu untuk nyala bara.

4.3. Efisiensi Kompor Biomassa UB-03-1

Setelah melakukan pengujian dengan 3 jenis kayu untuk memasak 12 liter air, diperoleh nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 untuk setiap sampel atau bahan bakar dengan masing-masing perlakuan pembakaran (volume udara kecil dengan jumlah debit udara yang masuk pada kompor sebesar $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, volume udara sedang dengan jumlah debit udara yang masuk pada kompor sebesar $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, dan volume udara besar dengan jumlah debit udara yang masuk pada kompor sebesar $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$).

Tabel 4.1 Efisiensi kompor biomassa UB-03-1.

Besaran	Jati Putih			Jambu Air			Jambu Batu		
	VK	VS	VB	VK	VS	VB	VK	VS	VB
Massa Air (kg)	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Massa Kayu (kg)	0,86	0,81	0,76	0,71	0,68	0,65	0,75	0,69	0,66
Kalor Jenis Air ($\text{J}/\text{kg}^0\text{C}$)	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$	$4,18 \times 10^3$
Kalori Kayu (MJ/kg)	19,92	19,92	19,92	18,84	18,84	18,84	18,81	18,81	18,81
Efficiency (%)	19,4	22,6	23,3	26,1	29,2	30,4	22,9	27,2	28,5

Keterangan :

- VK= volume udara primer kecil
- VS= volume udara primer sedang
- VB= volume udara primer besar

Dari tabel 4.1 di atas dapat dilihat bahwa besar nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 untuk volume udara kecil, sedang, dan besar dengan menggunakan bahan bakar kayu jati

putih adalah 19,4%, 22,6%, dan 23,3%. Besar nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 dengan bahan bakar kayu jambu air, masing-masing volume udara (kecil, sedang, dan besar) adalah 26,1%, 29,2%, dan 30,4%. Sedangkan nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 dengan bahan bakar kayu jambu batu masing-masing adalah 22,9%, 27,2%, dan 28,5%.

Dari data tersebut diketahui bahwa nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 tertinggi adalah menggunakan kayu jambu air dengan volume udara besar yaitu 30,4%. Nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh massa kayu (bahan bakar) yang digunakan, massa air yang dimasak, kalor jenis air, nilai kalori kayu, dan perubahan temperatur saat memasak air. Nilai kalor jenis air adalah konstanta ($4,18 \times 10^3 \text{J/kg}^0\text{C}$) dan nilai kalori untuk masing-masing kayu adalah Jati putih 19,92 MJ/kg, Jambu Air 18,84 MJ/kg, dan Jambu batu 18,81 MJ/kg (NAS, 1980). Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin sedikit bahan bakar yang digunakan untuk mendidihkan 12 liter air, semakin besar nilai efisiensinya, begitu juga sebaliknya.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi efisiensi kompor biomassa UB-03-1 adalah jenis kayu atau tipe kayu dan jumlah debit angin yang masuk pada kompor. Dari hasil penelitian yang diperoleh terlihat bahwa kayu jambu air merupakan bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan kayu jati putih dan kayu jambu batu, karena kayu jambu air memiliki struktur kayu yang lebih keras sehingga baik untuk pembakaran. Jumlah debit angin yang masuk juga berpengaruh. Semakin besar debit angin yang masuk pada kompor biomassa UB-03-1, semakin cepat pembakaran yang terjadi, karena zat-zat yang terkandung pada bahan bakar akan cepat bereaksi dengan jumlah oksigen yang masuk, sehingga bahan bakar lebih cepat terbakar dan api yang dihasilkan bagus untuk pembakaran.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Subroto (2007) tentang pembakaran briket campuran arang kayu dan jerami, faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran antara lain kadar air, kadar kalori, dan *volatile matter* atau zat yang mudah menguap. Kandungan air yang tinggi menyebabkan bahan bakar sulit menyala dan mengurangi temperatur pembakaran. Semakin besar nilai kalori, maka kecepatan

pembakaran semakin meningkat. Semakin banyak kandungan *volatile matter*, semakin mudah bahan bakar untuk terbakar dan menyala.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan tiga kondisi pembakaran yaitu pembakaran dengan volume udara primer kecil dengan jumlah debit angin $1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, volume udara primer sedang dengan jumlah debit angin $28,86 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, dan volume udara primer besar dengan jumlah debit angin $40,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ diperoleh nilai efisiensi untuk masing-masing jenis kayu: kayu jati putih sebesar 19,4% - 23,3%, kayu jambu air sebesar 26,1% - 30,4%, dan kayu jambu batu sebesar 22,9% - 28,5%. Dengan demikian, pada penelitian ini nilai efisiensi kompor biomassa UB-03-1 yang diperoleh adalah sebesar 19,4% - 30,4% yang dipengaruhi oleh jenis atau tipe kayu dan jumlah debit angin yang masuk pada kompor biomassa.

5.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, diharapkan akurasi pengukuran sesuai dengan standarisasi lebih ditingkatkan agar dapat diperoleh nilai efisiensi kompor yang lebih tinggi dan akurat.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2009. CCAT Rocket Stove. Aprovecho Research Center. Diakses dari <http://www.aprovechoresearchcenter> tanggal 5 September 2011.
- Bailis, R. 2007. *Performance Testing to Monitor Improved Stove Interventions*. Ethos Conference, Kirkland, WA.
- Bain, R.L. 2004. *An Introduction to Biomass Thermochemical Conversion*. DOE/NASLUG C Biomass and Solar Energy Workshops August 3rd – 4th 2004.
- Baldwin, S. 1987. *Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination*. Volunteers in Technical Assistance. Arlington, VA, USA.
- Belonio, A. T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.
- Belonio, A.T., D. Belonio., F.T. Garleman., dan D. Atmowidjojo. 2008. *Small-scale Industry Coal Gasifier Stove For Frying Food Products*. Minang Jordanino Approtech, Jakarta Selatan, Indonesia.
- Bhattacharya, S.C. A.H. Md., M. R. Siddique, M. Augustus Leon, H-L. Pham and C.P. Mahandari. *A Study on Improved Institutional Biomass Stoves*. Energy Program, Asian Institute of Technology, Klong Luang, Pathumthani, Thailand.
- Cengel, Y. A., 2003. *Heat Transfer. 2nd Ed.* McGraw-Hill Higher Education, New York.

- Cooper, W.D. 1999. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran Edisi kedua*, terjemahan Sahat Pakpahan. Erlangga. Jakarta.
- ESMAP. 1991. *Rwanda: Commercialization of Improved Charcoal Stoves and Carbonization Techniques*. Mid-Term Progress Report. Energy Sector Management Assistance Programme Report No. 141/91. World Bank, Industry and Energy Department, Washington, D.C. Processed.
- Goddam. 2006. http://organisasi.org/pengertian_definisi_kalor/, diakses 21 Mei 2010.
- Halliday, D. dan R. Resnick. 1992. *Fisika Jilid I*, terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Erlangga. Jakarta.
- Himawanto, D.A. 2003. *Pengolahan Limbah Pertanian menjadi Biobriket sebagai salah satu Bahan Bakar Alternatif*. Laporan penelitian, UNS.
- Howell J. R and B. Richard O. 1987. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill.
- International Standards. 1985. *Testing The Efficiency of Wood-Burning Cookstoves*. Volunteers In Technical Assistance (VITA) :USA.
- Kramer,P.2008.aksesdari[http://www.climateinterchange.com/coo stove system_save80.pdf](http://www.climateinterchange.com/coo_stove_system_save80.pdf) tanggal 21 September 2011.
- Lobert, J. M. 1991. *Experimental evaluation of biomass burning emissions: Nitrogen and carbon containing compounds*. In J. S Levine (ed.), *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. MIT Press, Cambridge, Mass., pp.289-304.

- Loo, S.V. and J. Koppejan. 2008. *The Hand Book of Biomass Combustion and Co-Firing*. Earth Scan. London.
- Mukunda .H.S., Shrinivasa .U., and Dasappa.S. 1988. *Portable single pan wood stoves of high efficiency*. Indian Institute of Science, Bangalore.
- NAS (1980). *Firewood Crops*. Washington DC, National Academy of Sciences.
- Nurhuda, M. 2009. *Rancang Bangun Reaktor Depolimerisasi Biomassa Menjadi Minyak Bahan Bakar Kasar (Crude Biofuel) Dengan Menggunakan Metode Perangkap Suhu*. Laporan Penelitian, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Brawijaya Malang.
- Puppung, P.L.1989. *Pengujian Daya dan Efisiensi Kompor Minyak Tanah Bersumbu*. Jakarta: Lembaran Publikasi LEMIGAS No. 2 (halaman 132 – 141).
- Siau, JF. 1984. *Transport processes in wood*. Springer-Verlag, NewYork. 245p.
- Stockley,dkk. 2009. *Kamus Fisika Bergambar*, terjemahan Abdul Djamil Husin. Erlangga. Jakarta.
- Strehlow, R. A. 1985. *Combustion Fundamentals*. McGraw-Hill: Singapore.
- Subroto, 2007. *Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Arang Kayu dan Jerami*. Laporan penelitian. Surakarta.
- Sutadi, D.2002..*Developing a Willow Biomass*.Proceeding of Bionergy.
- Tipler, P. A. 1991. *Physics for Scientist and Engineers*.3rd Edition.Worth Publisher.Inc. New York.

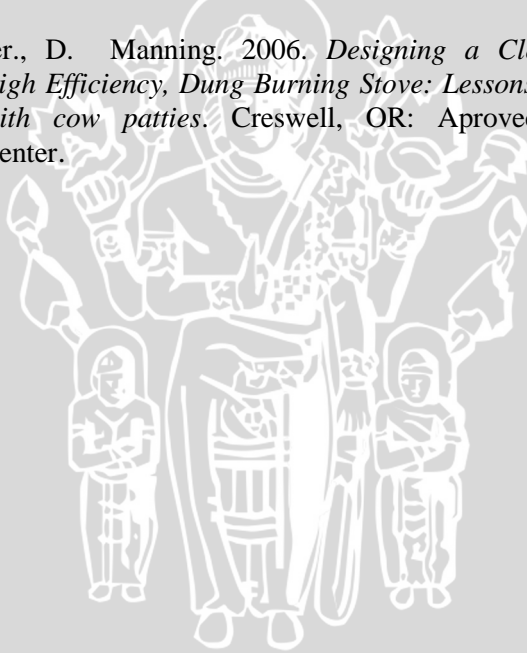
Walker, JCF, Butterfield, BG, Langrish, TAG, Harris, JM and Uprichard, JM. 1993. *Primary Wood Processing*. Chapman and Hall, London. 595p.

Wardana. 1998. *Diklat Ajar Energi Alternatif*. Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

White, E.H. 2000. *Developing a Willow Biomass*. Proceeding of Bionergy.

Witt, M. 2005. *An Improved Wood Cookstove: Harnessing Fan Driven Forced Draft for Cleaner Combustion*. Department of Mechanical Engineering, Trinity College, Hartford, CT.

Witt, M., K. Weyer., D. Manning. 2006. *Designing a Clean Burning, High Efficiency, Dung Burning Stove: Lessons in cooking with cow patties*. Creswell, OR: Aprovecho Research Center.



LAMPIRAN 1

Data Temperatur Air dengan Bahan Bahan Kayu Jati Putih untuk Memasak 12 L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	27	27	27
2	28	28	28
3	29	30	30
4	30	32	32
5	32	34	34
6	33	37	37
7	34	40	39
8	37	43	41
9	39	46	44
10	41	50	47
11	43	54	50
12	45	55	52
13	47	57	55
14	48	59	58
15	49	61	60
16	50	62	62
17	51	64	64
18	52	66	65
19	53	67	66
20	54	68	68
21	55	70	70
22	57	71	72
23	59	72	74

24	60	73	75
25	61	74	76
26	62	75	77
27	63	76	79
28	64	77	80
29	65	78	82
30	66	79	83
31	67	80	84
32	68	81	85
33	69	82	86
34	70	83	87
35	71	84	88
36	72	85	89
37	73	85	90
38	74	86	91
39	75	87	92
40	76	87	92
41	77	88	93
42	78	89	94
43	79	90	95
44	80	90	96
45	80	91	97
46	81	91	98
47	82	91	98
48	83	92	99
49	84	92	100
50	85	93	
51	86	94	
52	87	94	

53	88	95	
54	89	95	
55	90	96	
56	91	97	
57	92	98	
58	93	99	
59	94	100	
60	95		
61	96		
62	97		
63	98		
64	99		
65	100		

Data Temperatur Air dengan Nyala Bara untuk Memasak $\frac{1}{2}$ L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	33	41	36
2	37	45	40
3	40	49	44
4	43	53	48
5	46	57	51
6	49	60	54
7	51	63	57
8	53	66	60
9	56	69	62
10	58	72	64
11	60	74	66
12	62	76	68

13	65	77	70
14	66	78	71
15	68	80	72
16	68	81	73
17	70	82	74
18	72	83	75
19	73	84	76
20	74	85	77
21	74	86	78
22	76	87	78
23	78	88	79
24	80	89	79
25	81	89	80
26	81	90	80
27	82	90	80
28	83	91	81
29	84	91	81
30	85	91	81
31	85	92	81
32	85	92	81
33	86	92	
34	86	92	
35	87	92	
36	88	92	
37	88	92	
38	89		
39	89		
40	90		
41	90		
42	90		
43	91		

44	91		
45	91		
46	91		
47	91		
48	91		
49	91		
50	91		
51	91		
52	92		
53	92		

Data Temperatur Air dengan Bahan Kayu Jambu Air untuk Memasak 12 L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	27	27	28
2	28	28	30
3	29	29	32
4	31	30	34
5	33	31	36
6	35	32	40
7	37	33	44
8	39	36	47
9	41	41	50
10	43	44	52
11	46	47	54
12	49	50	56
13	51	53	59
14	53	56	61
15	56	59	62

16	58	61	63
17	61	64	64
18	64	66	65
19	66	67	66
20	67	68	67
21	68	69	68
22	69	70	69
23	69	71	70
24	70	72	71
25	72	73	72
26	73	74	73
27	74	76	73
28	74	77	74
29	74	78	75
30	75	79	76
31	76	80	77
32	77	80	78
33	78	81	79
34	80	82	80
35	81	83	81
36	81	84	82
37	82	85	83
38	83	86	84
39	84	87	85
40	85	87	86
41	86	88	87
42	87	88	88
43	88	89	89
44	89	89	89
45	90	90	90
46	91	91	90

47	92	91	90
48	93	92	91
49	95	92	92
50	96	93	92
51	96	93	93
52	97	94	94
53	98	94	94
54	99	94	95
55	99	95	95
56	100	95	95
57		95	96
58		95	97
59		95	97
60		96	98
61		97	98
62		98	99
63		98	99
64		99	100
65		99	
66		99	
67		100	

Data Temperatur Air dengan Nyala Bara untuk Memasak $\frac{1}{2}$ L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	34	31	35
2	39	35	39
3	44	39	43
4	49	43	46
5	56	44	49
6	61	45	52

7	67	47	55
8	72	49	58
9	78	50	61
10	82	52	64
11	86	53	66
12	90	54	68
13	94	55	70
14	98	56	72
15	100	57	74
16		58	76
17		59	78
18		60	79
19		60	80
20		61	81
21		61	82
22		62	83
23		62	84
24		63	85
25		63	85
26		64	86
27		64	86
28		65	87
29		65	87
30		66	87
31		66	88
32		67	
33		67	
34		68	
35		68	
36		69	
37		69	

38		69	
39		69	
40		69	
41		70	
42		70	
43		70	
44		70	
45		70	
46		70	
47		70	
48		70	
49		70	
50		71	

Data Temperatur Air dengan Bahan Bahan Kayu Jambu Batu untuk Memasak 12 L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	27	27	27
2	28	28	28
3	28	30	29
4	29	34	30
5	30	38	31
6	31	42	32
7	32	46	33
8	32	48	34
9	34	50	35
10	36	52	37
11	38	53	39
12	40	54	41

13	41	55	43
14	42	56	45
15	43	57	47
16	45	58	49
17	47	59	51
18	49	60	53
19	51	62	55
20	52	63	57
21	53	64	59
22	55	65	61
23	57	66	62
24	59	67	63
25	61	69	64
26	63	70	65
27	65	71	66
28	67	72	67
29	68	73	68
30	69	75	69
31	70	76	69
32	71	77	70
33	72	78	71
34	73	79	72
35	74	80	73
36	75	82	74
37	76	83	75
38	77	84	76
39	78	85	77
40	79	86	79
41	81	86	80
42	83	87	81
43	84	87	82

44	85	88	83
45	86	88	84
46	87	89	85
47	88	89	86
48	89	90	87
49	91	91	87
50	92	92	88
51	92	92	89
52	93	93	90
53	95	93	91
54	96	94	92
55	98	94	93
56	98	95	94
57	99	96	95
58	99	97	96
59	100	97	97
60		98	97
61		98	98
62		98	98
63		99	99
64		99	100
65		99	
66		100	

Data Temperatur Air dengan Nyala Bara untuk Memasak ½ L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	35	33	34
2	40	37	38
3	45	41	42
4	49	45	46

5	53	49	50
6	57	52	53
7	60	55	56
8	64	58	59
9	68	61	62
10	72	64	65
11	75	67	68
12	78	70	71
13	81	73	74
14	84	76	77
15	86	78	79
16	88	81	81
17	91	84	83
18	94	86	85
19	96	88	87
20	97	90	89
21	99	93	91
22	100	95	93
23		97	95
24		98	96
25		99	97
26		100	98
27			99
28			100

Data Temperatur Air dengan Bahan Bahan Kayu Keras untuk Memasak 12 L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	27	27	27

2	28	29	28
3	29	31	29
4	30	34	30
5	31	37	32
6	33	39	34
7	35	42	36
8	37	44	38
9	39	46	40
10	41	47	42
11	43	49	46
12	45	50	49
13	47	53	52
14	49	56	55
15	51	59	58
16	53	62	61
17	55	65	63
18	57	69	66
19	59	72	68
20	62	75	70
21	64	78	72
22	66	81	74
23	68	83	76
24	70	85	78
25	71	87	80
26	72	88	82
27	74	89	84
28	76	90	86
29	77	91	88
30	79	92	89
31	81	93	90
32	83	94	91

33	85	95	92
34	87	96	93
35	88	97	94
36	89	98	95
37	91	99	96
38	92	100	97
39	93		98
40	94		99
41	95		100
42	96		
43	97		
44	98		
45	99		
46	100		

Data Temperatur Air dengan Nyala Bara untuk Memasak $\frac{1}{2}$ L Air

Waktu (menit)	Volume Kecil (°C)	Volume Sedang (°C)	Volume Besar (°C)
0	26	26	26
1	38	46	42
2	44	55	51
3	50	65	60
4	56	74	69
5	62	85	78
6	68	91	83
7	74	96	89
8	79	100	95
9	84		100
10	89		
11	94		
12	97		
13	100		

LAMPIRAN 2

Gambar Kompor Biomassa UB-03-1 Volume Udara Kecil



Gambar Kompor Biomassa UB-03-1 Volume Udara Sedang



Gambar Kompor Biomassa UB-03-1 Volume Udara Besar

