

## Analisis Efisiensi Termal Pada Kompor Biomassa Dengan Menggunakan *Water Boiling Test (WBT)*

Muhammad Fajar Aryansyah<sup>1\*</sup>, Hadi Santoso<sup>2</sup>, Muh. Firdan Nurdin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

E-mail: <sup>1\*</sup>fajar.aryansyah25@gmail.com, <sup>2</sup>hadisantoso@borneo.ac.id, <sup>3</sup>firdan@borneo.ac.id  
*Corresponding author\**

### ABSTRACT

*The biomass stove is one of the technologies using biomass for cooking purposes in the household sector. Biomass can come from natural products, for example, meranti wood which was used as fuel in this study. This study aimed to determine the combustion process that occurs in the biomass stove and to determine the thermal efficiency of the stove. The measurement process and data collection on the biomass stove were carried out using the Water Boiling Test (WBT) method. This method was conducted to calculate the thermal efficiency of the biomass stove and measure the heat on the stove wall. This test was administered using 3 variations of water volume; 1 liter, 1.5 liters, and 2 liters. The efficiency value contained in the mass of 1 liter of water was about 26.6%, for the mass of 1.5 liters of water it was about 33.6% and the mass of 2 liters of water was about 41.8%. The amount of biomass fuel used was 2.5 kg. From the results of the combustion, there were different fuel masses, where the results of the 1-liter experiment remained more fuel by 1.5 kg and burnt 1 kg of biomass, then in experiment 1, 5 liters remained about 1.1 kg of fuel and burnt 1.4 kg of biomass, in the experiment 2 liters of water remained 0.9 kg of fuel and burnt 1.6 kg of biomass.*

**Keywords:** *biomass stove, fuel, thermal efficiency, water boiling test*

### ABSTRAK

Kompor biomassa adalah salah satu teknologi pemanfaatan biomassa untuk keperluan memasak pada sektor rumah tangga. Biomassa dapat berasal dari hasil alam, contohnya kayu meranti yang digunakan sebagai bahan bakar pada penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembakaran yang terjadi pada kompor biomassa dan mengetahui efisiensi termal pada kompor. Proses pengukuran serta pengambilan data pada kompor biomassa, akan dilakukan dengan menggunakan metode *Water Boiling Test (WBT)*. Metode ini dilakukan untuk menghitung efisiensi termal pada kompor biomassa dan akan dilakukan pengukuran kalor pada dinding kompor. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 3 variasi volume air yaitu, 1 liter, 1,5 liter, dan 2 liter. Nilai efisiensi yang terdapat pada massa 1 liter air sekitar 26,6%, untuk massa 1,5 liter air sekitar 33,6% dan pada massa 2 liter air sekitar 41,8%. Jumlah bahan bakar biomassa yang digunakan sebesar 2,5 kg. Dari hasil pembakaran terdapat sisa bahan bakar yang berbeda massanya. Hasil dari percobaan 1 liter menyisakan lebih banyak bahan bakar sebesar 1,5 kg dan membakar biomassa sebesar 1 kg. Lalu pada percobaan 1,5 liter menyisakan bahan bakar sekitar 1,1 kg dan membakar biomassa sebanyak 1,4 kg. Pada percobaan 2 liter air menyisakan bahan bakar sebesar 0,9 kg dan membakar biomassa sebanyak 1,6 kg.

**Kata Kunci:** *bahan bakar, efisiensi termal, kompor biomassa, water boiling test*

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan dan konsumsi energi semakin meningkat sejalan dengan bertambahnya populasi manusia dan meningkatnya perekonomian masyarakat. Di Indonesia kebutuhan dan konsumsi energi terfokus kepada penggunaan bahan bakar minyak bumi yang cadangannya kian menipis. Oleh karena itu, mengatasi masalah harga minyak dan gas yang semakin mahal, serta cadangannya yang terbatas maka diperlukan usaha yang terprogram dan terarah untuk mencari energi alternatif. Diantara sumber-sumber energi alternatif tersebut, energi biomassa merupakan sumber energi yang perlu mendapat prioritas dalam pengembangannya [1]. Bahan bakar fosil termasuk sumber energi tak terbarukan sehingga penggunaan bahan bakar kompor tidak dapat selamanya bergantung pada bahan bakar tersebut [2]. Biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Biomassa (bahan organik) dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik, hal ini disebut bioenergi. Biomassa ini dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi yang cocok dikembangkan di Indonesia karena jumlahnya yang melimpah [3].

Bioenergi adalah energi yang berasal dari bahan organik, juga dikenal sebagai biomassa. Energi tersebut dapat berupa gas – biogas, cairan – biodiesel, dll. Biomassa tersebut dapat berasal dari tanaman kayu, dedaunan, limbah pertanian, kotoran hewan, dan terkadang limbah. Biomassa yang digunakan sebagai sumber energi dikenal sebagai bahan baku. Bahan baku terkadang ditanam terutama untuk kandungan energinya, atau terkadang bahan baku ini dapat dibuat dari produk limbah yang diperoleh dari pertanian dan industri terkait [4]. Biomassa adalah seluruh hal yang berkenaan dengan tanaman yang masih hidup termasuk limbah organik yang berasal dari tanaman, manusia, kehidupan laut, dan hewan. Biomassa mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa adalah polimer glukosa (hanya glukosa) yang tidak bercabang. Hemiselulosa merupakan polimer gula yang tersusun dari bermacam-macam jenis gula Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit phorylphropana yang terikat di dalam struktur tiga dimensi dan merupakan material paling kuat di dalam biomassa [5]. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa yang umum digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya [6]. Biomassa pada dasarnya adalah alat yang memungkinkan mengubah bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas oleh proses termokimia akibat oksidasi cepat. Proses ini melibatkan oksidasi partial dan temperatur tinggi reaksi oksidasi dan reduksi diantara bahan bakar padat-udara [7].

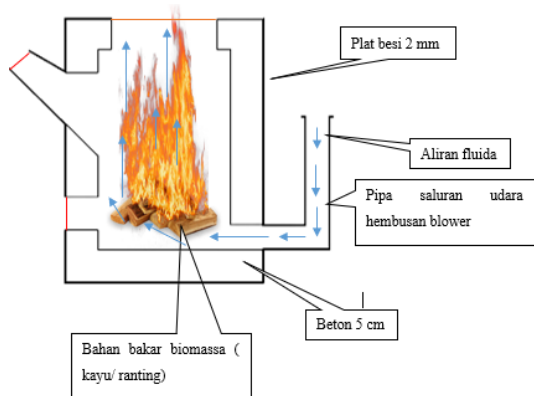
Indonesia memiliki sumber biomassa yang melimpah, sehingga potensi untuk menjadikannya sebagai sumber energi (bahan bakar) sangatlah besar. Sebagai sumber energi, biomassa memiliki beberapa keuntungan terutama dari sifat terbarukannya, dalam arti bahan tersebut dapat diproduksi ulang. Energi biomassa ini biasanya diterapkan atau diaplikasikan pada kompor biomassa, dimana kompor biomassa merupakan kompor berbahan bakar biomassa padat. Bahan biomassa adalah semua yang berasal dari makhluk hidup, seperti kayu, tumbuh-tumbuhan, daun-daunan, rumput, limbah pertanian, limbah rumah tangga, sampah dan lain-lainnya. Pada tahun 2018, [8] telah membangun kompor biomassa yang terbuat dari plat besi yang memiliki ketebalan sebesar 2 mm dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 40 cm sehingga dapat menampung bahan bakar yang banyak sekitar 4,5 kg yang dapat memasak sekitar 30 menit. Ruang dalam kompor dilapisi dengan beton dari cor semen dengan ketebalan mencapai 5 cm. Kompor ini menggunakan tambahan teknologi blower atau kipas angin untuk membantu proses penyalaaan api, pembakaran dan arah api. Pada kompor biomassa tersebut memiliki kekurangan, yaitu belum adanya analisis efisiensi termal dan menghitung laju konsumsi bahan bakar. Maka dari itu akan dilakukan perhitungan efisiensi termal terhadap kompor biomassa tersebut untuk mengetahui jumlah energi yang digunakan dan jumlah energi yang terbuang. Efisiensi termal merupakan perbandingan jumlah kalor yang terkandung pada bahan bakar dengan nilai kalor yang diterima oleh air.

## II. METODE PENELITIAN

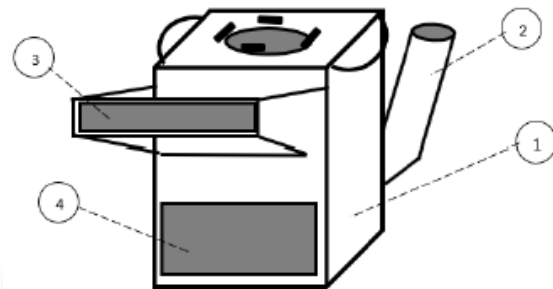
### 1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Tempat dilakukannya penelitian ini, yaitu berada di Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Alasan memilih lab tersebut yaitu agar mempermudah pembuatan serta peminjaman alat dari lab sangat mudah. Penelitian ini akan dilakukan selama 2 bulan.

### 2. Skema Gambar Kompor Biomassa



Gambar 1. Skema Cara Kerja Kompor Biomassa



Gambar 2. Sketsa 3D Kompor Biomassa

Desain pada Gambar 2 di atas tersusun atas:

- (1) Badan kompor
- (2) Pipa saluran udara hembusan blower
- (3) Pintu untuk memasukkan bahan bakar biomassa kayu
- (4) Pintu untuk mengeluarkan abu sisa pembakaran

### 3. Water Boiling Test (WBT)

WBT merupakan proses pengujian penguapan air untuk melakukan perhitungan analisis efisiensi termal. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui jumlah bahan bakar dan air yang terpakai selama proses pembakaran. Dilanjutkan dengan langkah terakhir yaitu proses perhitungan dan analisis data. Metode WBT telah memperlihatkan kegunaan bahan bakar yang dapat diprediksikan secara kasar untuk berbagai keperluan pembakaran. Dapat digunakan untuk mengukur beberapa aspek berkaitan *power input*, *sensible heat*, *latent heat*, efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar (*FCR*) dan *power output*.

#### Perhitungan parameter dalam pengujian Water Boiling Test (WBT)

- 1) *Energi input* adalah jumlah energi yang dibutuhkan yaitu mengacu pada jumlah panas yang dipasok oleh kompor [9]. Hal ini dapat ditentukan dengan mengetahui jumlah makanan atau air yang direbus dengan persamaan:

$$Q_n = \frac{M_w \times E_s}{T}$$

Keterangan:

- $Q_n$  = Energi yang dibutuhkan (kkal/jam)
- $M_w$  = Massa air (kg)
- $E_s$  = Energi spesifik, kkal/kg
- $T$  = Waktu memasak (jam)

- 2) *Sensible Heat* adalah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air yang diukur sebelum air mendidih dan sesudah mendidih [9].

$$SH = M_w \times C_p \times (T_f - T_i)$$

Keterangan:

- SH = *Sensible heat* (kkal)

- $M_w$  = Massa air, kg (1 kg/liter)  
 $C_p$  = Panas spesifik air, 1 kkal/kg.°C  
 $T_f$  = Suhu air mendidih (°C)  
 $T_i$  = Suhu air sebelum mendidih (°C)

- 3) *Latent Heat* adalah jumlah energi yang digunakan untuk menguapkan air dengan menggunakan formula sebagai berikut [9].

$$LH = W_e \times HFG$$

Keterangan:

- $LH$  = Panas laten (kkal)  
 $W_e$  = berat air yang menguap (kg)  
 $HFG$  = Panas laten penguapan air, 539,4 kkal/kg (tabel entalpi uap)

- 4) *Heat Energi Input* yaitu jumlah energi yang diperlukan dalam hal ini jumlah energi bahan bakar yang diumpankan kedalam kompor dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [9].

$$QF = WFU \times HVF$$

Keterangan:

- $QF$  = Energi panas yang tersedia pada bahan bakar (kkal)  
 $WFU$  = Berat bahan bakar yang digunakan (kg)  
 $HVF$  = *Heating value of fuel*/ nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

- 5) Perhitungan efisiensi termal, efisiensi termal adalah perbandingan antara nilai kalor yang diterima oleh air dengan nilai kalor yang terkandung dalam bahan bakar [9]. Perhitungan efisiensi termal dilakukan dengan menggunakan persamaan umum yang biasa digunakan metode *Water Boiling Test (WBT)* sebagai berikut.

$$\eta = \frac{SH + LH}{HVF \times WFU} \times 100\%$$

Keterangan:

- $\eta$  = Efisiensi termal (%)  
 $SH$  = *Sensible heat* (kkal)  
 $LH$  = *Latent Heat*/ Panas laten (kkal)  
 $HVF$  = *Heating value of fuel*/ nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)  
 $WFU$  = *Weigh of fuel used*/ berat bahan yang digunakan (kg)

- 6) Laju konsumsi bahan bakar spesifik [9].

$$FCR = \frac{Q_n}{HVF \cdot \eta}$$

Keterangan:

- $FCR$  = *Fuel consumption rate*/ tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)  
 $Q_n$  = *Heat energy needed*/ energi panas yang dibutuhkan (kkal/hr)  
 $HVF$  = *Heating value of fuel*/ nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)  
 $H$  = Efisiensi kompor (%)

- 7) *Power Input* adalah jumlah energi yang dipasok kedalam kompor berdasarkan bahan bakar yang digunakan [9].

$$P_i = FCR \times HVF$$

Keterangan:

- $P_i$  = *Power input* (kw)  
 $FCR$  = *Fuel consumption rate* / tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)  
 $HVF$  = *Heating value of fuel* / nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

8) *Power output* adalah jumlah energi yang dihasilkan oleh kompor untuk memasak [9].

$$P_o = FCR \times HVF \times \eta$$

Keterangan:

$P_o$  = *Power output* (kW)

FCR = *Fuel consumption rate* / tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam)

HVF = *Heating value of fuel* / nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

$\eta$  = Efisiensi termal (%)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Pengukuran Temperatur Air

Proses pengukuran temperatur air sebelum dididihkan dan setelah mendidih menggunakan alat ukur termometer. Dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Rata-Rata Temperatur Pengukuran Air dan Sisa Bahan Bakar

Massa Air (liter)	Massa Awal Bahan Bakar (kg)	Temperatur Awal (°C)			Temperatur Akhir (°C)			Massa Akhir Air (liter)	Massa Akhir Bahan Bakar (kg)
1	2,5	27,9	28,6	27,4	94,9	93,9	94,2	0,9	1,5
1,5	2,5	27,9	28,6	27,4	97,2	97,3	97,4	1,3	1,2
2	2,5	27,9	28,6	27,4	97,3	97,8	97,7	1,7	0,9

#### 2. Pengukuran Temperatur Kompor

Proses pengukuran temperatur dinding kompor sebelum dilakukan proses pembakaran dan temperatur dinding kompor setelah air mendidih menggunakan alat ukur termokopel. Dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rata-Rata Pengukuran Temperatur Dinding Kompor

Massa Air (liter)	Waktu Memasak (menit)	Temperatur Awal (°C)			Temperatur Akhir (°C)		
		Kiri/Kanan	Depan	Belakang	Kiri/Kanan	Depan	Belakang
1	5,23	27,1	28,2	27,7	67,8	76,6	57,1
1,5	6,54	27,1	28,2	27,7	70,4	92	59,1
2	8,33	27,1	28,2	27,7	76,4	110	72

Proses pengukuran serta pengambilan data pada kompor biomassa dilakukan dengan menggunakan metode *Water Boiling Test (WBT)*. Hal ini dilakukan untuk kompor mengukur seberapa efisien kompor menggunakan bahan bakar untuk memanaskan air dalam panci saat terjadinya proses memasak. Metode ini juga dilakukan untuk menghitung efisiensi termal pada kompor biomassa. Efisiensi termal adalah perbandingan nilai kalor yang terkandung dalam bahan bakar dengan nilai kalor yang diterima oleh air untuk menaikkan suhunya dan menguapkannya.

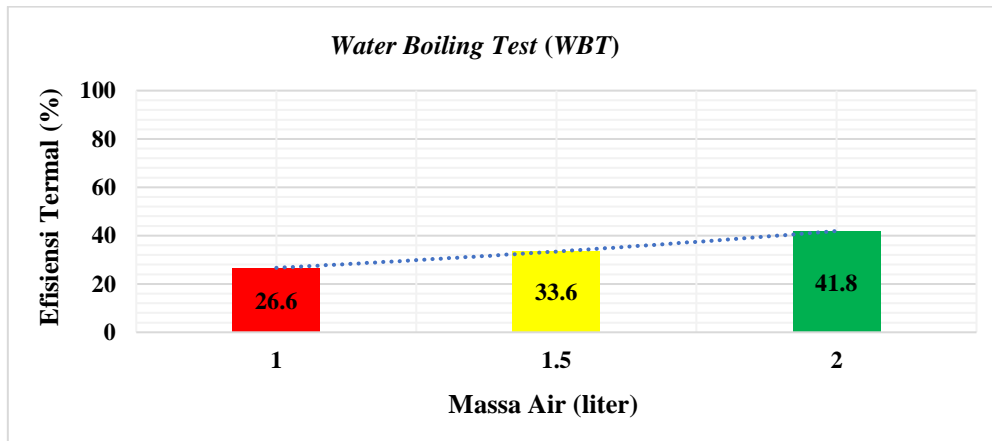
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 3 variasi atau iterasi volume air yaitu, 1 liter, 1,5 liter, dan 2 liter. Dalam setiap pengujian volume air, dilakukan percobaan sebanyak 3 kali pengulangan dan setiap pengulangan dilakukan 3 kali pengukuran temperatur sisi (kiri/ kanan, depan, dan belakang) kompor serta temperatur air (setiap sisi kompor diukur temperaturnya). Jika ditotalkan seluruh proses

pengambilan data akan dilakukan 27 kali pengujian dan pengambilan data pada temperatur kompor dan temperatur air.

### 3. Analisis Data

#### *Nilai Input dan Output Pada Kompor Biomassa*

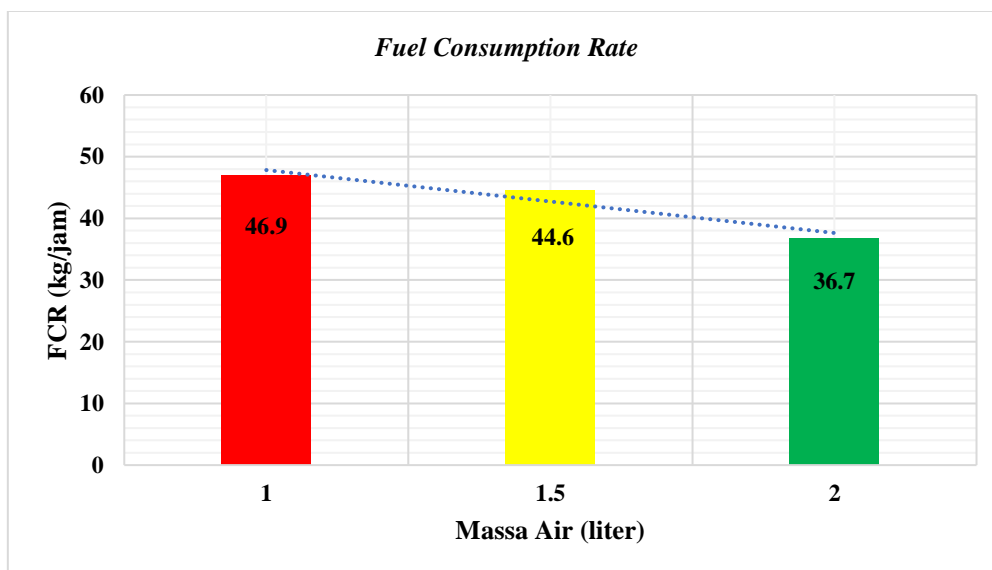
Dalam mencari nilai *input* dan *output* akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan beberapa parameter penting sehingga didapatkan hasil efisiensi termal dari masing-masing pengujian volume air yang dididihkan dalam metode *Water Boiling Test (WBT)*. Berikut di bawah ini adalah grafik hasil dari pengujian penguapan air yang telah dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3. *Water Boiling Test (WBT)*

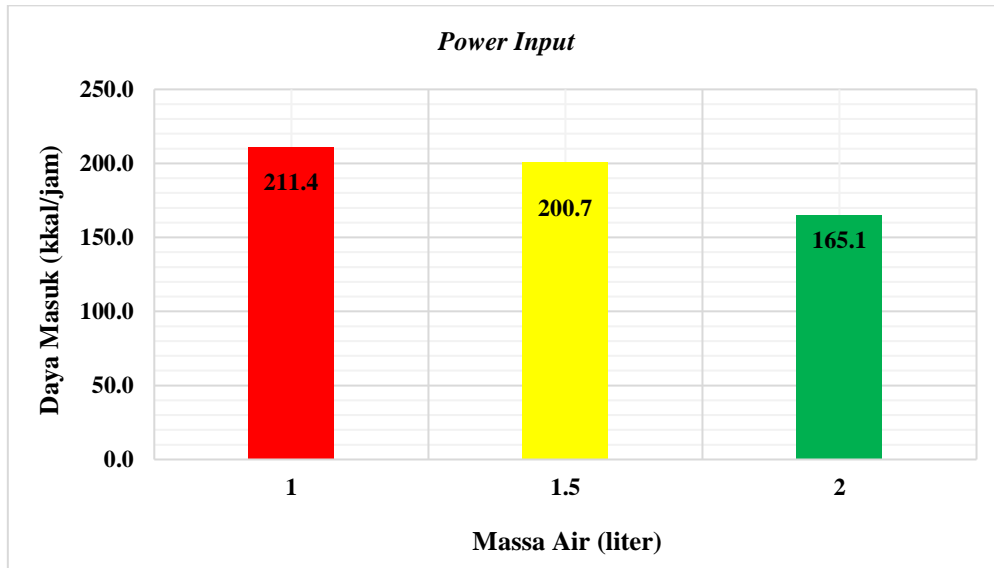
Gambar 3 menunjukkan hasil persentase efisiensi pada kompor semakin meningkat disetiap volume air yang semakin besar. Nilai efisiensi yang tertinggi yaitu 41,8% pada percobaan *WBT* di volume air sebesar 2 liter dan terendah 26,6% pada percobaan *WBT* di volume air sebesar 1 liter. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi kompor berpengaruh terhadap jumlah massa bahan bakar biomassa yang terpakai [10]. Proses memasak air pada volume 2 liter menggunakan bahan bakar sebanyak 1,6 kg dan pada volume 1 liter menggunakan bahan bakar sebanyak 1 kg.

Adapun grafik pada laju konsumsi bahan yang terjadi pada saat melakukan penelitian di setiap tiga variasi volume air, dapat dilihat pada Gambar 4.



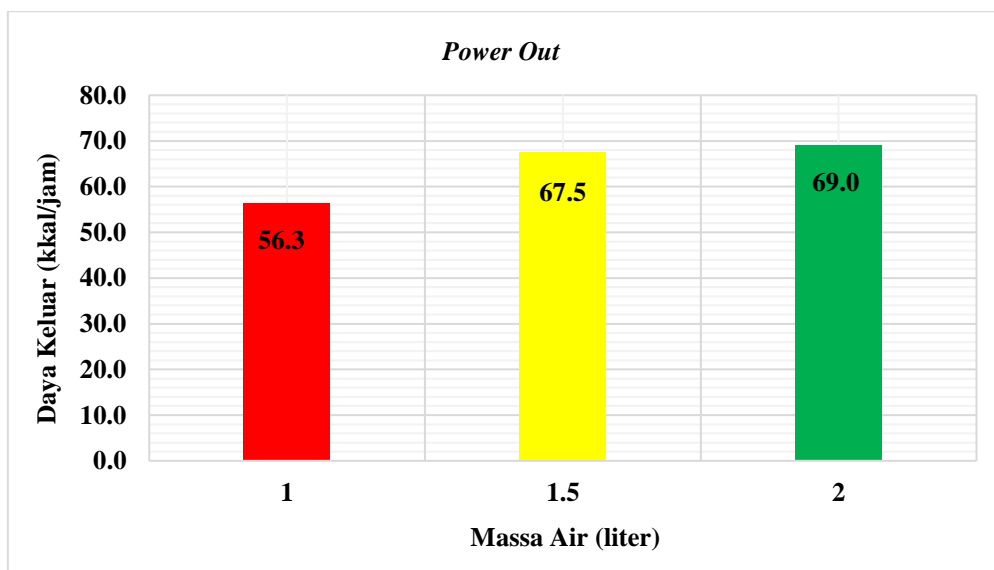
Gambar 4. Laju Konsumsi Bahan Bakar (*FCR*)

Gambar 4 menunjukkan hubungan laju konsumsi bahan bakar (*FCR*) terhadap variasi volume air. Massa bahan bakar biomassa yang terpakai mempengaruhi nilai *Fuel Consumption Rate (FCR)*, semakin besar nilai *Fuel Consumption Rate (FCR)* maka semakin besar pula nilai daya masuk sehingga mengakibatkan turunnya nilai efisiensi pada kompor [10]. Untuk nilai daya masuk dan daya keluar, dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Jumlah Kalor Pada Daya yang Masuk

Gambar 5 menunjukkan hubungan jumlah nilai kalor pada daya masuk dengan 3 variasi volume air. Nilai daya masuk juga berpengaruh pada laju konsumsi bahan bakar (*fuel consumption rate*) karena berhubungan dengan nilai kalor pada bahan bakar. Nilai daya masuk yang dihasilkan pada percobaan 1 liter air lebih tinggi, yaitu sekitar 211,4 kkal dan daya masuk terendah sekitar 165,1 kkal pada percobaan 2 liter air. Hal ini karena hubungan antara nilai *FCR* dengan daya masuk, dimana semakin tinggi nilai *FCR* maka nilai daya masuk juga akan tinggi, sementara nilai efisiensi pada kompor akan menurun.



Gambar 6.1 Jumlah Kalor Pada Daya yang Keluar

Gambar 6 menunjukkan jumlah nilai kalor pada daya keluar dengan 3 variasi volume liter air. Daya keluar berhubungan dengan nilai efisiensi, semakin tinggi nilai efisiensi termal maka semakin tinggi pula nilai daya output, begitu juga dengan sebaliknya jika nilai daya keluar rendah maka rendah pula nilai efisiensi termalnya. Nilai kalor daya keluar tertinggi sekitar 69,0 kkal pada percobaan *WBT* volume 2 liter air dan nilai terendah sekitar 56,3 kkal pada percobaan *WBT* 1 liter air.

#### IV. KESIMPULAN

Kompore yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kompor biomassa yang menggunakan bahan bakar biomassa dari kayu meranti sebesar 2,5 kg. Untuk proses penelitian ini dilakukan *Water Boiling Test (WBT)* dengan volume air yang bervariasi, yakni 1, 1,5 dan 2 liter air. Dari hasil pembakaran terdapat sisa bahan bakar yang berbeda massanya, di mana hasil dari percobaan 1 liter menyisakan lebih banyak bahan bakar sebesar 1,5 kg dan membakar biomassa sebesar 1 kg, lalu pada percobaan 1,5 liter menyisakan bahan bakar sekitar 1,1 kg dan membakar biomassa sebanyak 1,4 kg, pada percobaan 2 liter air menyisakan bahan bakar sebesar 0,9 kg dan membakar biomassa sebanyak 1,6 kg. Nilai efisiensi termal pada kompor meliputi 3 variasi volume air yaitu 1, 1,5 dan 2 liter air. Nilai efisiensi yang terdapat pada massa 1 liter air sekitar 26,6%, untuk massa 1,5 liter air sekitar 33,6% dan pada massa 2 liter air sekitar 41,8%. Nilai efisiensi sangat berpengaruh terhadap temperatur dan kalor yang terdapat pada kompor, jadi semakin tinggi nilai rata-rata temperatur maka semakin tinggi pula nilai kalor dan efisiensinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Basu, *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction: Partical design and Theory*, Third Edition, London: Elsevier Inc, 2018.
- [2] P. A. Setiawan, *Perancangan Kompor Biomassa Persegi Dengan Pemodelan Matlab Dan Metode Beda Hingga*. Undergraduate [Thesis]. UMM, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang, 2019. [Online]. Available: UMM Institutional Repository.
- [3] B. V. Babu, A. S. Chaurasia, "Modeling for Pyrolysis of Solid Particle: Kinetics and Heat Transfer Effects," *Energy Conversion and Management*, vol. 44, no. 14, pp. 2251-2275, August 2003.
- [4] M.S. Seveda, P.D. Narale, S.N. Kharpude, *Bioenergy Engineering*, India: Narendra Publishing House, 2002.
- [5] F. Inayati, *Perancangan Dan Optimasi Kinerja Kompor Gas Biomassa Rendah Emisi Karbon Monoksida Berbahan Bakar Biopellet Dari Kayu Karet*, Undergraduate [Thesis]. UI, Depok: Universitas Indonesia, 2012. [Online]. Available: Universitas Indonesia Library.
- [6] L. Parinduri, T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Journal of Electrical Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 88-92, Juni 2020.
- [7] R. Djafar, Y. Djamalu, S. Haluti, S. Botutihe, "Analisis Performa Kompor Gasifikasi Biomassa Tipe Forced Draft Menggunakan Variasi Jumlah Bahan Bakar Tongkol Jagung," *Jtech* vol. 5, no. 2, pp. 90-96, 2018.
- [8] H. Santoso, H. Iromo, "Rancang Bangun Kompor Biomassa Berbahan Dasar Plat Besi dan Beton Dilengkapi Dengan Teknologi Blower," *Jurnal Reaktom*, vol. 03, no. 02, hal. 22-25, 2018.
- [9] M. Nurhuda, "Kompor Biomassa UB: Menuju Kemandirian Energi Bagi Rakyat Miskin," *M&E*, vol. 9, no. 4, pp. 4-10, Desember 2011.
- [10] Z. Syahira *et al*, "Optimasi Analisis Dan Efisiensi Energi Termal Menggunakan Tungku Sekam Sebagai Bahan Bakar Alternatif Rumah Tangga (Studi Kasus: Praktikum Termodinamika)," *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016.*, pp. 61-66, Oktober 2016.