

## Uji Kinerja Reaktor Gasifikasi Tandan Kosong Sawit (TKS) Tipe Updraft Skala Kecil

### *Gasification Reactor Performance Test Palm Empty Fruit Bunch (Type Updrafts Small Scale*

**Ahmad Asari, Dedy Alharis N dan Elita .R**

Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong  
Ds. Situgadung PO BOX 02 Serpong 15310  
Telp/fax : 021-5376580,70936787 (021) 7093684  
Email : [bbpmektan@litbang.deptan.go.id](mailto:bbpmektan@litbang.deptan.go.id) , [bbpmektan@yahoo.com](mailto:bbpmektan@yahoo.com)

#### ABSTRAK

Tandan kosong sawit (TKS) sebagai biomassa/limbah pabrik pengolahan kelapa sawit berpotensi untuk dikembangkan sebagai pupuk organik, bahan bakar biomassa dan bahan serat lainnya. Dalam pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak kelapa sawit (crude palm oil, CPO), untuk setiap 1 ton TBS akan dihasilkan TKS sebanyak 22 – 23 % atau sebanyak 220 – 230 kg TKS. Total jumlah limbah TKS seluruh Indonesia pada tahun 2009 diperkirakan mencapai 4,2 juta ton. Namun demikian potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal. Gasifier merupakan salah satu teknologi yang dapat mengkonversi berbagai bahan padat maupun cair seperti tandan kosong sawit menjadi bahan bakar gas, sehingga perlu dilakukan uji kinerja teknologi gasifikasi TKS tipe updraft skala kecil yang hasil gasifikasinya dapat digunakan sebagai bahan bakar motor bakar dual fuel engine kapasitas 10 kW yang dihubungkan dengan dinamo listrik untuk menghasilkan listrik yang dapat memenuhi kebutuhan listrik 5-10 keluarga. Hasil analisa uji kinerja reaktor gasifikasi didapatkan komposisi gas pada gasifikasi tandan kosong sawit adalah : CO:5,85% ; H<sub>2</sub>:5,64%; CH<sub>4</sub>:6,49%; CO<sub>2</sub>:3,65% dan N<sub>2</sub>:78,36%. Sedangkan komposisi arang tandan kosong sawit sisa gasifikasi adalah : Carbon:59,66%; Hidrogen:2,99%; Nitrogen:2,25% dan Oksigen:35,1%. Hasil analisa komposisi gas campuran ada gasifikasi TKS – batok kelapa adalah : H<sub>2</sub>:4,94%; N<sub>2</sub>:72,83%; CO:11,35% CO<sub>2</sub>:7,50% dan CH<sub>4</sub>:3,38%. Sedangkan hasil analisa Proximate dan ultimate TKS dan batok kelapa sebagai berikut : TKS kadar air (% BB):55,60; Kadar air (% BK):5,18 ; kadar volatilitas:82,58; Fixed Carbon:8,97 dan Abu:3,45. Batok kelapa kadar air (%):4,89 ; kadar Volatile:30,62; Fixed Carbon:26,41 dan Abu (%) 42,98. Hasil uji pada mode dual fuel engine tanpa beban (TB) effisiensinya 41,3%, dengan beban (DB) effisiensinya : 30,8%.

*Kata Kunci : Biomassa, Gasifikasi, Tandan kosong sawit :Mode dual fuel*

*Diterima: 10 April 2015, disetujui 24 April 2015*

#### PENDAHULUAN

Potensi produk samping dan limbah biomassa pertanian di Indonesia sangat besar sebagai bahan baku pakan, pupuk dan bioenergi. Sebagai salah satu negara penghasil sawit terbesar, Indonesia perlu menangani limbah tanaman dan limbah pabrik kelapa sawit yang dapat menghasilkan nilai ekonomi dan sekaligus

mengurangi pencemaran lingkungan. Salah satu teknologi penanganan limbah adalah dengan mengkonversi biomassa menjadi sumber energi. Tandan kosong kelapa sawit (TKS)/*Empty fruit bunch* (EFB) merupakan salah satu sumber energi potensial yang berasal dari limbah pabrik pengolahan kelapa sawit. Teknologi penanganan limbah sawit menjadi alternatif energi merupakan salah satu cara untuk mengurangi isu lingkungan dan alternatif ketahanan energi.

Saat ini penggunaan TKS di Indonesia lebih banyak digunakan untuk bahan bakar boiler pada sistem pembangkit energi uap (*steam turbine*) di Pabrik CPO di mana panas dihasilkan dari sistem pembakaran (*combustión*) TKS. Pengembangan dengan sistem gasifikasi dapat meningkatkan nilai efisiensi konversi energi. Sistem pembakaran (*combustión*) mempunyai efisiensi konversi energi 10-30%, sedangkan dengan gasifikasi efisiensi konversinya dapat ditingkatkan menjadi 50-70% (Uma R; TC Kandpal; VVN Kishore, 2004).

Jumlah TKS yang dihasilkan dari 1 ton TBS rata-rata sebesar 190 kg. Meskipun sebagian TKS telah digunakan untuk pembakaran boiler di Pabrik Kelapa sawit, gasifikasi menarik untuk dikembangkan mengganti sistem pembakaran yang telah ada saat ini dalam manajemen pengelolaan limbah sawit sebagai sumber energi dan pupuk dari hasil pirolisis (Mohammed, Salmiaton, Azlina, & Amran, 2012).

Gasifier merupakan alat atau instrumen yang dapat mengkonversi berbagai bahan padat maupun cair seperti misalnya biomassa menjadi bahan bakar gas. Gasifier merupakan reaktor kimia dimana berbagai proses kimia dan fisika yang kompleks dapat terjadi, seperti: pengeringan, pemanasan, pirolisis, oksidasi parsial, dan reduksi. Melalui gasifikasi, bahan padat karbonat ( $\text{CH}_1,4\text{O}_0,6$ ) dipecah menjadi bahan-bahan dasar seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CH}_4$ . Gas-gas yang dihasilkan selanjutnya dapat digunakan secara langsung untuk proses pembakaran maupun disimpan dalam tabung gas. (Bambang Purwantana & Bambang Prastowo, 2011)

Bahan bakar gas yang dihasilkan dalam proses gasifikasi terutama merupakan hasil dari proses pirolisa dan pembakaran. Dengan demikian efektifitas gasifier akan sangat ditentukan oleh rancangbangun bagian atau zone pirolisa dan pembakaran tersebut. Rancangbangun suatu gasifier sangat dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan. Gasifier dengan bahan bakar kulit gabah (Hoki *et. al*, 2002) misalnya mempunyai rancangbangun yang berbeda dengan gasifier berbahan bakar seresah tebu (Rajeev dan Rajvanshi, 1997)

Teknologi gasifikasi menarik perhatian untuk dikaji pemanfaatannya pada biomassa karena telah lama berhasil dilakukan untuk gasifikasi batu bara dan menghasilkan efisiensi konversi energi yang tinggi. Beberapa *pilot plant projects* gasifikasi TKS telah dibangun di Asia Tenggara, namun Pilot plant gasifikasi TKS yang telah ada saat ini kebanyakan dikembangkan pada skala besar untuk pemenuhan energi kapasitas pabrik dengan tipe gasifikasi *fluidized bed* (Lahijani & Zainal, 2011). Untuk skala kecil, biasanya digunakan tipe *fixed bed gasifier*, Prastowo & Purwantana (2011) melakukan penelitian gasifikasi TKS pada tipe gasifier *up draft dan downdraft* dan menyimpulkan bahwa gasifikasi tipe *updraft* lebih stabil dalam pengeluaran gas dibandingkan tipe *downdraft*. Dalam penelitian ini pemadatan bahan dilakukan untuk mengurangi laju pembakaran akibat masih terdapatnya kandungan minyak pada TKS. Penelitian gasifikasi TKS masih perlu dilakukan sehubungan dengan karakteristik spesifik bahan yang berbeda dengan biomas lainnya (Lahijani & Zainal, 2011).

Gasifikasi biomassa telah berhasil digunakan untuk menghasilkan listrik dari kapasitas kecil sampai kapasitas besar. Model pengembangan pembangkit listrik skala kecil memungkinkan harganya lebih terjangkau oleh kelompok perkebunan sawit dibandingkan dengan membangun pembangkit listrik skala besar yang memerlukan dana investasi yang besar baik untuk infrastruktur pembangkit, koneksi ke jalur listrik nasional (*grid connection*) ataupun biaya distribusi listrik ke rumah-rumah yang relatif terpencar. Gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengganti sebagian bahan bakar (*dual fuel*) atau sepenuhnya digunakan sebagai bahan bakar pada *gas engine*.

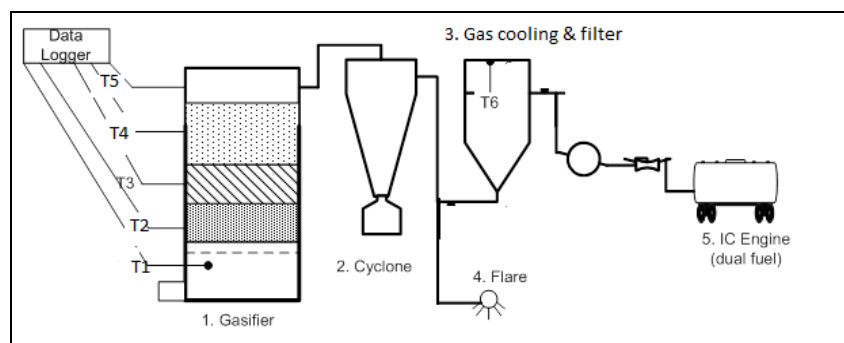
Teknologi pemanfaatan gas dari hasil gasifikasi biomassa pada dual fuel engine dapat menggantikan 70-90% solar (Uma R; TC Kandpal; VVN Kishore, 2004). Untuk digunakan sebagai bahan bakar pada engine, gas yang dihasilkan terlebih dahulu dibersihkan dan didinginkan dalam suatu system yang terdiri dari *cyclone*, *water scrubber*, *dry scrubber* dan *condenser*. Pada dual fuel engine, biasanya digunakan motor diesel (*IC 4 stroke engine*) dan untuk pembebanan listrik digunakan alternator yang telah tersedia di pasaran pada berbagai kapasitas.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji kinerja teknologi gasifikasi TKS tipe *updraft* skala kecil yang hasil gasifikasinya dapat digunakan sebagai bahan bakar motor bakar dual fuel engine kapasitas 10 kW yang dihubungkan dengan dinamo listrik untuk menghasilkan listrik yang dapat memenuhi kebutuhan listrik 5-10 keluarga.

## BAHAN DAN METODE

### Cara Melakukan Pengujian

Bahan uji menggunakan limbah perkebunan berupa tandan kosong buah kelapa sawit, dengan perlakuan pendahuluan meliputi pengecilan ukuran 5 – 8 cm dan pengeringan untuk menurunkan kadar air. Peralatan uji meliputi : timbangan, gas flowmeter, thermokopel tipe K, stopwatch, meteran, gas holder, thermometer, gelas ukur, air flowmeter, *combustion gas analyzer/croma gas analyzer*, *tachometer*



Gambar 1. Sketsa konfigurasi uji kinerja gasifikasi biomassa pada gasifier

### Prosedur pelaksanaan pengujian

Set-up percobaan seperti pada Gambar 1. Thermokopel ditempatkan pada zone drying (T4), pirolisis (T3), combustion (T2), grate (T1), keluaran gas dari gasifier (T5), dan keluaran gas dari gas cooling & filter (T6).

Uji kinerja dilakukan dengan memasukkan bahan untuk memenuhi tangki reactor dan hopper pada kapasitas penuh. Pada bagian bawah tangki (zona combustion), dilakukan pembakaran awal (*first ignition*). Lubang pembakaran awal kemudian ditutup dan blower masukan udara dinyalakan. Asap tebal akan keluar dari bagian kompor pembakar gas (*gas combustor*). Tergantung kadar air dan ukuran bahan, pada kadar air rendah (< 15% w.b), gas dari hasil gasifikasi akan terbakar setelah beberapa menit dari awal pembakaran. Biomass akan terbakar sedikit demi sedikit sampai tersisa arang. Pengambilan sampel gas dilakukan setelah nyala gas stabil.

Pengamatan dilakukan pada proses gasifikasi, yaitu kapan saatnya gas mulai terjadinya, lamanya proses gasifikasi berlangsung, dan jumlah volume gas yang dihasilkan. Juga dilakukan pengamatan suhu pada zona proses (*pengeringan, pirolisis, reduksi combustion*), suhu gas keluaran dari tangki gasifier, suhu

gas keluaran setelah pembersihan, dan setelah pendinginan gas. Debit aliran gas diukur dengan gas flowmeter dan komposisi gas dianalisis dengan menggunakan gas chromatograph.

Gas yang keluar dari gasifier dibersihkan dari tar oleh cyclone kemudian gas tersebut dapat dibakar pada gas combustor. Apabila akan digunakan sebagai bahan bakar dual fuel engine, terdapat kran (valve) yang mengarahkan gas masuk ke ruang filter. Filter yang digunakan adalah tipe packed bed filter dan filter foam sebanyak 8 buah dengan ukuran 45 dan 60 ppi yang disusun berselang-seling. Gas yang keluar dari filter, kemudian dimasukkan ke dalam ruang bakar engine melalui masukan udara engine yang telah dimodifikasi. Uji kinerja filter dan cyclone dilakukan dengan mengukur volume tar cairan yang terdapat pada cyclone dan bagian bawah filter serta mengukur perbedaan berat filter foam sebelum dilakukan filtrasi dan sesudah dilakukan filtrasi. Pendugaan berat partikel yang terperangkap dalam filter diukur dengan menimbang berat filter sebelum dan setelah proses gasifikasi.

### Pengujian Beban Berkesinambungan Prototipe Gasifier

Uji prototipe dilakukan untuk mengetahui kinerja prototipe untuk pemakaian di lapangan dengan mengaplikasikan gas yang dihasilkan digunakan sebagai substitusi bahan bakar solar yang digunakan oleh dual fuel engine. Parameter yang diamati di antaranya adalah : persentase penghematan bahan bakar solar oleh substitusi gas yang dihasilkan dan analisa gas buang dari dual fuel engine.

Efisiensi pengurangan konsumsi solar (DR) merupakan besaran pengurangan konsumsi solar pada engine dual fuel dibandingkan dengan konsumsi solar sepenuhnya (Umma et al., 2004) :

$$DR(\%) = \frac{DCR_{diesel} - DCR_{dual\ fuel}}{DCR_{diesel}} \times 100\%$$

dimana, DR (%) : efisiensi pengurangan konsumsi solar (%)  
DCR<sub>diesel</sub> : konsumsi solar pada mode solar (ml/jam)  
DCR<sub>dualfuel</sub> : konsumsi solar pada mode dual fuel (ml/jam)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Fungsional Gasifikasi Tandan Kosong sawit

Uji fungsional unit mesin gasifikasi dilakukan dengan menggunakan bahan baku tandan sawit yang telah terurai. Pada uji fungsional ini, target yang ingin dicapai adalah mengetahui apakah proses gasifikasi berhasil atau tidak. Keberhasilan proses gasifikasi ditandai dengan terbakarnya gas yang dihasilkan. Metode pengujian dilakukan dengan memasukkan ~ 6 kg tandan kosong sawit kering (Kadar air 14,3%) pada tiap kali uji. Karena sifat tandan kosong sawit yang kamba, maka bahan ditekan dengan pemberat berukuran 18,5 kg, untuk mencegah masuknya kelebihan udara di antara bahan yang dapat menyebabkan proses gasifikasi gagal. Data yang diambil dari uji fungsional ini adalah waktu mulai terbakarnya gas, lama pembakaran gas, berat bahan baku yang tidak terbakar, jumlah tar yang tersaring pada cyclone serta permasalahan dan kendala selama beroperasinya gasifier.



Gambar 1. Uji Fungsional Unit Gasifier

Hasil uji memperlihatkan bahwa pada awal penyalaan, gas terbakar setelah 1 menit 15 detik. Hasil uji gasifikasi tandan kosong sawit sebanyak 6 kg memperlihatkan data sebagai berikut :

Tabel 1. Uji fungsional gasifikasi 6 kg tandan kosong sawit

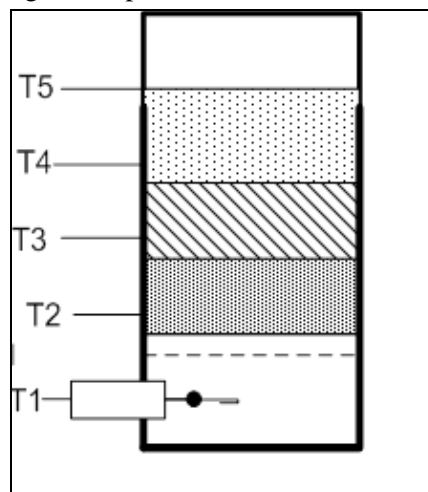
Ulangan	Lama Nyala gas	Jumlah Tar pada Cyclone	Sisa Bahan
1	18 menit 45 detik	182 ml	3,0 kg
2	17 menit 18 detik	192 ml	2,6 kg
3	22 menit 15 detik	150 ml	2,4 kg

### Uji kinerja gasifikasi

Uji kinerja gasifikasi dilakukan dengan melakukan gasifikasi menggunakan tandan kosong sawit dan campuran antara tandan kosong sawit dan batok kelapa.

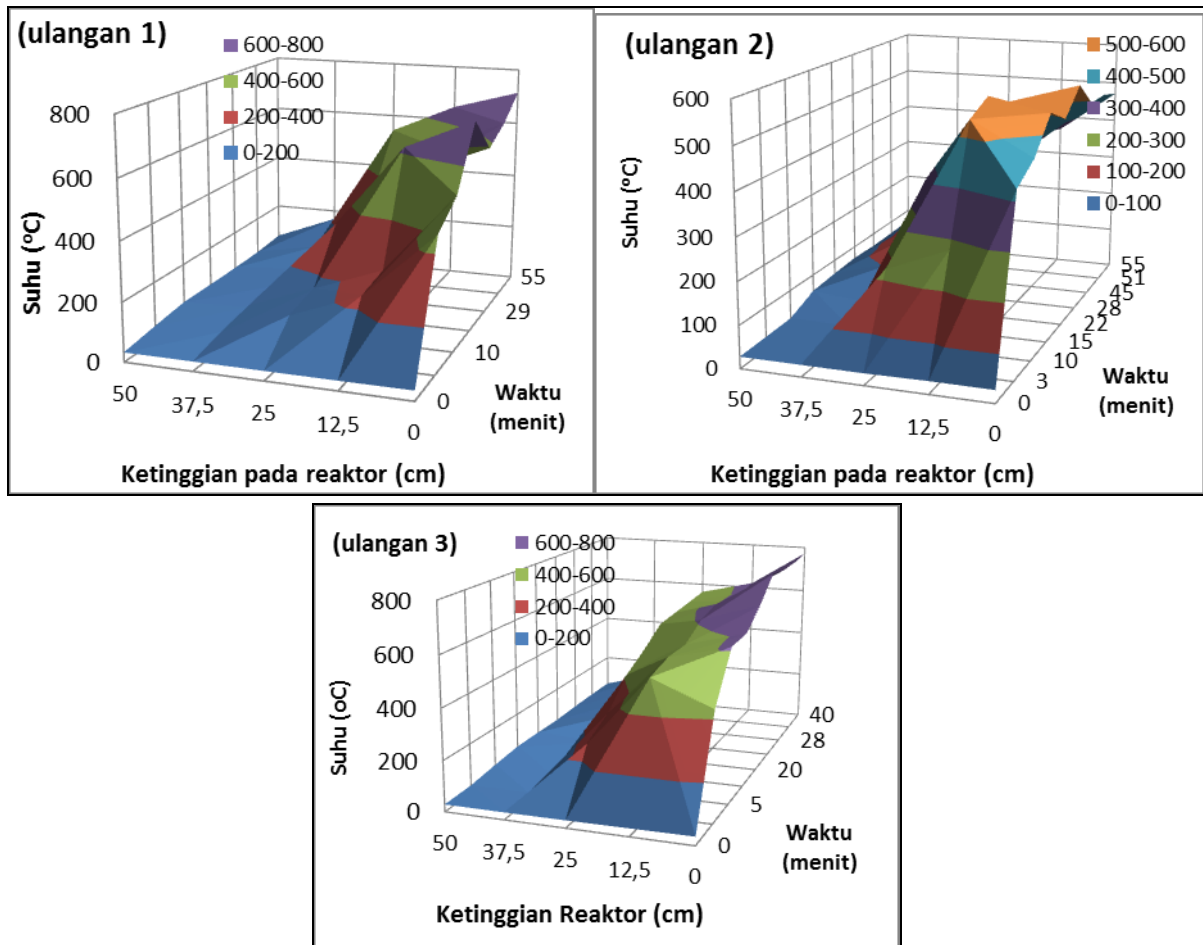
### Gasifikasi tandan kosong sawit

Tandan sawit yang digunakan mempunyai karakteristik kadar air rata-rata 12.6% w.b dan panjang cacahan tandan sawit rata-rata 83.2 mm. Uji kinerja dilakukan dengan menimbang bahan untuk memenuhi tangki reaktor pada kapasitas penuh (kurang lebih 6 kg). Untuk gasifikasi tandan kosong sawit, dilakukan penekanan dengan beban seberat 25 kg. Pada bagian bawah tangki (zona combustion), dilakukan pembakaran awal (first ignition). Lubang pembakaran awal kemudian ditutup dan blower masukan udara dinyalakan. Asap tebal akan keluar dari bagian kompor pembakar gas (gas combustor). Tergantung kadar air dan ukuran bahan, pada kadar air rendah (<15% w.b), gas dari hasil gasifikasi TKS akan terbakar setelah 3-4 menit dari awal pembakaran. Biomasa akan terbakar sedikit demi sedikit sampai tersisa arang. Pada saat bahan bakar habis dan yang tersisa hanya tinggal zona gasifikasi, bahan bakar tersebut akan langsung terbakar, sehingga kualitas gas yang dihasilkan rendah dan sulit terbakar. Apabila akan dilanjutkan perlu adanya masukan bahan. Dalam hal ini otomatisasi masukan bahan perlu untuk dilakukan ke depan, mengingat pemasukan secara manual dengan membuka tutup bagian atas sangat berbahaya. Selain dapat terbakar dengan mudah, gas yang terhirup bersifat racun.



Gambar 3. Titik pengukuran profile suhu selama gasifikasi

Pengukuran profile temperatur selama berlangsungnya gasifikasi dilakukan pada 5 titik ketinggian gasifier dengan titik acuan dasar titik tengah pipa pembakaran awal (Gambar 3.) Uji kinerja gasifikasi tandan kosong sawit dilakukan 3 ulangan, hasil uji kinerja gasifikasi tandan kosong dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Profile suhu pada gasifikasi TKS

Pengambilan sample gas dilakukan setelah nyala kompor pembakar gas stabil. Hasil analisis komposisi gas sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil analisis komposisi gas pada gasifikasi tandan kosong sawit

H <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)
5.64	78.36	5.85	3.65	6.49

Total komposisi gas yang mudah terbakar (*combustible gases*) dan nilai kalor tertinggi (HHV dan LHV) dihitung dengan persamaan (Reed & Das, 1988) :

$$GAS_{comb} = (Y_{CO} + Y_{CH_4} + Y_{H_2}) \times 100\%$$

$$HHV_g = (Y_{CO} \times 13.1) + (Y_{CH_4} \times 41.2) + (Y_{H_2} \times 13.2)$$

$$LHV_g = (Y_{CO} \times 13.1) + (Y_{CH_4} \times 37.1) + (Y_{H_2} \times 11.2)$$

Di mana :  
 YCO : Fraksi mole karbon monoksida  
 YCH<sub>4</sub> : Fraksi mole methane  
 YH<sub>2</sub> : Fraksi mole Hidrogen

Berdasarkan data analisis komposisi *combustible gasses* yang dihasilkan sebesar 17,98%. Hasil perhitungan nilai kalor gas dengan menggunakan persamaan tersebut didapatkan nilai kalor tertinggi (HHV) adalah 4,18 MJ/Nm<sup>3</sup> dan nilai kalor terendah (LHV) 3,81 MJ/Nm<sup>3</sup>. Untuk dapat terbakar, gas harus mempunyai nilai kalor tertinggi (HHV) yang lebih dari 4 MJ/Nm<sup>3</sup> di setiap produksinya. Pengambilan sampel gas dilakukan pada 10 menit waktu penyalaan awal. Untuk mendapatkan data nilai kalor dan komposisi gas yang lebih bervariasi dapat dilakukan pada waktu penyalaan dengan selang waktu tertentu, sehingga didapatkan nilai kalor maksimumnya.

Efisiensi konversi energi gas merupakan efisiensi konversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas, yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{gas} = \frac{m_{gas}HHV_{gas}}{m_{fuel}HHV_{fuel}}$$

- Di mana :
- $m_{gas}$  = laju aliran masa gas yang dihasilkan (kg/det)
  - $HHV_{gas}$  = nilai kalor tinggi gas (MJ/kg)
  - $m_{fuel}$  = laju aliran masa tandan kosong sawit (kg/det)
  - $HHV_{fuel}$  = nilai kalor tinggi tandan kosong sawit (MJ/kg)

Laju aliran masa gas diperkirakan dari kesetimbangan masa N<sub>2</sub> (Jaojaruek et al., 2011) sebagai berikut:

$$m_{gas}y_{n_2,g} = m_f y_{n_2,f} + m_a y_{n_2,a}$$

- Di mana :
- $m_{gas}$  = laju masa aliran gas yang dihasilkan (kg/det)
  - $y_{n_2,g}$  = fraksi masa nitrogen pada gas
  - $m_f$  = laju aliran masa bahan bakar (kg/det)
  - $y_{n_2,f}$  = fraksi masa nitrogen pada bahan bakar
  - $m_a$  = laju masa aliran udara
  - $y_{n_2,a}$  = fraksi masa nitrogen di udara

Hasil perhitungan kesetimbangan masa nitrogen menunjukkan laju aliran masa gas sebesar 0.08 kg/detik. Perhitungan selengkapnya disajikan pada Lampiran 4. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi konversi energi sebesar 62.63%. Sisa pembakaran berupa arang yang tertinggal dihitung beratnya. Konsumsi tandan kosong sawit per jam rata-rata 11 kg/jam dan sisa pembakaran berupa arang seberat 3.5 kg. Analisis komposisi arang tandan kosong sawit sisa pembakaran sebagai berikut :

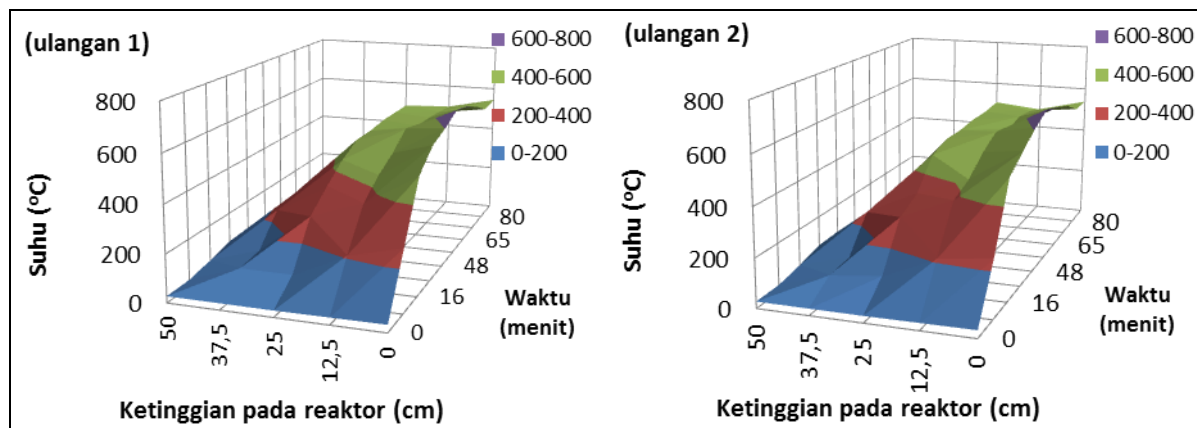
Tabel 3. Komposisi arang tandan kosong sawit sisa gasifikasi

Parameter of Analysis	Sample Code		Standard Method
	Solid Waste of Gasification		
Ultimate Analysis			
% Carbon	( C )	59.66	ASTM D-5373-08
% Hydrogen	( H )	2.99	
% Nitrogen	( N )	2.25	
% Oxygen	( O )	35.1	

### Gasifikasi campuran tandan kosong sawit+batok kelapa

Uji kinerja gasifikasi campuran tandan kosong sawit dan batok kelapa dimaksudkan untuk mengetahui adanya peningkatan kualitas dan kuantitas gas yang dihasilkan, selain juga batok kelapa berfungsi untuk penekanan tandan kosong sawit pada waktu proses gasifikasi.

Uji kinerja gasifikasi campuran tandan kosong sawit-batok kelapa dilakukan dengan mengisi setengah volume gasifier pada bagian bawah dengan tandan kosong sawit seberat 2.5 kg dan setengah volume gasifier di atasnya dengan batok kelapa seberat 9,5 kg. Ukuran chip batok kelapa yang digunakan rata-rata panjang 45,8 mm dan lebar 24,1 mm. Kadar air rata-rata 6,9% w.b. Uji kinerja gasifikasi tandan kosong sawit-batok kelapa dilakukan sebanyak 2 ulangan. Profile suhu selama berlangsungnya gasifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Profile suhu pada gasifikasi campuran TKS-batok kelapa

Pengambilan sample gas dilakukan setelah nyala kompor pembakar gas stabil. Hasil analisis komposisi gas pada gasifikasi campuran TKS-batok kelapa pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis komposisi gas pada gasifikasi campuran TKS-batok kelapa

H <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)
4.94	72.83	11.35	7.50	3.38

Total komposisi gas yang mudah terbakar (*combustible gases*) dan nilai kalor tertinggi (HHV dan LHV) dihitung dengan persamaan (Reed & Das, 1988) :

$$GAS_{comb} = (Y_{CO} + Y_{CH_4} + Y_{H_2}) \times 100\%$$

$$HHV_g = (Y_{CO} \times 13.1) + (Y_{CH_4} \times 41.2) + (Y_{H_2} \times 13.2)$$

$$LHV_g = (Y_{CO} \times 13.1) + (Y_{CH_4} \times 37.1) + (Y_{H_2} \times 11.2)$$

Di mana :  
 Y<sub>CO</sub> : Fraksi mole karbon monoksida  
 Y<sub>CH<sub>4</sub></sub> : Fraksi mole methane  
 Y<sub>H<sub>2</sub></sub> : Fraksi mole Hidrogen

Berdasarkan data analisis komposisi *combustible gasses* yang dihasilkan sebesar 19,67%. Hasil perhitungan nilai kalor gas dengan menggunakan persamaan tersebut didapatkan nilai kalor tertinggi (HHV) adalah 3.53 MJ/Nm<sup>3</sup> dan nilai kalor terendah (LHV) 3,29 MJ/Nm<sup>3</sup>. Pada gasifikasi campuran batok kelapa dan tandan kosong sawit, persentase *combustible gas* yang dihasilkan sedikit lebih tinggi dibandingkan gasifikasi tandan kosong sawit saja. Komposisi *combustible gas* yang dihasilkan lebih banyak mengandung karbon monoksida, sedangkan pada gasifikasi tandan kosong sawit saja, lebih banyak mengandung methane. Perbedaan komposisi gas ini dapat dipengaruhi banyak faktor seperti komposisi bahan bakar dan suhu reaksi



(Ghani et al., 2009). Sehingga pengambilan sampel gas sebaiknya dilakukan pada selang interval tertentu untuk mengetahui nilai kalor maksimumnya.

Tabel 5. Proximate & ultimate analisis Tandan Kosong Sawit dan Batok Kelapa

Karakteristik	TKS	Batok kelapa
Analisis Proksimate (% berat)		
- Kadar air (% BB)	55,60	4,89
- Kadar air (% BK)	5,18	-
- Kadar volatile	82,58	30,62
- Fixed Carbon	8,97	26,41
- Abu	3,45	42,98
Ultimate Analysis (% BK)		
- C	46,62	45,24
- H	6,45	5,04
- N	1,21	1,46
- S	0,035	0,06
- O	45,66	48,2
Nilai kalor HHV (MJ/kg)	17,02	16,07

Efisiensi konversi energi gas merupakan efisiensi konversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas, yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{gas} = \frac{m_{gas}HHV_{gas}}{m_{fuel}HHV_{fuel}}$$

Di mana :  $m_{gas}$  = laju aliran masa gas yang dihasilkan (kg/det)  
 $HHV_{gas}$  = nilai kalor tinggi gas (MJ/kg)  
 $m_{fuel}$  = laju aliran masa tandan kosong sawit (kg/det)  
 $HHV_{fuel}$  = nilai kalor tinggi tandan kosong sawit (MJ/kg)

Laju aliran masa gas diperkirakan dari kesetimbangan masa N<sub>2</sub> (Jaojaruek et al., 2011) sebagai berikut :

$$m_{gas}y_{n_2,g} = m_f y_{n_2,f} + m_a y_{n_2,a}$$

Di mana :  $m_{gas}$  = laju masa aliran gas yang dihasilkan (kg/det)  
 $y_{n_2,g}$  = fraksi masa nitrogen pada gas  
 $m_f$  = laju aliran masa bahan bakar (kg/det)  
 $y_{n_2,f}$  = fraksi masa nitrogen pada bahan bakar  
 $m_a$  = laju masa aliran udara  
 $y_{n_2,a}$  = fraksi masa nitrogen di udara

Hasil perhitungan kesetimbangan masa nitrogen menunjukkan laju aliran masa gas sebesar 0.099 kg/detik. Nilai efisiensi konversi energi gas sebesar 60.5%.

### Penggunaan gas pada dual fuel engine

Penggunaan gas pada dual fuel engine melewati tahapan filter gas untuk mengurangi partikel-partikel yang dapat menumpuk pada engine dan menyebabkan kerusakan pada engine. Selain itu, diharapkan terjadi pengurangan suhu gas sebelum masuk ke engine. Diharapkan suhu gas yang masuk ke engine tidak lebih dari 40°C. Gas juga harus bersih dari tar. Apabila suatu gasifikasi menghasilkan tar lebih dari 50 mg/Nm<sup>3</sup>, maka produk gasifikasi tersebut tidak dapat digunakan untuk aplikasi pada engine (Reed & Daas, 1988).

Penggunaan cyclone diharapkan dapat mengurangi tar dan partikel yang mempunyai ukuran > 10 µm, sebagai *prefilter* dan penurun suhu gas sebelum masuk ke filter. Kualitas gas yang diharapkan sebelum masuk ke engine seperti pada Tabel 6. (Pathak *et al.*, 2007).

Tabel 6. Kualitas gas digunakan pada engine

	IC engine	Gas turbine
Particles, mg N <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>	< 50	< 30
Particle size, µm	< 10	< 5
Tar, mg N <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>	< 100	
Alkali metals, mg N <sup>-1</sup> m <sup>-3</sup>		0.24

Sumber: Pathak *et al.*, 2007

Pada kegiatan ini, gas yang keluar dari gasifier dibersihkan dengan cyclone dan kemudian dapat dibakar pada gas combustor. Apabila akan digunakan sebagai bahan bakar dual fuel engine, terdapat kran (valve) yang mengarahkan gas masuk ke ruang filter. Filter yang digunakan adalah tipe *packed bed filter* dan *filter foam* sebanyak 8 buah dengan ukuran 45 dan 60 ppi yang disusun berselang-seling. Gas yang keluar dari filter, kemudian dimasukkan ke dalam ruang bakar engine melalui masukan udara *engine* yang telah dimodifikasi.

Uji kinerja *filter* dan *cyclone* dilakukan dengan mengukur volume tar/ cairan yang terdapat pada cyclone dan bagian bawah filter serta mengukur perbedaan berat filter foam sebelum dilakukan filtrasi dan sesudah dilakukan filtrasi. Data pengukuran volume tar pada uji kinerja gasifikasi TKS dan gasifikasi campuran TKS-batok kelapa serta perbedaan berat filter pada kedua uji tersebut seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Volume tar (ml) yang tertampung pada cyclone dan filter pada 1 jam proses gasifikasi

Bahan gasifikasi	Cyclone	Filter
Tandan kosong sawit	400	275
TKS – Batok kelapa	640	520

Pendugaan berat partikel yang terperangkap dalam filter diukur dengan menimbang berat filter sebelum dan setelah gasifikasi. Data pengukuran berat partikel yang terperangkap pada filter foam pada gasifikasi Tandan kosong sawit dan campuran TKS batok kelapa pada Tabel 8.

Tabel 8. Berat partikel yang terperangkap pada filter foam pada gasifikasi TKS dan campuran TKS-batok kelapa selama 1 jam (gram)

No Filter	Gasifikasi TKS	Gasifikasi TKS – batok kelapa
1	39.2	7.9
2	12.0	0.5
3	17.6	16.8
4	12.1	3.3
5	9.3	2.7
6	6.0	2.6
7	10.4	21.3
8	67.7	105.4

Konsumsi solar pada mode penggunaan solar saja dan mode dual fuel (solar- gas) diukur untuk mengetahui efisiensi pengurangan konsumsi solar. Efisiensi pengurangan konsumsi solar (DR) merupakan besaran pengurangan konsumsi solar pada engine dual fuel dibandingkan dengan konsumsi solar sepenuhnya (Umma *et al.*, 2004)

$$DR(\%) = \frac{DCR_{diesel} - DCR_{dualfuel}}{DCR_{diesel}} \times 100\%$$

Di mana DR (%) = Efisiensi pengurangan konsumsi solar (%)  
 DCR<sub>diesel</sub> = konsumsi solar pada mode solar (kg/jam)  
 DCR<sub>dualfuel</sub> = konsumsi solar pada mode dual fuel (kg/jam)

Hasil uji pada mode single fuel (penggunaan solar saja) dan mode dual fuel dengan tanpa beban dan menggunakan beban mendidihkan air menggunakan water heater sebesar 2100 watt selama 30 menit sebagai berikut:

Tabel 9. Data konsumsi solar (ml) pada mode solar dan mode dual fuel dan efisiensi pengurangan konsumsi solar (1500 RPM)

Bahan bakar gas	Tanpa Beban (TB)	Dengan Beban (DB)	Efisiensi (DR)	
			TB	DB
Mode dual fuel :	170	270	41.3%	30.8%
- Tandan kosong sawit	100	200	64.2%	48.7%
- TKS -batok kelapa	290	390		
Mode single fuel (solar)				

## KESIMPULAN

Uji fungsional gasifikasi tandan kosong sawit menghasilkan proses gasifikasi dapat berlangsung, yang diindikasikan dengan terbakarnya gas hasil gasifikasi. Namun demikian, gasifikasi tandan kosong sawit pada tipe *fixed bed* masih menyisakan banyak bahan baku yang belum tergasifikasi. Hasil uji thermogravimetric memperlihatkan titik combustion yang rendah (650 °C) sehingga menyebabkan bahan lebih mudah terbakar dibandingkan tergasifikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2003. Gasification fuels. Electronic source book. ([www.fao.org/docrep/t0512e/t0512e0b.htm](http://www.fao.org/docrep/t0512e/t0512e0b.htm)).
- Barneto, A. G., Carmona, J. A., Alfonso, J. A., & Serrano, R. S. 2010. Simulation of thermogravimetry analysis of three non-wood pulps. *Bioresource Technology*, 101, 3220-3229.
- Erlich, C., & Fransson, T. H. 2011. Downdraft gassification of pellets made of wood, palm-oil residues respctive bagasse : Experimental study. *Applied Energy*, 88 (3), 899-908.
- G. Sridhar, P. P. 2001. Biomass derived producer gas as a reciprocating engine fuel - an experimental study. 21, 61-72.
- Inayat, A., Ahmad, M. M., Mutalib, M. A., & Yusup, S. 2012. Process modeling for parametric study on oil palm empty fruit bunch steam gasification for hydrogen production. 93 (1), 26-34.
- Lahijani, P., & Zainal, Z. A. 2011. Gassification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed :A performance and agglomeration study. *Bioresource Technology* (102), 2068-2076.
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Review paper, *Bioresource Technology* (83) : 56-63

- Mohammed, M., A. S., Azlina, W. W., Amran, M. M., & A Fakhru'l-Razi, 2. 2011. Air gasification of empty fruit bunch for hydrogen-rich gas production in a fluidized bed reactor. *Energy Conversion and Management* , 52 (February 2011), 1555-1561.
- Mohammed, M., Salmiaton, A., Azlina, W. W., & Amran, M. 2012. Gasification of oil palm empty fruit bunches : A characterization and kinetic study. *Bioresource Technology* , xxx-xxx.
- Ogi, T., Nakanishi, M., Fukuda, Y., & Matsumoto, K. 2010. Gasification of oil palm residues (empty fruit bunch) in an entrained-flow gasifier. *Fuel* .
- Prastowo, B., & Purwantana, B. 2011. *Laporan Akhir Kegiatan :DIVERSIFIKASI TANDAN KOSONG DAN HASIL KELAPA SAWIT UNTUK BIOFUEL GENERASI 2 DAN REDUKSI 3-MC*. Bogor: Pusat Penelitian Perkebunan.
- SERI. 1988. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier*. Colorado USA: Solar Energy Research Institute US Government.
- Uemura, Y., Omar, W., Othman, N. A., Yusup, S., & Tsutsui, T. 2011. Torrefaction of oil palm EFB in the presence of oxygen. *Fuel* , xxx-xxx.
- Uma R; TC Kandpal; VVN Kishore. 2004. Emmission characteristic of an electricity generation system in diesel alone and dual fual modes. *Biomass & Bioenergy* , 27, 195-203.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D., Liang, D., & Zheng, C.2006. Pyrolysis of palm oil wastes for enhanced production of hydrogen rich gases. *Fuel Processing technology* , 87, 935-944.
- Quaak P., Knoef H. and Stassen H. 1999. Energy from biomass, A Review of Combustion and Gasification Technologies. Technical paper no 422, World Bank, Washington, USA.