



## Kajian Kinerja Kompor Limbah Biomassa Padat Skala Industri Rumah Tangga

Suhartono<sup>1\*</sup>, Fitria Gasela<sup>2</sup>, dan Anis Khoirunnisa<sup>3</sup>

\*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi 40533

\*E-mail : [suhartono@lecture.unjani.ac.id](mailto:suhartono@lecture.unjani.ac.id)

### Abstract

*The performance test of a natural draft stove design with various kinds of fuel; corncob, coconut shells and wood chip provided the fire power of 8 kW -22 kW and the maximum flame temperature of 1126 ° C. The wood chip utilization gave a flame temperature in the range of 912 °C-1126 °C in a bluish orange colour. The fastest start-up time of 10.55 minutes was obtained when corncob utilized as fuel in this stove. While wood chip and coconut shell gave the longest start-up time of 16.34 minutes by the operating time of 12.78 minutes and 20.21 minutes, respectively. The performance of this experimental natural draft stove provided the thermal efficiency ( $\eta_{th}$ ) of 20%-21% and specific fuel consumption ( $S_c$ ) was in the range of 0.51 kg/hour-0.64 kg/hour. This stove performance meets some parameters required by the Indonesian National Standardization Agency (BNSI) for biomass stove (SNI 7926: 2013); the maximum specific fuel consumption,  $S_c$  of 1 kg/hour and the minimum thermal efficiency of 20%. The measuring of CO (<67 g/kg of consumed fuel) and particulate emissions, PM<sub>2.5</sub> (<1500 mg/kg of consumed fuel) are in progress of this work.*

**Keywords :** Biomass, thermal efficiency, SNI

### Pendahuluan

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan telah digunakan sejak lama dan ketersediaannya melimpah. Biomassa di alam tersedia dalam berbagai bentuk, seperti potongan batang kayu, ranting-ranting kayu, sisa kayu, limbah pertanian, batang dan pelepah sawit dan lain-lain. Dalam pemenuhan kebutuhan energi sehari-hari, masyarakat menggunakan biomassa tersebut sebagai bahan bakar. Sekitar 40% total konsumsi energi nasional yang digunakan oleh rumah tangga (terutama di pedesaan) berasal dari biomassa (bahan bakar kayu) (Iwan, 2014). Di pedesaan, biomassa ini dapat dengan mudah dijumpai dan dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar (Reed dan Larson, 1999) menggunakan kompor konvensional. Kompor biomassa merupakan media yang digunakan untuk melangsungkan proses pembakaran dengan panas yang dihasilkan dimanfaatkan untuk keperluan memasak. Namun demikian, rancangan kompor biomassa yang digunakan oleh masyarakat saat ini, masih sangat sederhana, sehingga efisiensi pembakaran masih rendah dan emisi bahan berbahaya yang dihasilkan juga tinggi. Karena itu, dipandang perlu mendorong penggunaan kompor biomassa yang lebih efisien dan menghasilkan polutan yang rendah. Biomassa hingga saat ini masih lazim digunakan untuk keperluan pemanasan atau memasak, terutama di pedesaan di Kabupaten Bandung Barat (KBB). Biomassa yang digunakan pada umumnya berbentuk padat merupakan limbah hasil pertanian, seperti tongkol jagung, serpihan kayu, sekam padi dan sebagainya. Pada umumnya industri rumah tangga di KBB menggunakan biomassa sebagai bahan bakar untuk keperluan memasak. Pembakaran biomassa dilakukan dengan menggunakan tiga atau lebih batu bata berbentuk U yang berfungsi sebagai kompor biomassa tradisional. Kualitas proses pembakaran yang buruk berdampak negatif terhadap performansi termal kompor tradisional ini. Pembakaran yang tidak sempurna dan efisiensi perpindahan panas yang rendah (rasio energi digunakan terhadap energi hasil pembakaran) akan menurunkan efisiensi kompor ini. Pada umumnya, proses pembakaran seperti ini memiliki efisiensi termal tidak lebih dari 10% dibandingkan dengan menggunakan kompor limbah biomassa padat yang dirancang secara benar (Berruetta dkk., 2008), (Ayo, 2009).

Reaksi pembakaran merupakan reaksi kompleks multi-fasa. Bentuk geometri ruang-bakar tungku dan dimensi/tukuran unggun biomassa yang terus berubah selama proses pembakaran, menjadikan proses ini lebih kompleks. Kompleksnya proses tersebut, dapat menyebabkan kesulitan untuk melakukan pengukuran dan pengambilan data secara langsung, dalam upaya peningkatan efisiensi tungku biomassa dan penurunan polutan yang dihasilkan. Karena itu, ruang pembakaran pada tungku harus dibuat dengan memperhatikan pola aliran gas yang terjadi, yaitu ketika fluida (udara, gas pembakaran dan hasil pembakaran) melalui unggun biomassa. Rancangan geometri ruang bakar yang baik sangat mempengaruhi pola aliran yang dihasilkan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan efisiensi pembakaran (tungku) dengan polutan yang lebih rendah.

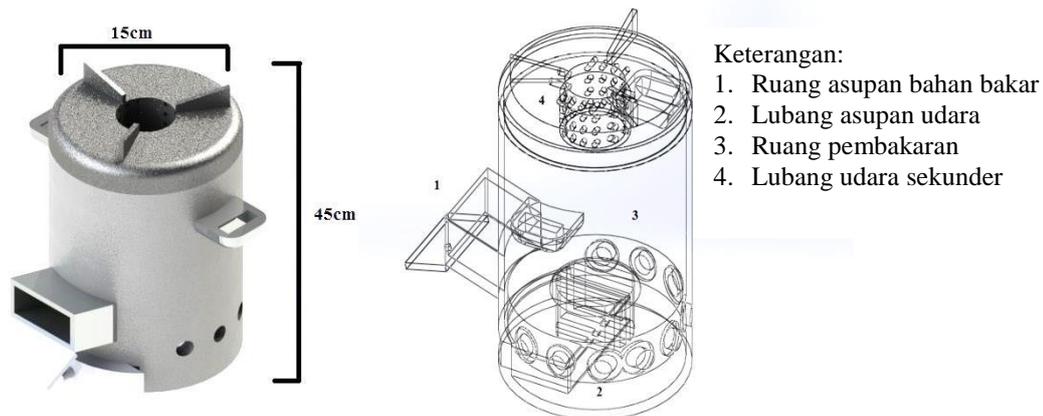
Rancangan tungku (geometri) biomassa yang ada saat ini masih sederhana dengan kesempurnaan pembakaran dan efisiensi termal masih rendah dan polutan bahan berbahaya dalam gas hasil pembakaran yang dihasilkan tinggi. Uji kinerja sebuah prototipe rancangan kompor *natural draft* pada penelitian ini, diharapkan dapat memenuhi



standar kinerja tungku biomassa (SNI 7926:2013) dan cocok digunakan untuk kalangan rumah tangga, terutama di daerah pedesaan. Parameter standar kinerja tungku biomassa meliputi kesempurnaan reaksi pembakaran (efisiensi pembakaran), efisiensi termal dan kandungan emisi CO dan partikulat ( $PM_{2,5}$ ) dalam gas hasil bakar.

### Metode Penelitian

Percobaan dilakukan dengan menggunakan sebuah prototipe kompor biomassa *natural draft* yang telah tersedia di Laboratorium Teknik Kimia-Unjani. Spesifikasi kompor biomassa *natural draft* ini, berdiameter dalam 15 cm, tinggi ruang pembakaran adalah 45cm dan diameter lubang udara masing-masing 3 cm tanpa dilengkapi *blower*. Pasokan udara ke ruang pembakaran dapat dilakukan dengan aliran-alami (*natural draft*). *Natural-draft* (aliran udara) alami, mengalir atas dasar perbedaan densitas udara. Zona dengan temperatur rendah akan memiliki densitas udara yang lebih besar dibandingkan dengan zona dengan temperatur tinggi, sehingga udara akan bergerak atau mengalir secara alami dari tempat bertemperatur rendah ke zona yang bertemperatur tinggi. Sketsa rangkaian kompor *natural draft* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa kompor *natural draft*

Bahan bakar biomassa yang digunakan antara lain tongkol jagung, batok kelapa dan limbah pembangunan rumah berupa serpihan kayu yang digunakan sebagai asupan pada percobaan ini. Biomassa dan limbah tersebut dipilih mengingat jumlahnya melimpah, namun pemanfaatannya sebagai sumber energi masih kurang. Kadar air dalam biomassa diukur dengan metode pengeringan oven. Variasi jumlah dan jenis bahan bakar dilakukan pada setiap proses pembakaran pada kompor *natural draft*. Panas yang dihasilkan digunakan untuk pendidihan air. Besaran yang diukur berupa jumlah, ukuran dan konsumsi biomassa, waktu penyulutan, suhu pendidihan dan kadar emisi dan partikulat.

Evaluasi kinerja tungku dilakukan atas dasar parameter-parameter yang telah ditetapkan Badan Standarisasi Nasional, yang mencakup efisiensi pembakaran, efisiensi termal, derajat emisi karbon monoksida dan partikulat dan aspek keselamatan dari tungku dan cara-cara pengujianya (RI, 2016). Efisiensi pembakaran yang menyatakan kesempurnaan pembakaran dan ditandai minimnya kadar karbon monoksida di dalam aliran gas hasil bakar. Efisiensi pembakaran dihitung dari konsentrasi karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida ( $CO_2$ ) di dalam gas hasil bakar. Uji efisiensi pembakaran dan emisi kompor biomassa ini dilakukan secara serempak dengan memasang sungkup hisap dan alat ukur/sensor kadar emisi CO dan  $CO_2$ . Partikulat (*particulate matter*) di dalam gas bakar dengan ukuran maksimal 2,5 mikron ( $PM_{2,5}$ ) diukur dengan menggunakan kertas saring bersih berukuran 2, 5 mikron dan menggunakan timbangan mikron. Massa *particulate matter* (PM) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (BSN, 2013):

$$PM = MF_f - MF_i - m_{bk} \times t_c \quad (1)$$

$MF_i$  dan  $m_{bk}$  masing-masing adalah berat saringan dan berat rata-rata pengumpulan partikulat (ppm) dan  $t_c$  adalah waktu pengujian (jam). Efisiensi pembakaran,  $\eta_c$  dihitung dengan menggunakan persamaan (BSN, 2013):

$$\eta_c = 1 - \frac{N_{CO}}{N_{CO_2}} \quad (2)$$

Konsumsi bahan bakar spesifik,  $S_c$  dihitung dengan menggunakan persamaan (BSN, 2013):

$$S_c = \frac{\Delta m_k}{\Delta t} \quad (3)$$

dengan  $\Delta m_k$  adalah massa bahan bakar yang telah digunakan/dibakar selama pengujian (kg) dan  $\Delta t$  adalah lama waktu pengujian. Efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan (BSN, 2013), (Saravanakumar dkk., 2007), (Suhartono dkk., 2017), (Suhartono dkk., 2018), (Saturday dkk., 2016).

$$\eta_{th} = \frac{m_a C_p \Delta T + \Delta m_a \lambda}{\Delta m_k LHV} \quad (4)$$

dengan  $m_a$  adalah massa air (kg),  $C_p$  adalah kapasitas panas air (4,186 J/kg oC),  $\Delta m_a$  adalah massa air yang menguap (kg),  $\Delta T$  adalah selisih temperatur air akhir terhadap susu awal air,  $\lambda$  adalah panas penguapan air (2260 kJ/kg) dan LHV adalah nilai kalor bahan bakar. Titik didih air,  $T_d$  sendiri tidak musti 100 °C, tetapi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (BSN, 2013):

$$T_d = \left(100 - \frac{h}{300}\right) \quad (5)$$

Dengan  $T_d$  adalah titik didih (°C) dan  $h$  adalah ketinggian lokasi dari permukaan laut (m). Hasil pengujian parameter-parameter di atas harus memenuhi standar SNI 7926:2013 sebagai berikut (BSN, 2013):

1. konsumsi bahan bakar spesifik,  $Sc$  maksimum 1 kg/jam,
2. efisiensi pembakaran,  $\eta_c$  minimal 0,96 atau ratio  $N(CO)/N(CO_2)$  maksimal 0,04,
3. efisiensi termal,  $\eta_{th}$  minimal 20%,
4. emisi CO tidak lebih dari 67 g/kg bahan bakar terkonsumsi.
5. emisi partikulat,  $PM_{2,5}$  tidak lebih dari 1500 mg/kg bahan bakar terkonsumsi.

Persyaratan tambahan lain berupa rentang daya kompor biomassa sebesar 2,5kW-5 kW atau setara dengan konsumsi 0,5 kg/jam-1 kg/jam bahan bakar biomassa dengan nilai kalor 18 MJ/kg (jika yang digunakan adalah kayu jati). Faktor keamanan dan ergonomi tungku biomassa juga merupakan persyaratan dari kinerja tungku (BSN, 2013).

## Hasil dan Pembahasan

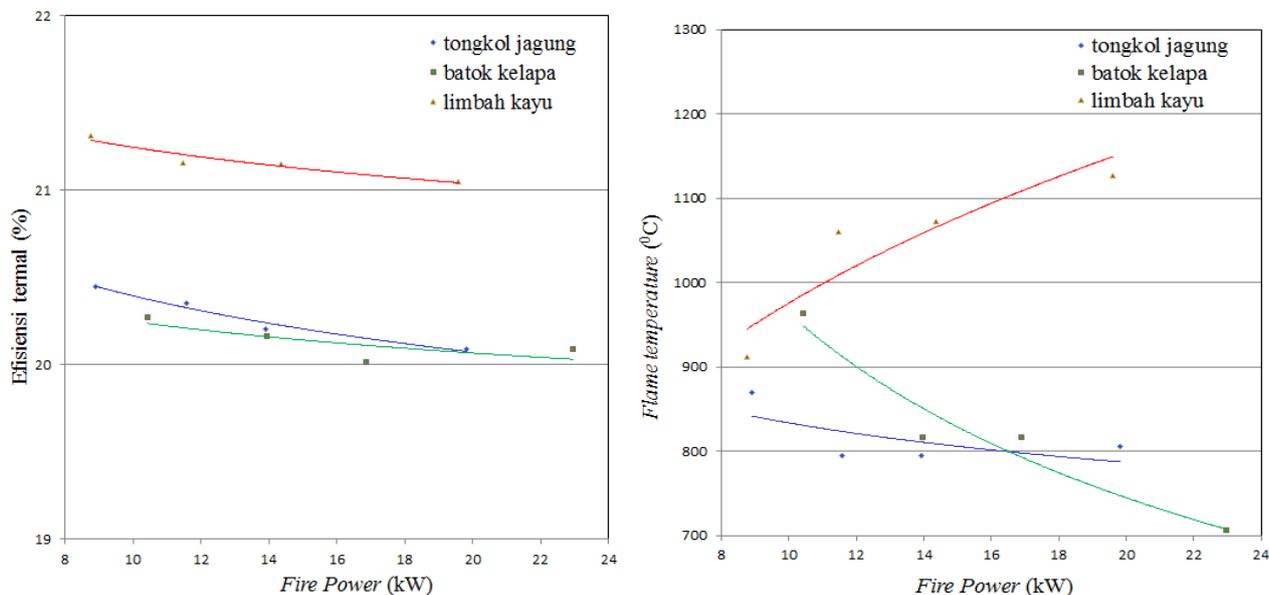
Karakteristik biomassa atas dasar analisis *proximate* dan *ultimate* disajikan pada Tabel 1. Sifat fisik dan kimia biomassa ini diperlukan guna memperkirakan sifat-sifat bahan bakar (*fuel properties*) biomassa dan perhitungan parameter-parameter kinerja kompor biomassa. Sifat fisik dan kimia biomassa tergantung pada struktur dan unsur kimianya dan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran dan pemanfaatan termalnya. C, H, dan O merupakan elemen utama dari biomassa ini. Semakin besar kandungan C dan H menyebabkan nilai kalor semakin besar, sedangkan semakin besar kandungan O akan menurunkan nilai kalornya. Nilai kalor limbah kayu lebih rendah dibanding batok kelapa dan tongkol jagung, dikarenakan kandungan H dan abu-nya yang lebih besar. Kandungan H yang besar menyebabkan pembentukan air lebih banyak saat pembakaran, sedangkan abu menyerap sebagian panas (Oberberger dkk., 2006). Densitas ruah (*bulk density*) tongkol jagung yang lebih kecil dan porositas besar dibanding batok kelapa dan kayu, menyebabkan kadar air lebih besar. Hal ini disebabkan lebih banyak air terperangkap dalam tongkol tersebut. Kadar air biomassa yang besar akan menyebabkan penyulutan awal lebih sulit. Nilai kalor batok kelapa, kayu dan tongkol jagung hasil analisis, masing-masing sebesar 17275 kJ/kg, 20890 kJ/kg dan 18321 kJ/kg masih dalam kisaran rentang nilai kalor rendah biomassa pada umumnya. Nilai kalor biomassa ini sangat berpengaruh pada parameter kinerja kompor. Karena itu, nilai kalor ini layak (*reasonable*) digunakan sebagai dasar perhitungan parameter-parameter untuk mengevaluasi kinerja kompor *natural draft*.

**Tabel 1.** Sifat fisik dan termal bahan bakar

Karakteristik	Tongkol Jagung	Batok Kelapa	Sepihan Kayu			
Analisa ultimat (%):						
C	45,01	47,89	51,28			
H	6,45	6,09	7,23			
O	46,3	45,75	46,78			
N	0,26	0,22	0,28			
S	0,11	0,05	0,34			
Ash	1,87	7,56	18,65			
Analisa proksimat :						
Kadar air (% wb)	10,6	-	6,51	-	7,30	8,69**
Kadar senyawa menguap (% db)	75,52	74,58**	68,82	13,90**	76,75	77,33**
Karbon tetap (% db)	22,61	23,90**	17,11	83,70**	14,82	11,70**
Nilai kalori biomassa (kJ/kg)	17275*	-	20890*	-	18321*	-
Densitas ruah (kg/m <sup>3</sup> )	-	332,06**	-	562,06**	-	362,06**

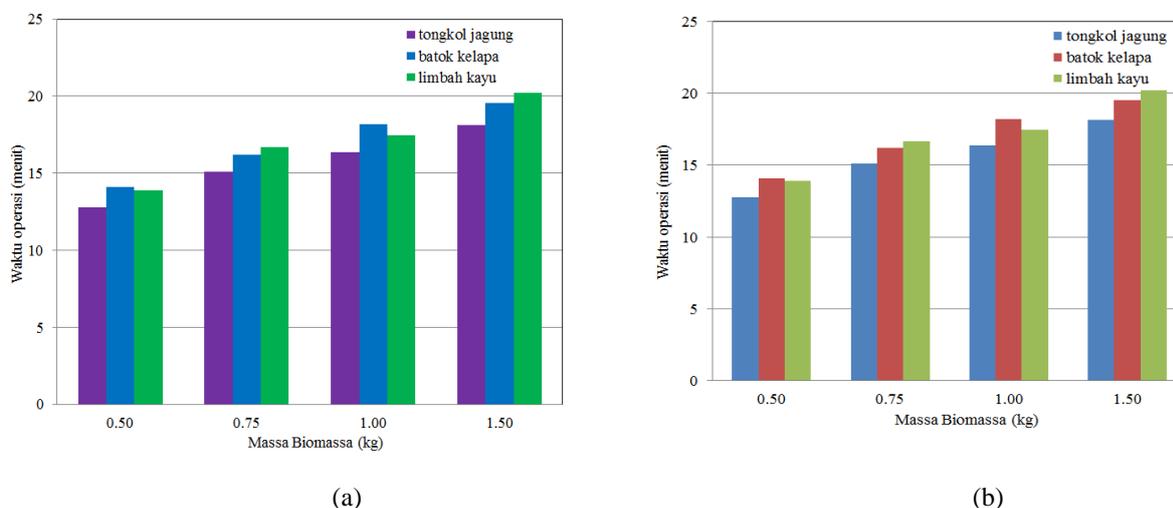
\*Dihitung atas dasar formulasi Dulong dan \*\* Hasil analisa (Percobaan)

*Fire power* tungku *natural draft* dengan berbagai bahan bakar tongkol jagung, batok kelapa dan serpihan kayu pada percobaan ini, berada pada kisaran 8-22 kW. *Fire power* kompor *natural draft* dipengaruhi oleh kandungan energi biomassa, semakin besar nilai kalor biomassa akan memperbesar *fire power*. Asupan bahan bakar biomassa dengan densitas besar menyebabkan waktu pembakaran lebih lama (Saravanakumar dkk., 2007). Batok kelapa menghasilkan *fire power* tertinggi, sebesar 22,97 kW, sedangkan limbah kayu memberikan *fire power* terendah sebesar 8,76 kW. Semakin tinggi *fire power* menyebabkan efisiensi termal yang dihasilkan sedikit lebih rendah. Semakin besar energi yang dipasok dalam kompor *natural draft* ini, menyebabkan semakin besar pula energi yang hilang ke lingkungan (Saravanakumar dkk., 2007). Sebagaimana disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Fire power* terhadap efisiensi termal dan temperatur *flame*

Pembakaran limbah serpihan kayu menghasilkan *flame temperature* lebih tinggi dibandingkan tongkol jagung dan batok kelapa. Hal ini dikarenakan *volatile matter* yang terkandung pada limbah kayu lebih banyak, sebesar 76,75% dibandingkan dengan tongkol jagung, 75,52%, dan batok kelapa, 68,82 % (Tabel 1). Besarnya *volatile matter* dalam biomassa meningkatkan kandungan energi dalam biomassa (nilai kalor) tersebut, dan temperatur *flame* yang dihasilkan menjadi lebih besar. Besarnya *volatile matter* mengindikasikan kandungan senyawa-senyawa hidrokarbon yang dapat terbakar dalam biomassa tersebut lebih banyak. Pada Gambar 2. nampak bahwa semakin lama pembakaran, semakin banyak *volatile matter* teruapkan, dengan indikator semakin tinggi temperatur *flame* yang dihasilkan.



Gambar 3. Waktu operasi (a) Fase *hot start*; (b) Fase *cold start*

Waktu *start-up kompor natural draft* dengan berbagai bahan bakar biomassa sekitar 13,45 menit. Pada fase *hot start* tongkol jagung memberikan waktu *start-up* 10,55 menit, lebih cepat dibanding batok kelapa dan limbah kayu. Tongkol jagung memiliki densitas *bulk* rendah dengan poristas dan *volatile matter* yang tinggi. Porositas *bulk* dengan banyaknya ruang kosong, menyebabkan tongkol jagung akan lebih mudah terbakar, karena pencampuran bahan mudah terbakar dengan udara menjadi lebih baik. Rata-rata waktu *start up* pada berbagai jenis biomassa fase *hot start* lebih cepat dibandingkan fase *cold start*. Hal ini dimungkinkan karena perpindahan panas ke bahan bakar dan proses pembakaran lebih cepat terjadi pada fase *hot start* dibanding fase *cold start*. *Volatile matter* yang tinggi memungkinkan bahan bakar akan cepat tersulut menjadi gas.

Tongkol jagung memberikan waktu operasi lebih cepat, 12,78 menit dibanding batok kelapa dan limbah kayu, sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Limbah kayu dan tongkol jagung memberikan waktu operasi yang hampir sama. Waktu operasi sangat dipengaruhi oleh massa, jenis dan variasi ukuran pada bahan bakar atau biomassa. Jumlah atau berat, ukuran, densitas ruah, dan porositas mempengaruhi waktu operasi dalam kompor ini. Densitas ruah kecil akan dengan porositas besar menyebabkan biomassa akan lebih mudah terbakar, karena akan banyak udara yang masuk dan pembakaran menjadi lebih baik. Sebanyak 0,25 kg – 1 kg dan 0,5 kg – 1,5 kg biomassa digunakan sebagai bahan bakar pada percobaan ini masing-masing untuk fase *hot start* dan fase *cold start*. Pada fase *hot start*, penggunaan bahan bakar batok kelapa 1,5 kg memberikan waktu pendidihan air sekitar 2,98 menit, sedangkan penggunaan limbah kayu 0,5 kg sebagai bahan bakar memberikan waktu pendidihan 4,61 menit. Pada fase *cold start* batok kelapa memberikan waktu pendidihan sekitar 3,94 menit. Konsumsi bahan bakar rata-rata tongkol jagung, batok kelapa dan limbah kayu untuk pendidihan masing-masing 35,2 g/menit, 46,7 g/menit dan 38,5 g/menit memberikan konsumsi bahan bakar spesifik ( $S_c$ ) rata-rata masing-masing 0,64 kg/jam, 0,55 kg/jam dan 0,55 kg/jam. Berat, jenis, ukuran dan nilai kalor bahan bakar biomassa mempengaruhi lamanya waktu pendidihan air. Batok kelapa dengan nilai kalor dan *fire power* yang lebih besar dibanding tongkol jagung dan limbah kayu, memberikan pasokan termal lebih besar dan akan mempersingkat waktu pendidihan, walaupun dengan efisiensi termal sedikit lebih rendah dibanding penggunaan bahan bakar lainnya.

Temperatur *flame* pada kompor *natural draft* berkisar antara 700 °C – 1100°C. Temperatur *flame* dapat digunakan sebagai indikator nilai kalor bahan bakar dan kualitas pembakaran (Agenbroad dkk., 2011). Temperatur *flame* dipengaruhi oleh jenis bahan bakar, massa bahan bakar dan pasokan udara dari lingkungan. Bahan bakar tongkol jagung memberikan temperatur *flame* 795°C – 869 °C dengan warna *flame* orange kemerahan. Batok kelapa memberikan temperatur *flame* 706 °C – 963°C dengan jingga kebiruan. Sedangkan limbah kayu memberikan nyala api 912 °C – 1126°C dengan warna *flame* orange kebiru-biruan. Nilai kalor dan komposisi gas hasil bakar berpengaruh terhadap *flame* yang dihasilkan. Semakin besar nilai kalor dan *volatile matter* bahan bakar akan menentukan besarnya kalor yang dilepaskan oleh api dan meningkatkan temperature *flame*. Temperatur *flame* semakin tinggi, maka kalor yang dilepaskan oleh api semakin besar. Perbedaan warna *flame* dipengaruhi oleh beberapa kandungan gas dalam bahan bakar biomassa. Ketika semakin banyak gas CO warna *flame* yang dihasilkan akan semakin orange bahkan mendekati merah. Warna *flame* orange disebabkan oleh banyak gas CO yang terbentuk dan masih banyak partikel karbon yang ikut terbakar. Sedangkan warna biru pada *flame* mengindikasikan gas CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub> yang terbakar (Berruetaa dkk., 2008). Tinggi dan bentuk *flame* yang dihasilkan cenderung tidak stabil disebabkan oleh aliran udara sekunder secara visual terlihat bersifat *turbulen*.



**Gambar 4** *Flame colour*; (a) tongkol jagung, (b) batok kelapa, dan (c) serpihan kayu.



SNI 7926:2013 mensyaratkan, efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) minimum 20% dan konsumsi bahan bakar spesifik ( $S_c$ ) maksimum 1 kg/jam. Kinerja tungku *natural draft* percobaan ini memberikan efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) sekitar 20%–21 %, dan konsumsi bahan bakar spesifik ( $S_c$ ) sekitar 0,51 kg/jam – 0,64 kg/jam. Sedangkan emisi CO dan emisi partikulat,  $PM_{2,5}$  masih dalam pengukuran dan evaluasi pada penelitian ini.

## Kesimpulan

*Fire power* kompor *natural draft* dengan berbagai bahan bakar janggal jagung, batok kelapa dan serpihankayu pada percobaan ini, diantara 8 kW-22 kW dengan temperatur nyala api 200°C -1100°C. Penggunaan limbah serpihan kayu sebagai bahan bakar memberikan temperatur *flame* 912°C –1126°C dengan warna orange kebiru-biruan. Janggal jagung memberikan waktu *start-up* tercepat 10,55 menit, sedangkan limbah serpihan kayu memberikan waktu *start-up* terlama 16,34 menit dengan waktu operasi masing-masing 12,78 menit dan 20,21 menit. Kinerja tungku *natural draft* percobaan ini memberikan efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) sekitar 20%–21 %, dan konsumsi bahan bakar spesifik ( $S_c$ ) sekitar 0,51 kg/jam –0,76 kg/jam. Atas dasar parameter-parameter ini, tungku *natural draft* memenuhi SNI 7926:2013, belum termasuk kadar emisi gas dan partikulat.

## Ucapan Terima Kasih

Subtansi makalah ini merupakan bagian dari penelitian "Tekno Ekonomi Konversi Bioenergi untuk Bahan Bakar dan Listrik di Kabupaten Bandung Barat". Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (DPRP-RISTEKDIKTI), Indonesia atas dukungan finansial untuk melaksanakan penelitian ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada warga desa industri rumah tangga di Kabupaten Bandung Barat yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini.

## Daftar pustaka

- Agenbroad, J., DeFoort, M., Kirkpatrick, A. dan Kreutzer, C. A simplified model for understanding natural convection driven biomass cooking stoves-Part 2: With cook piece operation and the dimensionless form. *Energy for Sustainable Development* 2011; 15:169-75.
- Ayo, S.A. Design, Construction and Testing of and Improved Wood Stove. *AU J.T.* 2009; 13(1):12-18.
- Berruetaa, V.M., D, E.R. dan R, M.O. Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy* 2008; 33: 859–70.
- BSN: Standar Nasional Kinerja Tungku Biomassa (SNI 7926:2013). BSNi 2013
- Iwan, F.M. Pemanfaatan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) Dalam Perancangan Kompor Biomassa. *Jurnal Teknobiologi* 2014; 1:15-19.
- Obernberger, I., Brunner, T. dan Bärnthaler, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. *Biomass and Bioenergy* 2006; 30 (11): 973-82.
- Reed, T.B. dan Larson, R. A wood-gas stove for developing countries. *Energy for Sustainable Development* 1999; 5: 34-37.
- RI. Blue print untuk manajemen energi nasional 2006-2015. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2016.
- Saravanakumar, A., Haridasan, M., Reed, T.B. dan Bai, R.K. Experimental investigation and modelling study of long stick wood gasification in a top lit updraft fixed bed gasifier. *Fuel* 2007; 17-18 (86): 2846-56.
- Saturday, A., Sule, E.P., Ogbona, E.F. dan Anslem, N.E. Design and Thermal Analysis of and Energy Efficient Solid Biomass Stove. *International Journal of Scientific Development and Research* 2016; 1(8): 166-74.
- Suhartono, Putri, T.A. dan Fauziah, L. Performance Evaluation of a Pressurized Cooking Stove Using Vegetable Cooking Oils as Fuel. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* 2017; 7 (4):1255-61.
- Suhartono, Suharto dan Ahyati, A.E. The properties of vegetable cooking oil as a fuel and its utilization in a modified pressurized cooking stove. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2018; 105:1-10.





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator : Yusi Prasetyaningsih (Politeknik TEDC Bandung)**

**Notulen : Diana Sulisty (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Vincentius Prasetyo (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Apakah hasil pembakaran dengan kompor biomassa mempengaruhi rasa makanan?  
Jawaban : Tidak ada efek terhadap bau dan rasa makanan.
2. Penanya : Firman Kurniawansyah (Teknik Kimia ITS Surabaya)  
Pertanyaan : Apakah ada *pre-treatment* terhadap biomassa sebelum dipakai?  
Jawaban : Ya ada. Dengan dilakukan pemotongan 3-4 cm dan pengeringan.
3. Penanya : R. Shochibul Izar (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Adakah integrasi panas agar *heating lost* tidak besar?  
Jawaban : Ada insulasi untuk meningkatkan efisiensi thermal.
4. Penanya : Ellya Rizka (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Apakah kekurangan dari kompor limbah biomassa dibanding elpiji?  
Jawaban : Kelemahan yaitu kemauan masyarakat untuk menggunakan kompor ini karena alat ini dirasa rumit/ repot dan menghasilkan abu.

