

## Studi Eksperimental Cogasifikasi Tandan Kosong Dan Tempurung Kelapa Sawit Menggunakan *Downdraft Gasifier*

Adi Surjosatyo<sup>1</sup> dan Fajri Vidian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA, Palembang

email : adisur@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Proses gasifikasi dengan efisiensi pengkonversian yang tinggi serta polusi yang dihasilkan rendah telah banyak diketahui. Cogasifikasi adalah suatu area penelitian yang baru yang bertujuan untuk mendapatkan kualitas gas yang baik melalui teknik percampuran dua jenis bahan bakar padat. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbandingan tandan kosong dan tempurung kelapa sawit terhadap komposisi dan nilai kalor producer gas. Pengujian dilakukan menggunakan sebuah *downdraft gasifier* dengan kapasitas 6 kg/jam serta laju alir udara pembakaran konstan 157 lpm. Kandungan air tandan kosong dan tempurung masing-masing 42,65% dan 8,6%. Efek penambahan berat yaitu 50%, 60% dan 70% tandan kosong terhadap tempurung memperlihatkan penurunan komposisi gas mampu bakar ( $CO, CH_4, H_2$ ) dan nilai kalor gas.

**Kata kunci:** Gasifikasi, kogasifikasi, tandan buah kosong, tempurung kelapa sawit dan gas mudah bakar

### Abstract

It has been known that gasification process with a high energy conversion may produce a low flue gas pollution. Cogasification is a new research method according to reach gas quality through mixing process of two type of solid fuel. The purpose of this study to find effect of ratio Empty Fruit Bunch (EFB) and Palm Oil Shell (POS) to producer gas composition and Low Calorific Value (LCV). Experimental study has been conducted using a down-draft gasifier which has feeding capacity of 6 kg/h and injected primary air flow with constant rate of 157 lpm. Moisture content of EFB and POS are 42.65 % and 8.6%, respectively. Increasing of EFB weight of 50%, 60% and 70% against POS has shown a decreasing of combustible matter, such as  $CO, CH_4$  and  $H_2$  and also decreasing of LCV.

**Key words:** Gasification, cogasification, empty fruit bunches, shell and combustible gas

### 1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara penghasil utama kelapa sawit setelah Malaysia, serta menurut perkiraan pada tahun 2010 Indonesia akan menjadi negara penghasil utama kelapa sawit dengan produk CPO 17 juta ton [1]. Dari proses pengelolaan tandan buah segar (*fresh fruit bunches*) menjadi minyak sawit (*crude palm oil*) lebih kurang 45%nya akan menjadi limbah padat berupa tempurung (*shell*), serabut (*fiber*) dan tandan kosong (*empty fruit bunches*). Setengah dari jumlah limbah padat tersebut merupakan tandan kosong [2].

Pemanfaatan limbah padat kelapa sawit untuk menghasilkan energi baru terbatas sebagai bahan bakar padat pada ketel (*boiler*) dengan efisiensi penkonversian dibawah 25%, terutama untuk limbah padat tempurung dan serabut. Khusus untuk limbah padat tandan kosong pemanfaatannya sebagai bahan bakar pada *boiler* mempunyai mempunyai problem pada tingginya kandungan air (*moisture*) antara 40% - 60% serta polusi yang dihasilkan [3], [4].

Gasifikasi adalah suatu proses pengkonversikan bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $CO, H_2, CH_4$ ),

yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas dengan hot gas efisiensi 95% - 97% serta polusi yang dihasilkan sangat rendah terutama nitrogen oksida [4], [5].

Suatu penerapan penelitian baru dalam bidang gasifikasi yaitu tekni cogasifikasi dimana dua jenis bahan bakar digasifikasi secara bersamaan untuk mendapatkan kualitas gas yang lebih baik.

Pada penelitian ini tandan kosong dengan *moisture* yang tinggi dicampur dengan tempurung kelapa sawit yang memiliki *moisture* lebih rendah. Gasifikasi dilakukan menggunakan *gasifier* type aliran kebawah. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh perbandingan tandan kosong dan tempurung terhadap komposisi dan nilai kalor *producer gas*.

## 2. Teori

Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu 20% s/d 40% udara stoikiometri. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut *Biogas*, *producer gas* atau *syngas* [6].

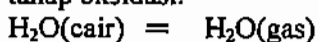
Dalam proses gasifikasi jumlah udara pembakaran dibatasi antara 20% s/d 40% udara stoikiometri atau dengan equivalensi ratio (ER) 0,2 s/d 0,4. *Equivalensi ratio* dihitung berdasarkan rumus [7], [8]:

$$ER = \frac{(\text{laju aliran udara masuk} \times \text{waktu operasi})}{(\text{masukkan bahan bakar} \times A/F_{\phi=1})} \quad (1)$$

Selama proses gasifikasi biomassa mengalami urutan tahapan – tahapan proses yang kompleks (pengeringan, pirolisa, reduksi, pembakaran,). Dimana reaksi – reaksi yang terjadi pada masing – masing tahap adalah sebagai berikut [9] :

### 1. Pengeringan (25 °C s/d 150 °C)

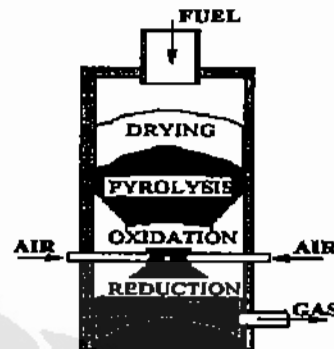
Bahan baku akan mengalami pengeringan akibat panas reaksi dari tahap oksidasi.



### 2. Pirolisa (150°C s/d 800°C)

Bahan baku yang turun lebih ke bawah akan mengalami pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi lagi, yang menyebabkan bahan baku terpecah menjadi arang (C), tar, minyak, gas dan produk pirolisa lain.

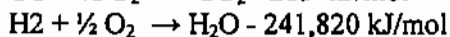
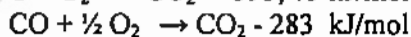
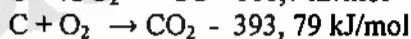
Bahan baku ( $\text{C,H,O}$ ) → arang (C), tar, minyak, gas



Gambar 1. Proses Gasifikasi Pada *Gasifier* Aliran Kebawah [10]

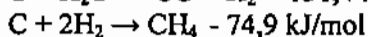
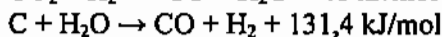
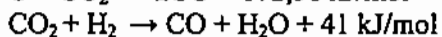
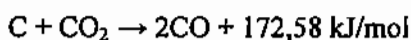
### 3. Pembakaran (800 °C s/d 400 °C)

Arang (C), tar, minyak, gas hasil tahap pirolisa kemudian akan teroksidasi oleh oksigen dari udara. Panas yang dihasilkan dari reaksi ini digunakan untuk proses pengeringan, pengeringan dan reaksi endoterm lainnya.



### Reduksi (600 °C s/d 900 °C)

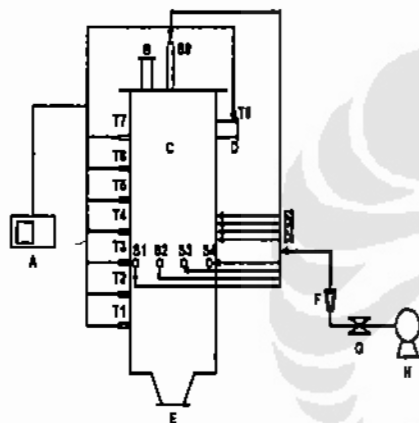
Dibawah daerah oksidasi terjadi reaksi reduksi, reaksi tukar dan metanasi. Gas yang bernilai kalor terutama dihasilkan didaerah ini.



## 3. Peralatan Percobaan

Proses gasifikasi dilakukan menggunakan sebuah *gasifier* type aliran

kebawah (*downdraft*) pada Laboratorium Gas Departemen Teknik Mesin UI. Refraktori gasifier terbuat dari *castable* dengan tinggi 70 cm, diameter 30 cm, diameter tenggorokkan (*throat*) 12 cm. Udara pembakaran dialirkan dengan menggunakan sebuah blower dengan kapasitas 4500 lpm dan tekanan 540 Pa. Jumlah aliran udara diukur dengan menggunakan orifice meter. Distribusi temperatur dalam *gasifier* diukur menggunakan thermokopel type K (cromnel-alumnel) yang dicatat menggunakan temperatur recorder. Waktu proses diukur menggunakan stopwatch. Komposisi gas diukur menggunakan *gas crematografh* dengan standart GPA 2261.



Gambar 2.  
Rangkaian Alat Percobaan

Keterangan :

- A. Thermokopel Recorder
- B. Saluran masuk bahan bakar
- C. *Gasifier*
- D. Saluran keluar gas
- E. Saluran pengeluaran abu
- F. Orifice meter
- G. Katup
- H. Blower
- T1 s/d T8. Thermokopel
- S1 s/d S9. Saluran masuk udara

#### 4. Kondisi Percobaan

Pada percobaan ini beberapa kondisi yang telah diatur untuk mempermudah dalam proses pengambilan data dalam percobaan.

1. Kandungan air tandan kosong dan tempurung kelapa sawit masing – masing 42,65% dan 8,6%.
2. Analisa proximat dan ultimat berdasarkan Tabel 1.
3. Ukuran tandan 0,5 cm x 1 cm x 5 cm
4. Perbandingan tandan kosong dan tempurung adalah 50%, 60% dan 70% berat tandan kosong
5. Jumlah bahan bakar setiap pengujian 12 kg/unggun
6. Laju aliran udara 157 lpm (67,014 lpm dari atas dan 57,3 lpm dari sekeliling refraktori)
7. Letak saluran udara dari atas 5 cm dari tenggorokkan

Tabel 1.  
Analisa Proximat dan Ultimat

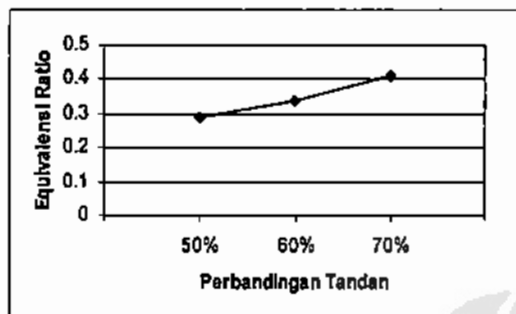
Parameter (% berat)	70% Tandan	60% Tandan	50% Tandan
C	49	48.8	48.61
H	6.24	6.236	6.23
S	0.07	0.06	0.05
O	39.61	40.32	40.69
Moisture	32.44	29.03	25.63
Ash	3.67	3.44	3.22

#### 5. Hasil dan Pembahasan

##### 5.1. Pengaruh Perbandingan Tandan Kosong dan Tempurung Terhadap *Equivalensi Ratio*

Peningkatan perbandingan berat tandan akan meningkatkan *equivalensi ratio* proses pembakaran seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Hal ini dikarenakan laju pemakaian bahan bakar akan menurun dengan naiknya perbandingan berat tandan terhadap tempurung pada laju alir udara konstan yaitu 6 ; 5,5 dan 4,5 kg/jam. Penurunan ini dikarenakan bertambahnya jumlah kandungan air dalam bahan bakar. Bertambahnya kandungan air dalam bahan bakar akan menambah waktu yang diperlukan untuk menguapkan air sebelum bahan bakar dapat terbakar atau mengakibatkan *delay time* pembakaran.

Turunnya laju pemakaian bahan bakar akan meningkatkan perbandingan udara dan bahan bakar (A/F) aktual pada laju aliran udara pembakaran yang konstan. Meningkatnya perbandingan udara dan bahan bakar aktual akan menaikkan *equivalensi ratio* pada proses pembakaran. Berdasarkan perhitungan *equivalensi ratio* untuk 50%,60% dan 70% tandan adalah 0,29 ; 0,34 dan 0,41.

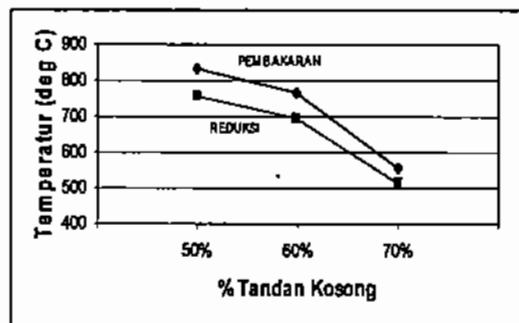


Gambar 3. Pengaruh Perbandingan Tandan Terhadap ER

### 5.2. Pengaruh Perbandingan Tandan Kosong Terhadap Temperatur Pembakaran dan Reduksi

Pada gambar 4 memperlihatkan semakin besar perbandingan tandan kosong akan menurunkan temperatur pembakaran dan reduksi. Peningkatan perbandingan tandan akan mengurangi jumlah bahan yang bakar terbakar awal yaitu tempurung yang memiliki *moisture* lebih rendah. Berkurangnya bahan bakar yang terbakar awal ini mengakibatkan panas yang akan dihasilkan pada daerah pembakaran menjadi rendah yang selanjutnya akan menurunkan temperatur pada daerah tersebut. Turunnya temperatur pada daerah pembakaran akan mengakibatkan penurunan temperatur pada daerah reduksi.

Selain itu peningkatan perbandingan berat tandan juga mengakibatkan jumlah *moisture* dalam bahan bakar juga meningkat, besarnya *moisture* akan menambah panas yang diperlukan untuk menguapkan air, banyaknya panas hasil pembakaran yang terserap mengakibatkan temperatur pada daerah reduksi akan menurun.



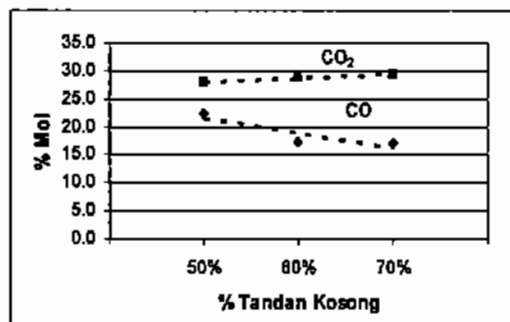
Gambar 4. Pengaruh Perbandingan Tandan Terhadap Temperatur Pembakaran dan Reduksi

### 5.3. Komposisi Gas Mampu Bakar Producer Gas

Dari hasil pengujian untuk setiap perbandingan tandan dan tempurung, gas mampu bakar yang dikandung oleh *producer gas* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Gas Mampu Bakar

No	Unsur (%mol)	70% Tandan	60% Tandan	50% Tandan
1	CO	17.2	17.4	22.4
2	CH <sub>4</sub>	3.7	2.5	4.5
3	H <sub>2</sub>	8.3	8.2	9.3
4	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1.1726	0.866	1.517
5	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.2528	0.1042	0.1837
6	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.05534	0.0404	0.0274



Gambar 5. Pengaruh Perbandingan Tandan Terhadap Komposisi CO dan CO<sub>2</sub>

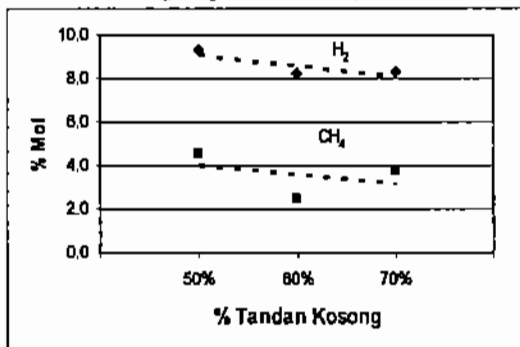
5.3.1. Komposisi CO dan CO<sub>2</sub>

Gambar 5 memperlihatkan komposisi CO semakin turun dengan naiknya perbandingan tandan kosong sebaliknya komposisi CO<sub>2</sub> cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya perbandingan tandan kosong akan menurunkan temperatur proses pembakaran dan reduksi. Turunnya temperatur reduksi mengakibatkan laju pengkonversian CO<sub>2</sub> menjadi CO pada daerah reduksi menjadi berkurang.

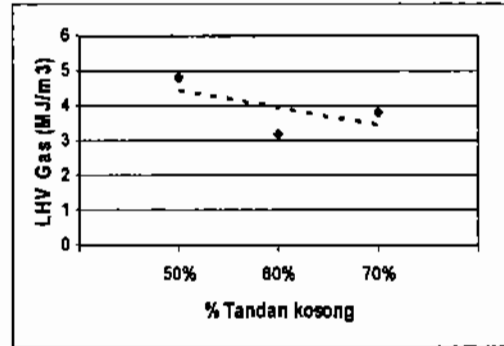
Berdasarkan pengujian komposisi H<sub>2</sub> cenderung turun dengan naiknya perbandingan tandan kosong. Hal ini dapat dijelaskan dengan naiknya perbandingan tandan akan meningkatkan *moisture* dalam bahan bakar. Meningkatnya *moisture* akan menambah jumlah H<sub>2</sub>O yang dapat dihasilkan pada daerah pengeringan yang berperan dalam pembentukan gas H<sub>2</sub> [11]. Akan tetapi kenaikan *moisture* memberikan pengaruh pada penurunan temperatur operasi *gasifier* khususnya pada pirolisa dan reduksi. Penurunan temperatur ini akan mengurangi jumlah H<sub>2</sub>O yang dihasilkan pada daerah pirolisa serta laju reaksi C dan H<sub>2</sub>O untuk menghasilkan H<sub>2</sub> pada daerah reduksi.

5.3.2. Komposisi CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub> memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan H<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan CH<sub>4</sub> dihasilkan dari reaksi C dan H<sub>2</sub> serta ditambah dengan produk dari pirolisa.



Gambar 6. Pengaruh Perbandingan Tandan Terhadap Komposisi H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>



Gambar 7. Pengaruh Perbandingan Tandan Terhadap LHV Producer Gas

5.4. LHV (Nilai Kalor) Producer Gas

Gambar 7. memperlihatkan penambahan berat tandan akan menurunkan LHV *producer gas*. Hal ini dikarenakan dengan naiknya perbandingan tandan akan menurunkan komposisi CO dalam *producer gas*. CO merupakan gas yang paling dominan menentukan besarnya nilai kalor yang dikandung *producer gas*. Nilai kalor maksimum didapat pada perbandingan 50% berat tandan yaitu 4,8 MJ/m<sup>3</sup>.

6. Kesimpulan

1. Gasifikasi tandan kosong dan tempurung kelapa sawit melalui teknik pencampuran dapat menghasilkan gas mampu bakar.
2. Komposisi gas mampu-bakar yang dihasilkan untuk seluruh perbandingan adalah CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> dan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>. Dengan komposisi gas mampu bakar masing dalam % mol :  
 CO 16,7 - 22,37  
 CH<sub>4</sub> 2,39 - 4,54  
 H<sub>2</sub> 8,2 - 9,3  
 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 0,86 - 1,51  
 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 0,1 - 0,25  
 C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 0,02 - 0,05
3. Peningkatan perbandingan tandan kosong terhadap tempurung akan menaikkan *equivalensi ratio* proses gasifikasi pada laju alir udara pembakaran konstan

4. Peningkatan perbandingan tandan kosong terhadap tempurung akan menurunkan nilai kalor gas mampu bakar.
5. Nilai kalor yang paling tinggi didapat pada perbandingan 50% berat tandan kosong dengan kandungan air 25,63% serta ekuivalensi ratio 0,29 pada laju alir udara pembakaran konstan 157 lpm yaitu sebesar 4,8 MJ/m<sup>3</sup>.

#### Daftar Acuan

- [1]. Siswanto, Mustafa, Anwar., dan Rasyidi,M., Inovasi Teknologi Serat Berkualitas dari EFB untuk Industri Jok Mobil & Spring Bed. *Proceeding, Seminar Teknologi untuk Negeri, BPPT*, 2001.
- [2]. Yusnitati, Potensi Industri Kelapa Sawit dalam Penyediaan Energi Melalui Penggunaan Co-Generation, *Paper Informasi Energi Baru dan Terbarukan, Dirjen Listrik dan Pengembangan Energi*, 1998
- [3]. H-Kittikun, A.,Prasertsan,P., Srisuwan, G., and Krause,A., Enviromental Manajement for Palm Oil Mil, *Paper, Intenet Conference on Material Flow Analisis of Integrated Bio-System*, 2000.
- [4]. The Bronzoek Group., *Maximinixing Energy Recovery From Palm Oil Wastes*, *Proceeding, Word Palm Oil Congress*, Kuala Lumpur, 1999.
- [5]. Bridgwater, AV., Thermal Processing of Biomass for Fuels and Chemical" , *Proceeding. 6<sup>th</sup> Asia - Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization*, 2002.
- [6]. Luby,Peter., Advanced System in Biomass Gasification – Commercial Reality and Outlook". *Proceeding, the III International Slovak Biomass Forum, Bratislava*, 2003.
- [7]. ZA, Zainal., Rifau, Ali., GA, Quadir., KN, and Seetharamu, Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier, *Journal Biomass Bioenergi*, 2003.
- [8]. Jain, Anil Kr., Goss, and Jhon R., Determination of Reaktor Scalling Factor for Throatless Risk Husk Gasifier, *Journal Biomass & Bioenergi*, 18 (2000) pp.249-256,
- [9]. Manurung, Robert., Gasification and Pyrolitik Converion of Agriculture and Forestry Wastes ,*Journal Renewable Energy Review*, Vol.3 (1981) No 1.
- [10]. Stahlberg, Pekka., and Lappi,Meija., Sampling of Contaminants from Product Gases of Biomass Gasifier, *Proceeding Technical Research Centre of Finland, Espoo*, 1998
- [11]. Kaup, A., and Gross, J.R., State of The Art Report for Small Scale (to 50 KW) Gas Producer Engine System, *Departemen of Agricultural Engineering University of California*, 1981.