

PERHITUNGAN NILAI KALOR BERDASARKAN KOMPOSISI DAN KARAKTERISTIK SAMPAH PERKOTAAN DI INDONESIA DALAM KONSEP *WASTE TO ENERGY*

HEATING VALUE BASED ON COMPOSITION AND CHARACTERISTICS OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN INDONESIA IN WASTE TO ENERGY CONCEPT

Dian Marya Novita¹ dan Enri Damanhuri²

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 4013

¹dianmarya@yahoo.com, ²e_damanhuri@ftsl.itb.ac.id

Abstrak: Adanya perbedaan mendasar pada komposisi dan karakteristik sampah perkotaan menjadikan teknologi pengolahan tidak berjalan dengan efektif dan efisien. Teknologi yang mendukung konsep waste to energy sangat mementingkan nilai kalor sampah yang akan diolah. Pada percobaan ini, setiap komponen yang menyusun sampah akan dihitung nilai kalornya dengan bom kalorimeter, dan dibandingkan dengan nilai kalor dari perhitungan proximate analysis, dan perhitungan ultimate analysis dengan persamaan Dulong. Selain itu, karakteristik fisik seperti kadar air sampah, kandungan materi volatile, fixed carbon dan abu juga akan diukur dan dibahas mengenai pengaruhnya terhadap nilai kalor. Dengan menggunakan data komposisi sampah suatu kota yang ada, HHV dapat diketahui dengan perhitungan komposisi fisik dan nilai kalor tiap komponen sampah yang didapat dari percobaan ini. LHV juga dapat dihitung dari persamaan, untuk kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan pemilihan teknologi waste to energy yang layak digunakan.

Kata kunci : karakteristik sampah, nilai kalor, sampah perkotaan, waste to energy

Abstract: Basic differences of municipal solid wastes (MSW) composition and characteristic have led to ineffective and inefficient MSW treatment technology practices. Technologies applied in waste to energy concept highly require heating value data of MSW. In this research, the heating value of each of waste component that construct MSW will be measured by bomb calorimeter, and compared to the heating value by the proximate analysis, and ultimate analysis utilizing Dulong equation. The physical characteristics of each component of MSW, such as moisture content, volatile matter, fixed carbon and ash will be measured and its correlation to the heating value will be discussed. Using waste composition, and each waste component's heating value in this research, the HHV and LHV can be calculated and can be used as consideration to choose the feasible waste to energy technology.

Key words: heating value, municipal solid waste, waste characterization, waste to energy

1. PENDAHULUAN

Laju timbunan sampah dipengaruhi oleh pertumbuhan sosial-ekonomi, tingkat industrialisasi dan iklim. Ditambah dengan adanya faktor eksternal seperti lokasi geografi, standar hidup masyarakat, sumber energi dan cuaca, juga mempengaruhi komposisi sampah yang dihasilkan (Nguyen, 2009). Teknik pengolahan konvensional tidak dapat menyelesaikan permasalahan ini karena terbentur kebutuhan ruang, biaya dan timbunan lindi (Dong, Trang.T.T, 2009; Narayana,T. 2009; Visvanathan, C). Saat ini, ada banyak teknologi pengolahan baru yang dikembangkan dan diterapkan di negara maju. Namun teknologi ini tidak selalu tepat dan berjalan dengan efektif ketika diterapkan di negara berkembang, terutama karena rendahnya nilai kalor sampah dan mahal investasi dan operasi (Narayana, 2009;Damanhuri,2006).

Di sisi lain, kebutuhan akan energi semakin tinggi, namun sumber daya yang tersedia semakin berkurang (Marya Novita, 2009). Dibutuhkan energi alternatif yang dapat menggantikan sumber daya tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Energi ini dapat digantikan oleh energi yang terkandung di dalam sampah, dikenal dengan konsep *waste to energy*. Proses *waste to energy* (WTE) adalah proses rekoveri energi dari limbah melalui pembakaran langsung (insinerasi, pirolisis, dan gasifikasi), atau dengan produksi bahan bakar dalam bentuk metan, hidrogen, dan bahan bakar sintetik lainnya (*anaerobic digestion, mechanical biological treatment, refused-derived fuel*) (Cheng, Hefa and Yuanan Hu. 2010). Karena kaitannya dengan energi, nilai kalor sampah menjadi parameter penting.

Insinerasi mengacu pada pembakaran materi limbah dan meninggalkan residu abu dan menimbulkan emisi udara (Narayana, 2009). Insinerasi masih banyak dilakukan karena dapat menghancurkan beberapa materi kimia yang tidak dapat dilakukan oleh metode lain, lebih cepat dan dapat mengurangi volume lebih besar (USEPA, 2002). Nilai kalor minimal yang dibutuhkan untuk proses insinerasi adalah 1500 kcal/kg, sedangkan nilai kalor sampah di Indonesia hanya mencapai 1000 kcal/kg (Damanhuri, 2006).

Untuk meningkatkan proses pembakaran, sampah terbakar dipisahkan dan diproses untuk dijadikan *refuse derived fuel* (RDF) yang lebih seragam dalam ukuran partikelnya dan lebih tinggi nilai kalornya daripada MSW yang tidak diproses terlebih dahulu (Wenchao Ma, et.al.,2010). Di Indonesia sendiri, pemanfaatan sampah sebagai RDF telah dilakukan dalam beberapa sektor industri terutama industri semen(*co-firing*) namun masih terbatas pada limbah ban, gabah padi, serbuk kayu, lumpur minyak, dan lain-lain (Indocement, 2008).

Pada banyak penelitian, nilai kalor ditentukan dengan percobaan bom kalorimeter. Tchobanoglous (1993) menjabarkan secara spesifik nilai kalor dari komponen penyusun sampah. Namun data ini tidak selalu tepat digunakan dalam perhitungan nilai kalor di Indonesia, terutama dikarenakan perbedaan mendasar dari komposisi, karakteristik fisik dan kimia, dan lokasi pengambilan MSW. Di sisi lain, perhitungan nilai kalor sampah keseluruhan dengan bom kalorimeter tidak selalu memberikan hasil yang akurat karena sampel yang representatif (Kathiravale, et.al. 2003). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisa karakteristik, komposisi fisik, dan perhitungan nilai kalor komponen penyusun sampah secara spesifik. Dengan ketelitian yang lebih tinggi, diharapkan dari data ini, nilai kalor sampah kota di Indonesia dapat diukur dengan lebih mudah. Akan dibahas juga kemungkinan *waste to energy* pada sampah kota Indonesia.

2. METODOLOGI

Persiapan sampel

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di sumber, dengan pertimbangan sampel belum mengalami banyak perubahan dibandingkan dengan sampah di TPA yang telah melalui proses pemadatan, pelindian maupun daur ulang. Didapat beberapa jenis komponen penyusun sampah yang paling banyak ditemukan, seperti sampah organik, kertas, tekstil dan plastik. Selanjutnya, komponen ini diklasifikasikan menjadi 28 komponen yang lebih spesifik, seperti PET, HDPE, PVC, dll untuk plastik; sampah makanan tercampur, sampah buah, daging, dll untuk organik, dan seterusnya. Sebagai bahasan tambahan, akan dilakukan percobaan terhadap kompos, karena adanya pertimbangan kemungkinan rekoveri energi dalam residu kompos yang biasanya dalam volume besar dibuang ke landfill.

Untuk mencegah terjadinya dekomposisi alami, terutama pada sampah organik, sampel sampah dimasukkan ke dalam pendingin atau *freezer*, dan juga disimpan dalam keadaan kering setelah pengeringan pada 105°C.

Karakteristik Sampah

Uji laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik tiap komponen sampah antara lain :

- Kadar air, dilakukan dengan pengeringan pada oven 105°C sampai berat sampel menjadi konstan.
- Kadar volatil, merupakan fraksi kering dari sampel yang hilang pada pemanasan 600°C (SKSNI-M-36-1991-0) dan pada 800°C (Vesilind,2002).
- *Fixed carbon*, didefinisikan sebagai fraksi dari materi kering sampel yang hilang saat pemanasan pada temperature 600°C dan 950°C.
- Abu, adalah residu yang tersisa dari sampel, yang diukur dengan mengurangi total fraksi kering dengan fraksi volatil dan *fixed carbon* sampel tersebut.

Nilai kalor

Di laboratorium, nilai kalor ditentukan dengan percobaan bom kalorimeter, 1 gram sampel dimasukkan ke dalam bom, dan dikontakkan dengan kawat yang menghantarkan arus listrik. Bom ditutup dan diberikan oksigen pada tekanan tinggi. Bom kemudian diletakkan bak air adiabatik/ *adiabatic water bath*. Ketika listrik mulai dialirkan, terjadi pembakaran di dalam bom. Panas yang dihasilkan dari pembakaran akan memanaskan medium air dan kenaikan temperatur yang terjadi akan terukur oleh termometer dan kemudian dikonversikan menjadi besaran nilai kalor.

Selain dengan percobaan di laboratorium, nilai kalor didapat dari perhitungan persamaan *proximate analysis* (**pers. (1)** dan **(2)**) dan persamaan *ultimate analysis* menggunakan persamaan Dulong (**pers (3)**), dijabarkan di bawah ini :

- Persamaan *proximate analysis* (Vesilind, 2002):
$$\text{Btu/lb} = 8000A + 14500 B \quad (1)$$
$$\text{Btu/lb} = 2500D - 330W \quad (2)$$
dimana : A = fraksi volatil, fraksi dari materi kering yang hilang pada 600°C.
B = *fixed carbon*
D = fraksi volatil, dari materi kering yang hilang pada 800°C
W = fraksi air, *dry basis*.
- Persamaan *Ultimate Analysis* - Dulong (Tchobanoglous, 1993):

$$\text{Btu/lb} = 145 C + 610 \left(H - \frac{1}{8} O \right) + 40S + 10N \quad (3)$$

dimana: C = fraksi kering karbon
 H = fraksi kering hidrogen
 O = fraksi kering oksigen
 S = fraksi kering sulfur
 N = fraksi kering nitrogen

Ultimate analysis (analisis kimiawi) untuk menentukan kandungan karbon, hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen dari tiap komponen sampah tidak dilakukan pada percobaan ini karena kerumitan dan biaya yang mahal, sehingga dalam perhitungan persamaan Dulong, digunakan data dari literatur Tchobanoglous, 1993.

Pengaruh keberadaan air dan hidrogen pada sampah

Nilai kalor yang terukur pada percobaan bom kalorimeter dikenal dengan *High Heating Value (HHV)*, dimana keberadaan air dan hidrogen setelah pembakaran terjadi adalah pada keadaan terkondensasi pada produk. Sementara *Low Heating Value (LHV)* adalah nilai kalor dimana diasumsikan air dan hidrogen berada dalam fasa uap. Kalor yang dibutuhkan pada proses penguapan inilah yang akan menjadikan nilai kalor lebih rendah daripada LHV (Finet, 1985).

Perhitungan *LHV* sampah dengan menggunakan **pers.(4)** (Dorfmann, 1985) :

$$\text{PCI} = \text{PCS} \left(1 - \frac{H_u}{100} \right) - 5,83(H_u + 9H) \quad (4)$$

dimana: PCS = *Pouvoir Calorifique Superieur* atau *High Heating Value* (Mth/kg)

PCI = *Pouvoir Calorifique Inferiuer* atau *Low Heating Value*, (Mth/kg)

H_u = persentase kadar air

H = persentase hidrogen

Data H (persentase hidrogen) untuk tiap komponen sampah bisa didapatkan dari data literatur Tchobanoglous, 1993. Untuk selanjutnya dalam pembahasan, digunakan istilah HHV dan LHV untuk menyatakan PCS dan PCI.

Perhitungan nilai kalor sampah

Perhitungan nilai kalor sampah secara keseluruhan dilakukan dengan perhitungan komposisi fisik sampah, dikalikan dengan data nilai kalor yang tersedia dari percobaan, seperti dijabarkan pada **pers.(5)**. Metoda ini lebih sederhana tanpa menggunakan teknik perhitungan laboratorium yang rumit dan menyita waktu dan biaya:

$$\text{HHV} = P \times \text{HHV}^* \quad (5)$$

dimana: HHV = nilai kalor komponen sampah

P = persentase komponen sampah (% berat)

HHV* = data nilai kalor tiap komponen sampah dari percobaan bom kalorimeter

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik komponen sampah

Kadar air

Kadar air dari tiap komponen sampah berbeda antara satu dengan yang lain selain karena karakteristik alamiahnya, juga karena adanya pengotor dan kondisi lingkungan lokasi pengambilan sampah. Pada **Gb.1** terlihat komponen sampah yang memiliki kadar

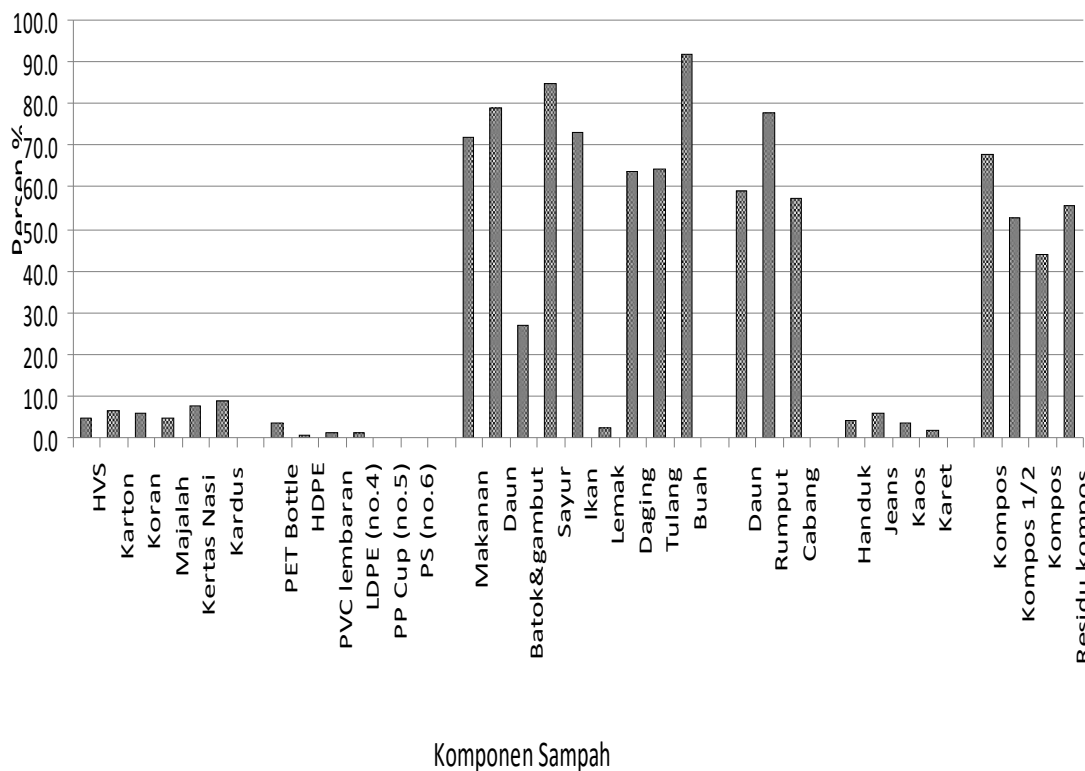
air tinggi adalah sampah organik, sampah pemeliharaan kebun dan kompos. Sedangkan kertas, plastik, dan tekstil memiliki kadar air rendah.

Dalam pembakaran, proses yang pertama kali terjadi adalah proses penguapan air yang ada dikandung sampah (Damanhuri, 2006). Hal ini berarti, dengan semakin tingginya kadar air di dalam sampah, maka semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air tersebut dan semakin rendahnya kalor yang dihasilkan dari pembakaran. Mengacu pada **Gb.1**, sampah yang paling baik untuk digunakan dalam *waste to energy*, baik pembakaran langsung maupun RDF adalah kertas, plastik, dan tekstil.

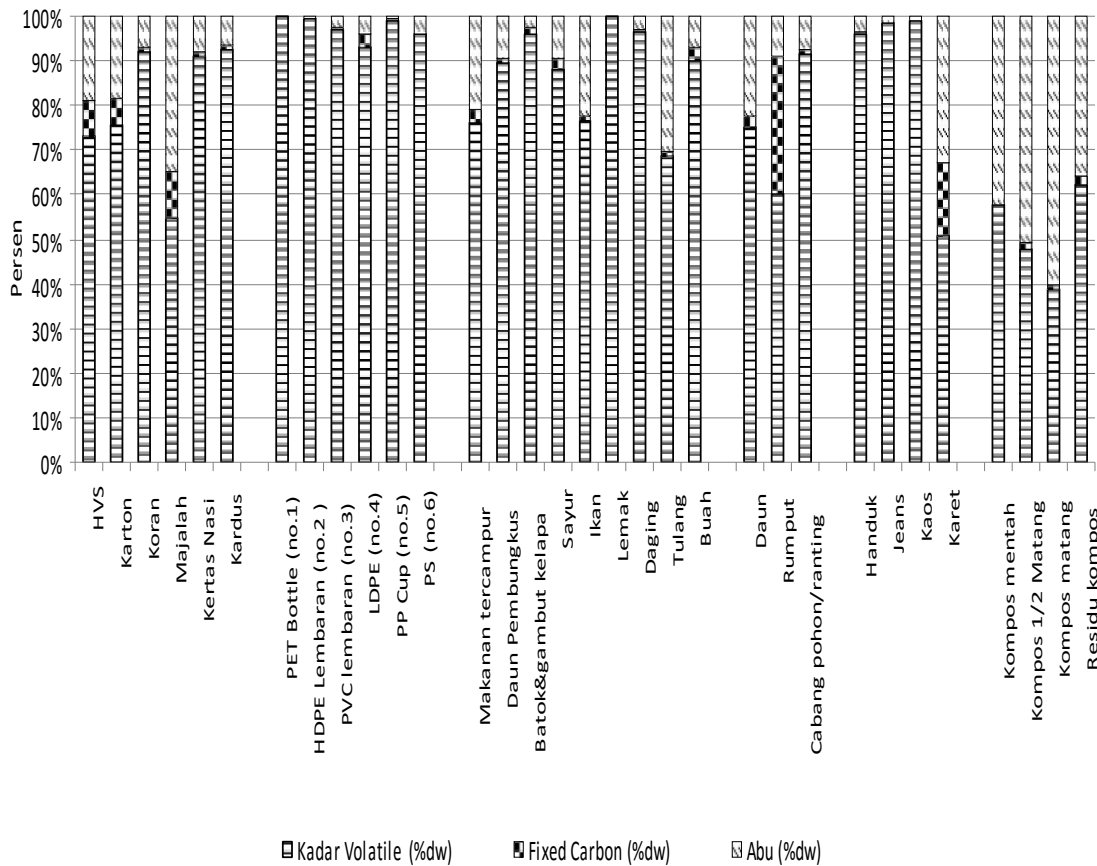
Kadar volatil, fixed carbon dan abu

Kadar volatil adalah materi yang menguap pada temperatur 600°C, menyisakan abu. Proses pembakaran materi volatil ini bersifat eksotermis, atau menghasilkan panas. Panas inilah yang terukur dan kemudian disebut nilai kalor sampah. Adanya perbedaan nilai kalor tiap komponen sampah lebih banyak dipengaruhi oleh karakteristik kimiawinya, dan banyaknya materi volatil dalam sampah tersebut.

Ketika sisa pembakaran 600°C dibakar kembali pada temperatur 900°C, masih ada materi yang menguap, dikenal sebagai *fixed carbon*, dan menyisakan abu seperti terlihat pada **Gb.2**. Persentase kadar volatil, *fixed carbon* dan abu berdasarkan berat kering atau %dw.



Gb.1. Kadar air komponen sampah (%ww)



Gb.2. Kadar volatil, *fixed carbon* dan abu komponen sampah (%dw)

Pengukuran dan Perhitungan Nilai Kalor Bom Kalorimeter

Pengukuran nilai kalor sampah keseluruhan dengan menggunakan bom kalorimeter sangat rentan terhadap kesalahan, karena sangat sedikitnya sampel sampah yang digunakan pada pengukuran, tidak cukup mewakili variasi atau komposisi sampah sebenarnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini, untuk mendapatkan nilai kalor yang lebih representatif, dilakukan pengukuran terhadap tiap komponen sampah yang menyusun sampah tersebut.

Pengaruh keberadaan air dan hydrogen pada nilai kalor (Low Heating Value)

Keberadaan air dan hidrogen berpengaruh besar pada pengurangan nilai kalor sampah. Sebagai contoh, sampah makanan tercampur memiliki kadar air yang tinggi, mencapai 70% (lihat Gb.1). Nilai HHV dari sampah keringnya sangat tinggi, namun karena kadar air yang tinggi, LHVnya turun hingga 73% (**Tabel.1**). Sangat signifikannya perbedaan ini menjadi alasan kuat untuk menggunakan LHV sebagai dasar pertimbangan pemilihan teknologi pengolahan yang tepat.

Nilai Kalor Proximate Analysis

Perhitungan nilai kalor dengan menggunakan **pers.(1)** dan **(2)** memberikan hasil yang sangat berbeda (**Tabel.1**) satu sama lain, juga terhadap nilai kalor terukur dari bom kalorimeter. **Pers.(1)** jelas menyatakan bahwa bagian dari materi yang memberikan

kontribusi terhadap nilai kalor adalah materi volatil dan *fixed carbon*. Dan untuk **pers.(2)** kadar air berdasarkan fraksi kering menjadi faktor pengurang nilai kalor yang sangat besar, seperti terlihat pada sampel sampah buah pada kelompok sampah makanan dan sampah pasar. Nilai kalor dari persamaan *proximate analysis* adalah -828 kkal/kg, dan sangat berbeda dengan HHV dari bomb kalorimeter maupun LHV. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan *proximate analysis* tidak selalu tepat digunakan untuk menghitung nilai kalor sampah Indonesia.

Nilai Kalor Ultimate Analysis-Persamaan Dulong

Pada perhitungan dengan persamaan Dulong, data komposisi kimiawi yang digunakan didapat dari literatur: Tchobanoglous(1993) karena uji komposisi kimiawi tiap komponen sampah tidak dilakukan pada percobaan ini. Adapun sampel pada percobaan ini yang tidak teridentifikasi pada literatur tersebut, dalam perhitungan nilai kalornya menggunakan asumsi, yaitu dengan menggunakan data jenis sampah yang memiliki karakteristik yang mendekati. Sebagai contoh, pada literatur tidak terdapat data untuk kertas HVS, pada perhitungan digunakan data “kertas campuran”, lalu untuk HDPE digunakan data “plastik campuran”, begitu seterusnya. Hasil perhitungan nilai kalor dengan persamaan Dulong ditampilkan pada **Tabel 1**.

Adanya perbedaan yang cukup besar pada nilai kalor Dulong dan nilai kalor bom kalorimeter disebabkan karena penggunaan data sekunder dari literatur untuk komposisi kimiawi sampah. Kemungkinan karena komposisi kimiawi sampel yang diujikan berbeda dengan yang diukur pada literatur. Data literatur akan memberikan hasil yang baik jika digunakan untuk daerah atau negara yang sama. Bila digunakan secara internasional, perlu dilakukan pengukuran ulang atau asumsi terhadap data yang ada (Kathiravale, et.al., 2003).

Sebaiknya untuk penggunaan persamaan Dulong dalam perhitungan nilai kalor sampah, dilakukan juga uji komponen kimiawi atau *ultimate analysis* di laboratorium. Dan karena kerumitannya dalam penentuan komponen kimiawi ini, persamaan Dulong biasanya menjadi pilihan terakhir dalam perhitungan nilai kalor sampah kota.

Nilai kalor komponen sampah dan hubungannya dengan karakteristik fisiknya:

Kertas

Kertas memiliki kadar air yang rendah (4-9%). Namun karena sifatnya yang mudah menyerap air hujan, cairan hasil dekomposisi, juga dapat menyerap minyak, dan pengotor lain, kadar air sampah di TPA bisa mencapai 44% (perhitungan di TPA).

Kertas terbuat dari selulosa atau serat kayu yang dicampur dengan bahan kimia sebagai pengisi atau penguat kertas. Serat kayu ini yang akan terbakar dan memberikan nilai kalor. Namun keberadaan bahan pengisi, penguat atau materi inorganik lainnya tidak berkontribusi pada panas pembakaran. Kadar abu juga menjadi parameter penting, dan bervariasi bergantung pada pengotor atau bahan tambahan tidak terbakar yang ada dalam kertas. Terlihat pada karakteristik dan nilai kalor majalah: rendahnya kadar volatil, tingginya kadar abu, menjadikan nilai kalornya tidak sebesar nilai kalor kertas lain, yaitu hanya 2598 kkal/kg kering untuk HHV dan 2476 kkal/kg untuk LHV. Namun nilai kalor ini masih terhitung tinggi dan sangat berpotensi untuk dibakar pada insinerator atau dijadikan *pellet* RDF.

Tabel 1.Perbandingan nilai kalor komponen sampah

No	Sampel	Nilai Kalor (kcal/kg)					
		Bom Kalorimeter	LHV	Proximate Analysis		Dulong	
				1	2	3*	3* *
	Kertas						
1	HVS	3024,24	2884,84	4234,29	1143,01		3591,18
2	Karton	3602,18	3359,17	4118,58	1154,28	6648,26	
3	Koran	3845,53	3618,95	4238,47	1306,64	4205,97	
4	Majalah	2598,95	2476,51	3646,23	992,02	2712,36	
5	Kertas Nasi	4246,92	3920,67	4167,29	1288,89		3591,18
6	Kardus	4487,07	4093,09	4257,12	1284,39	3571,67	
	Plastik						
7	PET Bottle (no.1)	5450,85	5252,42	4445,83	1382,24	11680,56	
8	HDPE Lembaran (no.2)	11207,00	11169,58	4444,73	1386,33		6307,50
9	PVC lembaran (no.3)	5187,91	5138,23	4332,82	1360,11	5448,78	
10	LDPE (no.4)	12318,40	12195,08	4505,66	1356,34		6307,50
11	PP Cup (no.5)	11912,80	11903,06	4426,95	1380,54		6307,50
12	PS (no.6)	11285,50	11269,80	4273,86	1379,38	9645,22	
	Sampah Makanan&Pasar						
13	Makanan tercampur	5162,21	1437,86	3727,54	737,10	4466,11	
14	Daun Pembungkus	4638,37	975,59	4069,59	573,85		4154,72
15	Batok&gambut kelapa	4684,11	3407,90	4446,86	1291,42		3915,63
16	Sayur	4568,29	689,85	4205,94	248,60		4466,11
17	Ikan	5837,12	1567,48	3497,23	581,39		4466,11
18	Lemak	9891,62	5065,61	4442,10	1213,95	9155,28	
19	Daging	7154,78	2597,33	4359,15	1034,45		
20	Tulang	4464,42	1570,90	3169,97	638,29		6951,46
21	Buah	5064,86	392,54	4337,90	-828,00	4347,01	
	Sampah Kebun						
22	Daun	3998,02	1632,60	3644,07	958,76		4154,72
23	Rumput	4153,51	906,08	7365,52	567,68		4154,72
24	Cabang pohon/ranting	4715,66	1997,45	4211,09	1096,14		3915,63
	Tekstil & Karet						
25	Handuk	4435,10	4239,45	4301,44	1348,27		4357,78
26	Jeans	4271,05	4010,65	4393,74	1372,21		4357,78
27	Kaos	4836,68	4664,32	4413,66	1365,93		4357,78
28	Karet	5202,15	5106,45	4218,60	939,96	8598,61	
	Kompos						
29	Mentah	2125,75	675,26	2402,29	420,93		4137,50
30	1/2 Matang	2091,90	979,05	2291,37	484,83		4137,50
31	Matang	1669,73	936,04	1854,94	415,31		4137,50
32	Residu	2211,65	980,02	3007,37	680,21		4137,50

* data Tchobanoglous

** asumsi dari data Tchobanoglous

Plastik

Nilai kalor plastik sangat tinggi, berkisar antara 5000-13000 kkal/kg kering. Hal ini disebabkan karena plastik terbuat dari petroleum atau gas alam sehingga menyimpan kandungan energi yang sangat tinggi dibandingkan dengan komponen lain dalam sampah (Subramanian, 2000). Dan karena kadar air tergolong sangat rendah, yaitu < 1%, kecuali untuk PET yaitu 3.5%, LHV plastik tidak berbeda jauh dengan HHVnya. Dengan nilai kalor yang sangat tinggi ini, plastik sangat berpotensi untuk dibakar pada insinerator atau dimanfaatkan sebagai RDF.

Ketika plastik, terutama PVC, dibakar pada insinerator, HCl akan terbentuk. HCl ini dapat mengkorosi boiler dan melepaskan gas-gas berbahaya seperti senyawa

organohalogen yang dapat mengakibatkan polusi. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan melakukan deklorinasi terhadap limbah plastik PVC sebelum di incinerasi (Takeshita, 2003). Mekanisme dekomposisi termal PVC dapat dilakukan pada tekanan tinggi pada air panas (Takeshita, 2003) atau dengan pelarutan klorin pada NaOH pada temperatur dan waktu tertentu (Sotoma, Shogo).

Deklorinasi tidak hanya dilakukan pada limbah plastik, namun juga pada sampah perkotaan dengan metoda *hydrothermal treatment*, yaitu penguraian materi organik pada temperatur tertentu dengan menggunakan air sebagai mediumnya. Klorin yang terbentuk adalah inorganik klorin yang larut dalam air. Karena kelarutannya tersebut, pencucian produk ini dapat dilakukan untuk menghilangkan inorganik klorin dengan tuntas (Marya Novita, 2009; Kathiravale, et.al., 2003).

Sampah makanan dan pasar

Sampah makanan dan pasar masih memiliki persentase yang sangat besar dalam komposisi sampah di Indonesia. Pola yang sama juga terjadi di negara-negara berkembang lainnya seperti India, Malaysia dan Vietnam (Narayana, 2009, Sivapalan, 2003; Uyen, 2009). Dilihat dari hasil perhitungan pada **Tabel.1**, sampah organik ini sebenarnya memiliki nilai HHV yang cukup tinggi. Namun keberadaan air yang sangat besar, mengambil peran besar dalam reduksi nilai kalor. HHV sampah ini berkisar antara 4400-9800 kkal/kg kering, namun LHV hanya berkisar antara 300-5000 kkal/kg.

Sampah ini jarang dimanfaatkan dalam konsep WTE dengan pengolahan secara termal atau RDF karena nilai kalornya yang kecil. Sampah yang mengandung banyak organik *biodegradable* ini lebih sering dimanfaatkan untuk pembuatan kompos (pada pengolahan secara aerob) atau dengan *anaerobic digester* untuk mendapatkan gasbio.

Sampah kebun

Sama seperti sampah makanan dan pasar, kadar air cukup besar mengakibatkan kesulitan dalam pemanfaatannya dalam WTE. Pada prakteknya, sampah jenis ini lebih banyak dibakar di alam bebas, tanpa adanya perhatian mengenai proses pembakaran dan kemungkinan pencemaran udara. Kadar volatil sampah kebun cukup bervariasi bergantung pada jenis sampahnya. Kayu memiliki materi organik yang cukup tinggi, dan menyisakan abu yang cukup rendah. Karena volatilitasnya tinggi, nilai kalor kayu pun tinggi, sekitar 4700 kkal/kg kering. Sedangkan untuk daun dan rumput berkisar antara 4000 kkal/kg kering.

Sampah tekstil dan karet

Sampah tekstil yang banyak dijumpai di tempat pembuangan adalah yang tidak layak didaur ulang lagi. Tekstil di sumber memiliki kadar air yang kecil, namun bahan ini sangat baik dalam menyerap air, sehingga kebanyakan tekstil yang masuk ke TPA sudah dalam keadaan basah. Kadar volatil yang tinggi, yaitu > 96 %, menjadikan nilai kalornya tinggi juga. HHV tekstil berkisar antara 4200-4800 kkal/kg kering dan LHV juga masih berkisar antara 4000-4600 kkal/kg. Sampah tekstil, yang biasanya berada dalam jumlah yang banyak, sangat berpotensi untuk dijadikan dibakar pada insinerator atau dijadikan *pellet* RDF.

Karet memiliki karakteristik yang berbeda. Kadar volatilitasnya rendah, dan kadar abunya pun tergolong tinggi (39%), namun karet memiliki nilai kalor yang besar > 5000 kkal/kg. Tingginya nilai kalor dari karet menjadikannya sangat berpotensi untuk

dijadikan RDF, namun perlu perhatian terhadap terbentuknya hidrokarbon, partikel karbon, oksida sulfur dan nitrogen yang timbul saat pembakaran (Barton, 1979).

Kompos

Kompos merupakan hasil degradasi secara biologi materi organik di dalam sampah. Pada **Gb.2**, kadar air kompos mentah hingga kompos matang menurun karena pada proses pematangannya pada temperatur tinggi, kompos menjadi lebih kering. Kadar volatil juga menurun nilainya hingga berkisar 40% dw. Sesuai dengan penurunan kandungan materi organiknya, nilai kalor kompos juga menurun hingga berkisar antara 1600-2100 kkal/kg kering.

Berbeda dengan tren penurunan kadar air, kadar volatil dan nilai kalor dari kompos mentah hingga kompos matang, residu kompos memiliki kadar air, kadar volatil dan nilai kalor yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan residu kompos mengandung pengotor seperti plastik dan karet yang tidak *biodegradable* namun memiliki nilai kalor yang tinggi.

Bila dilihat dari HHVnya, yaitu sekitar 2200 kkal/kg, residu kompos memenuhi persyaratan nilai kalor minimum pada insinerasi, yaitu 1500 kkal/kg (damanhuri, 2006). Namun pertimbangan akan lebih tepat jika didasarkan pada LHV. LHV dari residu kompos ini, yang diambil dari PPS Sabuga ITB, yaitu sekitar 980 kkal/kg, tidak memenuhi persyaratan tersebut, menjadikannya tidak cocok untuk pemanfaatan WTE.

Perhitungan nilai kalor sampah

Dengan memanfaatkan data komposisi sampah di suatu daerah, dan nilai kalor dari percobaan ini, nilai kalor sampah keseluruhan tersebut dapat dihitung. **Tabel 2** merupakan contoh perhitungan nilai kalor dengan menggunakan data komposisi kota Bogor, dan diketahui bahwa kadar air sampah Kota Bogor adalah 63,73% dan persentase hidrogen adalah 6% (%dw).

Tabel 2. Contoh perhitungan nilai kalor sampah kota Bogor

Komposisi	HHV (kkal/kg kering)	Persentase (%)	HHV* (kkal/kg kering)
kertas	3634,15	26,13	949,7326
plastik	9560,41	18,71	1788,689
organik	5718,42	50,17	2868,759
kaca	-	1,26	-
logam	-	0,02	-
tekstil	4514,28	1,36	61,35107
lain-lain	-	2,35	-
Total		100	5668,532

Adapun perhitungan nilai kalor tiap komponen menggunakan **pers.(5)** adalah:

$$\text{Contoh : HHV kertas} = 3634,15 \times \left(\frac{26,13}{100} \right)$$

$$\text{HHV kertas} = 949,73 \text{ kkal/kg kering}$$

Total nilai kalor sampah Kota Bogor adalah 5668.53 kkal/kg kering. Pada perhitungan LHV dengan menggunakan **pers.(4)**, didapat LHV adalah 2049,11 kkal/kg. Nilai ini tergolong tinggi untuk sampah kota di Indonesia. Di tempat yang berbeda, nilai ini mungkin lebih kecil karena kadar air yang lebih besar. Nilai kalor yang tinggi juga

dikarenakan besarnya persentase komposisi plastik dan kertas. Dalam pemanfaatannya pada konsep WTE, perlu juga dibahas mengenai kegiatan daur ulang yang banyak dilakukan terhadap sampah plastik dan kertas.

Waste to Energy

Waste to energy dapat dilakukan dengan pembakaran langsung dengan insinerasi atau pembuatan RDF yaitu dengan pembuatan *pellet* dari materi yang terbakar. Namun sebelum diinsinerasi, sampah diklasifikasikan terlebih dahulu berdasarkan keterbakarannya, dan materi dengan nilai kalor tinggi digunakan untuk RDF (Dong, Trang, T.T). Salah satu upaya untuk tetap menjadikan sampah sangat baik untuk *refuse-derived fuel* adalah dengan pengolahan pendahuluan sebelum dimanfaatkan dalam sistem WTE. Pengolahan pendahuluan dapat berupa pengeringan secara alamiah maupun mekanik, pemanasan awal untuk menguapkan air yang ikut terbawa bersama sampah, dan pemotongan untuk mempermudah pembakaran.

4. KESIMPULAN

Dengan menggunakan data dari percobaan ini, nilai kalor suatu sampah kota dapat diukur. Nilai kalor sangat dipengaruhi oleh kadar air dan hidrogen sampah. Hasil pengurangan nilai kalor ini, LHV, biasanya digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan teknologi pengolahan dan aplikasi WTE. Nilai kalor juga dipengaruhi oleh kadar volatil dan abu. Semakin tinggi kadar volatil yang terbakar, nilai kalor semakin tinggi.

Komponen sampah yang sangat potensial untuk dijadikan *pellet* RDF dalam konsep WTE adalah plastik, dengan LHV > 5.000 kkal/kg. Namun pada proses pembakaran RDF, pembentukan HCl harus dijaga untuk mencegah korosi pada reactor. Untuk mengatasinya, sebaiknya dilakukan pengolahan pendahuluan terhadap sampah, dengan cara deklorinasi sampah pada tekanan tertentu dengan media air, atau dengan pelarutan dalam NaOH setelah pembakarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barton, Allan F.M.** (1979). *Resource Recovery and Recycling*. John Willey & Sons. USA
- Cheng, Hefa and Yuanan Hu.** (2010). *Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China*. *Bioresource Technology* 101 (2010) 3816-1824.
- Damanhuri, Enri.** (2004). *Waste minimation as solution of municipal solid waste in Indonesia*. The 6th ASIAN Symposium in Academic Activities for Waste Management. Padang-Indonesia.
- Damanhuri, Enri and Tri Padmi.** (2006). *Diktat Kuliah TL-3150. Pengelolaan Sampah*. Teknik Lingkungan. ITB
- Damanhuri, Enri.** (2006). *Perolehan kembali materi-energi dari sampah*. Teknik Lingkungan. FTSL.ITB
- Departement Pekerjaan Umum.** (1991). *SKSNI M-36-1991-03 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*. Yayasan LPMB. Bandung
- Dong, Trang T.T and Byeong-Kyu Lee.**(2009). *Analysis of potential RDF resources from solid waste and their values in the largest industry city of Korea*. *Waste Management*.
- Dorfmann, Roger** (editor). (1985). *Les Residue Urban*. Vol.2 Traitement et Valorisation Technique et Documentasion-Lavoisier.

- Finet, C.** (1985). *Heating Value of Municipal Solid Waste*. Published by Sage Publications, on behalf of International Solid Waste Association.
- Guideline on Hazardous Waste Utilization for Co-Processing in Cement Industry. Indocement. 2008
- Ma, Wenchao, Gaston Hoffmann, Mattias Schirmer, Guanyi Chen, and Vera Susanne Rotter.** (2010). *Chlorine characterization and thermal behavior in MSW and RDF*. Journal of Hazardous Materials 178 (2010) 489-498
- Marya Novita, Dian.**(2009). *Solid Fuel Production from Municipal Solid Waste Applying Hydrothermal Treatment*. YSEP 2008-2009 Report. Tokyo Institute of Technology. Japan
- Narayana, Tapan.** (2009). *Municipal solid waste management in India : From waste disposal to recovery of resources*. Waste Management 29 (2009) 1163-1166.
- Nguyen Ngoc, Uyen and Hans Schnitzer.** (2009). *Sustainable solution for solid waste management in Southeast Asian Countries*. Waste Management 29 (2009) 1982-1995.
- Kathiravale, Sivapalan, Muhd. Noor Muhd Yunus, K.Sopian, A.H.Samsuddin, and R.A.Rahman.** (2003). *Modeling the heating value of municipal solid waste*. Fuel 82 (2003) 1119-1125.
- Sotoma, Shogo, Toshiaki Yoshioka, Shun-Myung Shin, Miho Uchida, and Akitsugu Okuwaki.** *Leaching of Plasticizer and Chlorine from Mixed Plastics in NaOH Solutions at Elevated Temperatures*. Tohoku University. Japan
- Subramanian, P.M.** (2000). *Plastics Recycling and Waste Management in the US*. Resources, Conservation and Recycling 28 (2000)253-263
- Takeshita, Yukitoshi, Kiyoshi Kato, Kazue Takahashi, Yoshiyuki Sato, and Shiro Nishi.** (2004). *Basic study on treatment of waste polyvinyl chloride plastics by hydrothermal decomposition in subcritical and supercritical regions*. J.of Supercritical Fluids 31 (2004) 185-193.
- Tchobanoglous, George, Hilary Theisen, and Samuel A. Vigil.** (1993). *Integrated Solid Waste Management*. Mc.Graw Hill
- United States Environmental Protection Agency.** (2002). *Citizen Guide to Incineration*.
- Vesilind, P Aarne. William Worrell, and Debra Reinhart.** (2002). *Solid Waste Engineering Books*. Cole. Thornton Learning.
- Visvanathan, C and J.Trankler.** *Municipal Solid Waste Management in Asia: Comparative Analysis*. Thailand.