



## Pemanfaatan Janggel Jagung dan Batok Kelapa Menjadi Gas Mempan Bakar untuk Mensubstitusi Elpiji Melalui Proses Gasifikasi

Suhartono, Ikhwan Maulana dan Yapto Muhamad Maulana

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO. BOX 148 Cimahi,  
Tlp. (022) 6642064, Fax. (022) 6642064  
E-mail: suhartono@lecture.unjani.ac.id

### Abstract

The biomass gasification is a technology which converts any kind of biomass energy which low heat value (such as waste from agriculture and forest and organic waste) into combustible gas. Biomass is combusted imperfectly by way of controlling the flow of air into gasifier to convert solid state into gas state, generating a combustible gas which mainly consists of  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  and  $C_nH_m$ . A small gasifier design system with 35 cm in inside diameter and 70 cm of combustion zone was used to gasified agriculture waste of corncorb and coconut shell. About 10 kg of  $\pm 3$ cm corncorb and coconut shell was gasified in this gasifier. The operation time of each biomass utilization was about 1.5 hour and 2.2 hour, respectively. The combustible gas was used as a fuel by direct combustion in an ordinary modified gas stove. The water boiling time method (WTB) was used to determined thermal efficiency of this gasifier. About 2,0 minute was needed to boiled of 5 kg of water and giving thermal efficiency  $\pm 23.50\%$  with a fire power of 14-18  $kW_{th}$ . The consumption of biomass and electricity cost was calculated. The price IDR 20,00-25,00 was needed for boiling 1 kg of water.

**Keyword:** biomass, thermal efficiency, fire power, WBT

### Pendahuluan

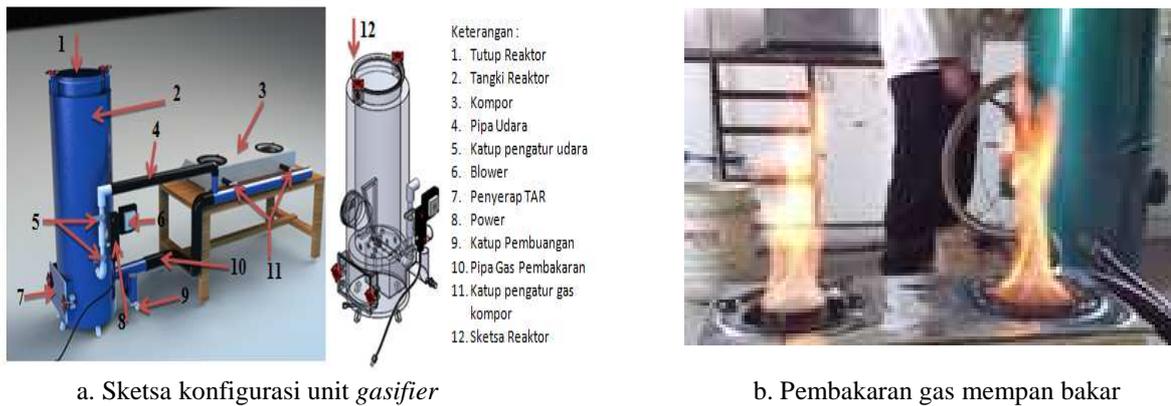
Kelangkaan bahan bakar *liquid petroleum gas* (elpiji) akhir-akhir ini sangat berdampak pada kebutuhan rumah tangga dan industri kecil. Kesulitan mendapatkan elpiji sangat dirasakan oleh industri kecil seperti industri tahu dan kerupuk yang memakai bahan bakar gas elpiji. Kebutuhan akan elpiji rata-rata di setiap industri kecil adalah 1-3 tabung gas elpiji yang berukuran 12 kg per hari ([www.jpnn.com](http://www.jpnn.com), di akses tanggal 21 januari 2014 pukul 13.20 WIB). Namun demikian, industri-industri tersebut sering kesulitan untuk mendapatkan gas elpiji. Karena itu, perlu ada upaya untuk memenuhi akan kebutuhan energi tersebut Teknologi gasifikasi biomassa diharapkan dapat dijadikan salah satu pilihan untuk mewujudkan *self sufficient energy* untuk rumah tangga dan industri kecil. Teknologi gasifikasi dapat diterapkan secara sederhana dengan menggunakan *gasifier* untuk mengkonversi limbah pertanian janggel jagung dan batok kelapa yang ketersediaanya cukup melimpah menjadi gas mempan bakar (*combustible gas*). Gas ini secara praktis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar

Gasifikasi limbah pertanian dan perkebunan dengan udara sebagai *gasifying agent* menghasilkan gas produser yang merupakan campuran gas-gas mempan bakar (*combustible gases*), tetapi terencerkan oleh  $N_2$  ikutan dari udara. Gas mempan bakar tersebut terdiri dari  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $C_nH_m$  dan sisanya  $N_2$  (Hermanto dkk, 2012) dengan panas pembakaran (*heating value*) gas ini sekitar  $4500 \text{ kJ/Nm}^3$  atau setara dengan 1/6 panas pembakaran gas alam (Susanto, 2009).

### Metodologi

*Downdraft gasifier* berdiameter dalam 35 cm dengan tinggi ruang pembakaran 70 cm, dilengkapi sebuah *blower* untuk memasok *gasifying agent* dan udara pembakaran gas mempan bakar digunakan pada percobaan ini. Janggel jagung dan batok kelapa digunakan sebagai asupan *gasifier* secara *batch*  $\pm 10 \text{ kg}$ . Gas mempan bakar yang dihasilkan dibakar pada sebuah kompor elpiji konvensional yang telah dimodifikasi. Katup pengatur udara divariasikan sesuai kebutuhan *gasifying agent* dan udara pembakaran gas mempan bakar, sebagaimana disajikan pada Gambar 1 (Suhartono dkk, 2014). Laju alir *gasifying agent* dan udara pembakaran diukur menggunakan anemometer digital Krisbow-KW06-653, sedangkan suhu *flame* pembakaran gas mempan bakar diukur menggunakan termokopel digital Krisbow-KW06-283. Nilai kalor bakar janggel jagung dan batok kelapa dihitung menggunakan persamaan empiris atas dasar komposisi analisa ultimat. Keterbakaran gas mempan bakar hasil gasifikasi diuji atas dasar kesetabilan api (*flame*) selama operasi.





a. Sketsa konfigurasi unit *gasifier*

b. Pembakaran gas mempan bakar

Gambar 1. Unit *gasifier* dan kompor gas mempan bakar

Parameter-parameter kehandalan kinerja *gasifier* dan kesetabilan pembakaran gas mempan bakar dihitung menggunakan persamaan-persamaan teoritik dan empiris atas dasar variabel-variabel hasil pengukuran saat percobaan (Belonio, 2005; Rajvanshi, 1986; Suhartono dkk, 2014; Tyagi dkk, 2013; Nawafi, 2010). Metode *water boiling test*, WTB digunakan untuk menentukan efisiensi termal *gasifier*:

$$\eta_{Th} = \frac{4.186 \times M_{WV} \times \Delta T + 2260 \times M_V}{m_{FB} \times C_V} \quad (1)$$

Konsumsi jaggel jagung dan batok kelapa (biomassa) selama operasi digunakan persamaan:

$$m_{FB} = \frac{\text{Waktu Memasak (menit)}}{\text{Waktu Total Operasi (menit)}} \times m_C \text{ (kg)} \quad (2)$$

Laju konsumsi jaggel jagung dan batok kelapa untuk mendidihkan air dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_B = \frac{m_{FB}}{t} \quad (3)$$

*Fire power* merupakan rasio energi bahan bakar yang dikonsumsi, menyatakan daya keluaran rata-rata *gasifier* sampai operasi selesai:

$$FP = \frac{m_{FB} \times C_V}{60 \times t} \quad (4)$$

Laju penguapan saat mendidihkan air dihitung dengan mengukur massa air saat awal dan akhir mendidihkan.

$$R_V = \frac{M_V}{t} \quad (5)$$

Waktu konversi jaggel jagung dan batok kelapa menjadi gas mempan bakar dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_T = \frac{\text{Waktu Operasi (jam)}}{\text{Massa Biomassa yang Digunakan (kg)}} \quad (6)$$

Laju konsumsi selama operasi dihitung dengan persamaan:

$$FCR = \frac{\text{Massa Biomassa yang Digunakan (kg)}}{\text{Waktu Operasi (jam)}} \quad (7)$$

Jumlah konsumsi jaggel jagung dan batok kelapa setiap jam per satuan luas reaktor dihitung dengan persamaan:

$$SGR = \frac{\text{Massa Biomassa yang Digunakan (kg)}}{\text{Luas Reaktor (m}^2\text{)} \times \text{Waktu Operasi (jam)}} \quad (8)$$

Waktu yang diperlukan jaggel jagung dan batok kelapa pada zona pembakaran untuk bergerak turun dalam *gasifier* dihitung dengan persamaan berikut:

$$CZR = \frac{\text{Panjang Reaktor (m)}}{\text{Waktu Operasi (jam)}} \quad (9)$$

Jumlah energi kalor yang tersedia dalam biomassa dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_f = W_{fu} \times H_{VF} \quad (10)$$

Keekonomian penggunaan jaggel jagung dan batok kelapa menjadi gas mempan bakar menggunakan unit *gasifier* dan modifikasi kompor gas konvensional, dihitung dengan persamaan-persamaan berikut (Suhartono dkk, 2014):

Biaya penggunaan Listrik per kWh untuk operasi dan pendidihan air dihitung dengan persamaan:

$$\text{Harga Listrik} = \frac{t_{operasi} \times \text{Pelawar}}{1000} \times \text{Harga Listrik per kWh} \quad (11)$$

Biaya penggunaan jaggel jagung dan batok kelapa untuk operasi dan pendidihan air dihitung dengan persamaan:

$$\text{Harga Konsumsi BB} = m_C \times \text{Harga BB per kg} \quad (12)$$

Keekonomian didasarkan pada metode *water boiling test*, dengan dasar harga listrik Rp. 997 per kWh, jaggel jagung Rp. 250 per kilogram dan batok kelapa Rp. 200 per kilogram.

## Hasil dan Pembahasan

Nilai kalor biomassa (NHV) tergantung pada jenis dan sumbernya, namun demikian, nilai kalor biomassa pada umumnya berada pada kisaran 15000-20000 kJ/kg. Nilai kalor ini, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan nilai kalor batubara, 25000-33000 kJ/kg dan bahan bakar minyak (*gasoline*, 42500 kJ/kg) (Rajvanshi, 1986).

Tabel 1. Komposisi janggel jagung dan batok kelapa

Karakteristik	Janggel jagung	Batok kelapa
Karbon (C)	45,01	47,89
Hidrogen (H)	6,45	6,09
Oksigen (O)	46,3	45,75
Nitrogen (N)	0,26	0,22
Sulfur (S)	0,11	0,05
Ash	1,87	-

Nilai kalor janggel jagung dan batok kelapa pada percobaan ini dihitung menggunakan persamaan Dulong atas dasar analisa ultimat sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Nilai kalor yang didapat masing-masing 17275 kJ/kg dan 20890 kJ/kg. Nilai kalor ini masih dalam kisaran rentang nilai kalor rendah biomassa pada umumnya. Karena itu, nilai kalor tersebut layak (*reasonable*) digunakan sebagai dasar perhitungan parameter-parameter untuk mengevaluasi parameter-parameter kinerja unit *gasifier* ini.

Penggunaan biomassa janggel jagung ( $\pm 3$ cm) sebagai asupan *gasifier* memberikan pembakaran awal (*start up time*) lebih cepat dibanding asupan batok kelapa ( $\pm 3$ cm). Begitu pula, laju konsumsi janggel jagung lebih singkat dibanding batok kelapa. Diduga, porositas janggel jagung yang besar, densitas kecil dan kandungan *volatile matter* besar (75,52%-db) dibanding batok kelapa (68,82%-db), menyebabkan reaksi oksidasi di dalam *gasifier* lebih cepat, dan berpengaruh terhadap cepatnya *start up time* dan konsumsi bahan bakar. Kadar air janggel 11,80%-b dan batok kelapa 9,74%-b tidak memberikan pengaruh terhadap parameter *start up time* dan konsumsi bahan bakar, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Konsumsi listrik pengoperasian *gasifier* dengan asupan janggel jagung dan batok kelapa, masing-masing 6,682 kWh dan 4,492 kWh, memberikan daya input masing-masing 104,978 W dan 66,810 W (Tabel 2). Nilai daya input dengan asupan batok kelapa lebih besar daripada asupan janggel jagung, karena nilai bakar batok kelapa, 20890 kJ/kg lebih besar dibanding nilai bakar janggel jagung 17275 kJ/kg.

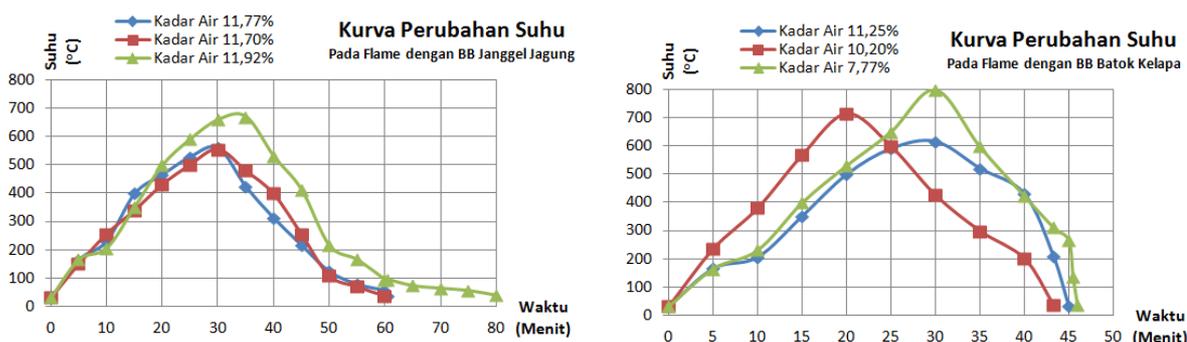
Tabel 2. Parameter kinerja unit *gasifier*

Parameter Kinerja	Limbah pertanian	
	Janggel jagung (Suhartono dkk, 2014)	Batok kelapa
$t_{\text{start}}$ , jam	0,138	0,263
$m_c$ , kg	3,267	2,933
FCR, kg/jam	2,933	3,918
SGR, kg/(m <sup>2</sup> .jam)	15,252	20,374
CZR, m/jam	0,104	0,133
$P_i$ , W	66,810	104,230
$P_o$ , W	15,800	24,500
$T_{\text{IMax}}$ , °C	670,000	800,000
$T_{\text{Gas}}$ , °C	30,000	42,000
$t_{\text{operation}}$ , jam	1,114	0,749

Sedikit hambatan udara penggasifikasi pada pengoperasian *gasifier* dengan asupan batok kelapa terindikasi dengan konsumsi listrik *blower* lebih rendah. Densitas batok kelapa yang lebih besar dibanding janggel jagung, menyebabkan hambatan aliran udara penggasifikasi dalam *gasifier* ini. Daya output *gasifier* merupakan daya yang dapat dimanfaatkan proses pemanasan. Daya output dengan asupan batok kelapa 22,119 W lebih besar dibanding asupan janggel jagung, 14,462 W. Hal ini menunjukkan untuk waktu operasi yang sama, laju konsumsi bahan bakar pengoperasian *gasifier* dengan asupan batok kelapa, 3,918 kg/jam lebih besar dibanding dengan asupan janggel jagung, 2,933 kg/jam. Namun demikian, laju spesifik gasifikasi batok kelapa, 20,374 kg/(m<sup>2</sup>.jam) lebih besar dibanding laju spesifik gasifikasi janggel jagung, 15,252 kg/(m<sup>2</sup>.jam). Batok kelapa dengan kandungan air yang lebih rendah, kadar karbon yang tinggi, dan ukuran yang lebih kecil dan lebih seragam akan mempercepat laju spesifik gasifikasi. Ukuran yang lebih kecil dan relatif seragam dan adanya ruang-ruang dalam tumpukan unggun

batok kelapa akan mempermudah aliran udara masuk sekaligus mempercepat proses oksidasi dan reduksi. Hal ini, ditunjukkan pula dengan perbedaan laju zona pembakaran untuk jaggel jagung dan batok kelapa masing-masing 0,104 m/jam dan 0,133 m/jam.

Karakteristik jaggel jagung dan batok kelapa juga berpengaruh terhadap komposisi gas mempan bakar yang dihasilkan dan menentukan besar kecilnya nilai kalor gas mempan bakar. Dengan asupan udara pembakaran yang sama untuk setiap operasi, gas mempan bakar yang dihasilkan dari proses gasifikasi batok kelapa diduga mempunyai nilai kalor bakar lebih besar dibanding jaggel jagung. Dugaan tersebut ditunjukkan dengan waktu operasi untuk pendidihan 5 kg air yang lebih singkat, 7,60 menit (jaggel jagung, 9,83 menit) dan suhu *flame* yang lebih tinggi (Gambar 1.).



Gambar 1. Perubahan suhu *flame* gas mempan bakar

Waktu operasi *gasifier* dengan asupan  $\pm 2-3$  kg batok kelapa sekitar  $\pm 45$  menit, sedangkan asupan jaggel jagung  $\pm 80$  menit (Gambar 1). Kondisi ini memberikan nilai waktu operasi masing-masing sebesar 1,114 dan 0,749 jam per kg asupan bahan bakar. Kadar air batok kelapa yang lebih rendah, 9,74% dibanding jaggel jagung, 11,80% diduga dapat mempercepat proses gasifikasi dalam reaktor (Yuntenwi dkk, 2008) disamping ukuran partikel yang lebih kecil dan seragam dan komposisi elementer karbon yang lebih tinggi. Ruang-ruang kosong dalam tumpukan batok kelapa, memungkinkan udara penggasifikasi terdistribusi dengan merata, sehingga proses oksidasi yang terjadi dapat lebih cepat.

Evolusi suhu *flame* dari pembakaran gas mempan bakar mempunyai kecenderungan meningkat menuju suhu maksimumnya, kemudian menurun seiring dengan waktu (Gambar 1.). Hal tersebut dapat dipahami, mengingat proses gasifikasi dalam *gasifier* dilakukan secara *batch*. Penurunan suhu *flame* diakibatkan oleh kuantitas gas mempan bakar yang dihasilkan berkurang, seiring dengan berkurangnya ketersediaan bahan bakar. Dapat dipahami, batok kelapa dengan nilai kalor besar akan menghasilkan suhu *flame* yang tinggi.

Dengan metode *water boiling test*, waktu yang dibutuhkan untuk pendidihan 5 kg air sekitar 7-10 menit, dengan konsumsi biomassa 480-500 g. Asupan batok kelapa pada *gasifier* ini, memberikan waktu pendidihan lebih singkat dibanding asupan jaggel jagung, dengan nilai masing-masing 9,830 dan 7,600 min. Waktu pendidihan dipengaruhi oleh proses pembakaran gas mempan bakar. Semakin besar *burning rate*, semakin besar pula *fire power* dan kuantitas gas mempan bakar yang dihasilkan, Tabel 3. Kuantitas gas mempan bakar semakin besar, menyebabkan nilai kalor pembakaran gas semakin besar. Dengan *thermal transfer efficiency*,  $\pm 23,50\%$ , gasifikasi batok kelapa menyebabkan pendidihan air lebih cepat. Nilai kalor pembakaran gas mempan bakar semakin besar, mengakibatkan energi yang hilang ke lingkungan (tidak termanfaatkan) lebih banyak, yang berakibat pada laju penguapan air pendidihan menjadi lebih besar. Namun demikian, tidak berpengaruh signifikan terhadap *thermal transfer efficiency gasifier* ini (Tabel 3.).

Tabel 3. Hasil pengujian *water boiling test*

Water Boiling Test*	Simbol	Satuan	Limbah pertanian	
			Jaggel Jagung (Suhartono dkk, 2014)	Batok Kelapa
Waktu memasak	$t_{Boil}$	min	9,830	7,600
Konsumsi bahan bakar	$m_{fB}$	g	480,589	496,327
<i>Burning Rate</i>	$R_B$	g/min	48,890	65,306
<i>Thermal Transfer Efficiency</i>	$\eta_{Th}$	%	23,588	23,439
<i>Evaporation Rate</i>	$R_V$	g/min	18,481	26,096
<i>Fire Power</i>	FP	kW <sub>Th</sub>	14,134	18,880

\* Pengukuran WBT dilakukan dengan basis 5 kg air

Tabel 4. Kajian keekonomian *unit gasifier*

	Limbah pertanian	
	Janggal Jagung (Suhartono dkk, 2014)	Batok Kelapa
<i>untuk operasi 5 kg biomassa</i>		
Waktu Operasi, jam	1,114	0,749
Konsumsi Listrik, kwatts.jam	6,682	4,492
Konsumsi Biomassa, kg	3,267	2,933
Harga Penggunaan Listrik, Rp	6,662	4,478
Harga Biomassa, Rp	816,667	586,667
<i>untuk WBT 5 kg air</i>		
Waktu Mendidihkan Air, min	9,830	7,600
Konsumsi Listrik, kwatts.jam	0,983	0,760
Konsumsi Biomassa, kg	0,488	0,497
Harga Penggunaan Listrik, Rp	0,980	0,758
Harga Biomassa, Rp	121,967	99,302

Kajian keekonomian dilakukan sebagai upaya mengetahui salah satu keunggulan rancangan gasifier ini, dibanding kompor minyak berbahan bakar minyak tanah, elpiji dan jenis lainnya. Kajian keekonomian disarikan pada Tabel 4. Dalam setiap kali operasi, dengan basis 5 kg bahan bakar, biaya yang dibutuhkan untuk pemakaian listrik Rp. 4,48-6,66 dan kebutuhan penggunaan bahan bakar seharga Rp. 586,667-816,667. *Water boiling test (WBT)*, dilakukan dengan basis 5 kg air pendidihan. Biaya pemakaian listrik sekitar Rp.0,758-0,980, sedangkan biaya konsumsi biomassa sekitar Rp. 99,302-121,967 setiap memasak 5 kilogram air. Dengan demikian biaya untuk pendidihan 5 kg air sekitar Rp. 100-123, atau Rp. 20-25/kg air. Harga keekonomian ini masih jauh lebih murah dibanding dengan menggunakan kompor minyak tanah, Rp188/kg air dan kompor elpiji, Rp250/kg air. Demikian pula masih lebih murah dibanding menggunakan rancangan *gasifier lain* dengan asupan batok kelapa dan janggal jagung, masing-masing sekitar Rp.28,42/kg air dan 34,85/kg air (Suhartono dkk, 2013). Disamping keunggulan keekonomian, rancangan *gasifier ini* dapat menghasilkan gas mempan bakar yang dibakar terpisah dengan gasifier (di dual *burner* kompor elpiji) atau ditampung terlebih dahulu.

### Kesimpulan

Limbah pertanian janggal jagung dan batok kelapa terbukti dapat mensubstitusi bahan bakar elpiji melalui proses gasifikasi dengan rancangan *downdraft gasifier*. Dengan keekonomian pendidihan air sebesar Rp.20,00-25,00/kg, pemanfaatan gas mempan bakar hasil gasifikasi janggal jagung dan batok kelapa jauh lebih ekonomis dibanding penggunaan elpiji dan minyak tanah. Kinerja gasifier dapat beroperasi dengan baik dan handal yang ditunjukkan oleh kesetabilan api pembakaran gas mempan bakar, dengan waktu *start-up* 0,138 jam untuk janggal jagung dan 0,263 jam untuk batok kelapa, waktu operasi *gasifier* masing-masing 0,749 jam dan 1,114 jam (basis 5 kg asupan janggal jagung atau batok kelapa). Sedangkan efisiensi termal untuk *gasifier* ini sebesar  $\pm 23,50\%$  dengan *fire power* 14-18 kW<sub>Th</sub>.

### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih yang sebesar besarnya, kami sampaikan kepada LPPM-Unjani dan Ditlitabmas-Dikti atas pendanaan penelitian melalui program Hibah Unggulan Penelitian Unjani tahun 2013 dan Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi-Ditlitabmas tahun 2014 dan tahun 2015.

### Daftar Notasi

- $\eta_{Th}$  = efisiensi termal, %
- $m_w$  = massa air, kg
- $m_v$  = massa uap air, kg
- $c_v$  = nilai kalor bahan bakar, kJ/kg
- $m_{CB}$  = konsumsi biomassa selama *WBT*, kg
- $m_C$  = konsumsi biomassa selama *operasi*, kg
- $R_B$  = laju pembakaran saat *WBT*, g/min
- $FP$  = *fire power*, kW<sub>Th</sub>
- $R_v$  = laju penguapan air, g/min
- $R_T$  = laju operasi total, jam/kg
- $FCR$  = laju konsumsi bahan bakar, kg/jam
- $SGR$  = laju gasifikasi spesifik, kg/m<sup>2</sup>.jam



- CZR = laju zona pembakaran, m/jam  
 $Q_f$  = laju alir udara sekunder, m<sup>3</sup>/menit  
 $P_o$  = daya keluaran, watts  
 $t$  = waktu yang dibutuhkan, jam  
 $T_f$  = temperatur *flame*, °C

#### Daftar Pustaka

- Belonio Alexis. T. 2005, *Rice Husk Gas Stove Handbook*, Department of Agricultural Engineering and Environmental management, College of Agriculture Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.
- Najib Lailun, dan Darsopuspito Sudjud, 2012, Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Serpihan Kayu Pada Reaktor Downdraft Sistem Batch Dengan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Dan Ukuran Biomassa, *Jurnal Teknik ITS*, vol.1, No.1, ISSN 23019271, B-12-B-15.
- Hermanto, Fermi M. I, Zulfansyah., 2012, Evaluasi Kinerja Kompor Gasifikasi *Forces Draft*, SNTKI 2012 Universitas Indonesia, EL-12-EL-15.
- Nawafi F, Puspita R.D, Desna dan Irzaman, 2010, Optimasi Tungku Sekam Skala Industri Kecil dengan Sistem Boiler, *Berkala Fisika*, vol.11, no.3, ISSN14109662, 77-83.
- Panwar, N.L., 2009, *Design and Performance Evaluation of Energy Efficient Biomass Gasifier Based Cookstove on Multi Fuels, Mitig Adapt Strateg Glob Change*, vol. 14, 627-633.
- Rajvanshi, A.K., 1986, *Biomassa Gasification, In DY Guswani (ed), Aternative Energy in Agriculture, CRC Press, Maharashtra*, vol 2, 83 – 102.
- Suhartono, War'an Rosihan, Pujianti Intan P dan Silvia Wulandari, 2013. Kajian Kinerja dan Keekonomian Rancangan *Gasification Stove* Berbasis Limbah Pertanian, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", UPN Yogyakarta, ISSN 16934393, I4-1-I4-5.
- Suhartono, War'an Rosihan, Maulana Ikwan dan Maluana Yapto Muhamad, 2014, Kajian Kinerja dan Keekonomian *Turbo Gasification Stove* Berbasis Limbah Pertanian, Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Jenderal Achmad Yani, LPPM Unjani, ISBN 9786027036109, 137-140.
- Susanto Herri. 2009. Potential Reduction of CO<sub>2</sub> Emission from Rural Electricity Fueled with Corn Cobs via Gasification Process. The Third Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Advanced Materials, Processes and Systems toward CO Mitigation, Fukuoka, Japan.
- Tyagi S.H, Pandey A.K, Sahu S, Bajala V dan Rajput J.P.S, 2013, Experimental Study and Performance Evaluation of Various Cook Models Based on Energy and Exergy Analysis, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 111, no. 3, ISSN 1388-6150, 1791-1799.
- Yuntenwi Ernestine A.T, MaCarty Nordica, Still Dean dan Ertel Jurgen, 2008, Labory Study of The Effect of Moisture Content on Heat Transfer and Combustion Efficiency of Three Biomass Cook Stove, *Energy for Sustainable Development*, vol. XII, No. 2, 66-74.





**Lembar Tanya Jawab**  
**Moderator : Supranto (Universitas Gadjah Mada)**  
**Notulen : Mitha Puspitasari (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Hargono (Universitas Diponegoro, Semarang)  
Pertanyaan :
  - Bagaimana cara melakukan pembatasan  $O_2$  dalam proses?
  - Apakah arang yang dihasilkan dapat juga dimanfaatkan?Jawaban :
  - Gasifikasi merupakan pembakaran parsial dengan pasokan udara sebesar 40% dari kebutuhan stokiometri
  - Arang yang tersisa (tidak terbakar) dapat dibuat briket.
2. Penanya : Kiran (UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : *Gasifier* yang digunakan tipe apa?  
Jawaban : Jenis reaktor yang digunakan adalah *fixed bed dwondraft gasifier*.
3. Penanya : Mahendra Sakti (UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Selain mensubstitusi bahan bakar elpiji, apa bisa untuk kegunaan lain?  
Jawaban :
  - Gas mempan bakar digunakan untuk mensubstitusi solar pada diesel engine.
  - Aplikasi PLTU: gas mempan bakar sebagai bahan bakar boiler.
  - Aplikasi PLTD
3. Penanya : Supranto (Universitas Gadjah Mada)  
Saran : Perlu tambahan peralatan untuk membatasi jumlah  $O_2$  yang masuk.

