

# Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (*AFR*) dan Ukuran Biomassa

Lailun Najib dan Sudjud Darsopuspito

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* sudjud@me.its.ac.id

**Abstrak**— Biomassa tempurung kelapa adalah salah satu bahan baku energi alternatif dengan jumlah melimpah. Pemakaian tempurung kelapa dapat meningkatkan nilai guna material yang sudah menjadi limbah atau produk samping. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor gasifikasi *downdraft* di Research Centre ITS, dimulai dengan melakukan pengujian terhadap propertis tempurung kelapa secara *proximate* dan *ultimate*. Kemudian dilanjutkan proses gasifikasi dengan pasokan biomassa secara kontinyu setiap 10 menit sebesar 0,45 kg, 0,48 kg, 0,5 kg dan 0,52 kg selama 120 menit dengan ukuran biomassa (0,8-12,6) cm<sup>2</sup> dan (12,7-50,3) cm<sup>2</sup>. Penelitian dilakukan dengan 4 variasi kecepatan suplai udara sebesar 3,57 m/s, 4,37 m/s, 5,05 m/s dan 5,64 m/s dengan pengaturan dimmer pada blower. Hasil penelitian didapatkan nilai kalor bawah, komposisi *syn-gas* dan nyala api terbaik pada *AFR* 0,88 dan ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6) cm<sup>2</sup>. Besarnya nilai kalor bawah adalah 4718,33 kJ/m<sup>3</sup>, komposisi *syn-gas* 39,273% dari volume total serta nyala api yang dihasilkan berwarna biru. Sedangkan efisiensi gasifikasi terbaik terjadi pada *AFR* 1,17 untuk ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6) cm<sup>2</sup> sebesar 52,030 %.

**Kata Kunci**— biomassa tempurung kelapa, energi alternatif, gasifikasi *downdraft*, sistem kontinyu.

## I. PENDAHULUAN

SAAT ini kebutuhan bahan bakar untuk energi di Indonesia tiap tahunnya tercatat semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kemajuan industri. Di sisi lain, cadangan minyak nasional semakin lama semakin menurun. Untuk mengatasi krisis energi yang terjadi diperlukan suatu usaha untuk mencari sumber-sumber energi alternatif baru yang lebih murah, berlimpah dan dapat diperbaharui. Energi alternatif yang saat ini banyak dikembangkan adalah biomassa.

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. Dengan mengetahui komposisi dan kandungan kimia yang terdapat di dalam tempurung kelapa, bahan tersebut dapat dijadikan sumber energi alternatif melalui proses gasifikasi. Gasifikasi adalah teknologi proses thermo-kimia yang

mengubah biomassa padat menjadi *combustible gas*.

Penelitian dilakukan pada reaktor gasifikasi jenis *downdraft* dengan variasi ukuran biomassa tempurung kelapa, serta bervariasi rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*) melalui pengaturan dimmer pada blower. Pasokan biomassa ke dalam reaktor secara kontinyu, artinya pasokan biomassa ke dalam reaktor secara terus-menerus dengan jumlah yang tetap.

Beberapa penelitian gasifikasi biomassa yang menggunakan reaktor gasifikasi jenis *downdraft* telah dilakukan. Salah satunya yang telah dilakukan oleh Setiawan, D. [1] yang menggunakan biomassa sekam padi pemasukan sistem kontinyu dengan variasi perbandingan udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*). Hasil penelitian menunjukkan semakin besar suplai udara, energi *losses* yang terjadi semakin besar. Nyala api yang dihasilkan stabil dan zona temperatur yang dihasilkan menunjukkan tren *steady*. Wulandari, D. [2] menggunakan biomassa sekam padi dengan sistem pemasukan *batch* mendapatkan kesimpulan bahwa zona temperatur di reaktor gasifikasi menunjukkan tren naik-turun yang tajam dan nyala api yang dihasilkan tidak stabil. Ardianto, F. [3] menggunakan sistem *batch* biomassa serbuk kayu dengan variasi perbandingan udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dan ukuran biomassa, mendapatkan efisiensi terbesar pada ukuran biomassa yang lebih kecil yakni sebesar 67,798%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran biomassa dan perbandingan udara-bahan bakar terhadap nilai kalor bawah (*Lower Heating Value/LHV*), komposisi *synthetic-gas*, kualitas nyala api serta efisiensi gasifikasi.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Peralatan dan Persiapan Bahan

Penelitian dilakukan menggunakan reaktor gasifikasi di Research Center ITS dengan tempurung kelapa sistem *downdraft* kontinyu. Reaktor ini mempunyai dimensi 1,5 m dan diameter 0,35 m. Bahan dari reaktor terbuat dari batu tahan api yang diisolasi dengan lapisan semen dan diselubungi oleh besi yang di-roll hingga berbentuk tabung untuk menjaga temperatur serta mengurangi terjadinya *heat losses*. Didalam reaktor dipasang 5 termokopel yang masing-masing menunjukkan daerah pengeringan, pirolisis, oksidasi parsial,

Tabel 1.  
Hasil Pengujian Ultimate, Proximate, dan Lower Heat Value (LHV)  
Tempurung Kelapa

Analisa Ultimate	
Carbon (C) (weight %)	47,89
Hydrogen (H) (weight %)	6,09
Oxygen (O) (weight %)	45,75
Nitrogen (N) (weight %)	0,22
Sulphur (S) (weight %)	0,05
Analisa Proximate	
Volatile Matter (weight %)	68,82
Moisture (weight %)	6,51
Ash (weight %)	7,56
Fixed Carbon (weight %)	17,11
Nilai Kalor Tempurung Kelapa	
Low Heating Value (KJ/kg)	20890

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

reduksi dan daerah keluaran *syn-gas*.

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan analisa *proximate*, *ultimate* dan nilai kalor dari tempurung kelapa. Analisa *proximate* dan nilai kalor dilakukan di laboratorium pusat energi dan rekayasa ITS. Sedangkan analisa *ultimate* mengacu pada jurnal yang dilakukan oleh Fajri Vidian yang berjudul “*Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran*” [4] dikarenakan laboratorium pusat energi dan rekayasa ITS tidak dapat menguji kandungan *ultimate* biomassa.

Dari Tabel 1 analisa *ultimate* didapatkan kandungan C dan H menunjukkan nilai yang dominan. Kedua unsur ini yang akan menghasilkan *syntetic-gas*. Sedangkan dari analisa *proximate* didapatkan kandungan *moisture* tempurung kelapa yang rendah sehingga tidak diperlukan pemanasan yang lama dan akan mengurangi energi yang terbuang untuk pemanasan.

### B. Pengambilan Data

Penelitian diawali dengan pemasukan biomassa awal untuk pengumpanan sebanyak 2 kg kemudian dimasukkan arang yang sudah membara, lalu ditutup. Blower yang sudah dinyalakan diatur kecepatannya menggunakan dimmer pada posisi 4. Biarkan proses pembakaran awal berlangsung selama 10 menit atau sudah tidak keluarnya asap yang berwarna kekuningan. Setelah itu masukkan biomassa secara kontinyu setiap 10 menit sebesar ±0,5 kg. Biomassa divariasikan menjadi 2 yaitu ukuran (0,8-12,6) cm<sup>2</sup> dan (12,7-50,3) cm<sup>2</sup>.

Data-data yang diambil selama pengujian adalah kecepatan udara masuk, kecepatan *syn-gas*, temperatur di dinding dan di dalam reaktor, temperatur dan kecepatan udara sekitar, serta temperatur nyala api. Pengambilan *syn-gas* dilakukan dengan membuat lubang kecil dekat burner yang dihubungkan dengan selang. *Sny-gas* disimpan di dalam balon kemudian diuji di laboratorium. Untuk data kecepatan udara masuk, *syn-gas* serta udara sekitar cukup sekali pengambilan data, sedangkan

data yang lain diambil tiap 10 menit sampai waktu pengujian habis yakni 120 menit.

Setelah selesai pengujian pertama, ubah dimmer pada posisi selanjutnya (6,8,10) dan dilakukan pengujian lagi. Setelah selesai sampai pada posisi dimmer 10, selanjutnya pengujian untuk ukuran biomassa yang berbeda. Total pengujian adalah 8 kali pengujian.

Dari pengujian didapatkan *syn-gas* yang perlu diuji untuk mengetahui komposisinya. Pengujian dilakukan di laboratorium ITS. Komposisi *syn-gas* selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kalor gas menggunakan persamaan 1 [5]

$$LHV_{gas} = \sum_{i=1}^n (Y_i \times LHV_i) \tag{1}$$

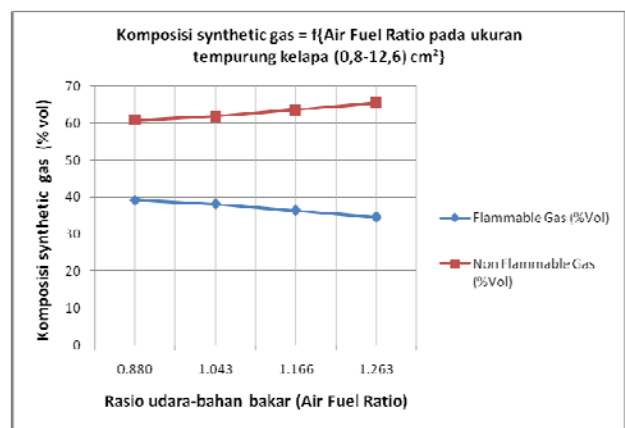
Dimana :

Y<sub>i</sub> = Konsentrasi gas yang terbakar

LHV<sub>i</sub> = Nilai kalor bawah dari gas terbakar

Efisiensi Gasifikasi dihitung menggunakan persamaan 2 [5]

$$\eta_{gasifikasi} = \frac{Energi_{syn-gas}}{Energi_{masuk}} \tag{2}$$



Gambar. 1. Komposisi synthetic gas = f{air fuel ratio pada ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6) cm<sup>2</sup>}

## III. ANALISA DATA

### A. Pengaruh Rasio Udara-bahan bakar Terhadap Komposisi *Syn-gas*

Dari gambar 1 terlihat bahwa konsentrasi kandungan *synthetic gas* pada gas mudah terbakar (*combustible gas*) cenderung mengalami penurunan dengan meningkatnya rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Hal ini dikarenakan peningkatan laju alir massa udara yang masuk melalui pengaturan dimmer pada blower yang akan meningkatkan rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), akan tetapi kenaikan laju alir udara yang besar tidak sebanding dengan laju alir biomassa yang lebih kecil menyebabkan udara yang masuk kedalam reaktor gasifikasi ini berlebih, maka akan terbentuk banyak gas O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> dan *combustible gas* berkurang (gas CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

**B. Pengaruh Rasio Udara-bahan bakar Terhadap LHV Syn-gas**

Dari gambar 2 menunjukkan bahwa, terjadi penurunan nilai LHV sintetis gas seiring dengan peningkatan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). Hal ini disebabkan oleh peningkatan suplai laju alir massa udara yang masuk ke dalam reaktor gasifikasi yang secara langsung akan meningkatkan nilai rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), sehingga mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*combustible gas*), dimana proses gasifikasi ini, membutuhkan suplai udara terbatas, maka kandungan gas terbakar gas ( $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ) akan cenderung menurun, jika suplai laju alir massa udara meningkat. Sebaliknya (*gas*  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ), meningkat seiring dengan peningkatan suplai laju alir massa udara.

Sedangkan untuk trendline nilai kandungan energi LHV sintetis gas ditinjau dari ukuran, ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6)  $cm^2$ , mempunyai LHV sedikit lebih besar daripada LHV ukuran tempurung kelapa (12,7-50,3)  $cm^2$ , hal ini dikarenakan variabel ukuran tempurung kelapa berperan penting pada proses gasifikasi, dimana jarak ukuran tempurung kelapa semakin kecil akan memberikan ruang yang sedikit untuk udara dan jarak partikel tempurung kelapa yang satu dengan yang lain lebih rapat, maka akan mempengaruhi proses reaksi kimia pembentukan kandungan gas terbakar (*combustible gas*), dimana proses gasifikasi membutuhkan suplai udara yang terbatas, sehingga kandungan gas terbakar (*combustible gas*) akan cenderung meningkat, jika suplai laju alir massa udara terbatas yang dibutuhkan tepat.

**C. Pengaruh Rasio Udara-bahan bakar Terhadap Nyala Api**

Semakin besar rasio udara-bahan bakar (AFR), komposisi flammable gas yang dihasilkan akan semakin turun. Hal ini tentu akan berakibat terhadap kualitas nyala api. Semakin sedikit flammable gas yang dihasilkan, akan semakin sulit menghasilkan nyala api dan apabila sudah menyala, warnanya akan kuning kemerahan.

Pada variasi AFR 0,88 diperoleh nilai LHV *syn-gas* yang tertinggi dibanding variasi AFR (1,04 ;1,17 ;1,26) untuk ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6)  $cm^2$ . Dengan tingginya nilai LHV tersebut tentunya merepresentasikan cukup besarnya kandungan flammable gas ( $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ) yang terkandung didalamnya. Semakin kaya kandungan flammable gas yang dimiliki oleh *syn-gas* akan menyebabkan profil api yang berwarna biru bercampur sedikit kemerahan. Akan tetapi pada nilai AFR 0,88 memiliki laju aliran *syn-gas* yang terendah sehingga nyala dari api yang berwarna biru tapi pancarannya tidak seberapa kuat seperti terlihat pada gambar 3.

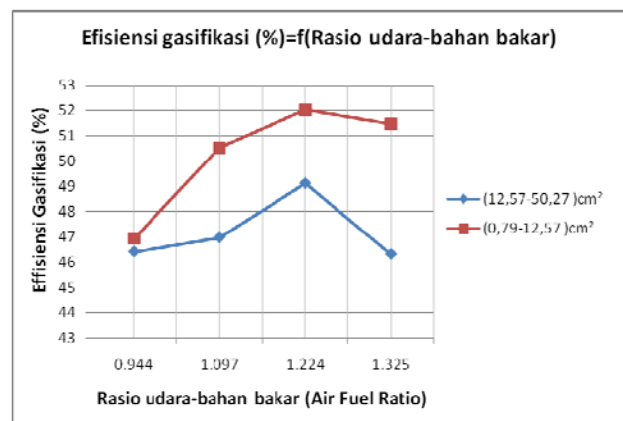
**D. Pengaruh Rasio Udara-bahan bakar Terhadap Efisiensi Gasifikasi**

Pada gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi AFR, efisiensi semakin tinggi sampai titik tertentu yang kemudian akan terus menurun. Hal ini dikarenakan gasifikasi merupakan proses konversi energi yang membutuhkan udara dalam

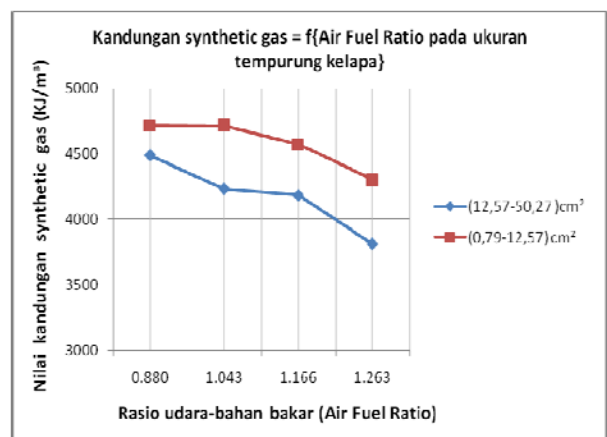
jumlah yang terbatas. Titik tertinggi dalam grafik diatas merupakan efisiensi tertinggi dengan AFR yang tepat. Efisiensi itu sendiri dipengaruhi oleh energi *syn-gas*, energi biomassa dan energi udara. Semakin besar suplai udara yang masuk, semakin besar pula laju alir massa biomassa sehingga *syn-gas* yang diproduksi semakin besar sampai mendapatkan AFR



Gambar. 2. Visualisasi pada ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6)  $cm^2$  dengan AFR = 0,88 yang tepat.



Gambar. 3. Nilai efisiensi gasifikasi pada variasi ukuran tempurung kelapa dengan variasi rasio udara bahan bakar



Gambar. 4. Nilai kandungan synthetic gas pada variasi ukuran tempurung kelapa dengan variasi rasio udara-bahan bakar

Efisiensi gasifikasi terbaik untuk ukuran tempurung kelapa (12,7-50,3) cm<sup>2</sup> diperoleh pada saat AFR 1,22 hal ini mengindikasikan bahwa untuk ukuran tempurung kelapa yang lebih besar maka dibutuhkan suplai udara yang lebih terbatas. Sedangkan untuk ukuran tempurung kelapa (0,8-12,6) cm<sup>2</sup>, efisiensi terbaik diperoleh pada saat AFR 1,17.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian gasifikasi tempurung kelapa dengan jenis downdraft sistem kontinyu mampu menghasilkan nyala api yang stabil. Semakin besar AFR, semakin kecil komposisi *flammable gas* dan LHV *syn-gas*. Ukuran tempurung kelapa lebih kecil mempunyai efisiensi gasifikasi lebih besar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Setiawan, "Karakterisasi Proses Gasifikasi Downdraft Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Desain Sistem Pemasukan Biomassa Secara Kontinyu Dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR)," Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, Indonesia (2011).
- [2] D. Wulandari, "Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Warna dan Temperatur Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Berbahan Baku Sekam Padi," Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, Indonesia (2009).
- [3] F. Ardianto, "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Serpihan Kayu Pada Reaktor Downdraft Sistem Batch Dengan Variasi Air Fuel Ratio (AFR) Dan Ukuran Biomassa," Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya, Indonesia (2011).
- [4] Fajri Vidian, "Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran," Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang (2008).
- [5] Anil Kr. Jain dan John R. Goss, "Determination Of Reactor Scalling Factor for Throatless Risk Husk Gasifier," *International Journal Biomass & Bioenergy*, Vol. 18, No. 3 (2003, Mar.) 249-256.