

**UJI EFISIENSI
TUNGKU TANAH LIAT BERDAYA SEDANG**

SKRIPSI

oleh:
ARIF BUDIANTO
105090300111009



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



**UJI EFISIENSI
TUNGKU TANAH LIAT BERDAYA SEDANG**

SKRIPSI

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

oleh:
ARIF BUDIANTO
105090300111009



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
UJI EFISIENSI
TUNGKU TANAH LIAT BERDAYA SEDANG

Oleh:
ARIF BUDIANTO
105090300111009

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal

dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Rer. Nat. M. Nurhuda
NIP. 196409101990021001

Ahmad Nadhir, Ph. D.
NIP. 197412031998031002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, Ph.D
NIP. 196312271991031002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Budianto
NIM : 105090300111009
Jurusan : Fisika
Penulis tugas akhir berjudul :

UJI EFISIENSI TUNGKU TANAH LIAT BERDAYA SEDANG

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, 29 Oktober 2014
Yang menyatakan,

(Arif Budianto)
NIM. 105090300111009

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

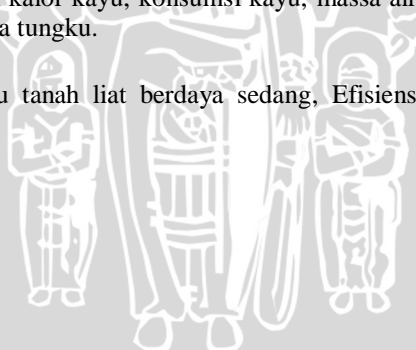


UJI EFISIENSI TUNGKU TANAH LIAT BERDAYA SEDANG

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang dan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan metode WBT (*Water Boiling Test*). Sampel bahan bakar biomassa adalah kayu pinus (nilai kalor 4872 kal/ gram) dan kayu campuran (3528 kal/ gram) dalam kondisi *air dried*. Sampel kayu dipotong menjadi potongan kecil menyesuaikan dimensi tungku, kemudian ditimbang, dan diberi label keterangan massanya. Digunakan tiga variasi volume pemasakan air, yakni Volume Kecil (8 liter), Volume Sedang (10 liter), dan Volume Besar (12 liter). Tiap volume air dimasak menggunakan kedua jenis kayu bakar, diukur temperatur lingkungan sekitar, lalu diukur perubahan temperatur air dan penambahan kayu bakar tiap menitnya dari awal pemasakan hingga mencapai temperatur maksimal (mendidih). Pemasakan air menggunakan kayu pinus untuk tiap volume menghasilkan efisiensi masing-masing 27,25; 20,44; dan 23,99%, sedangkan menggunakan kayu campuran masing-masing 25,61; 20,51; dan 23,95%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa efisiensinya (rata-rata 23,63%) lebih baik dibandingkan dengan tungku kayu bakar tradisional (5-10%). Efisiensi dipengaruhi oleh nilai kalor kayu, konsumsi kayu, massa air yang dimasak, dan kondisi mula-mula tungku.

Kata Kunci: Tungku tanah liat berdaya sedang, Efisiensi, Kayu Pinus, Kayu campuran



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



EFFICIENCY TEST OF MEDIUM POWER CLAY STOVE

ABSTRACT

This research aims to test the efficiency of medium power clay stove and to analyze the factors that influence with WBT (Water Boiling Test) method. Samples of biomass fuels are air dried pine woods (heating value of 4872 cal/g) and air dried mixed woods (heating value of 3528 cal/g). Wood samples are cut into smaller pieces, adjusted with the dimensions of the furnace, then weighed and labeled mass information. This research uses three variations of water cookings volumes, namely Small Volume (8 liters), Medium Volume (10 liters), and Large Volume (12 liters). Each water volume is cooked using two kinds of firewoods, measured surrounding environment temperature, and measured water temperature changes and firewoods additions for each minute from beginning of cooking until maximum temperature. Cookings of water using pine woods for each volume yield efficiency of each 27,25; 20,44; and 23,99%, while using mixed woods of each 22,61; 20,51; and 23,95%. These results indicate that the efficiency (average 23,63%) is better than traditional firewood stoves (5-10%). These are affected by the heating value of woods, woods consumption, boiled water mass, and clay stove initial condition.

Key Words: Medium power clay stove, Efficiency, Pine woods, Mixed woods



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa mencurahkan rahmat, taufiq, dan hidayat-Nya, sehingga skripsi berjudul “**Uji Efisiensi Tungku Tanah Liat Berdaya Sedang**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini bertujuan untuk menguji efisiensi keseluruhan tungku tanah liat berdaya sedang menggunakan kayu pinus dan kayu keras campuran sebagai sampel bahan bakar biomassa. Skripsi ini termasuk salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya dan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Fisika.

Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak dan Ibu penulis, atas segala doa, restu, bimbingan, motivasi, dan semuanya,
2. Keluarga besar penulis,
3. Drs. H. Adi Susilo, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, atas izin yang telah diberikan,
4. Prof. DR. rer. nat. M. Nurhuda selaku Pembimbing I, yang telah meluangkan banyak ilmu pengetahuan, waktu, dan bimbingan,
5. Ahmad Nadhir, Ph. D. selaku Pembimbing II, atas arahan, bimbingan, waktu, dan motivasi yang diberikan,
6. Dr. rer. nat. Abdurrouf, M. Si., selaku Penguji, atas bimbingan dan arahnya,
7. Seluruh dosen pengajar dan staff Tata Usaha Jurusan Fisika atas segala bantuannya,
8. Mia Anggun P., kesetiaan memotivasi dan meluangkan waktunya untuk mendengarkan sepenggal demi sepenggal kisah skripsi ini,
9. Kriwung, Arsyal, Fikri, Agung, Aldo, Rizguz, dan seluruh keluarga CL HMJ, sebagai sahabat terbaik,
10. dan pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharap adanya kritik dan saran yang dapat membangun, demi kualitas pendidikan dan manfaat yang lebih baik ke depannya. Terima kasih.

Malang, Oktober 2014
Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR ISI

	Halaman
COVER DEPAN	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kalor	5
2.1.1 Kalor Jenis	5
2.1.2 Nilai Kalor Bahan Bakar	6
2.1.3 Perpindahan Kalor	6
2.2 Biomassa Kayu Bakar	7
2.3 Kandungan Air Kayu	10
2.4 Pengeringan Kayu <i>Air Drying</i>	11
2.5 Efisiensi	12
2.5.1 Efisiensi Pembakaran dan Termal	12
2.5.2 Efisiensi Keseluruhan Tungku	13
2.6 Daya Tungku.....	14
2.7 Neraca Ohaus	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.2.1 Fasilitas Uji Efisiensi Tungku	17

3.2.2	Bahan	19
3.2.3	Alat Penunjang.....	19
3.3	Tahap Penelitian.....	20
3.4	Pengolahan Data	22
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Hasil Penelitian	23
4.1.1	Analisis Hasil Pemasakan 8 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran.....	23
4.1.2	Analisis Hasil Pemasakan 10 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran.....	26
4.1.3	Analisis Hasil Pemasakan 12 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran.....	28
4.2	Perbandingan Laju Konsumsi Kayu Pada Pemasakan VK	32
4.3	Efisiensi Tungku Tanah Liat Berdaya Sedang	33
BAB V	PENUTUP.....	41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Penggunaan kayu bakar..... 8
2.2	Kayu Pinus 10
2.3	Metode pengeringan <i>air drying</i> 11
2.4	Tumpukan standar dan tumpukan silang pada pengeringan alami 12
2.5	Neraca Ohaus 15
3.1	Bagian-bagian tungku tanah liat berdaya sedang 17
3.2	Ilustrasi aliran udara dan gas buang di bagian dalam tungku 18
3.3	Diagram alur penelitian 21
4.1	Grafik hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus 23
4.2	Grafik hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu campuran 24
4.3	Grafik perbandingan hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran 25
4.4	Grafik hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus 26
4.5	Grafik hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran 27
4.6	Grafik perbandingan hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran 28
4.7	Grafik hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu pinus 29
4.8	Grafik hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu campuran 30
4.9	Grafik perbandingan hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran 31
4.10	Perbandingan laju konsumsi kayu pinus dan kayu campuran saat pemasakan VK 32
4.11	Perbandingan efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang menggunakan kayu pinus dan kayu campuran 33
4.12	Grafik hubungan tingkat rata-rata FCR per volume dengan massa air yang dimasak..... 38
4.13	Manipulasi udara dalam tungku (tampak samping) 39
4.14	Manipulasi udara dalam tungku (tampak depan) 40

DAFTAR TABEL

	Halaman
1.1 Jenis tanaman yang digunakan untuk kayu bakar	9
1.2 Nilai kalor kayu pada beberapa kondisi	9
4.1 Efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang	33
4.2 Besar energi masukan tungku di tiap perlakuan	34
4.3 Persamaan polinomial orde tiga untuk tiap perlakuan	37
4.4 Analisis FCR.....	38



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi di Indonesia sangatlah besar dan masih didominasi pada bahan bakar fosil yang sifatnya *unrenewable* sehingga ketersediannya kian menipis. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (bahan bakar) alternatif. Biomassa memiliki nilai lebih jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil, yakni dapat menyediakan energi secara berkesinambungan (*sustainable*) karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable*).

Pemanfaatan biomassa berupa ranting-ranting kayu atau limbah potongan kayu sudah dilakukan sejak lama. Kayu-kayu tersebut umumnya disebut sebagai kayu bakar bagi tungku tradisional. Bahkan hingga saat ini, masih banyak masyarakat yang memanfaatkan kayu bakar.

Setelah terjadi kenaikan harga BBM (Bahan Bakar Minyak), penggunaan kayu bakar oleh rumah tangga semakin meningkat, sehingga penggunaan kayu bakar lebih bermotifkan alasan ekonomi (lebih murah atau lebih ekonomis) sesuai dengan daya beli masyarakat pedesaan yang umumnya masih mengandalkan mata pencaharian dari pertanian. Di kalangan industri rumah di pedesaan (gula kelapa, tempe, rengginang, dawet), penggunaan kayu bakar dan limbah pertanian (pelepah pohon aren) terutama disebabkan alasan ekonomis karena rendahnya harga jual produk dibandingkan biaya produksinya. Namun bagi industri rumah yang berskala produksi menengah (seperti industri produk makanan dari ketela pohon), penggunaan biomassa (kayu bakar) dicampur minyak tanah dan gas (Dwiprabowo, 2010).

Kemudahan mendapatkan kayu sebagai bahan bakar menjadi alasan bahwa pengguna utama tungku adalah masyarakat pedesaan. Selain itu, harga kayu bakar di pedesaan masih murah. Di sisi lain, efisiensi tungku kayu bakar tradisional sangat rendah, yakni hanya berkisar 5 hingga 10% (Robith, 2004).

Efisiensi tungku kayu bakar tradisional yang rendah menggambarkan begitu banyak energi yang tidak termanfaatkan. Dengan kata lain, jumlah konsumsi kayu bakar yang banyak tidak sebanding dengan energi yang dihasilkan (pemborosan energi). Oleh karena itu, penggunaan tungku kayu bakar tradisional perlu

diimbangi dengan pengembangan teknologi yang efektif dan inovatif. Pengembangan tersebut tidak ditujukan sebagai suatu cara untuk diversifikasi energi dari BBM ke kayu bakar, melainkan sebagai suatu bentuk usaha peningkatan efisiensinya sehingga konsumsi kayu dapat lebih diminimalisir. Tak lupa, pengembangan tungku tetap harus mempertimbangkan kondisi ekonomi, sosial, dan budaya masyarakat pengguna tungku.

Salah satu bentuk inovasi tersebut adalah tungku tanah liat berdaya sedang. Tungku ini didesain sebagai pengganti tungku kayu bakar tradisional, dengan harapan memiliki nilai efisiensi yang lebih baik. Dalam penelitian ini, tungku tersebut akan diuji kinerjanya, sehingga data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan tungku lebih lanjut.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana tingkat efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang?
2. Faktor apakah yang mempengaruhi efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Tungku berdaya sedang diasumsikan memiliki FCR 1-3 kg kayu per jamnya dalam kondisi nyala api dipertahankan stabil.
- b. Sampel bahan bakar adalah kayu pinus dan kayu campuran yang didapatkan di pasaran dalam kondisi *air dried*.
- c. Massa bahan bakar total diaproksimasikan hanya pada jumlah konsumsi kayu bakar saat *hot start* untuk menjaga kestabilan nyala api hingga mencapai temperatur maksimal.
- d. Uji efisiensi ditekanan pada efisiensi keseluruhan dengan metode WBT (*Water Boiling Test*) dan tidak membahas proses pembakaran kayu secara detail.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji tingkat efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang menggunakan sampel bahan bakar kayu pinus dan kayu campuran, serta untuk menganalisis faktor yang mempengaruhi efisiensinya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tugas akhir ini adalah dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan desain lebih lanjut tungku tanah liat berdaya sedang, yakni untuk diterapkan sebagai tungku pemasakan gula aren.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kalor

Kalor seperti halnya usaha, bukan merupakan suatu materi nyata melainkan sebuah cara transfer energi. Usaha merupakan energi yang ditransfer oleh hubungan mekanik antara sistem dengan sekitarnya. Di sisi lain, kalor adalah energi yang dipindahkan semata-mata karena perbedaan temperatur antara sistem dengan sekitarnya (Roy, 2002).

Kalor (*heat*) merupakan bentuk energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda lain yang memiliki temperatur lebih rendah, sesuai dengan perbedaan temperatur di antara kedua benda tersebut. Kalor hanya muncul selama proses, sehingga kalor diartikan sebagai energi yang dialihkan. Kalor tidak pernah dapat diisikan ke dalam suatu benda atau dimiliki oleh suatu benda (Susilo & Argo, 2010).

Satuan kuantitas kalor dapat didasarkan pada perubahan temperatur dari beberapa bahan spesifik. Kalori (disingkat kal) ditetapkan sebagai banyaknya panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air dari 14,5° menjadi 15,5°C. Satuan kilokalori (kkal), sama dengan 1000 kal, juga digunakan. *International Committee on Weights and Measures* (ICWM) merekomendasikan penggunaan Joule sebagai satuan dasar semua bentuk energi, termasuk kalor (Young & Freedman, 2004).

Secara kuantitatif 4,186 Joule usaha sama dengan 1 kalori panas (*heat*). Hal ini diketahui sebagai ekivalensi mekanik kalor. Dengan kata lain:

1 kalori	=	4,186 Joule
1 kkalori	=	4,186 kJoule
1 Btu	=	0,252 kkal = 1055 Joule

(Giancoli, 2005)

2.1.1 Kalor Jenis

Kalor jenis merupakan banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu (T) satuan massa (m) benda sebesar 1 derajat. Kalor jenis benda biasanya bergantung pada suhu. Apabila perubahan suhu tidak terlalu besar maka besar kalor jenis dapat dianggap tetap. Kalor jenis dinyatakan dalam persamaan 2.1.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.1)$$

di mana:

c =kalor jenis (Joule/ kg °C)

Q =kalor (Joule)

m =massa benda (kg)

ΔT =perubahan suhu (°C)

(Nabawiyah & Abtokhi, 2010)

Kalor jenis adalah kapasitas kalor bahan tiap satuan massanya. Kalor jenis merupakan salah satu sifat termometrik benda. Untuk selang suhu yang tak terlalu besar, biasanya c dapat dianggap konstan. Kalor jenis dapat dihitung dengan:

$$c = \frac{H}{m} \quad (2.2)$$

di mana:

c = kalor jenis bahan (Joule/ kg °C)

H = kapasitas kalor bahan (Joule/ °C)

m = massa bahan (kg)

(Hernowo & Halim, 2013)

2.1.2 Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor dari suatu bahan bakar menunjukkan energi yang terkandung di dalam suatu bahan bakar tiap satuan massa bahan bakar (Btu/lbm) atau (kkal/ kg). Nilai kalor digunakan untuk mengukur kandungan energi dari setiap massa bahan bakar. Tujuannya adalah didapatkan kalkulasi secara tepat konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam menghasilkan energi tertentu. Nilai kalor dibedakan menjadi dua macam, yakni Nilai Kalor Atas/ HHV dan Nilai Kalor Bawah/ LHV (Patabang, 2009).

2.1.3 Perpindahan Kalor

Kalor dapat berpindah dalam 3 cara, yakni secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor secara konduksi lebih cepat dibandingkan konveksi, sedangkan perpindahan kalor melalui radiasi paling lambat dibanding cara aliran yang lain. Konduksi kalor biasanya bermedium padat dan perpindahan kalor tersebut disebabkan oleh perpindahan tenaga getar atom ke atom tetangganya. Konveksi kalor biasa terjadi pada medium cair dan udara, yang dicirikan oleh ikut berpindahnya atom atau molekul pembawa kalor.

Perpindahan kalor melalui radiasi tidak memerlukan medium sehingga peristiwa ini bisa terjadi pada medium udara atau hampa udara (Jati & Priyambodo, 2009).

Radiasi merupakan proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut. Kedua hal tersebut menjadi pembeda antara peristiwa perpindahan panas konduksi-konveksi dengan perpindahan panas radiasi (Koestoer, 2002).

Jika salah satu ujung batang logam dibakar, maka ujung batang yang lain semakin lama suhunya akan semakin tinggi. Pada peristiwa ini tenaga termal, dalam bentuk kalor, dipindahkan dari tempat bersuhu tinggi ke tempat yang lebih dingin, karena adanya tambahan kalor sehingga molekul atau atom penyusun bahan logam di tempat yang lebih dingin ini bergetar semakin cepat. Proses perpindahan kalor itu disebut konduksi (Jati & Priyambodo, 2009).

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan benda padat dan fluida yang mengalir akibat adanya perbedaan temperatur. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi dikenal dengan hukum pendinginan Newton (*Newton's law of cooling*) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$q_{\text{konveksi}} = -h A (T_s - T_{\infty}) \quad (2.3)$$

di mana:

h = koefisien konveksi ($W/m^2 K$)

A = luasan permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = temperatur permukaan benda padat (K)

T_{∞} = temperatur fluida yang mengalir (K)

(Suriadi & Murti, 2011)

2.2 Biomassa Kayu Bakar

Biomassa mengandung bahan volatil tinggi, kadar karbon rendah, sementara nilai kalornya tergolong sedang. Tingginya kandungan senyawa volatil dalam biomassa mengakibatkan pembakaran dapat dimulai pada suhu rendah. Proses devolatisasi pada suhu rendah menunjukkan kemudahan biomassa untuk dinyalakan (mudah terbakar). Karakteristik pembakarannya yakni berlangsung sangat cepat dan bahkan sulit dikontrol (Jamilatun, 2008).

Salah satu jenis bahan bakar biomassa adalah kayu bakar. Kayu bakar masih banyak digunakan sebagai sumber energi khususnya di rumah tangga dan industri rumah makanan di pedesaan. Berdasarkan penelitian Dwiprabowo (2010) di desa Bojanegara dan Tunggoro, Kecamatan Sigaluh, alasan utama penggunaan kayu bakar adalah kemudahan kayu untuk diperoleh, harga yang lebih murah, serta makanan yang dimasak dengan kayu bakar terasa lebih lezat. Alasan lainnya adalah tradisi penduduk desa yang pada umumnya memiliki pawon (dapur/ tungku pembakaran).



Gambar 2.1 Penggunaan kayu bakar

Kayu bakar memiliki peran penting bagi masyarakat pedesaan di Indonesia dalam menunjang kesinambungan pemenuhan kebutuhan hidupnya sehari-hari. Kayu bakar digunakan untuk memasak makanan, air, dan pemanasan. Kayu bakar bagi masyarakat di pedesaan belum akan tergantikan secara total oleh jenis energi seperti minyak tanah dan gas karena kemampuan daya belinya yang rendah dan sulitnya memperoleh pekerjaan alternatif di luar usaha tani (Dwiprabowo, 2010).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sylviani (2001), disebutkan bahwa jenis-jenis pohon yang digunakan sebagai kayu bakar dapat digolongkan dalam tiga kategori, yaitu: 1) Jenis pohon kayu pertukangan; 2) Jenis pohon buah-buahan/ perkebunan; 3) Jenis pohon kayu bakar/ energi. Urutan pemakai terbanyak adalah jenis jati, sengon, bambu, akasia, gamal, karet, dan mahoni. Jenis kayu yang digunakan pada masing-masing kabupaten di Indonesia disajikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 2.1 Jenis tanaman yang digunakan untuk kayu bakar

No.	Propinsi/ Kabupaten Province / District	Jenis tanaman/ Spesies			
1	Jawa Barat Cianjur (padat) Subang (jarang)	Sengon Api-api	Kaliandra Lamtoro	Bambu Johar	Rasamala Bambu
2	Jawa Tengah Kebumen (jarang) Kendal (padat)	Kelapa Jati	Sengon Karet	Bambu -	Jati -
3	Yogyakarta Gunung Kidul (jarang) Bantul (padat)	Jati Sonokeling	Sengon Jati	Mahoni Mahoni	Akasia Bambu
4	Jawa Timur Bondowoso (jarang) Malang (padat)	Gemelina Jati	Randu Sengon	Kelapa Pinus	Jati Akasia
5	Bali Karang Asem (jarang) Bangli (padat)	Gamal Dadap	Intaran Kaliandra	Ketela Gamal	Kelapa -
6	Sumatera Selatan O K U (jarang) O K I (padat)	Kopi Samak	Kelapa Seru	Karet Pelawan	Johar -

Sumber : Sylviani, 2001

Berdasarkan penelitian Dwiprabowo (2010) di Kabupaten Banjarnegara, Sukabumi, dan Lebak, jenis kayu bakar yang disukai pada umumnya adalah kayu keras karena lebih banyak menghasilkan kalori seperti jenis kaliandra, kopi, glirisida, dan kayu buah-buahan. Kaliandra disukai karena selain kayunya baik untuk menghasilkan energi juga karena daunnya digunakan untuk pakan ternak. Namun populasi kaliandra semakin menurun karena pemanfaatan yang berlebihan.

Tabel 2.2 Nilai kalor kayu pada beberapa kondisi

Bahan Bakar	Net Calorivic Value	
	kal/ gram	kWh/ kg
Bilah kayu (wood chips 30% MC)	3000	3,5
Kayu log (stacked-air dry 20% MC)	3528	4,1
Kayu (wood; solid - oven dry)	4560	5,3
Kayu pelet (wood pellets)	4080	4,8

Disadur dari: Biomass Energy Centre, n.d., diakses 19 Juni 2014

Pohon pinus (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) tumbuh secara alami maupun buatan di Indonesia, Vietnam, Kamboja, Laos, Cina, Filipina, Thailand, dan Malaysia. Di Indonesia, pinus menyebar di Bukit Barisan Sumatra (2°06' S). Hutan spesies pinus yang terjaga dengan baik ditemukan di sekitar danau Toba, Sumatra Utara (Razal *et al.*, 2005).

Pinus merkusii merupakan salah satu dari sekian jenis pinus yang paling banyak ditemukan di bagian selatan, dan satu-satunya jenis pinus yang penyebarannya secara alami meluas hingga bumi belahan selatan. *Pinus merkusii* tergolong pohon besar dengan tinggi 50 (hingga 70) meter. Nilai kalor kayu pinus berkisar 20.300 sampai dengan 23.200 kJoule/ kg (Orwa *et al.*, 2009).



Gambar 2.2 Kayu Pinus

Pinus merkusii Jungh et De Vriese atau lebih sering disebut sebagai tusam, merupakan jenis pohon industri dengan nilai produksi tinggi. Di pulau Jawa, pinus dikenal sebagai penghasil kayu, resin, dan gondorukem yang dapat diolah untuk ditingkatkan nilai ekonominya. Di balik kelebihanannya, *Pinus merkusii* memiliki kekurangan, yakni peka terhadap kebakaran karena menghasilkan serasah daun yang tidak mudah membusuk secara alami (Komarayati *et al.* dalam Siregar, 2005).

2.3 Kandungan Air Kayu

Kandungan air dalam kayu yang diperoleh dari pohon yang baru dipotong sekitar 60 % atau lebih. Oleh karena itu, kayu harus dikeringkan terlebih dahulu untuk menurunkan kadar airnya. Pengeringan kayu secara alami dapat dilakukan dengan cara

membiarkan kayu yang sudah dipotong di alam terbuka sampai seluruh air yang ada di dalamnya menguap dan meninggalkan kayu yang kering. Pengeringan kayu secara alami membutuhkan waktu sangat lama dan sangat tergantung pada kondisi alam (Sigit, 2012).

Air yang terkandung di dalam kayu (*moisture content/ MC*) dibagi menjadi dua macam, yakni air bebas dan air terikat. Air bebas merupakan air yang terkandung di dalam rongga sel, di mana air ini mudah keluar masuk (higroskopis). Air terikat merupakan air yang terkandung di dalam sel, di mana air ini agak lamban keluar masuk. Kadar air tersebut dapat dihitung secara manual dengan persamaan:

$$MC = \frac{BA-BK}{BK} \times 100\% \quad (2.4)$$

di mana:

MC = kadar air kayu (%)

BA = massa kayu awal (gram)

BK = massa kayu setelah dikeringkan (gram)

(Mulyono, 2013)

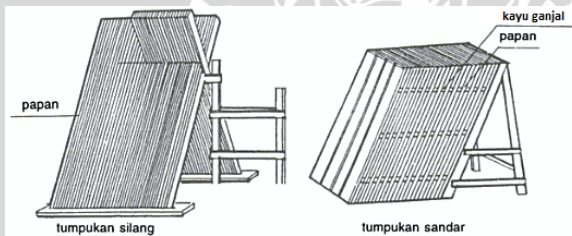
2.4 Pengeringan Kayu *Air Drying*

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengeringkan kayu. Salah satu metode tersebut adalah pengeringan kayu secara alami (*air drying*). Metode *air drying* dilakukan dengan menata kayu menjadi beberapa lapisan, memisahkan perekat, kemudian menggabungkannya menjadi beberapa unit tumpukan di luar ruangan (gambar 2.3). Hal ini dilakukan agar udara atmosfer mampu melakukan sirkulasi menembus tumpukan dan mengangkat air yang terkandung di dalam kayu (Forest Products Laboratory, 1999).



Gambar 2.3 Metode pengeringan *air drying*
(Forest Products Laboratory, 1999)

Pengeringan kayu secara alami atau tradisional banyak dilakukan di Indonesia, terutama pada pertukangan kayu kecil. Sistem pengeringan ini merupakan sistem pengeringan kayu yang paling tua, terutama karena di Indonesia energi Matahari sangat murah dan mudah didapat. Sistem ini sangat bergantung pada musim dan sinar matahari. Pada pengeringan alami, kadar air kayu di bawah 12% tidak dapat diperoleh (kondisi Indonesia). Kondisi udara di Indonesia termasuk lembab karena terletak di daerah tropis dan negara kepulauan. Kelembaban relatifnya berkisar 60% hingga 80% dengan temperatur 18°-35°C pada musim kemarau. Kondisi ini berbeda-beda, bergantung pada letak geografis dan tinggi daerah dari permukaan laut. Bila nilai kelembaban relatif dan temperatur dihubungkan, titik keseimbangan kayu di Indonesia berkisar 12%-20%, bergantung pada jenis kayu. Umumnya, kadar air masih berkisar 15%, yang mana masih relatif tinggi (Budianto, 1996).



Gambar 2.4 Tumpukan standar dan tumpukan silang pada pengeringan alami (Budianto, 1996)

2.5 Efisiensi

2.5.1 Efisiensi Pembakaran dan Termal

Efisiensi pembakaran (*combustion efficiency*) merupakan ukuran seberapa efektif energi dari bahan bakar dikonversi menjadi energi yang berguna (TSI, 2004). Sedangkan efisiensi termal adalah perbandingan antara temperatur yang terpakai (temperatur rata-rata pada output) dengan temperatur yang tersedia (temperatur rata-rata pada ruang bakar) dan temperatur rata-rata pada input. Efisiensi termal dapat dihitung dengan:

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{rb}} + T_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

di mana:

T_{out} = rata-rata temperatur keluaran ($^{\circ}\text{C}$)

T_{in} = rata-rata temperatur masukan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{rb} = rata-rata temperatur ruang bakar ($^{\circ}\text{C}$)

(Ahmad dkk., 2011)

2.5.2 Efisiensi Keseluruhan Tungku

Efisiensi merupakan persentase panas yang berguna dibandingkan dengan panas yang diberikan alat masak selama pengujian. Efisiensi keseluruhan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_a \cdot c_a + m_{pa} \cdot c_{pa})(T_2 - T_1) + m_s \cdot H_e}{m_f \cdot E} \times 100\% \quad (2.6)$$

di mana :

η_{overall} = efisiensi keseluruhan tungku (%)

m_a = massa air yang dipanaskan (kg)

m_{pa} = massa panci yang digunakan (kg)

c_a = kalor jenis air (kJoule/ kg $^{\circ}\text{C}$)

c_{pa} = kalor jenis panci (kJoule/ kg $^{\circ}\text{C}$)

T_2 = temperatur air mendidih ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 = temperatur mula-mula air ($^{\circ}\text{C}$)

m_s = massa air yang menguap (kg)

m_f = massa bahan bakar yang terpakai (kg)

H_e = panas laten penguapan air (2440 kJoule/ kg)

E = Nilai kalori bahan bakar (kJoule/ kg)

(Syamsuri, 2013)

Efisiensi tungku merupakan perbandingan antara jumlah energi panas yang digunakan untuk memasak dan energi yang tersedia di dalam bahan bakar. Efisiensi tungku dirumuskan sebagai:

$$\eta = \frac{m_{air} \cdot c_{air} \cdot \Delta T + m_{uap} \cdot H_i}{m_{bb} \cdot \text{Nilai Kalor}} \times 100\% \quad (2.7)$$

(Supriyatno, 2010)

2.6 Daya Tungku

Daya kompor (tungku) merupakan panas yang diberikan oleh bahan bakar selama pengujian. Dari persamaan daya menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan dayanya. Apabila tungku memiliki daya yang besar maka konsumsi bahan bakarnya juga tinggi. Sebaliknya, apabila tungku memiliki daya kecil sudah dipastikan konsumsi bahan bakarnya rendah (Syamsuri, 2013).

Daya masukan (*input power*) tungku merupakan jumlah energi yang dipasok ke tungku berdasarkan jumlah biomassa yang dikonsumsi. Daya keluaran (*output power*) tungku merupakan jumlah energi yang dilepaskan tungku untuk memasak. Daya keluaran dapat dihitung dengan:

$$P_o = \frac{P_i \cdot \eta}{100} \text{ (kW)} \quad (2.8)$$

di mana:

P_i = daya masukan (kW)

P_o = daya keluaran (kW)

η = efisiensi keseluruhan tungku (%)

(Belonio dalam Surjadi, 2012)

2.7 Neraca Ohaus

Neraca Ohaus merupakan salah satu alat ukur besaran massa dengan ketelitian 0,01 gram. Pengukuran massa benda menggunakan neraca Ohaus sangat mudah, cukup dengan melepas pengunci, kemudian benda ditaruh dalam cawan atau wadah. Terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dengan memutar sekrup yang berada di samping atas piringan neraca ke kiri atau ke kanan posisi dua garis pada neraca sejajar. Agar tidak terjadi kesalahan penimbangan, perlu dipastikan posisinya benar-benar sejajar. Setelah itu digeser anting di ketiga lengannya mulai dari lengan belakang ke lengan depan, kemudian dijumlahkan nilai dari ketiga lengan tersebut (Rumus Hitung, 2013, diakses 19 Juni 2014).

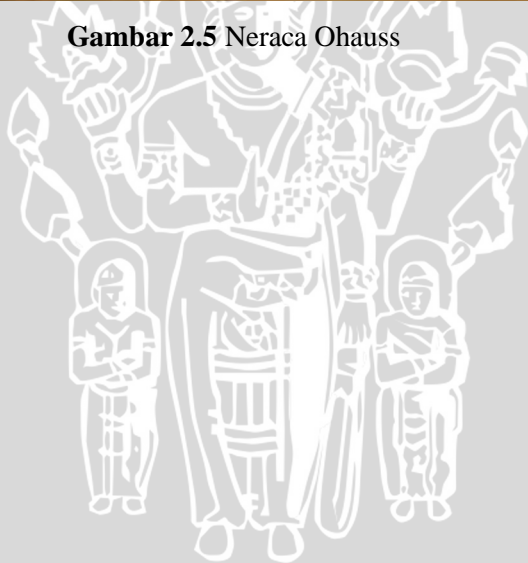
Neraca ini memiliki beberapa bagian sebagai berikut.

- Cawan beban yang digunakan untuk menempatkan benda yang akan diukur.
- Tombol kalibrasi yang digunakan untuk mengkalibrasi neraca ketika neraca tidak dapat digunakan untuk mengukur.

- Lengan neraca untuk neraca 3 lengan berarti terdapat tiga lengan dan untuk neraca 4 lengan terdapat empat lengan.
- Pemberat (anting) yang diletakkan pada masing-masing lengan yang dapat digeser-geser dan sebagai penunjuk hasil pengukuran.
- Titik 0 atau garis kesetimbangan, yang digunakan untuk menentukan titik kesetimbangan.



Gambar 2.5 Neraca Ohaus



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Perumahan Taman Permata Kendalsari Kawling 5 Malang 65141, pada bulan Maret sampai Mei 2014.

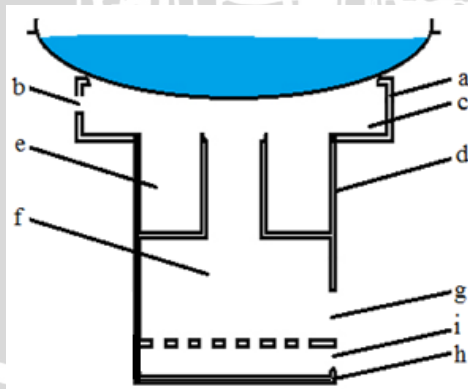
3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan peralatan sebagai berikut (gambar masing-masing alat terlampir).

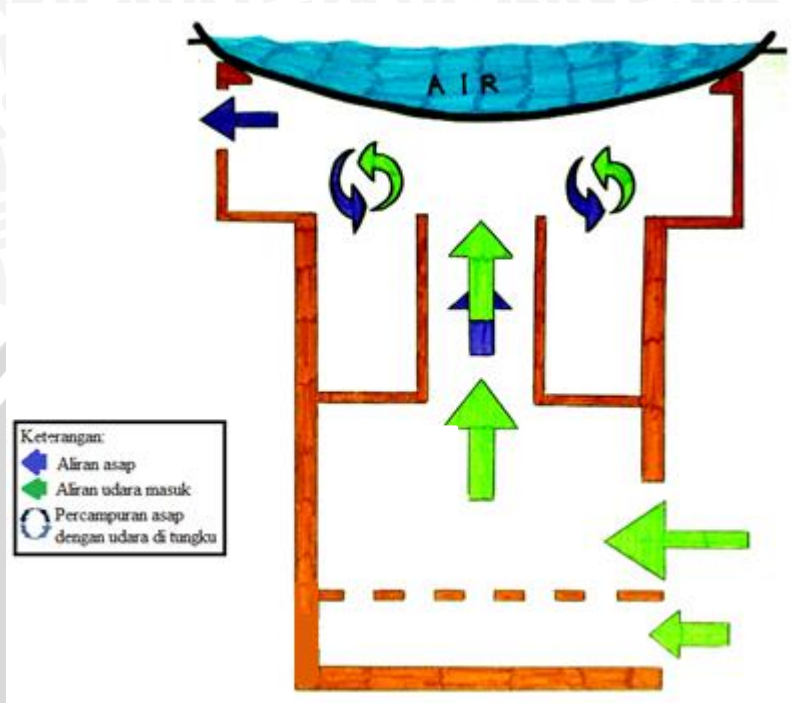
3.2.1 Fasilitas Uji Efisiensi Tungku

1. Tungku tanah liat berdaya sedang

Tungku tanah liat berdaya sedang (gambar 3.1) merupakan tungku inovasi desain M. Nurhuda, yang akan dikembangkan sebagai perbaikan tungku kayu bakar tradisional. Tungku ini didesain untuk memasak air atau bahan lainnya menggunakan panci, penggorengan (wajan), atau bejana lain yang berkapasitas besar. Tungku diperkirakan berdaya sedang (mengkonsumsi kayu 1 hingga 3 kg per jamnya) dan didesain sedemikian sehingga tidak menimbulkan terlalu banyak asap ketika digunakan. Asap yang dihasilkan saat pembakaran bercampur dengan udara sekunder sehingga dapat meningkatkan efisiensinya (gambar 3.2).



Gambar 3.1 Bagian-bagian tungku tanah liat berdaya sedang (tampak samping)



Gambar 3.2 Ilustrasi aliran udara dan gas buang di bagian dalam tungku (tampak samping)

Dari gambar 3.1, bagian (a) mulut tungku digunakan sebagai dudukan penggorengan; (b) lubang gas buang yang difungsikan untuk mengarahkan aliran gas buang (asap); (c) ruang udara yang digunakan sebagai tempat pencampuran sebagian asap yang turun ke bawah dengan udara di bagian samping sehingga pembakaran menjadi lebih bagus; (d) dinding tungku; (e) adalah ruang penampung abu yang naik bersama dengan gas buang; (f) *furnance* atau ruang pembakaran. Bagian (g) adalah penampung bahan bakar sebagai tempat masuk kayu bakar sekaligus masuknya aliran udara ke dalam tungku, dengan lubang-lubang kecil di bagian alasnya sebagai sirkulator udara sekaligus untuk menjatuhkan abu atau sisa pembakaran lainnya ke dasar tungku (h). Bagian (i) adalah lubang pembersihan untuk mengambil sisa pembakaran

sekaligus sebagai tempat masuknya udara (M. Nurhuda, komunikasi personal, 11 Januari 2014).

Dari gambar 3.2, aliran udara yang masuk ke dalam tungku digambarkan sebagai tanda panah berwarna hijau. Tanda panah berwarna biru menggambarkan aliran gas buang (asap). Pencampuran sebagian asap yang turun ke bawah dengan udara di bagian samping tungku digambarkan dengan tanda panah memutar.

2. Termometer
3. Neraca Ohaus
4. Penggorengan (*wajan*)
5. *Stopwatch*
6. Gelas ukur skala besar dan kecil
7. Air

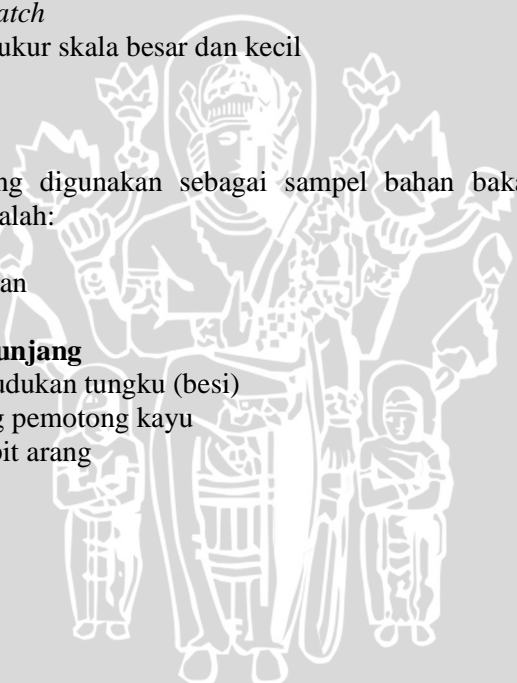
3.2.2 Bahan

Kayu yang digunakan sebagai sampel bahan bakar dalam penelitian ini adalah:

1. kayu pinus
2. kayu campuran

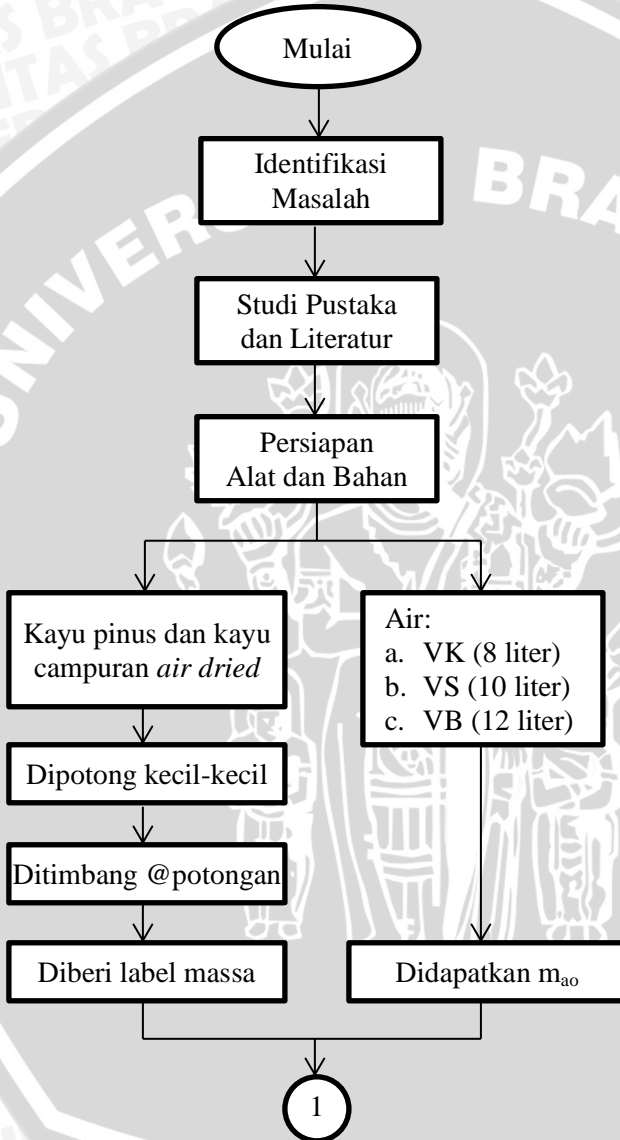
3.2.3 Alat Penunjang

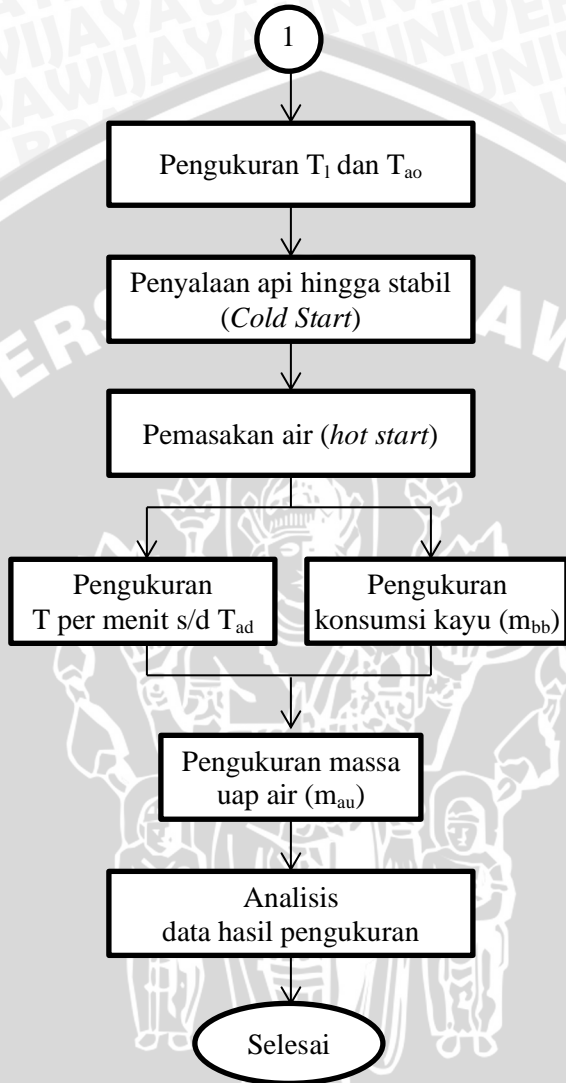
1. Plat dudukan tungku (besi)
2. Parang pemotong kayu
3. Penjepit arang



3.3 Tahap Penelitian

Penelitian dilakukan dengan alur sebagai berikut.





Gambar 3.3 Diagram alur penelitian

Pengujian dilaksanakan di dalam ruangan semi terbuka, berukuran panjang 4 meter, lebar 3 meter, dan ketinggian sekitar 3 meter. Kondisi atap ruangnya tertutup sebagian sehingga tidak terlalu mendapat pengaruh angin dari luar.

Temperatur lingkungan dan mula-mula air diukur terlebih dahulu sebagai T_1 dan T_{ao} . Saat dilakukan proses pemasakan air, setiap menit diukur temperaturnya hingga mencapai temperatur maksimal/ didih yang bisa dicapai (T_{ad}). Volume air yang dimasak dibedakan menjadi tiga macam, yakni VK (8 liter), VS (10 liter), dan VB (12 liter). Setiap volume air dimasak menggunakan kedua jenis kayu yang berbeda.

Massa air mula-mula (m_{ao}) dan massa air ketika temperatur maksimal (m_{ad}) ditimbang menggunakan neraca Ohaus. Massa uap air (m_{au}) merupakan selisih antara m_{ao} dengan m_{ad} . Massa kayu bakar selama kondisi *hot start*, yakni mulai dari api menyala stabil hingga akhir pembakaran (temperatur maksimal) dijumlahkan, sesuai dengan label massa kayu. Massa kayu bakar total yang digunakan selama pemasakan air ditulis sebagai m_{bb} .

Proses pengambilan data dimulai dari pengukuran T_{ao} hingga perubahan temperatur air setiap menitnya. Pengambilan data dilakukan untuk setiap volume air dengan tiap jenis kayu bakar. Pengambilan data temperatur dihentikan ketika T_{ad} dicapai.

3.4 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh kemudian diplot menjadi grafik yang menunjukkan hubungan antara waktu pemasakan air (dalam menit) dengan temperatur (dalam °C). Perlakuan ini diterapkan untuk keseluruhan jenis kayu dan volume air. Hasilnya diperoleh grafik tiap perlakuan. Efisiensi ditentukan menggunakan:

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{m_{ao} \cdot c_{ao} \cdot \Delta T + m_{au} \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\% \quad (3.1)$$

di mana:

η_{overall} = efisiensi tungku (%)

m_{ao} = massa air mula-mula yang dipanaskan (gram)

c_{ao} = kalor jenis air (1 kal/ gram °C)

ΔT = temperatur air maksimal - temperatur air mula-mula

m_{au} = massa air yang menguap (gram)

m_{bb} = massa kayu yang terpakai (gram)

H_{fg} = panas laten penguapan air (585,6 kal/ gram)

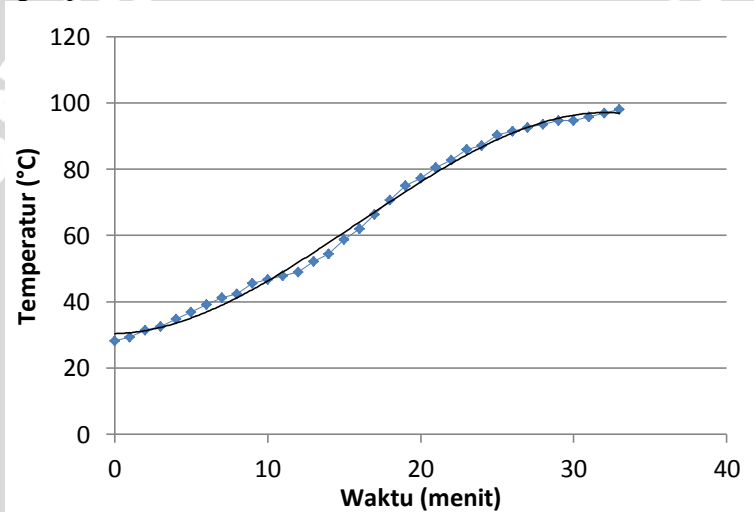
NK = nilai kalor kayu (kal/ gram)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Analisis Hasil Pemasakan 8 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran

Gambar 4.1 menjelaskan hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt), kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,9956, dengan persamaan $T = -0,0039t^3 + 0,1879t^2 + 0,108t + 30,343$.



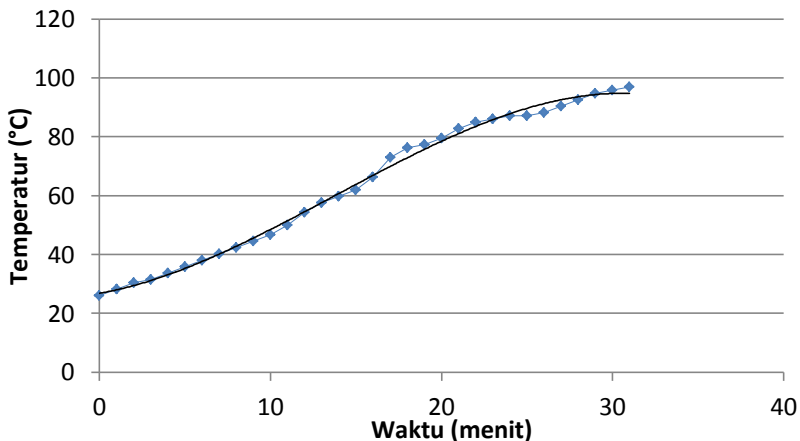
Gambar 4.1 Grafik hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus

Kondisi ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Saat awal pembakaran *hot start*, asap yang keluar relatif banyak namun tidak pekat. Nyala api cukup stabil, dengan api berwarna kuning. Nyala api yang stabil ini dapat dilihat pada grafik di atas, di mana saat menit 1 hingga menit 9 kenaikan temperaturnya stabil, di kisaran 1° hingga 2°C , dan 4°C di menit 9 menuju menit 10. Pada menit 14 hingga 24 nyala api membesar namun tetap stabil (kenaikan temperatur berkisar 2° hingga 4°C) karena kayu dalam tungku mulai terbakar lebih banyak dan lebih merata, terlebih sebelumnya telah

ditambahkan kayu secara berkala di tiap menitnya. Akibatnya panas sistem mengalami kenaikan dan grafik naik relatif terlalu jauh.

Pada menit 31 temperatur stagnan di angka 95°C, di sisi lain api masih menyala besar dan stabil. Ini berarti terjadi kehilangan kalor, sehingga kalor yang dikeluarkan tungku tidak sebanding dengan kalor yang disediakan untuk tungku. Setelah kayu yang ditambahkan sebelumnya mulai terbakar lebih banyak, temperatur air naik menjadi 96°C. Temperatur 98°C (menit 34) merupakan temperatur maksimal dan tidak mengalami kenaikan meskipun sebelumnya telah diberi penambahan kayu sebesar 30 gram (kayu tersebut masih terbakar dengan nyala api stabil). Pengambilan data kemudian dihentikan (air sudah mendidih), saat temperatur air menurun, dengan temperatur maksimal yang dapat dicapai yakni 98°C. Gelembung air mulai muncul di menit 20, saat temperatur air sebesar 75°C (massa kayu 831,3 gram). Total kayu yang digunakan adalah 998,5 gram.

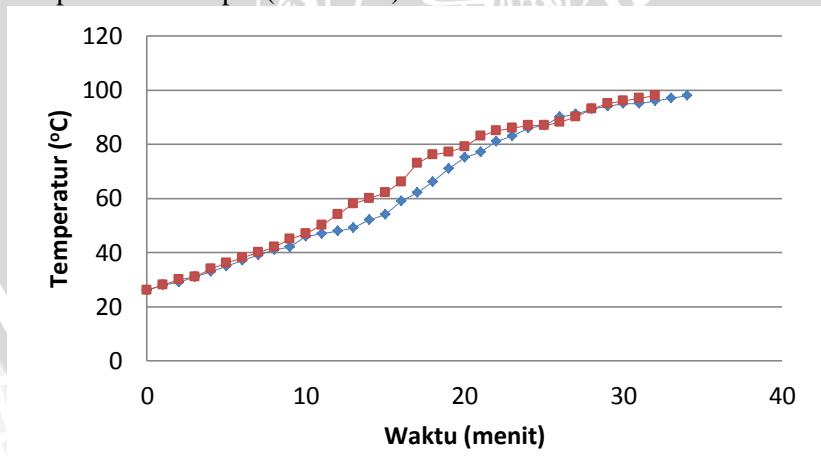
Gambar 4.2 menjelaskan hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu campuran. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt), kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,9960, dengan persamaan $T = -0,0037t^3 + 0,1510t^2 + 1,0267t + 26,8$.



Gambar 4.2 Grafik hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu campuran

Kondisi ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Saat awal pembakaran *hot start*, asap yang keluar relatif lebih banyak jika dibandingkan dengan kayu pinus. Nyala api tidak terlalu stabil, mengingat kayu tersebut lebih mudah terbakar (densitas rendah) dan ketika terbakar pun nyala apinya naik turun. Kenaikan temperaturnya tidak terlalu stabil, di kisaran 1° hingga 7°C . Karakteristik pembakarannya berbeda dengan kayu pinus, di mana pada penggunaan kayu campuran api mudah mengecil meskipun kayu terbakar merata. Meskipun dilakukan penambahan kayu saat nyala api mulai meredup, nyala api tetap tidak stabil (naik turun dengan interval yang tidak menentu). Di sisi lain, temperatur maksimal yang bisa dicapai sebesar 98°C , yakni saat air mendidih. Gelembung air mulai muncul di menit 18, saat temperatur air sebesar 76°C .

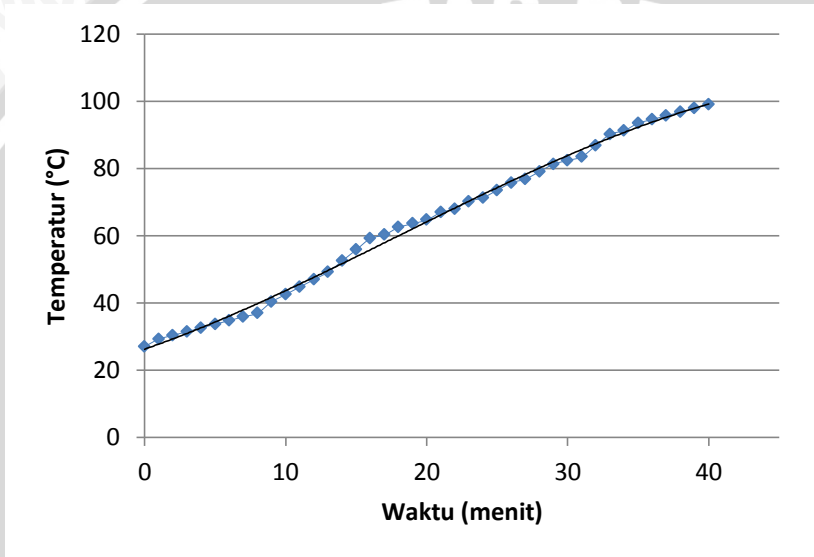
Ketika kedua hasil pemasakan dibandingkan (gambar 4.3), dapat dikatakan kayu pinus (grafik warna biru) menghasilkan nyala api yang lebih stabil dengan asap yang lebih sedikit dibandingkan kayu campuran (grafik warna merah). Massa uap yang dihasilkan berbeda. Hasil pemasakan air menggunakan kayu pinus menghasilkan uap sebesar 1280 gram, sedangkan dengan menggunakan kayu campuran menghasilkan uap sebesar 1020 gram. Konsumsi kayu pinus (998,5 gram) lebih sedikit dibandingkan konsumsi kayu campuran (1298,8 gram). Perbedaan karakteristik kayu menyebabkan laju pembakarannya berbeda, di mana kayu campuran lebih cepat (dua menit) dalam mendidihkan air.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan hasil pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran

4.1.2 Analisis Hasil Pemasakan 10 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran

Gambar 4.4 menjelaskan hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt), kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,9967, dengan persamaan $T = -0,0006t^3 + 0,0339t^2 + 1,4663t + 26,23$.



Gambar 4.4 Grafik hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus

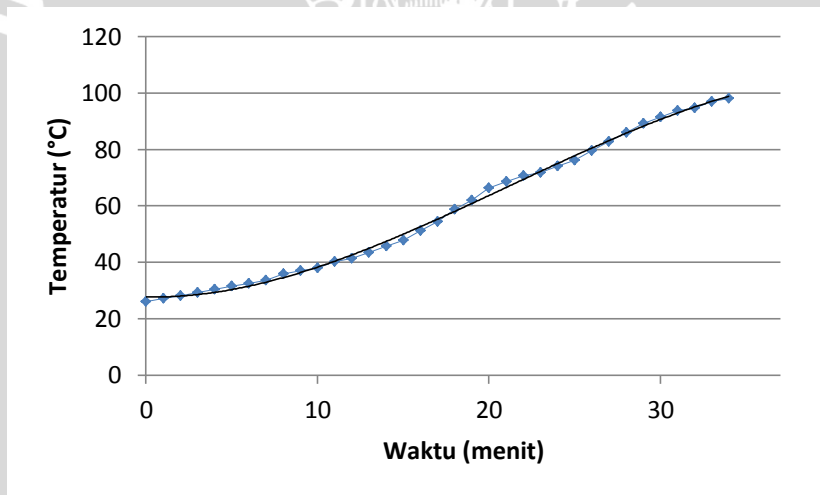
Setelah nyala api *cold start* mulai stabil, mulai ditambahkan kayu bakar sebagai tanda kondisi *hot start* dan pengujian mulai dilakukan. Asap yang dikeluarkan banyak dan api menyala stabil. Kestabilan nyala api bertahan sejak menit 1 hingga menit 40 (air mendidih) dengan kenaikan temperatur di kisaran 1° hingga 4°C .

Nyala api dikatakan stabil karena sejak kondisi *hot start* nyalanya tidak naik turun, tetap stabil dan kayu terbakar merata terus menerus. Meskipun saat pembakaran berlangsung dapat ditemukan suatu kondisi di mana kayu mulai habis terbakar, api tetap menyala stabil. Saat dilakukan penambahan massa kayu pun nyala api tetap stabil. Hal ini dikarenakan kayu pinus tersebut densitasnya lebih tinggi dan ketika terbakar dapat merata.

Gelembung mulai muncul di menit 26, dengan temperatur sebesar 76°C dan jumlah kayu yang digunakan 978,3 gram. Pada menit 40 diperoleh temperatur maksimal 98°C saat air mendidih (total massa kayu 1187,7 gram).

Pemasakan berikutnya adalah pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran. Setelah nyala api *cold start* mulai stabil, mulai ditambahkan kayu bakar sebagai tanda kondisi *hot start*. Asap yang dikeluarkan relatif lebih sedikit dibandingkan kayu pinus, dengan nyala api yang kurang stabil.

Gambar 4.5 menjelaskan hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt), kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,9976, dengan persamaan $T = -0,0022t^3 + 0,1406t^2 - 0,1319t + 27,745$.

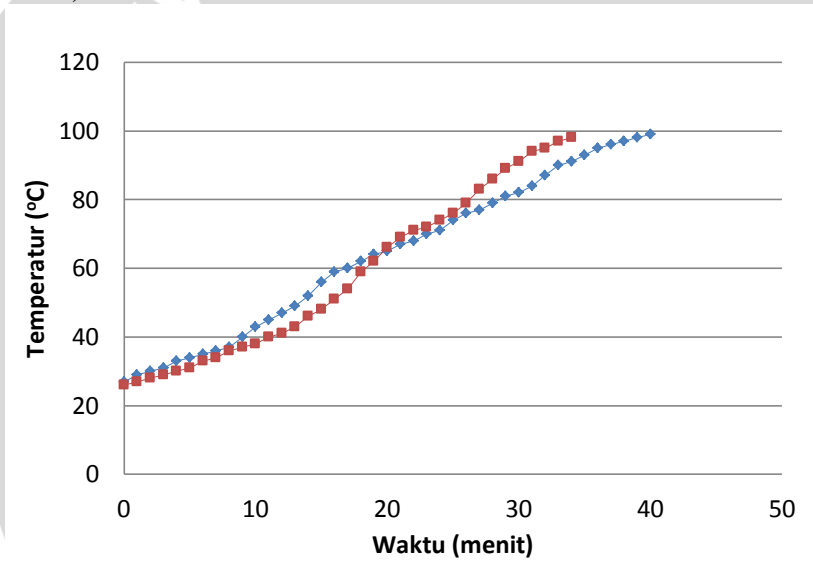


Gambar 4.5 Grafik hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran

Kestabilan nyala api bertahan di menit 1 hingga menit 13 dengan kenaikan temperatur di kisaran 1° hingga 2°C. Pada saat-saat tersebut data masih naik relatif linear perlahan. Namun pada menit 15 menuju 16 hingga menit 31 menuju 32 nyala api tidak stabil, di mana api terkadang menyala besar-redup. Nyala yang tidak stabil terjadi baik sebelum atau tanpa dilakukan penambahan kayu. Gelembung mulai muncul di menit 18, dengan temperatur sebesar

59°C. Pada menit 34, diperoleh temperatur maksimal 98°C (air mendidih).

Kayu pinus (grafik warna biru) menghasilkan nyala api yang lebih stabil dengan asap yang lebih banyak dibandingkan kayu campuran (grafik warna merah). Massa uap yang dihasilkan juga berbeda. Pemasakan air menggunakan kayu pinus menghasilkan uap sebesar 790 gram, sedangkan dengan menggunakan kayu campuran menghasilkan uap sebesar 620 gram. Konsumsi kayu pinus (1187,7 gram) lebih sedikit dibandingkan konsumsi kayu campuran (1496,6 gram). Perbedaan karakteristik kayu menyebabkan laju pembakarannya berbeda, di mana kayu campuran lebih cepat (enam menit) dalam mendidihkan air.

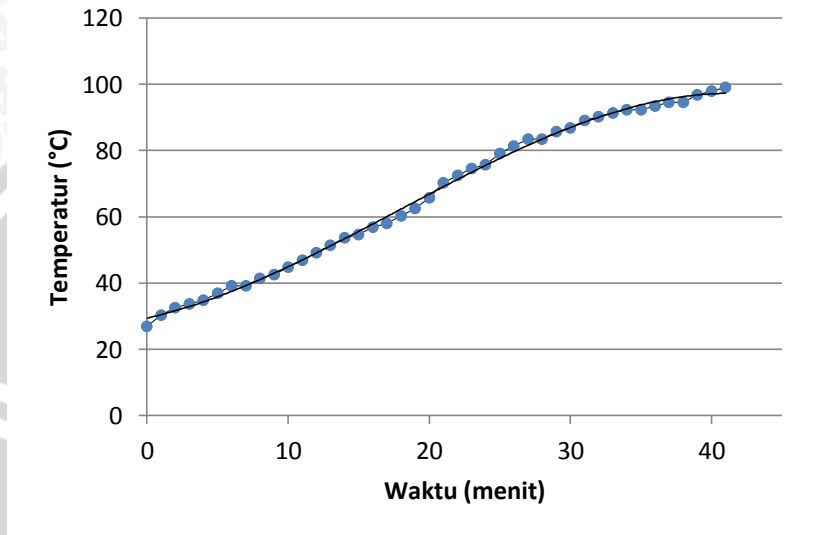


Gambar 4.6 Grafik perbandingan hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran

4.1.3 Analisis Hasil Pemasakan 12 Liter Air Menggunakan Kayu Pinus dan Kayu Campuran

Gambar 4.7 menjelaskan hasil pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus. Setelah nyala api *cold start* stabil, mulai ditambahkan kayu bakar sebagai tanda kondisi *hot start* dan pengujian mulai dilakukan. Asap yang dikeluarkan banyak dan pekat, dengan nyala api yang stabil. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt),

kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,9976, dengan persamaan $T = -0,0014t^3 + 0,0727t^2 - 0,9626t + 29,393$.

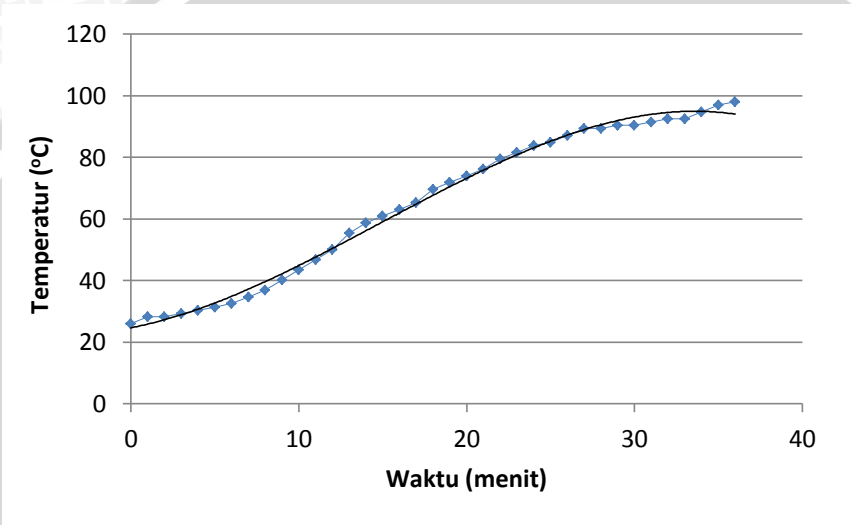


Gambar 4.7 Grafik hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu pinus

Temperatur terus mengalami kenaikan sejak menit 1. Namun saat menit 7, temperatur stagnan 39 °C. Ini dikarenakan nyala api sempat meredup walaupun sebelumnya telah dilakukan penambahan kayu. Meredupnya nyala api dimungkinkan akibat kekurangtepatan penempatan penambahan kayu di menit 5, di mana kayu tersebut sempat bergeser ke bagian tanpa api sebelum mulai terbakar. Setelah posisi kayu diperbaiki dan kayu mulai terbakar, temperatur kembali naik stabil di kisaran 1° hingga 2°C. Pada menit 20, terjadi kenaikan temperatur yang cukup tinggi di kisaran 3° hingga 4°C sehingga grafik naik tajam di menit 20 hingga 25.

Gelembung mulai muncul di menit 25, dengan temperatur sebesar 79°C dan jumlah kayu yang digunakan 918,9 gram. Pada menit 41 diperoleh temperatur maksimal 99 °C (total massa kayu 1300,6 gram), dan tetap stagnan hingga satu menit selanjutnya dengan nyala api yang meredup.

Gambar 4.8 menjelaskan hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu campuran. Grafik tersebut mendefinisikan hubungan temperatur (ΔT) terhadap fungsi waktu (Δt), kecenderungan data dalam *trend* polinomial orde tiga. Regresi (R^2) sebesar 0,995, dengan persamaan $T = -0,0028t^3 + 0,1237t^2 + 1,0591t + 24,684$.

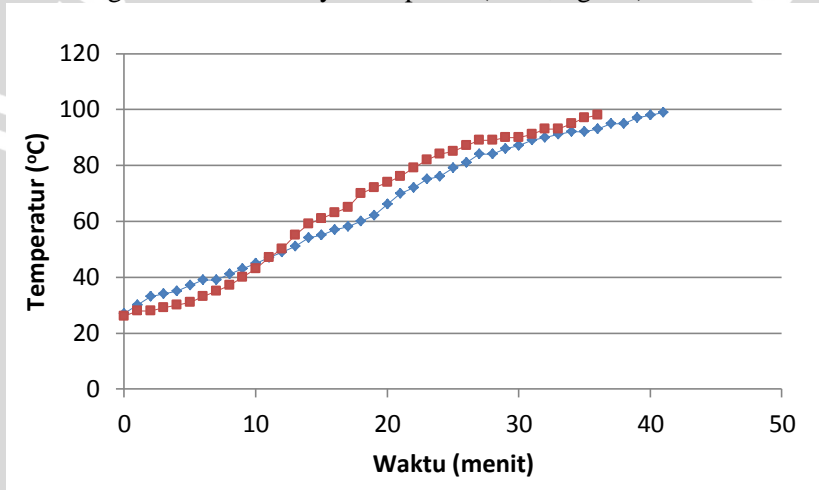


Gambar 4.8 Grafik hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu campuran

Asap yang dikeluarkan sangat banyak dan pekat (melebihi pemasakan air lainnya), dengan nyala api yang tidak stabil. Kestabilan nyala api hanya di menit-menit awal, di menit 1 hingga menit 8 dengan kenaikan temperatur di kisaran 1° hingga 2°C. Pada interval waktu tersebut data naik relatif linear perlahan. Namun pada menit 8 menuju 9 hingga menit 23 nyala api tidak stabil, di mana api terkadang menyala besar-redup dan asap yang dihasilkan sangat banyak, pekat, serta sukar hilang.

Gelembung mulai muncul di menit 17 (massa kayu bakar yang digunakan 1108,1 gram), dengan temperatur sebesar 65°C. Pada menit 36, diperoleh temperatur maksimal 98°C dan air mendidih. Total kayu yang digunakan adalah 1701,6 gram.

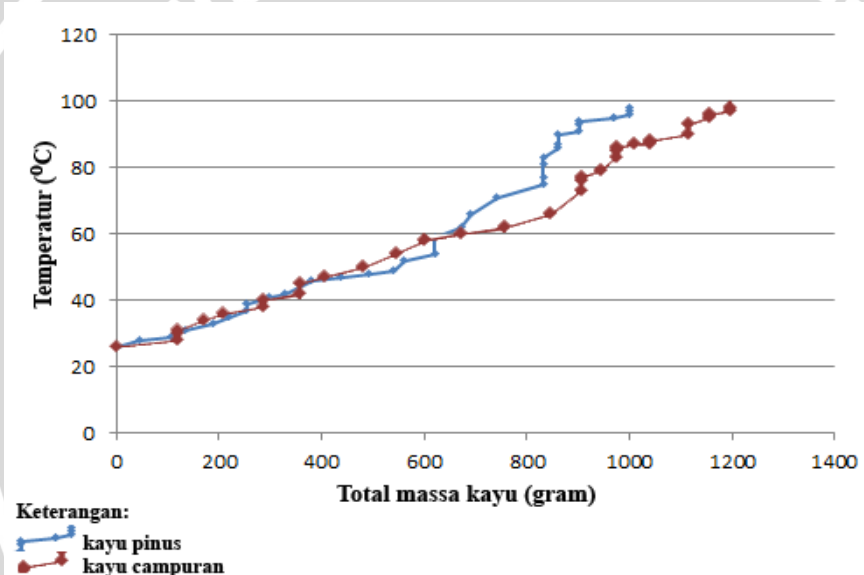
Berdasarkan grafik pada gambar 4.9, kayu pinus (grafik warna biru) menghasilkan nyala api yang lebih stabil dibandingkan kayu campuran (grafik warna merah). Asap yang dihasilkan oleh pembakaran kayu campuran jauh lebih banyak dibandingkan pembakaran kayu pinus. Di sisi lain, grafik tersebut menunjukkan bahwa kayu campuran cenderung lebih cepat mencapai temperatur maksimal dibandingkan dengan kayu pinus (selisih 5 menit), namun dengan temperatur maksimal yang berbeda. Hasil pemasakan air menggunakan kayu pinus menghasilkan uap sebesar 1120 gram, sedangkan menggunakan kayu campuran menghasilkan uap sebesar 980 gram. Konsumsi kayu pinus (1300,6 gram) jauh lebih sedikit dibandingkan konsumsi kayu campuran (1701,6 gram).



Gambar 4.9 Grafik perbandingan hasil pemasakan 12 liter air menggunakan kayu pinus dan kayu campuran

4.2 Perbandingan Laju Konsumsi Kayu Pada Pemasakan VK

Pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus (dengan menjaga kestabilan nyala api) membutuhkan kayu sebanyak 998,5 gram. Jika dibandingkan dengan kayu campuran (gambar 4.10), maka kayu pinus lebih hemat 200,3 gram. Dengan kata lain, kayu pinus dalam WBT (*Water Boiling Test*) ini memiliki laju pembakaran yang lebih lambat jika dibandingkan dengan kayu campuran. Ini dikarenakan nilai kalor kayu pinus lebih besar, sehingga densitasnya lebih besar pula (kayu pinus lebih sulit menyala), namun sekalinya terbakar akan menghasilkan nyala api yang lebih stabil dibandingkan kayu campuran.



Gambar 4.10 Perbandingan laju konsumsi kayu pinus dan kayu campuran saat pemasakan VK

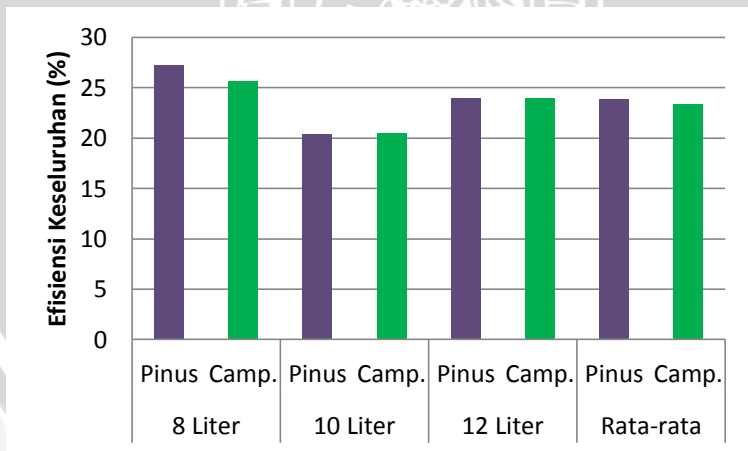
4.3 Efisiensi Tungku Tanah Liat Berdaya Sedang

Pengujian yang telah dilakukan menggunakan kedua jenis kayu dan ketiga volume air memberikan hasil berupa nilai efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang. Nilai efisiensi tungku didapatkan melalui perhitungan data temperatur tiap menit hingga temperatur air maksimal (perhitungan terlampir). Data efisiensi tungku tersebut dinyatakan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang

Besaran	Kayu Pinus			Kayu Campuran		
	VK	VS	VB	VK	VS	VB
Massa uap air (gram)	1280	790	1120	1020	620	980
Massa kayu (gram)	998,5	1187,7	1300,6	1298,8	1496,6	1701,6
Kalori kayu (kal/g)	4872	4872	4872	3528	3528	3528
Efisiensi tungku (%)	27,25	20,44	23,99	25,61	20,51	23,95

Tabel tersebut menjelaskan bahwa nilai efisiensi tungku tertinggi diperoleh saat pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus. Nilai efisiensi terendah diperoleh saat pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus. Perbandingan efisiensi dapat dinyatakan pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Perbandingan efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang menggunakan kayu pinus dan kayu campuran

Efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang (persamaan 4.1) yang dihitung menjelaskan perbandingan antara energi yang disediakan oleh tungku (Q keluaran tungku) dengan energi yang disediakan kayu bakar (Q masukan tungku). Oleh karena itu, faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat efisiensinya dibagi menjadi dua, yakni:

- a. Energi keluaran tungku
- b. Energi masukan tungku

di mana:

$$\eta_{keseluruhan} = \frac{Q \text{ keluaran tungku}}{Q \text{ masukan tungku}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Energi masukan tungku berasal dari pembakaran kayu bakar. Kayu bakar melepaskan kalor kemudian diterima oleh sistem dan lingkungan. Sistem di sini adalah penerima kalor, yakni air. Lingkungan di sini adalah penerima kalor yang hilang, yakni tungku (mulut, dinding, atau dasar tungku), penggorengan, dan lingkungan sekitar. Agar efisiensinya besar, seharusnya kalor yang diterima oleh sistem di sini sama atau paling tidak mendekati total kalor yang dilepaskan oleh kayu bakar.

Besarnya energi masukan tungku secara matematis dapat ditentukan dengan:

$$Q_{\text{masukan}} = m_{\text{bb}} \cdot E \quad (4.2)$$

sehingga dihasilkan data besar energi masukan tungku (tabel 4.2).

Tabel 4.2 Besar energi masukan tungku di tiap perlakuan

No.	Pemasakan	Energi Masukan (kal)
1	Pinus VK	4864692,0
2	Pinus VS	5786474,4
3	Pinus VB	6336523,2
4	Campuran VK	4582166,4
5	Campuran VS	5280004,8
6	Campuran VB	6003244,8

Persamaan 4.2 menunjukkan bahwa besar energi masukan tungku bergantung pada nilai kalor kayu dan massa kayu yang dikonsumsi. Dari tabel 4.2, didapatkan asumsi bahwa semakin tinggi nilai kalor kayu maka semakin tinggi besar energinya. Hasil ini sesuai dengan persamaan 4.2, di mana energi pembakaran kayu pinus lebih besar dibandingkan kayu campuran.

Konsumsi kayu yang lebih banyak tidak menyebabkan energi yang dihasilkan pembakaran kayu campuran lebih besar daripada pinus. Tingginya konsumsi kayu campuran tidak diimbangi dengan tinggi nilai kalornya. Padahal nilai kalor akan mempengaruhi pencapaian temperatur pembakaran. Nilai kalor kayu pinus yang lebih tinggi (4872 kal/ gram) dibandingkan kayu campuran (3528 kal/ gram) memungkinkan pencapaian temperatur pembakaran yang lebih tinggi dan temperatur optimum yang lebih lama.

Nilai kalor berpengaruh pada laju pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar maka semakin lambat laju pembakaran pada proses pembakaran (Tirono & Sabit, 2011). Nilai kalor kayu pinus yang lebih tinggi membuat pembakaran menjadi lebih efisien dan dapat menghemat kebutuhan bahan bakar yang digunakan, karena densitasnya lebih tinggi sehingga laju pembakarannya menjadi lebih lambat atau susah untuk terbakar namun sekali terbakar menghasilkan nyala api yang stabil (konstan). Semakin lama api menyala konstan maka efisiensinya semakin tinggi. Hal tersebut di atas mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Jamilatun (2008) tentang sifat-sifat penyalaan dan pembakaran briket biomassa, briket batubara, dan arang kayu, bahwasannya nilai kalor mempengaruhi efisiensi dan kebutuhan bahan bakar yang digunakan.

Nilai kalor kayu dipengaruhi oleh kadar air. Nilai kalor kayu (E) tertinggi dicapai jika kayu dalam kondisi kering tanur dan semakin menurun dengan semakin tingginya kadar air di dalam kayu. Di dalam penelitian ini digunakan kayu kondisi *air dried* (dikeringkan secara alami) dengan standar kadar air (*moisture content*) 12-20%. Ini artinya kadar air dalam kayu masih tergolong tinggi, sehingga kalor yang dilepaskan kayu juga digunakan untuk kondensasi kandungan air dalam kayu itu sendiri. Dengan kata lain, apabila kadar airnya tinggi maka jumlah air yang terkondensasi setelah proses pembakaran akan semakin banyak sehingga akan diperoleh nilai kalor bawah yang cenderung semakin rendah karena nilai kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran sebagian

digunakan untuk menguapkan air yang masih terkandung dalam kayu bakar dari fase cair ke fase gas.

Nilai kalor bahan bakar yang lebih tinggi mengakibatkan nilai kehilangan kalor yang lebih besar. Hal ini diakibatkan karena temperatur yang lebih tinggi yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar dengan nilai kalor lebih tinggi akan memperbesar laju pindah kalor dari sistem ke lingkungan akibat *gradient* temperatur yang semakin besar (Ahmad dkk., 2011). Kehilangan panas terbesar dimungkinkan terjadi pada bagian atap tungku. Udara yang lebih panas menuju ke atas karena densitasnya yang lebih rendah. Akibatnya, temperatur bagian atap tungku lebih tinggi dibandingkan bagian dinding dan alas tungku.

Kondisi mula-mula tungku tanah liat berdaya sedang juga mempengaruhi efisiensinya. Tungku yang lembab menyebabkan ada sebagian besar kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan tungku terlebih dahulu. Kalor tersebut digunakan untuk menguapkan air yang mungkin terkandung di dalam tungku.

Kalor yang diterima oleh sistem paling besar hanya berkisar seperempat hingga hampir seperlima total kalor yang disediakan tungku. Fenomena ini menjelaskan adanya kalor dengan jumlah besar yang bocor ke lingkungan. Akibatnya, hanya sedikit kalor yang dimanfaatkan untuk mendidihkan air dan sebagian besar terbuang ke lingkungan (ke tungku dan sekitarnya).

Kalor yang hilang merupakan selisih antara energi masukan tungku dengan energi keluarannya, yang dapat dianalisis melalui grafik tiap perlakuan yang telah dihasilkan. Setelah dibuat *trend line* berupa polinomial orde tiga, maka dapat diprediksi bilamana kemungkinan terjadinya kehilangan panas. *Trend line* tersebut memiliki titik-titik yang relatif membentuk garis lurus (linear) dari suatu titik hingga titik tertentu dan garis melengkung di sebagian titik lainnya. Kenaikan temperatur secara signifikan dengan selang waktu yang teratur (garis *trend* yang melengkung namun masih tampak linear) menunjukkan prediksi kalor masih terserap oleh sistem secara signifikan pula. Di sisi lain, saat-saat di mana kenaikan temperatur mulai melambat atau konstan (ditandai garis *trend* melengkung jauh dari sebelumnya) menunjukkan kemungkinan terjadinya kehilangan kalor. Dengan model aproksimasi matematis, banyaknya kalor (dalam kalori) yang diserap sistem tiap menitnya dapat dihitung dengan persamaan 4.3, dengan mengganti nilai ΔT dengan persamaan polinomial orde tiga (tabel 4.3) yang menunjukkan

hubungan perubahan temperatur terhadap fungsi waktu tiap menitnya untuk masing-masing perlakuan. Dengan kata lain:

$$Q_{\text{keluaran tungku}} = Q_{\text{air}} + Q_{\text{uap}} \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{keluaran tungku}} = m_{\text{ao}} \cdot c_{\text{ao}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t} + m_{\text{u}} \cdot H_{\text{fg}}$$

Tabel 4.3 Persamaan polinomial orde tiga untuk tiap perlakuan

No.	Pemasakan	Persamaan Polinomial Orde Tiga
1	Pinus VK	$T = -0,0039t^3 + 0,1879t^2 + 0,1080t + 30,343$
2	Pinus VS	$T = -0,0037t^3 + 0,1510t^2 + 1,0267t + 26,8$
3	Pinus VB	$T = -0,0006t^3 + 0,0339t^2 + 1,4663t + 26,23$
4	Campuran VK	$T = -0,0022t^3 + 0,1406t^2 - 0,1319t + 27,745$
5	Campuran VS	$T = -0,0014t^3 + 0,0727t^2 - 0,9626t + 29,393$
6	Campuran VB	$T = -0,0028t^3 + 0,1237t^2 + 1,0591t + 24,684$

Perubahan massa air tiap menitnya tidak diukur secara langsung namun dapat diaproksimasikan bersifat linear. Semakin lama waktu pemasakan maka massa air semakin berkurang. Jika disubstitusikan ke dalam persamaan 3.1 maka didapatkan persamaan efisiensi sebagai berikut.

$$\eta = \frac{m_{\Delta t} \cdot c_{\text{ao}} \cdot \Delta T + (m_{\text{ao}} - m_{\Delta t}) \cdot H_{\text{fg}}}{m_{\text{bb}} \cdot NK} \times 100\% \quad (4.4)$$

dengan:

$$R_v = \frac{m_{\text{ao}} - m_{\Delta t}}{\Delta t} \quad (4.5)$$

di mana:

R_v = laju pembakaran (gram/ menit)

$m_{\Delta t}$ = massa air dalam selang waktu t (gram)

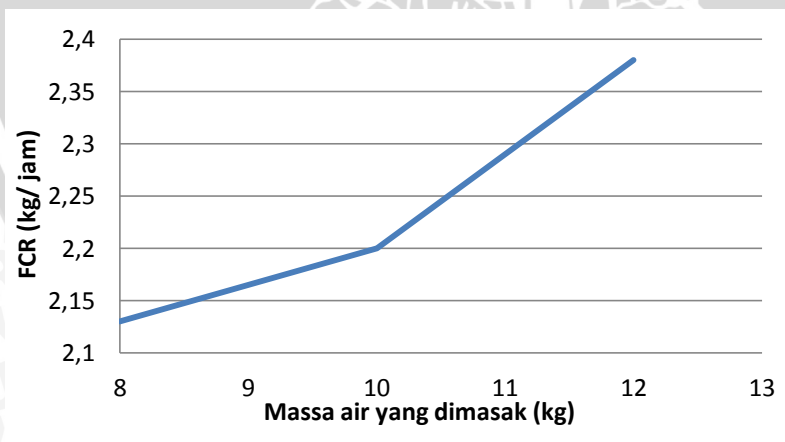
Efisiensi rata-rata menggunakan kayu pinus (23,89%) lebih baik dibandingkan menggunakan kayu campuran (23,36%). Di sisi lain, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran sedikit lebih efisien dibandingkan pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus. Ini dimungkinkan terjadi karena besar kecilnya efisiensi tidak hanya bergantung pada

nilai kalor yang dipandang secara sempit semata. Perlu dikaji bahwasannya nilai kalor juga dipengaruhi oleh karakteristik lain dalam bahan bakar itu sendiri, seperti kandungan volatil, karbon, kadar air, efisiensi pembakaran, atau hal-hal lebih spesifik lainnya. Hal lain yang bisa dijelaskan adalah kemungkinan terjadinya pembakaran kayu pinus yang kurang sempurna dibandingkan kayu keras campuran sehingga efisiensi keseluruhannya lebih baik dan terkadang kurang baik.

Analisis FCR (*Fuel Consumption Rate*) membuktikan bahwa semakin banyak massa air yang dididihkan maka semakin tinggi jumlah konsumsi kayu bakarnya (Gambar 4.13 dan Tabel 4.4). Ini membuktikan bahwa jumlah kalor yang dibutuhkan akan meningkat seiring bertambahnya massa air yang dimasak. Tabel 4.4 juga menunjukkan bahwa pemasakan menggunakan kayu pinus lebih efisien daripada menggunakan kayu campuran, tampak pada lebih hematnya konsumsi kayu bakar (parameter FCR).

Tabel 4.4 Analisis FCR

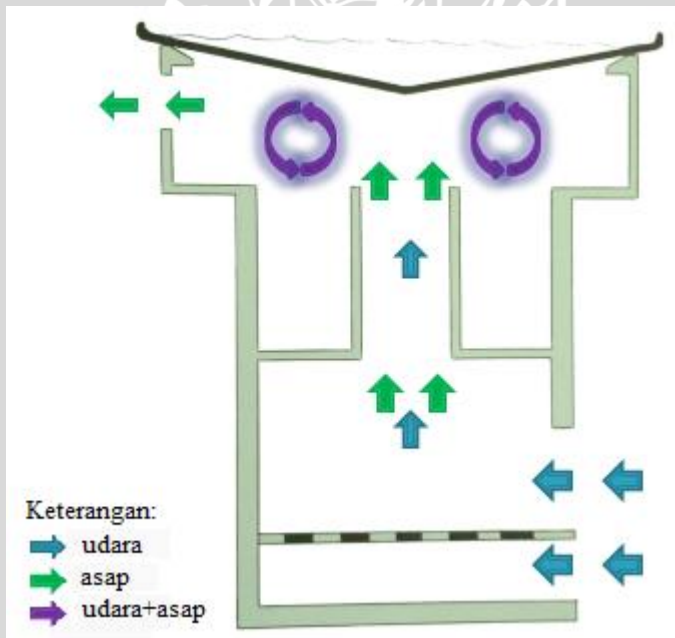
No.	Perlakuan	η (%)	FCR (kg/jam)
1	Pinus VK	27,25	1,75
2	Pinus VS	20,44	1,77
3	Pinus VB	23,99	1,91
4	Campuran VK	25,61	2,50
5	Campuran VS	20,51	2,63
6	Campuran VB	23,95	2,84



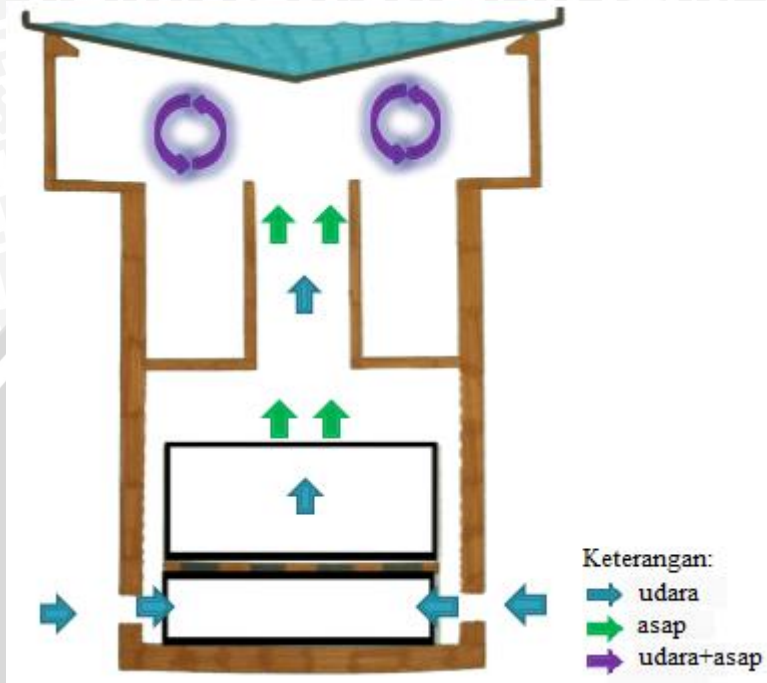
Gambar 4.12 Grafik hubungan tingkat rata-rata FCR per volume dengan massa air yang dimasak

Efisiensi tungku tradisional hanya berkisar 5-10% (Robith, 2004). Jika dibandingkan dengan tungku tanah liat berdaya sedang, maka terjadi peningkatan lebih dari 10%. Ini artinya kinerja tungku tanah liat berdaya sedang terbukti lebih baik dibandingkan tungku tradisional dilihat dari segi efisiensinya.

Efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan tungku kayu bakar tradisional dapat disebabkan pula karena adanya manipulasi aliran udara dalam tungku (prinsip semi gasifikasi). Prinsip semi gasifikasi dilakukan dengan cara mengoptimalkan asap yang digabungkan dengan udara sekunder di dalam tungku. Kunci pengolahan asap adalah gerakan turbulen (mengaduk) yang menyebabkan pembakaran menjadi sempurna (gambar 4.14-4.15). Akibatnya api yang dilewatkan cerobong terfokus dan memiliki tekanan (*draft*) ke atas, tidak hanya menjulurkan lidah api seperti pada tungku kayu bakar tradisional.



Gambar 4.13 Manipulasi udara dalam tungku (tampak samping)



Gambar 4.14 Manipulasi udara dalam tungku (tampak depan)

Gerak turbulen ditimbulkan oleh aliran gasifikasi terpanaskan dan aliran udara sekunder. Alirannya bertolak belakang dengan nyala api (*counter flow burning mechanism*). *Counter flow burning mechanism* merupakan mekanisme aliran udara melawan api ke atas. Hal inilah yang menyebabkan pembakaran menjadi lebih efisien.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi tungku tanah liat berdaya sedang berkisar antara 20,44% hingga 27,25% (rata-rata 23,63%). Tungku tanah liat berdaya sedang terbukti lebih efisien dibandingkan dengan tungku kayu bakar tradisional. Nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh nilai kalor kayu, konsumsi kayu, massa air yang dimasak, dan kondisi mula-mula tungku.

5.2 Saran

Perlu dipertimbangkan variasi sampel kayu bakar yang digunakan. Selain itu, diperlukan perhitungan kadar air kayu secara lebih detail agar data yang diperoleh lebih akurat. Untuk kelengkapan data, dapat ditambahkan analisis efisiensi lain seperti efisiensi termalnya.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Ary M., Pudjiono, E., dan Setyawan, Arif B. 2011. "Rancang Bangun dan Uji Performansi Tungku Keramik Berpipa Spiral dengan Bahan Bakar Padat." *Jurnal Teknologi Pertanian* 12(3).
- Biomass Energy Centre. n.d. *Typical Calorific Values of Fuels*. http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,20041&_dad=portal&_schema=PORTAL (diakses 19 Juni 2014 21:05).
- Budianto, A. Dodong. 1996. *Sistem Pengeringan Kayu*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Dwiprabowo, Hariyatno. 2010. "Kajian Kebijakan Kayu Bakar Sebagai Sumber Energi di Pedesaan Pulau Jawa." *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 7(1):1-11.
- Forest Products Laboratory. 1999. *Air Drying of Lumber*. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Giancoli, Douglas C. 2005. *Physics Principles with Applications Sixth Edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Hernowo, Pandit dan Halim, Abdul. 2013. *Pengukuran Nilai Kalor Biomasa Bahan Baku Biofuel*. Usulan Penelitian Dosen Pemula. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Akmal.
- Jamilatun, Siti. 2008. "Sifat-sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara, dan Arang Kayu." *Jurnal Rekayasa Proses* 2(2):37-38.
- Jati, Bambang M. E., dan Priyambodo, Tri K. 2009. *Fisika Dasar Untuk Mahasiswa Ilmu Komputer dan Informatika*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI).
- Koestoer, Raldi A. 2002. *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Penerbit Salemba Teknik.
- Mulyono, Andreas. 2013. *Pengeringan Kayu*. <http://www.vedc.malang.com/pppptkboemlg/index.php/artikel-coba-2/departemen-bangunan-30/552-pengeringan-kayu> (diakses 19 Juni 2014 19:25).
- Nabawiyah, Khilfatin, dan Abtokhi, Ahmad. 2010. "Penentuan Nilai Kalor dengan Bahan Bakar Kayu Sesudah Pengarangan Serta Hubungannya dengan Nilai Porositas Zat Padat." *Jurnal Neutrino* 3(1):46, 51.

- Orwa *et al.* 2009. *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp> (diakses 8 Februari 2014 19:20).
- Patabang, Daud. 2009. "Analisis Nilai Kalor Secara Eksperimental dan Teoritik dari Briket Arang Kulit Kemiri". *Jurnal Majalah Ilmiah Mektek Tahun XI No. 3*.
- Razal, R. A., Tolentino, E. L. T. Jr., Carandang, W. M., Nghia, N. H., Hao, P. S., Luoma-Aho, T. 2005. "Status of Genetic Resources of *Pinus merkusii* (Jung et De Vriese) and *Pinus kesiya* (Royle ex Gordon) in Southeast Asia." *Journal of UPLBFCNR, Los Baños, Philippines & IPGRI-APO, Malaysia: 1-2*.
- Robith. 2004. *Tantangan dan Peluang Pengembangan Tungku di Indonesia*. http://www.tungku.or.id/ina/?pilih=lihatberita&berita_id=57&kategori=9 (diakses 27 Juni 2014 02:30).
- Roy, Bimalendu Narayan. 2002. *Fundamentals of Classical And Statistical Thermodynamics*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Rumus Hitung. 2013. *Neraca Ohaus Dua Lengan Dan Tiga Lengan*. <http://www.rumushitung.com/2013/06/02/neraca-ohaus-dua-lengan-dan-tiga-lengan/> (diakses 19 Juni 2014 19:05).
- Sigit. 2012. *Pengeringan Kayu*. <http://www.mediakayu.com/2012/11/pengeringan-kayu.html> (diakses 8 Februari 2014 19:17).
- Siregar, Edy Batara M. 2005. *Pemuliaan Pinus Merkusii*. Diktat. Medan: Fakultas Pertanian Jurusan Kehutanan Universitas Sumatera Utara.
- Supriyatno. 2010. "Uji Coba Karakterisasi Contoh Produk Inovasi Briket Batubara Biomasa di Pusat Penelitian Fisika – LIPI Bandung" *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia J03:1-6*.
- Suriadi, I Gusti A. K. dan Murti, Made R. 2011. "Keseimbangan Energi Termal dan Efisiensi Transient Pengeringan Aliran Alami Memanfaatkan Kombinasi Dua Energi." *Jurnal Teknik Industri Universitas Udayana* 12(1): 34-40.
- Surjadi, Eko. 2012. "Kaji Eksperimental Performa Tungku Gasifikasi Biomassa Tipe *Top Lit Up-Draft* pada Berbagai Kombinasi Ukuran Biomassa dan Kecepatan Udara Primer Awal." *Jurnal*

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Surakarta XIII(1): 25.

Susilo, Bambang dan Argo, Bambang D. 2010. *Termodinamika*. Malang: UB Press.

Syamsuri. 2013. *Analisa Performance Tungku Biomassa Portable dengan dan Tanpa Sirip Bahan Bakar Briket dari Kulit Kacang*. Diktat. Bandung: Seminar Nasional Rekayasa Energi, Mekatronik, dan Teknologi Kendaraan (RIMTEK) Bandung.

Sylviani, Asmanah Widiarti. 2001. "Penentuan Jenis Pohon Unggulan Sebagai Penghasil Kayu Bakar." *Jurnal Sosial Ekonomi* 2(2):139-150.

Tirono, M. dan Sabit, Ali. 2011. "Efek Suhu pada Proses Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (*Coconut Shell Charcoal*)" *Jurnal Neutrino* 3(2).

TSI. 2004. *Combustion Analysis Basics – An Overview of Measurements, Methods and Calculations Used in Combustion Analysis*. USA: TSI Incorporated.

Young, Hugh D. dan Freedman, Roger A. 2004. *Sears and Zemansky's University Physics: with Modern Physics 11th Edition*. San Francisco: Pearson Education, Inc. publishing as Addison Wesley.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN 1
DATA HASIL PERCOBAAN

Tabel L.1 Pemasakan menggunakan kayu pinus

Waktu (Menit)	Temperatur (°C)		
	VK	VS	VB
0	26	27	27
1	28	29	30
2	29	30	33
3	31	31	34
4	33	33	35
5	35	34	37
6	37	35	39
7	39	36	39
8	41	37	41
9	42	40	43
10	46	43	45
11	47	45	47
12	48	47	49
13	49	49	51
14	52	52	54
15	54	56	55
16	59	59	57
17	62	60	58
18	66	62	60
19	71	64	62
20	75	65	66
21	77	67	70
22	81	68	72
23	83	70	75
24	86	71	76
25	87	74	79
26	90	76	81

Waktu (Menit)	Temperatur (°C)		
	VK	VS	VB
27	91	77	84
28	93	79	84
29	94	81	86
30	95	82	87
31	95	84	89
32	96	87	90
33	97	90	91
34	98	91	92
35		93	92
36		95	93
37		96	95
38		97	95
39		98	97
40		99	98
41			99

Tabel L.2 Pemasakan menggunakan kayu campuran

Waktu (Menit)	Temperatur (°C)		
	VK	VS	VB
0	26	26	26
1	28	27	28
2	30	28	28
3	31	29	29
4	34	30	30
5	36	31	31
6	38	33	33
7	40	34	35
8	42	36	37
9	45	37	40
10	47	38	43
11	50	40	47
12	54	41	50
13	58	43	55
14	60	46	59
15	62	48	61
16	66	51	63
17	73	54	65
18	76	59	70
19	77	62	72
20	79	66	74
21	83	69	76
22	85	71	79
23	86	72	82
24	87	74	84
25	87	76	85
26	88	79	87
27	90	83	89
28	93	86	89
29	95	89	90

Waktu (Menit)	Temperatur (°C)		
	VK	VS	VB
30	96	91	90
31	97	94	91
32	98	95	93
33		97	93
34		98	95
35			97
36			98



Tabel L.3 Total konsumsi kayu pinus

t (menit)	Volume Kecil		Volume Sedang		Volume Besar	
	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)
0	0	26	0	27	0	27
1	44,9	28	28,8	29	85	30
2	104,9	29	101,8	30	152,8	33
3	133,6	31	122,5	31	210,8	34
4	186,9	33	122,5	33	210,8	35
5	220,1	35	158,9	34	262,9	37
6	253,3	37	212,6	35	262,9	39
7	253,3	39	275,3	36	262,9	39
8	297,9	41	275,3	37	262,9	41
9	328,4	42	388,8	40	311,5	43
10	379,2	46	436,7	43	341,7	45
11	438,7	47	436,7	45	385,6	47
12	491,9	48	502,4	47	452,9	49
13	539,6	49	562,3	49	452,9	51
14	560	52	562,3	52	503,3	54
15	620,6	54	620,1	56	556,7	55
16	620,6	59	620,1	59	611,4	57
17	670,8	62	620,1	60	675,7	58
18	690,9	66	620,1	62	675,7	60
19	741,1	71	677,5	64	740	62
20	831,3	75	775,5	65	740	66
21	831,3	77	775,5	67	793,2	70
22	831,3	81	775,5	68	793,2	72
23	831,3	83	873,3	70	837,1	75
24	861,6	86	873,3	71	918,9	76
25	861,6	87	978,3	74	918,9	79
26	861,6	90	978,3	76	918,9	81
27	902,1	91	978,3	77	1026,9	84
28	902,1	93	978,3	79	1026,9	84

t (menit)	Volume Kecil		Volume Sedang		Volume Besar	
	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)
29	902,1	94	978,3	81	1026,9	86
30	968,5	95	1049,9	82	1026,9	87
31	968,5	95	1049,9	84	1026,9	89
32	998,5	96	1049,9	87	1038,4	90
33	998,5	97	1049,9	90	1079	91
34	998,5	98	1097,9	91	1122	92
35			1097,9	93	1165,9	92
36			1147,8	95	1204,4	93
37			1147,8	96	1247,4	95
38			1147,8	97	1300,6	95
39			1187,7	98	1300,6	97
40			1187,7	99	1300,6	98
41					1300,6	99



Tabel L.4 Total konsumsi kayu campuran

Waktu (menit)	Volume Kecil		Volume Sedang		Volume Besar	
	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)
0	0	26	0	26	0	26
1	120,5	28	110,9	27	274,3	28
2	120,5	30	110,9	28	354,4	28
3	120,5	31	141,5	29	387,1	29
4	170,9	34	141,5	30	435,6	30
5	208,7	36	141,5	31	506,8	31
6	286,1	38	209,3	33	506,8	33
7	286,1	40	260,5	34	547,8	35
8	358,5	42	260,5	36	653,2	37
9	358,5	45	340,5	37	653,2	40
10	405,3	47	350,9	38	686,4	43
11	482,7	50	438,1	40	824,5	47
12	545,5	54	438,1	41	891,1	50
13	601,7	58	524,9	43	975,7	55
14	673,4	60	579,2	46	975,7	59
15	757,8	62	579,2	48	1054,3	61
16	846,6	66	645,8	51	1054,3	63
17	906,9	73	721,4	54	1108,1	65
18	906,9	76	721,4	59	1108,1	70
19	906,9	77	721,4	62	1208,5	72
20	945,1	79	864,6	66	1306,9	74
21	976	83	976,7	69	1351,3	76
22	976	85	1041,3	71	1351,3	79
23	976	86	1041,3	72	1422,9	82
24	1010,2	87	1172,3	74	1422,9	84
25	1040,8	87	1177,9	76	1422,9	85
26	1040,8	88	1233,2	79	1422,9	87
27	1117,2	90	1233,2	83	1422,9	89
28	1117,2	93	1325,6	86	1509,1	89

Waktu (menit)	Volume Kecil		Volume Sedang		Volume Besar	
	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)	m (gram)	T (°C)
29	1156,4	95	1398,4	89	1546,7	90
30	1156,4	96	1445,5	91	1602,6	90
31	1198,8	97	1496,6	94	1650,7	91
32	1198,8	98	1496,6	95	1671,3	93
33			1496,6	97	1684,8	93
34			1496,6	98	1701,6	95
35					1701,6	97
36					1701,6	98



LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN EFISIENSI TUNGKU

2.1 Kayu Pinus dengan Volume Air Kecil

$$\begin{aligned}m_{ao} &= 8000 \text{ gram} & m_u &= 1280 \text{ gram} \\c_{ao} &= 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C} & H_{fg} &= 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C} \\m_{bb} &= 998,5 \text{ gram} & NK &= 4872 \text{ kal/ gr} \\T_{ao} &= 26^\circ\text{C} & T_{ab} &= 98^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(8000 \cdot 1)(98 - 26) + 1280 \cdot 585,6}{998,5 \cdot 4872} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1325568}{4864692} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 27,25\%$$

2.2 Kayu Pinus dengan Volume Air Sedang

$$\begin{aligned}m_{ao} &= 10000 \text{ gram} & m_u &= 790 \text{ gram} \\c_{ao} &= 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C} & H_{fg} &= 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C} \\m_{bb} &= 1187,7 \text{ gram} & NK &= 4872 \text{ kal/ gr} \\T_{ao} &= 27^\circ\text{C} & T_{ab} &= 99^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(10000 \cdot 1)(99 - 27) + 790 \cdot 585,6}{1187,7 \cdot 4872} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1182624}{5786474,4} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 20,44\%$$

2.3 Kayu Pinus dengan Volume Air Besar

$$m_{ao} = 12000 \text{ gram}$$

$$c_{ao} = 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$m_{bb} = 1300,6 \text{ gram}$$

$$T_{ao} = 27^\circ\text{C}$$

$$m_u = 1120 \text{ gram}$$

$$H_{fg} = 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$NK = 4872 \text{ kal/ gr}$$

$$T_{ab} = 99^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(12000 \cdot 1)(99 - 27) + 1120 \cdot 585,6}{1300,6 \cdot 4872} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1519872}{6336523,2} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 23,99\%$$

2.4 Kayu Campuran dengan Volume Air Kecil

$$m_{ao} = 8000 \text{ gram}$$

$$c_{ao} = 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$m_{bb} = 1298,8 \text{ gram}$$

$$T_{ao} = 26^\circ\text{C}$$

$$m_u = 1020 \text{ gram}$$

$$H_{fg} = 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$NK = 3528 \text{ kal/ gr}$$

$$T_{ab} = 98^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot E} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(8000 \cdot 1)(98 - 26) + 1020 \cdot 585,6}{1298,8 \cdot 3528} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1173312}{4582166,4} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 25,61\%$$

2.5 Kayu Campuran dengan Volume Air Sedang

$$m_{ao} = 10000 \text{ gram}$$

$$m_u = 620 \text{ gram}$$

$$c_{ao} = 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$H_{fg} = 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$m_{bb} = 1496,6 \text{ gram}$$

$$NK = 3528 \text{ kal/ gr}$$

$$T_{ao} = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{ab} = 98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(10000 \cdot 1)(98 - 26) + 620 \cdot 585,6}{1496,6 \cdot 3528} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1083072}{5280004,8} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 20,51\%$$

2.6 Kayu Campuran dengan Volume Air Besar

$$m_{ao} = 12000 \text{ gram}$$

$$m_u = 980 \text{ gram}$$

$$c_{ao} = 1 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$H_{fg} = 585,6 \text{ kal/ gr } ^\circ\text{C}$$

$$m_{bb} = 1701,6 \text{ gram}$$

$$NK = 3528 \text{ kal/ gr}$$

$$T_{ao} = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{ab} = 98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(m_{ao} \cdot c_{ao})(T_{ab} - T_{ao}) + m_u \cdot H_{fg}}{m_{bb} \cdot NK} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{(12000 \cdot 1)(98 - 26) + 980 \cdot 585,6}{1701,6 \cdot 3528} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = \frac{1437888}{6003244,8} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{overall}} = 23,95\%$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN FCR (*Fuel Consumption Rate*)

3.1 Kayu Pinus dengan Volume Air Kecil

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{0,9985}{0,57} = 1,75 \text{ kg/ jam}$$

3.2 Kayu Pinus dengan Volume Air Sedang

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1,1877}{0,67} = 1,77 \text{ kg/ jam}$$

3.3 Kayu Pinus dengan Volume Air Besar

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1,3006}{0,68} = 1,91 \text{ kg/ jam}$$

3.4 Kayu Campuran dengan Volume Air Kecil

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1,2988}{0,52} = 2,50 \text{ kg/ jam}$$

3.5 Kayu Campuran dengan Volume Air Sedang

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1,4966}{0,57} = 2,63 \text{ kg/ jam}$$

3.6 Kayu Campuran dengan Volume Air Besar

$$\text{FCR} = \frac{m_{bb}}{t} = \frac{1,7016}{0,60} = 2,84 \text{ kg/ jam}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LAMPIRAN 4 DOKUMENTASI PENELITIAN

4. Alat dan Bahan

4.1 Fasilitas Uji Efisiensi Tungku



Gambar L.1 Tungku Tanah Liat Berdaya Sedang



Gambar L.3 Penggorengan Alumunium



Gambar L.2 Neraca Ohaus



Gambar L.4 Gelas Ukur

4.2 Alat Penunjang



Gambar L.5 Parang



Gambar L.6 Dudukan plat besi

4.3 Kayu



Gambar L.7 Kayu Pinus
(*Pinus merkusii*)



Gambar L.8 Kayu Campuran

4.4 Pemoongan Kayu



Gambar L.9 Pemoongan Kayu

4.5 Penimbangan Kayu Bakar



Gambar L.10 Penimbangan kayu dengan Neraca Ohaus

4.6 Persiapan Tungku



Gambar L.11 Persiapan tungku sebelum pemasakan air

4.7 Pemasakan 8 Liter Air dengan Kayu Pinus



Gambar L.12 Kondisi api dan pemasakan 8 liter air menggunakan kayu pinus

4.8 Pemasakan 10 Liter Air dengan Kayu Pinus



Gambar L.13 Kondisi api dan pemasakan 10 liter air menggunakan kayu pinus

4.9 Pemasakan 12 Liter Air dengan Kayu Pinus



Gambar L.14 Kondisi api dan pemasakan 12 liter air menggunakan kayu pinus

4.10 Pemasakan 8 Liter Air dengan Kayu Campuran



Gambar L.15 Kondisi api dan pemasakan 8 liter air menggunakan kayu campuran

4.11 Pemasakan 10 Liter Air dengan Kayu Campuran



Gambar L.16 Kondisi api dan pemasakan 10 liter air menggunakan kayu campuran

4.12 Pemasakan 12 Liter Air dengan Kayu Campuran



Gambar L.17 Kondisi api dan pemasakan 12 liter air menggunakan kayu campuran