

ANALISIS THERMOGRAVIMETRY LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT DAN POTENSI KONVERSINYA MENJADI GAS BAKAR

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS ON PALM SOLID WASTE AND ITS CONVERSION POTENTIAL AS FUEL GAS

Slamet Raharjo

Laboratorium Buangan Padat Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas

E-mail: sraharjo@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Indonesia adalah negara pengekspor CPO (crude palm oil) terbesar kedua di dunia. Produk sampingan dari prosesing CPO yang berupa limbah padat yaitu cangkang, serat dan tandan kosong sawit (TKS) ini bisa dijadikan alternatif sumber energi terbarukan. Gasifikasi adalah teknologi yang layak untuk konversi limbah padat karena memenuhi standar emisi dan memberikan efek minimasi penggunaan lahan TPA. Penelitian ini bertujuan untuk memahami potensi konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bahan bakar gas (H_2 dan CO) dengan proses gasifikasi. Penelitian dilakukan dengan eksperimen termogravimetri terhadap 3 jenis limbah padat kelapa sawit untuk menganalisis karakteristik gasifikasi limbah padat tersebut. Untuk memahami komposisi bahan bakar gas yang dihasilkan, dilakukan simulasi proses gasifikasi dengan menggunakan software kesetimbangan kimia HSC Chemistry 5.1. Hasil termogravimetri menunjukkan bahwa kandungan fix carbon (FC) dan fuel ratio dalam cangkang lebih besar dari serat dan tandan kosong sawit (TKS). Kandungan volatile matter (VM) TKS lebih besar dari serat dan cangkang. Hal ini mengakibatkan produksi gas CO cangkang kelapa sawit lebih besar dibanding serat dan TKS, sebaliknya produksi gas H_2 dari TKS lebih tinggi dibandingkan cangkang dan serat. Berdasarkan hasil perhitungan kesetimbangan kimia, dapat disusun skema reaksi gasifikasi limbah padat kelapa sawit sebagai berikut: $CxHy + aCO_2 \rightarrow (x+a)CO + y/2H_2$.

Kata Kunci: limbah padat CPO, gasifikasi, bahan bakar gas, volatile matter (VM), fix carbon (FC)

ABSTRACT

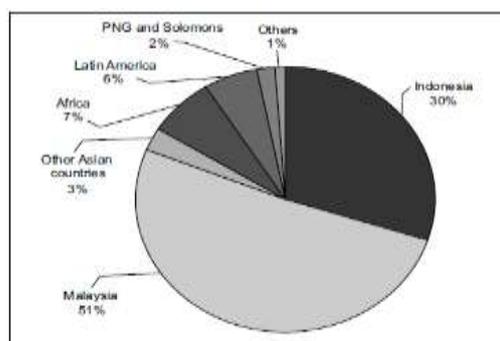
Indonesia is the second largest CPO (crude palm oil) exporting countries in the world. CPO processing generates solid wastes including shell, fiber and empty fruit bunche (EFBs), which can be used as alternative sources of renewable energy. Gasification is feasible technology to convert solid waste because it can meet the emission standard and minimize landfill application. This paper studies the potency of palm solid waste conversion to fuel gases (H_2 and CO) through gasification proces. This research was carried out by thermogravimetric experiments on three kinds of palm solid waste to understand their gasification characteristics. Chemical equilibrium calculations of gasification process was carried out by using HSC Chemistry 5.1 software to understand the fuel gas composition. Thermogravimetric analysis suggested that the fix carbon (FC) content and fuel ratio of shell was higher than those of fiber and EFBs. Whereas, volatile matter (VM) content of EFBs was higher than that of fiber and shell. It caused CO production of shell was higher than that of fiber and EFBs, otherwise, the H_2 production of EFBs was higher than that of shell and fiber. Based on chemical equilibrium calculation, gasification reaction scheme of palm solid waste can be arranged as follows: $CxHy + aCO_2 \rightarrow (x+a)CO + y/2H_2$.

Keywords: CPO solid waste, gasification, fuel gas, volatile matter (VM), fix carbon (FC).

PENDAHULUAN

Pada masa order baru, pembangunan perkebunan kelapa sawit diarahkan untuk menciptakan lapangan kerja, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menghasilkan devisa negara. Pada masa itu, pemerintah Indonesia terus mendorong pembukaan lahan baru untuk perkebunan kelapa sawit hingga tahun 1980, sehingga mencapai luas lahan 294.560 Ha dengan produksi CPO (*Crude Palm Oil*) sebesar 721.172 ton. Sejak itu perkebunan kelapa sawit terus berkembang dengan pesat, terutama perkebunan kelapa sawit rakyat (Hidayanto, 2011)

Gambar 1 menunjukkan produksi CPO dunia oleh beberapa negara utama. Terlihat bahwa Indonesia merupakan negara pengekspor CPO terbesar kedua setelah Malaysia.



Gambar 1 Produksi CPO di Beberapa Negara di Dunia (*sumber: Anne Casson, 2000*)

Indonesia termasuk negara utama pengekspor CPO terbesar di dunia dengan produksi CPO hingga 19,8 juta ton pada tahun 2009. (Hidayanto, 2011).

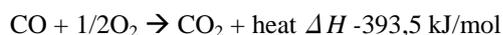
Proses produksi selalu menghasilkan produk sampingan yang bersifat limbah. Begitu juga proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi *crude palm oil*

(CPO), yaitu menghasilkan produk sampingan yang berupa biomassa dengan jumlah yang sangat besar. Produk sampingan dari prosesing CPO adalah serat (*mesocarp fiber*), cangkang (*palm kernel shell*), tandan kosong sawit (*empty fruit bunches*) dan limbah cair (*palm oil mill effluent*). Diperkirakan pada tahun 2015, tandan kosong sawit (TKS), serat, cangkang dan limbah cair (POME) akan dihasilkan berurutan 23.940.361; 16.416.248; 7.318.910; dan 66.485.803 ton. Limbah kelapa sawit merupakan sumber biomassa yang potensial untuk bioenergi. Kenyataan ini menunjukkan bahwa kuantitas, penyebaran dan kontinuitas biomassa dari produk sampingan pemrosesan CPO bisa dijadikan alternatif sumber energi terbarukan (Hambali dkk, 2010).

Diantara teknologi konversi limbah padat menjadi energi adalah proses gasifikasi. Gasifikasi dikenal sebagai teknologi yang bersih dan efisien dalam mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar gas. Teknologi ini sudah cukup luas digunakan di negara maju untuk mengkonversi limbahnya menjadi energi listrik. Arena telah mereview aspek proses dan teknologi dari gasifikasi limbah padat. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa gasifikasi adalah pilihan teknologi yang layak untuk konversi limbah padat karena memenuhi standar emisi dan memberikan efek pengurangan lahan TPA yang sangat signifikan (Arena, 2012). Dalam pengembangan teknologi gasifikasi,

penambahan katalis akan memberikan efek positif terhadap kecepatan reaksi dan penurunan temperatur operasi. Hal ini ditunjukkan pada penelitian kami sebelumnya yaitu dengan penambahan katalis alkali karbonat mengakibatkan reaksi gasifikasi dapat berlangsung dalam kisaran temperatur 900 °C (Raharjo dkk, 2009).

Hidrogen dan karbon monoksida merupakan bahan bakar gas yang akan melepaskan energi (panas) ketika bereaksi dengan oksigen. Energi ini dapat digunakan pada gas turbin, atau untuk memproduksi *steam* (uap air) yang dapat digunakan pada *steam turbine*, untuk memproduksi listrik. Reaksi pembakaran adalah sebagai berikut:



(<http://kinetics.nist.gov/janaf/Search>)

Penelitian ini bertujuan untuk memahami potensi konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bahan bakar gas (H_2 dan CO) dengan proses gasifikasi yang dilengkapi katalis alkali karbonat.

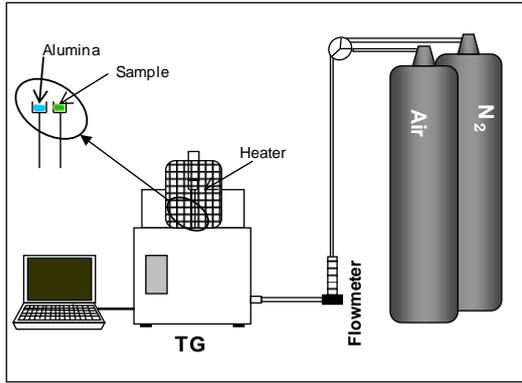
METODOLOGI

Analisis thermogravimetry (TG) dilakukan untuk mengetahui komposisi *volatile matter* dan *fix carbon* terhadap limbah padat dari prosesing CPO yang terdiri dari serat, cangkang, tandan kosong sawit (TKS). Hasil analisis thermogravimetry ini digunakan untuk menganalisis karakteristik gasifikasi limbah padat kelapa sawit. Skema peralatan untuk analisis thermogravimetry yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2. Pertama, dialirkan gas nitrogen dengan *flowrate* 500 ml/menit

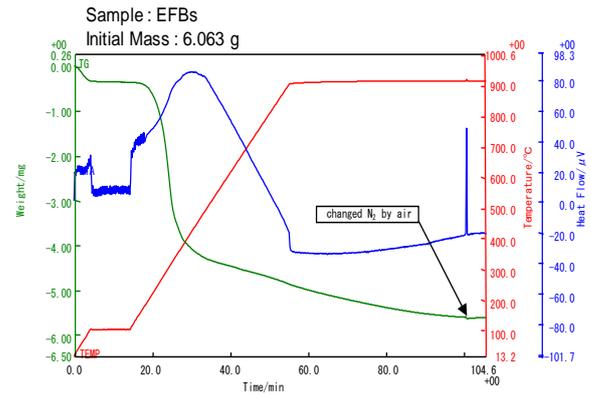
ke dalam *furnace* TG. Kemudian sampel dengan ukuran partikel 500 μm dimasukkan kedalam pan platina yang berada di dalam *furnace*. Temperatur dinaikkan dengan *rate* 20 K/menit dengan profil temperatur dipertahankan selama 10 menit pada 107 °C dan selama lebih dari 30 menit pada 900 °C. Pengurangan fraksi massa sampel selama eksperimen dicatat.

Selanjutnya *ultimate analysis* juga dilakukan untuk memahami komposisi kimia elementer dari ketiga jenis limbah padat kelapa sawit tersebut. Dalam penentuan komposisi C, H dan N, digunakan alat CHN *corder*. Kandungan sulfur dianalisis dengan menggunakan *EMIA Analyzer Horiba*, sedangkan kandungan oksigen ditentukan dengan perhitungan *balance*. Komposisi kimia elementer ini digunakan untuk melakukan simulasi proses gasifikasi dengan menggunakan gas CO_2 sebagai reaktan gasifikasi dan katalis alkali karbonat untuk menghasilkan gas bakar (H_2 dan CO) dengan menggunakan software kesetimbangan kimia *HSC Chemistry 5.1* yang dikembangkan oleh *Outokumpu Research Oy*.

Sampel biomassa yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat kelapa sawit dari perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Agam, Propinsi Sumatra Barat. Sedangkan komposisi katalis yang digunakan adalah 43 mol% Na_2CO_3 dan 57 mol% K_2CO_3 .



Gambar 2. Skema Peralatan Penelitian



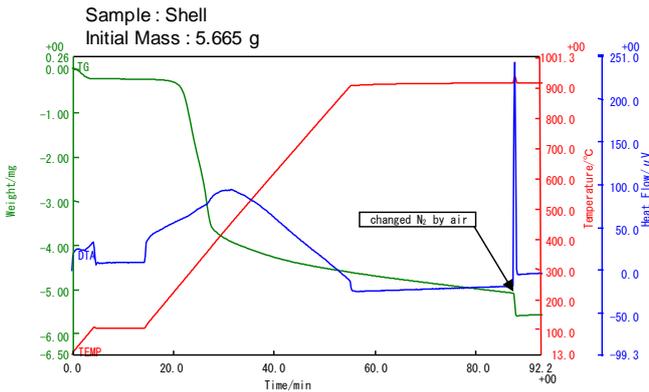
(c)

HASIL DAN PEMBAHASAN
Analisis Thermogravimetry

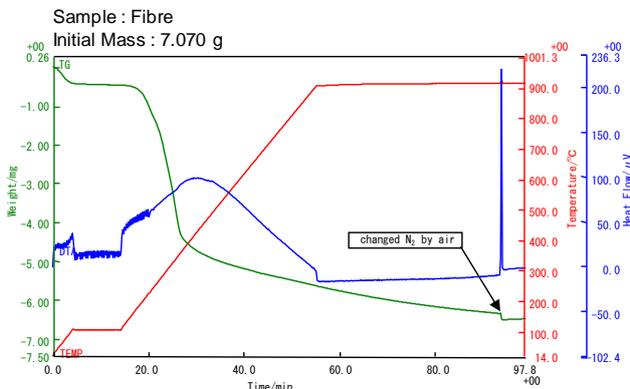
Gambar 3a, 3b dan 3c berikut menampilkan hasil analisis thermogravimetri terhadap cangkang, serat dan tandan kosong limbah kelapa sawit.

Gambar 3. Hasil thermogravimetry untuk (a) cangkang; (b) serat; (c) tandan kosong kelapa sawit (TKS).

Berdasarkan Gambar 3 di atas, maka dapat disusun data-data hasil analisis thermogravimetri sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1



(a)



(b)

Tabel 1. Data hasil analisis thermogravimetri limbah padat kelapa sawit

Sampel		Limbah padat kelapa sawit		
		Cangkang	Serat	TKS
Moisture	wt %	4,52	6,69	6,00
VM	Air dry	82,86	84,00	84,92
FC		11,02	2,71	1,48
Ash		1,61	8,40	7,59
Fuel ratio		0,13	0,03	0,02

VM: Volatile matter

FC: Fix Carbon

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 1 di atas dapat dijelaskan bahwa kandungan *moisture* akan hilang pada suhu 107 °C, selanjutnya terjadi devolatilisasi materi organik hingga mencapai suhu 900 °C didalam nitrogen atmosfer. Ketika nitrogen diganti dengan udara, maka akan terjadi proses pembakaran terhadap *fix*

carbon atau *char* yang ditunjukkan dengan terlepasnya panas (kurva biru). Dari Tabel 1 terlihat bahwa kandungan *fix carbon* (FC) dan fuel ratio dalam cangkang lebih besar dibandingkan serat dan tandan kosong sawit (TKS). Sedangkan kandungan *volatile matter* (VM) TKS lebih besar dibandingkan serat dan cangkang. Dalam proses gasifikasi, kandungan *fix carbon* (FC) yang tinggi akan menyebabkan produksi gas CO yang tinggi, sedangkan kandungan *volatile matter* (VM) yang tinggi menyebabkan tingginya produksi hidrogen (Raharjo dkk, 2009). Dari ketiga limbah, sesuai dengan nilai *fuel ratio*, maka cangkang limbah padat kelapa sawit memiliki nilai energi yang paling tinggi.

Potensi konversi limbah padat kelapa sawit

Tabel 2 berikut ini menampilkan hasil *ultimate analysis* yang menjelaskan komposisi elementer ketiga jenis limbah padat kelapa sawit.

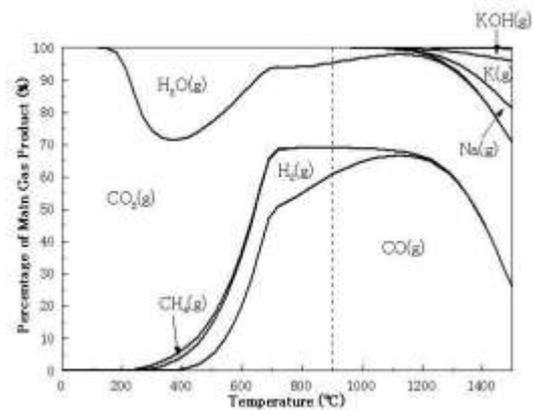
Tabel 2. Data hasil *ultimate analysis* limbah padat kelapa sawit

Sampel		Limbah padat kelapa sawit		
		Cangkang	Serat	TKS
C	wt	49,37	45,08	44,10
H	%	5,65	6,10	6,41
N	d.a.f	0,44	1,61	1,21
S		0,02	0,15	0,11
O		44,52	47,06	48,17
H/C		1,37	1,62	1,67

d.a.f: *dry ash free*

Data komponen elementer ketiga jenis limbah menjadi input utama untuk melakukan simulasi kesetimbangan kimia proses gasifikasi dengan penambahan katalis alkali karbonat. Ketiga jenis limbah memberikan hasil simulasi dengan

kecenderungan yang hampir sama sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 4.



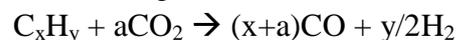
Gambar 4. Simulasi komposisi bahan bakar gas dari proses gasifikasi limbah padat kelapa sawit dengan menggunakan katalis alkali karbonat.

Secara lebih detil, konsentrasi bahan bakar gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi ketiga jenis limbah padat kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Konsentrasi bahan bakar gas

Gas	Konsentrasi (Vol.%) pada 900 °C		
	Cangkang	Serat	TKS
H ₂	7,6	7,4	8,2
CO	62,4	60,7	60,2

Tabel 2 menjelaskan bahwa cangkang limbah padat kelapa sawit memberikan konsentrasi CO paling tinggi (62,4 vol.%) dibandingkan serat dan TKS karena kandungan *fix carbon* (FC) cangkang paling tinggi. Sedangkan TKS menghasilkan gas hidrogen paling tinggi (8,2 vol.%) karena memiliki kandungan *volatile matter* (VM) yang paling tinggi. Berdasarkan hasil di atas dapat disusun skema reaksi sebagai berikut:



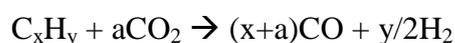
SIMPULAN

Penelitian kali ini bertujuan untuk memahami potensi konversi limbah padat kelapa sawit menjadi bahan bakar gas (H₂ dan CO) dengan proses gasifikasi yang dilengkapi katalis alkali karbonat.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kandungan *fix carbon* (FC) dan *fuel ratio* (11,02 wt% dan 0,13) dalam cangkang lebih besar dibandingkan serat (2,71 wt% dan 0,03) dan tandan kosong sawit (TKS) (1,48 wt% dan 0,02). Sedangkan kandungan volatile matter (VM) TKS (84,92 wt%) lebih besar dibandingkan serat (84 wt%) dan cangkang (82,86 wt%). Hal ini mengakibatkan produksi gas CO cangkang kelapa sawit lebih besar dibanding serat dan TKS, sebaliknya produksi gas hidrogen dari TKS lebih tinggi dibandingkan cangkang dan serat.

Dari ketiga limbah, sesuai dengan nilai *fuel ratio*, maka cangkang limbah padat kelapa sawit memiliki nilai energi yang paling tinggi.

Berdasarkan hasil perhitungan kesetimbangan kimia, dapat disusun skema reaksi gasifikasi limbah padat kelapa sawit sebagai berikut:



DAFTAR PUSTAKA

- Arena, U. 2012. *Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review*, Waste Management, Vol. 32, 625–639
- Casson, A. *The Hesitant Boom: Indonesia's Oil Palm Sub-Sector in an Era of Economic Crisis and Political Change*, Occasional Paper No. 29, June 2000, Center for International Forestry Research.
- Hambali, A. Thahar, A. Komarudin, *The Potential Of Oil Palm and Rice Biomass as Bioenergy Feedstock*, 7th Biomass Asia Workshop, November 29 – December 01, 2010, Jakarta, Indonesia.
<http://kinetics.nist.gov/janaf/Search>; akses terakhir 12 September 2012.
- Hidayanto, M. 2010. *Limbah Kelapa Sawit sebagai Sumber Pupuk Organik dan Pakan Ternak*, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur
- Raharjo, S., Takuwa, S., Iwasaki, S. Yoshiie, R., Naruse, I. 2009. *Gasification and desulfurization characteristics of carbonaceous materials in molten alkali carbonates*, Journal of Environment and Engineering (JEE) The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME), 4 (2), 386–394