

## Analisis Performansi Reaktor Gasifikasi Updraft Dengan Bahan Bakar Tempurung Kelapa

I Gede Hendra Gunawan<sup>1)\*</sup>, Made Sucipta<sup>1,2)</sup> dan I Nyoman Suprpta Winaya<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>S2 Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

\*Email: Hendra.kerug@yahoo.com

### Abstrak

Tempurung kelapa dapat dengan mudah didapatkan karena jumlahnya melimpah dan untuk sekarang ini hanya dimanfaatkan sebagai arang saja. Dengan mengetahui komposisi dan kandungan kimia yang terdapat di dalam tempurung kelapa, bahan tersebut dapat dijadikan sumber energi alternatif melalui proses gasifikasi. Ada beberapa jenis gasifikasi Fixed Bed yaitu Gasifikasi Updraft, Downdraft dan Crossdraft.

Pada penelitian ini proses gasifikasi menggunakan reaktor berbahan dasar black steel dengan dimensi tinggi reaktor 70 cm dari dasar penyangga sampai tutup bagian atas reaktor dan diameter reaktor 8 inch. Laju aliran udara yang digunakan sebagai agen gasifikasi, sesuai teori stoikiometri sebesar 37 lpm (liter permenit). Bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah tempurung kelapa.

Dari hasil penelitian menunjukkan proses gasifikasi dapat menghasilkan gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) secara kontinyu selama 900 detik, FCR aktual yang dihasilkan adalah 9,716 kg/jam, dimana menghasilkan kandungan  $\text{CO} = 13,32\%$ ,  $\text{CH}_4 = 1,52\%$ ,  $\text{H}_2 = 4,68\%$ ,  $\text{N}_2 = 37,09\%$  dan  $\text{CO}_2 = 38,21\%$ , energi yang dihasilkan 5,91 MJ dan efisiensi gas sebesar 28,8%. Proses gasifikasi updraft masih belum sempurna karena dari hasil temperatur rata-rata pada zona oksidasi adalah  $246,90^\circ\text{C}$  dan  $\text{CO}_2 = 38,21\%$  maka proses gasifikasi lebih mengacu pada proses pembakaran.

**Kata Kunci** : Performansi reaktor, gasifikasi Updraft, tempurung kelapa

### Abstract

*Coconut shell can be easily obtained because of abundant and for now it is only used as charcoal only. By knowing the chemical composition and content contained in coconut shell, the material can be used as a source of alternative energy through a gasification process gasifikasi. Ada several types ie Fixed Bed Gasification updrafts, Downdraft and Crossdraft.*

*In this study the gasification process using a reactor made of black steel with high dimensional reactor 70 cm from the bottom of the buffer to cover the top of the reactor and the reactor diameter of 8 inches. Air flow rate is used as the gasification agent, according to the theory stoichiometry of 37 lpm (liters per minute). Fuel used for the gasification process is coconut shell.*

*From the research menunjukkan gasification process can produce gas capable of combustion ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) continuously for 900 seconds, the resulting actual FCR is 9.716 kg / h, which generates  $\text{CO}$  content = 13.32%, 1.52%  $\text{CH}_4 =$ ,  $\text{H}_2 = 4.68\%$ ,  $\text{N}_2 = 37.09\%$  and  $\text{CO}_2 = 38.21\%$ , 5.91 MJ of energy produced and the efficiency of gas by 28.8%. Updraft gasification process is still not perfect because of the results of the average temperature in the oxidation zone is  $246,90^\circ\text{C}$  and  $\text{CO}_2 = 38.21\%$ , the gasification process refers more to the combustion process.*

**Key words**: Performance reactor, gasification updrafts, coconut shell

## 1. PENDAHULUAN

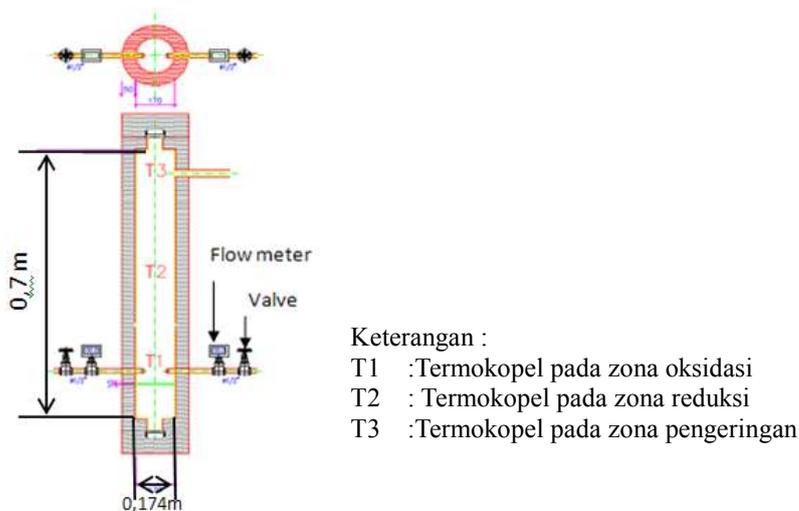
Kebutuhan energi yang sangat tinggi pada saat ini menimbulkan suatu pemikiran untuk mencari alternatif sumber energi yang dapat membantu mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Indonesia adalah negara agraris sehingga Indonesia mempunyai potensi akan biomassa yang sangat besar salah satunya adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa dapat dengan mudah didapatkan karena jumlahnya melimpah dan untuk sekarang ini hanya dimanfaatkan sebagai arang saja

Ada beberapa jenis gasifikasi Fixed Bed yaitu : *Gasifikasi Updraft*, *Downdraft* dan *Crossdraft*. Reaktor gasifikasi *updraft* tidak memiliki batasan jenis dan kualitas bahan bakar yang digunakan. Keuntungan utama dari reaktor *updraft* adalah kesederhanaan desainnya.

Dalam penelitian ini digunakan desain alat gasifikasi jenis *updraft*. Jenis gasifikasi ini dipilih karena memiliki kelebihan-kelebihan seperti yang sudah disebutkan, selain itu dipilih tempurung kelapa sebagai bahan baku.

## 2. METODE

Reaktor gasifikasi adalah suatu alat yang digunakan untuk menghasilkan gas sintesis yang bersumber dari hasil gasifikasi di dalam reaktor, dimana proses gasifikasi dikondisikan sedemikian rupa menggunakan udara sebagai agen gasifikasi dan tempurung kelapa sebagai bahan bakar. Disain reaktor gasifikasi bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Penempatan Thermokopel Pada Tabung Reaktor Gasifier

Pada reaktor menggunakan 2 buah *flowmeter* dan dua buah valve ukuran diameter 1/2", dimana masing-masing digunakan untuk mengatur laju aliran udara.

Pada dasarnya jenis *reaktor updraft* adalah jenis reaktor yang berbentuk *cylinder* terbuat dari bahan *black stell* dengan diameter 6 inch, tinggi 70 cm dan ketebalan 4 mm merupakan tempat terjadinya proses gasifikasi.

Udara yang dialirkan akan melewati *flowmeter* untuk mengukur laju aliran udara sebelum memasuki reaktor. Bahan bakar di dalam reaktor akan bereaksi dengan udara menghasilkan gas mampu bakar. Gas kemudian memasuki *cyclone* untuk dibersihkan dari campuran abu yang ikut dengan gas gasifikasi, setelah itu gas akan masuk ke dalam gas *cooled* untuk didinginkan sebelum gas mengalir ke burner untuk dicampur dengan udara untuk memaksimalkan kualitas pembakaran. Udara yang dialirkan menggunakan sebuah *blower* dengan laju aliran masa udara sebesar 37 lpm.

Sebelum dilakukan proses gasifikasi perlu diketahui *ultimate* dan *proximate analysis* tempurung kelapa bisa di lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Ultimate dan Proximate Tempurung Kelapa

Analisa Ultimate	
Carbon (C) (weight %)	47,89
Hydrogen (H) (weight %)	6,00
Oxygen (O) (weight %)	48,78
Nitrogen (N) (weight %)	0,22
Sulphur (S) (weight %)	0,05
Analisa Proximate	
Volatila Matter (weight %)	69,82
Moisture (weight %)	6,51
Ashi (weight %)	7,56
Fixed Carbon (weight %)	17,11
Nilai Kalor Tempurung Kelapa	
Low Heating Value (KJ/kg)	20800

Sumber: Hasil pengujian pada laboratorium ahli energi dan rekayasa LPPM ITS

### Perhitungan SA

Sebelum peneletian terlebih dahulu dihitung kebutuhan oksigen, dengan menghitung jumlah oksigen dalam proses pembakaran sempurna untuk proses gasifikasi secara stoikiometri menggunakan rumus [1] :

$$SA = \frac{\% \text{ udara}}{\% \text{ O}_2 \text{ di udara}} \times \text{kebutuhan oksigen} \quad (1)$$

Dimana pada umumnya kadar oksigen yang terkandung pada udara 21%.

### Perhitungan FCR dan AFR

FCR (*Fuel Consumtin Rate*), merupakan biomasa yang dibutuhkan pada proses gasifikasi dapat dirumuskan [2].

$$FCR = \frac{Q_n}{HV_f \times \epsilon_g} \quad (2)$$

$HV_f$  = Nilai kalor pada tempurung kelapa(MJ/kg)

$Q_n$  = Energi yang dibutuhkan (KJ/jam)

$\epsilon_g$  = Efisiensi reaktor yang digunakan sebelumnya 0,17[3]

AFR merupakan tingkat aliran udara primer yang masuk ke reaktor, bisa dirumuskan :

$$AFR = \frac{\epsilon_n \times FCR \times SA}{\rho_a} \quad (3)$$

SA = Kebutuhan udara secara stoikiometri

Sehingga dari rumus di atas bisa diketahui laju aliran udara untuk proses gasifikasi 37 lpm (liter permenit).

### Diameter Reaktor Gasifier

Pada gasifikasi batok kelapa dan kayu bakar memiliki SGR (*Spesifik Gasification Rate*) berkisar 150 – 240 kg/m<sup>2</sup>, untuk merancang reaktor penulis memilih SGR terendah yakni 150

kg/m<sup>2</sup> jam. Maka diameter reaktor dapat ditentukan [4]

$$D = \left( \frac{1,27 FGR}{SGR} \right)^{0,5} \left( \frac{1,27 \times 3,14 \times 150 \text{ kg/jam}}{150} \right)^{0,5} \quad (4)$$
$$D = 0,171 \text{ m}$$

Untuk memudahkan pengukuran pada saat pembuatan reaktor 17 cm = 6 inch, Jadi dalam penelitian diasumsikan diameter pipa *black steel*.

### Tinggi Reaktor Gasifier

Perhitungan desain tinggi reaktor mengacu pada waktu operasional yang di inginkan. Selain itu tinggi reaktor juga dipengaruhi oleh SGR (*Spesifik gasification rate*) dan densitas tempurung kelapa

Dalam perancangan ini waktu reload minimal 2 jam. Sedangkan reaktor jenis ini harus direload paling tidak 1/3 bagian agar tidak mengalami panas berlebih pada *hopper*. Sehingga waktu operasional minimal adalah 2 jam X 3/2 = 3 jam

Sehingga :

$$H = \frac{SGR \times T}{\rho_{tempurung}} = \frac{150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3 \text{ jam}}{661 \text{ kg/m}^3} \quad (5)$$

$$H = 0,70 \text{ m} = 70 \text{ cm}$$

$$\rho_{tempurung} = \text{Density tempurung kelapa (kg/m}^3\text{)}$$

### Perhitungan Gas Gasifikasi

N<sub>2</sub> memiliki nilai molekul yang sama yaitu 28, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukan masing -masing antara CO dan N<sub>2</sub> hal ini bisa kita dapatkan melalui persamaan :

#### a. Menghitung abudanc N<sub>2</sub> dan CO

Pada variasi agen gasifikasi bisa kita hitung *abundance* untuk N<sub>2</sub> dan CO dengan persamaan

$$\text{Nilai abundance } N_{2 \text{ gas}} = \frac{\text{abundance } N_2 \text{ Udara}}{\text{abundance Ar Udara}} \times \text{abundance Ar gas}$$

$$\text{Nilai abundance CO} = \text{abundance berat molekul 28} - \text{abundance } N_{2 \text{ gas}}$$

#### b. Menghitung Persentase Gas

Kemudian menghitung persentase kandungan gas dari setiap *abundance*, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ kandungan gas} = \frac{\text{Nilai abundance gas yang dicari}}{\text{Total gas abundance keseluruhan}} \times 100\%$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

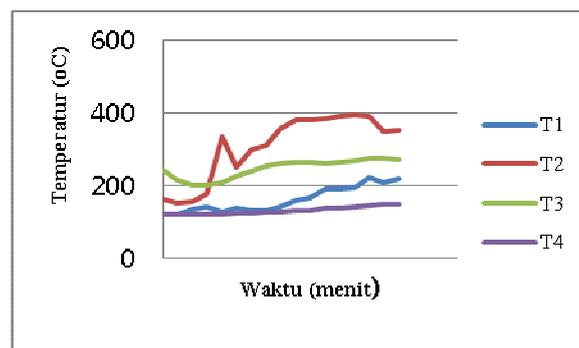
Waktu pembakaran gas *producer* hasil gasifikasi untuk tempurung kelapa pada burner menghasilkan gas mampu bakar sekitar 900 detik secara kontinyu dan jumlah tar yang

terbentuk cukup banyak, tar bahkan menetes pada ujung pangkal *burner* bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Tar Yang Dihasilkan Analisis Perbandingan Temperatur Variasi Agen Gasifikasi

Pada penelitian ini proses yang terjadi lebih mengacu pada proses pembakaran dimana bisa dilihat gambar 3, dari distribusi temperatur rata-rata yang dihasilkan pada reaktor gasifikasi kurang dari 400 derajat celsius dan jumlah kadar CO<sub>2</sub> dan nitrogen yang lebih dominan.



Gambar 3 Distribusi Temperatur Reaktor

T1 merupakan hasil temperatur pada zona pengeringan, T2 merupakan hasil temperatur rata-rata pada zona pirolisis, T3 merupakan hasil temperatur rata-rata pada zona oksidasi, T4 merupakan hasil temperatur rata-rata pada zona reduksi.

Bentuk pembakaran dari pembakaran langsung biomasa dalam bentuk padat termasuk pembakaran penguapan, pembakaran dekomposisi, pembakaran permukaan, dan pembakaran membara. Dalam pembakaran penguapan, bahan bakar yang mengandung komponen sederhana dengan struktur molekul yang memiliki titik peleburan yang rendah akan melebur dan menguap melalui pemanasan dan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas dan terbakar. Dalam pembakaran dekomposisi, gas yang diproduksi dari *dekomposisi thermal* melalui pemanasan (H<sub>2</sub>, CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CO<sub>2</sub>) akan bereaksi dengan oksigen dalam fase gas, membentuk api dan terbakar, dan arang yang tersisa setelah pembakaran ini dan akan terbakar melalui pembakaran permukaan.

Pembakaran permukaan akan terjadi karena komponen yang hanya terdiri atas karbon yang mengandung sebagian kecil bahan volatile seperti arang, oksigen, CO<sub>2</sub>, dan uap yang terserap ke dalam pori-pori yang berada di dalam atau permukaan padat komponen itu, dan

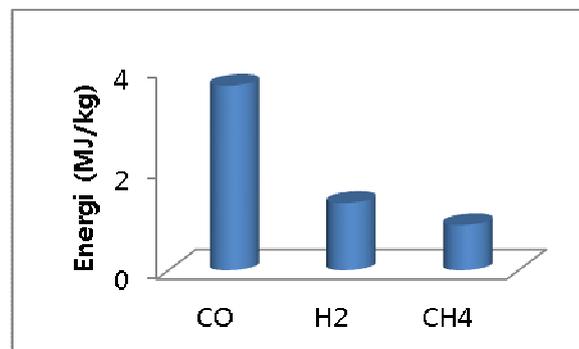
akan terbakar melalui reaksi pembakaran permukaan. Persentase hasil gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Persentase Hasil Gas Gasifikasi

Jenis Gas	Persentase Gas (%)
CO	13,32
H <sub>2</sub>	4,68
CH <sub>4</sub>	1,52
N <sub>2</sub>	37,09
CO <sub>2</sub>	38,21
O <sub>2</sub>	4,34
Ar	0,94

### Efisiensi Gasifikasi

Berdasarkan perhitungan efisiensi gasifikasi ( $\eta$ ) pada tabel 2 maka dapat dianalisis energi yang dihasilkan pada gasifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Energi Yang Dihasilkan

Sebelum menghitung efisiensi gas gasifikasi, sebelumnya harus diketahui HHV masing-masing gas seperti tabel 3.

Tabel 3 HHV dan LHV Gas

Gas	HHV(MJ/kg mol)	LHV(MJ/kg mol)
CO	282,99	282,99
CH <sub>4</sub>	285,84	241,83
H <sub>2</sub>	890,36	802,34

Sumber :Basu 2006

Dari tabel 2 dan gambar 6 efisiensi gas gasifikasi bisa dihitung berdasarkan rumus:

$$\eta_g = \frac{\text{Energi syngas}}{\text{Energi input}} \times 100\% \quad (6)$$

$$= \frac{5,91 \text{ MJ/kg}}{20,5 \text{ MJ/kg}} \times 100\% = 28,8\%$$

Dimana energi input = energi tempurung kelapa (20,5MJ/kg)

Berdasarkan penelitian di atas dipengaruhi oleh tingginya kandungan *volatile* pada tempurung kelapa dengan agen gasifikasi dengan laju aliran udara 37 lpm lebih mengacu

pada proses pembakaran, di mana bisa dilihat dari hasil gas yang dihasilkan ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{CH}_4$ ).

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan reaktor jenis *updraft* dengan menggunakan laju aliran udara 37 lpm, dalam penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil gasifikasi yang dihasilkan oleh memiliki energy syngas sebesar 5,91 MJ/kg.
2. Berdasarkan dimensi rancangan reaktor dengan diameter 0,17m dan tinggi 0,7m dengan menggunakan tempurung kelapa menghasilkan efisiensi sebesar 28,8%.
3. Hasil Syngas yang dihasilkan dengan agen gasifikasi menggunakan udara menghasilkan kadar  $\text{CO} = 13,32\%$ ,  $\text{CH}_4 = 1,52\%$ ,  $\text{H}_2 = 4,68\%$ ,  $\text{CO}_2 = 38,21\%$ ,  $\text{N}_2 = 37,095$  dimana gas mampu bakar yang dihasilkan 19,52%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djokosetyardjo, M.J., 1989, "Ketel Uap", Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2] Belonio., 2005, "Rice Husk Gas Stove Hand Book", Departement of Agricultural Engineering and Environmental Management College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City, Philippines.
- [3] Slamet, Ardana ., 2012, "Tugas Akhir Performansi Reaktor Downdraft Dengan variasi Biomasa sekam Padi Dan Serbuk Kayu", UNUD.
- [4] Panwar, N.L., Rathore, N.S., 2008, *Design and Performance Evaluation Of A 5 kW Producer Gas Stove*, Biomass and Bioenergy 32, 1349-1352.