

# Peningkatan Nilai Kalor Produk pada Produk Proses *Bio-drying* Sampah Organik

## Improved Calor Value on Biodrying Production of Organic Waste

Sandra Santosa<sup>1,2</sup> dan Soemarno<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kajian Lingkungan dan Pembangunan, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

<sup>3</sup>Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang

### Abstrak

Sampah adalah barang-barang atau benda-benda yang sudah tidak berguna lagi dan harus dibuang. Sampah merupakan masalah sehari-hari yang dihadapi oleh seluruh lapisan masyarakat baik di kota, maupun di desa, negara maju maupun negara berkembang. Banyak pemanfaatan dan pengelolaan sampah belum memadai padahal jika sampah hasil produksi masyarakat kota dimanfaatkan akan mampu menghasilkan energi panas. Sampah mempunyai potensi untuk menjadi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan memiliki nilai kalor tinggi yaitu melalui proses bio-drying lalu dilanjutkan dengan proses densifikasi atau pembriketan untuk membentuk sebuah briket. Adanya energi panas ini dapat dilakukan salah satunya dengan menggunakan alat bom kalorimeter. Nilai kalor sampah tergantung dari kandungan kadar air dalam sampah, sisa makanan mempunyai nilai kalor 5875,5689 kal/gr, sampah daun 5334,4857 kal/gr, sampah kayu/ranting 5975,5871 kal/gr, persentase kadar air tertinggi adalah sampah kayu/ranting sekitar 13,7495% dari total volume sampah yang ada di TPA. Nilai kalor sampah organik dapat ditingkatkan melalui proses Bio-drying, yaitu pengelolaan fraksi organik sampah padat perkotaan dan rumah tangga (MSW) untuk mengurangi kadar air sehingga dapat dijadikan untuk recovery energi karena memungkinkan produksi energi. Ini dilakukan untuk mendapatkan bahan yang terbaik dan memiliki nilai kalor yang tinggi pada pembuatan briket sebagai bahan bakar alternatif.

**Kata kunci :** Sampah, kadar air, nilai kalor, *bio-drying*.

### Abstract

Garbage is goods or objects that are not useful anymore and should be discarded. It is a problem faced daily by all levels of society, both in town, and rural, developed and developing countries. Many utilization and garbage management is inadequate, whereas urban garbage production can be used to produce heat energy. Garbage has the potential to become fuel more environmentally friendly and has a high calorific value through the bio - drying process and then followed by densification or briquetting process to form a briquette. The existence of this heat energy can be seen by using a bomb calorimeter. The calorific value of the garbage depends on moisture content in the garbage, food waste has a calorific value of 5875.5689 cal / g, leaf litter 5334.4857 cal / g, garbage timber / branch 5975.5871 cal / g, the highest percentage of water content is garbage timber / twig approximately 13.7495 % of the total volume of garbage in the landfill. The calorific value of organic waste can be improved through the Bio - drying process, namely the management of organic fraction of municipal solid waste and household (MSW) to reduce the water content so it can be used for energy recovery because it allows the production of energy. This was done to get the best materials and has a high calorific value in the manufacture of briquettes as an alternative fuel.

**Keywords :** garbage, water content, heating value, bio - drying

### PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbulan sampah merupakan dua permasalahan yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Di Indonesia, konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan rumah tangga tercatat terus meningkat dengan

laju pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 5,2 % (KNRT 2006), sebaliknya cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi di masa mendatang jika tidak ditemukan sumber-sumber energi yang baru.

Di lain sisi, pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk juga memicu peningkatan produksi sampah. Jumlah timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2012 mencapai 78,5 juta ton/tahun dengan komposisi terbesar adalah sampah organik (58 %), sampah plastik

---

Alamat Korespondensi

Sandra Santosa

Email : san\_sant10@yahoo.com

Alamat : Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta

(14 %), sampah kertas (9 %) dan sampah kayu (4 %). Masalah yang sering muncul dalam

penanganan sampah kota yang terus bertambah jumlahnya adalah biaya operasional yang tinggi dan semakin sulitnya lahan untuk pembuangan diperoleh, sehingga sampah kota yang tidak terkelola dengan baik akan memberikan dampak buruk terhadap lingkungan.

Sampah adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktifitas manusia maupun alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Meningkatnya jumlah dan aktivitas penduduk di wilayah perkotaan menghasilkan volume sampah yang semakin meningkat. Hal ini menimbulkan berbagai masalah karena sampah dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Akibat adanya sampah yang tidak terkelola dengan baik antara lain tempat berkembang dan sarang dari serangga dan tikus, menjadi sumber polusi dan pencemaran tanah, air dan udara, sebab sampah menghasilkan cairan lindi (leachate) dan bau busuk yang ditimbulkan akibat dari proses dekomposisi yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub>, metan dan sebagainya dan apabila sampah merupakan sampah anorganik yang menyebabkan tanah tidak dapat diolah, pemandangan yang tidak sehat, menyebabkan banjir dan merupakan sumber dan tempat hidup kuman-kuman yang membahayakan kesehatan.

Pemanfaatan sampah sampai saat ini nampak belum ada, sebab sampah-sampah yang ada hanya di buang ke TPA atau dibakar begitu saja oleh penduduk, bahkan terdapat sebagian penduduk yang membuangnya ke dalam selokan atau sungai. Selama ini penanganan sampah kota di negara-negara berkembang seperti Indonesia hanya menimbun dan membakar langsung sampah di udara terbuka pada TPA (tempat pembuangan akhir). Hal ini juga tidak bisa mengurangi sampah dalam jumlah yang banyak dan akan menimbulkan permasalahan yaitu terproduksinya polutan yang dapat mencemari lingkungan yaitu gas-gas hasil pembakaran seperti CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dan lain-lain. Teknologi untuk menangani sampah sebenarnya telah banyak dikembangkan terutama oleh negara-negara maju yaitu diantaranya teknologi *bio-drying*, *sanitary landfill*, *incineration*, *gasification*, dan *anaerobic digestion*.

Sampah dapat didaur ulang (dihancurkan) kemudian dijadikan pupuk atau dibuat briket sebagai bahan bakar (untuk sampah organik). Namun karena keterbatasan referensi dan

teknologi, maka hal-hal yang demikian belum dilakukan atau belum terpikirkan.

Pemanfaatan sampah dengan meningkatkan nilai kalor sampah pada proses pengeringan (*bio-drying*) merupakan salah satu solusi yang baik dan efektif untuk mengurangi kadar air limbah padat perkotaan (MSW), baik untuk *recovery* energi dan meminimalkan jumlah limbah dengan pemisahan secara mekanik (ADANI et al, 2002; Choi et al, 2001; Rada et al. , 2007).

#### I. Sampah

Sampah adalah barang-barang atau benda-benda yang sudah tidak berguna lagi dan harus di buang. Sampah kadang-kadang harus dimusnahkan dengan dibakar, karena dianggap mengotori dan menjadi sarang penyakit (Ismun, 1998). Istilah sampah diberikan kepada barang-barang atau bahan-bahan buangan rumah tangga atau pabrik yang tidak digunakan lagi atau tidak terpakai dalam bentuk padat. Sampah merupakan campuran dari berbagai bahan baik yang tidak berbahaya seperti sampah dapur (organik) maupun bahan-bahan berbahaya yang dibuang oleh pabrik dan rumah tangga yang dapat digunakembali atau didaur ulang maupun yang tidak dapat didaur ulang (Rukaesih Achmad,2004).

Sampah merupakan barang-barang atau bahan-bahan buangan rumah tangga dan pabrik yang tidak digunakan lagi dalam bentuk padat. Sampah berasal dari campuran berbagai bahan baik yang tidak berbahaya maupun bahan-bahan berbahaya. Secara umum komposisi sampah di setiap kota bahkan negara dapat dilihat pada Tabel 2.1, yaitu:

Tabel 2.1 Komposisi sampah diberbagai kota (Achmad, 2004)

No	Jenis sampah	Jumlah (%)
1.	Kertas dan katun	35
2.	Logam	7
3.	Gelas	5
4.	Sampah halaman dan dapur	37
5.	Kayu	3
6.	Plastik, karet dan kulit	7
7.	Lain-lain	6

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa komposisi sampah terbanyak berasal dari sampah rumah tangga. Hal ini dikarenakan meningkatnya populasi penduduk di setiap daerah sehingga jumlah sampah yang dihasilkan setiap rumah tangga semakin meningkat. Pengertian sampah organik seperti tercantum

dalam Tabel di atas lebih bersifat untuk mempermudah pengertian umum, untuk menggambarkan komponen sampah yang cepat terdegradasi (cepat membusuk), terutama yang berasal dari sisa makanan. Sampah yang membusuk (*garbage*) adalah sampah yang dengan mudah terdekomposisi karena aktivitas mikroorganisme. Dengan demikian pengelolaannya menghendaki kecepatan, baik dalam pengumpulan, pembuangan, maupun pengangkutannya. Pembusukan sampah ini dapat menghasilkan bau tidak enak, seperti ammoniak dan asam-asam volatil lainnya. Selain itu, dihasilkan pula gas-gas hasil dekomposisi, seperti gas metan dan sejenisnya, yang dapat membahayakan keselamatan bila tidak ditangani secara baik. Penumpukan sampah yang cepat membusuk perlu dihindari. Sampah kelompok ini kadang dikenal sebagai sampah basah, atau juga dikenal sebagai sampah organik.

#### **Pembagian Jenis Sampah**

Pada umumnya, jenis sampah terdiri atas 2 bagian yaitu sampah organik dan sampah anorganik.

#### **Sampah Organik**

Sampah organik atau sering disebut sampah basah adalah jenis sampah yang berasal dari jasad hidup sehingga mudah membusuk dan dapat hancur secara alami. Contohnya adalah sayuran, daging, ikan, nasi dan potongan rumput/ daun/ ranting dari kebun. Kehidupan manusia tidak dapat lepas dari sampah organik setiap harinya. Pembusukan sampah organik terjadi karena proses biokimia akibat penguraian materi organik sampah itu sendiri oleh mikroorganisme dengan dukungan faktor lain yang terdapat di lingkungan. Metode pengelolaan sampah organik yang paling tepat tentunya adalah melalui pembusukan, yang dikenal dengan pengomposan.

#### **Sampah Anorganik**

Sampah anorganik atau sampah yang tidak mudah busuk adalah sampah yang tersusun dari senyawa anorganik, berasal dari sumber daya alam tidak terbaharui seperti mineral dan minyak bumi, atau dari proses industri. Contohnya adalah botol gelas, plastik, tas plastik, kaleng dan logam. Sebagian sampah anorganik tidak dapat diuraikan oleh alam sama sekali dan sebagian lain dapat diuraikan dalam waktu yang sangat lama. Pengelolaan sampah anorganik sangat erat hubungannya dengan penghematan sumber daya alam yang digunakan untuk membuat bahan-bahan tersebut dan

pengurangan polusi akibat proses produksinya di dalam pabrik.

Menurut Eddi Sukardi dan Tanudi (1998) jenis sampah dapat digolongkan sebagai berikut: Di lihat dari asal zat-zat yang dikandungnya yaitu sampah organik (sisa sayur, sisa buah) dan sampah nonorganik (kaca, plastik); Sumber sampah yaitu sampah rumah tangga (sisa makanan), sampah industri (limbah industri), dan sampah mahluk hidup (tinja). Sifat sampah beraneka ragam tergantung jenisnya yaitu antara lain: Sampah lapuk (sisa makanan); Sampah tak mudah lapuk (kayu, kaleng) yang terdiri dari sampah lapuk yang mudah terbakar (kayu, kertas) dan sampah lapuk yang sulit terbakar (besi, kaleng); Sampah sulit lapuk (plastik, kaca).

Menurut Soewedo Hadiwiyoto (1983) penggolongan macam-macam sampah adalah sebagai berikut : Penggolongan sampah berdasarkan asalnya (Sampah dari hasil kegiatan rumah tangga. Termasuk dalam hal ini adalah sampah dari asrama, rumah sakit, hotel-hotel dan kantor); Sampah dari hasil kegiatan industri/pabrik; Sampah dari hasil kegiatan pertanian (limbah hasil-hasil pertanian). Kegiatan pertanian meliputi perkebunan, kehutanan, perikanan, dan peternakan; Sampah dari hasil kegiatan perdagangan, misalnya sampah pasar, sampah toko; Sampah dari hasil kegiatan pembangunan; Sampah jalan raya.

Wied Harry Apriadi (1995) menggolongkan sampah dalam 4 (empat) kelompok antara lain meliputi :

- a. Human excreta  
merupakan bahan buangan yang dikeluarkan dari tubuh manusia, meliputi tinja (*faeces*), dan air kencing (*urine*)
- b. Sewage  
merupakan air limbah yang di buang oleh pabrik maupun rumah tangga, contohnya adalah air bekas cucian pakaian yang masih mengandung larutan deterjen.
- c. Refuse  
merupakan bahan pada sisa proses industri atau hasil sampingan kegiatan rumah tangga. Refuse dalam kehidupan sehari-hari di sebut sampah. Contoh : panci bekas, kertas bekas pembungkus bumbu dapur, sendok kayu yang sudah tidak di pakai lagi dandi buang, sisa sayuran, nasi basi, daun-daun tanaman, dan masih banyak lagi.
- d. Industrial waste  
merupakan bahan-bahan buangan dari sisa-sisa proses industri.

Tabel 2.2. Volume Sampah yang dihasilkan perhari kota 2012

Jenis Sampah	Volume sampah (m <sup>3</sup> /hari)	%
Sampah pemukiman	525	51,47
Sampah pasar	185	18,14
Sampah komersial	104	10,20
Sampah perkantoran	36	3,53
Fasilitas umum	55	5,39
Penyapuan jalanan	30	2,94
Kawasan industri	18	1,76
Saluran	11	1,08
Lain-lain	56	5,49
Total	1020	

Sumber : Dinas Kebersihan (2005)

Berdasarkan prediksi Asian Development Bank (ADB) proyeksi timbunan sampah dikota Tahun 2012 sebesar 4.278 m<sup>3</sup>. Sampai ke TPA sekitar 96,37% atau 979m<sup>3</sup>/hari. Sisanya sebanyak 441 m<sup>3</sup>/hari atau 23,63% sebagian ditanggulangi dengan kebijakan kerja tambahan (sweeping) disamping ada juga yang dimusnahkan sendiri oleh masyarakat. Dari sumber Dinas Kebersihan (2002) disebutkan bahwa sampah produksi masyarakat kota terdiri dari jenis organik sebanyak 94,5% dari total produksi, dan jenis anorganik sebanyak 4,1% dan sisanya tidak disebutkan tergolong dalam jenis sampah apa.

Dari jenis sampah organik, sampah makananlah yang paling besar jumlahnya yaitu sebanyak 68,18%. Dengan asumsi sampah jenis organik ini mampu bakar atau *combustible* (walaupun harus ada perlakuan awal) maka dapat diperkirakan bahwa sampah kota Mataram mampu menghasilkan energi. Secara umum komposisi dari sampah di setiap kota bahkan negara hampir sama, yaitu (Rukaesih Achmad, 2004) :

Tabel 2.3. Komposisi sampah di setiap kota

Jenis sampah	Komposisi sampah
Kertas dan kartun	± 35%
Logam	± 7%
Gelas	± 5%
Sampah halaman dan dapur	± 37%
Kayu	± 3%
Plastik, karet, dan kulit	± 7%
Lain-lain	± 6%

Sumber : Rukaesih Achmad (2004)

Komposisi umum dan sifat-sifat cairan yang berasal dari sampah kota :

Tabel 2.4. Komposisi umum dan sifat-sifat cairan sampah kota

No.	Sifat-sifat cairan	Komposisi (mg/liter)
1	pH	6 – 6.5
2	Kekerasan, CaCO <sub>3</sub>	890 – 7600
3	Alkalinitas, CaCO <sub>3</sub>	730 – 9500
4	Kalsium	240 – 2330
5	Magnesium	64 – 410
6	Sodium	85 – 1700
7	Potassium	28 – 1700
8	Ferum (Fe), total	6,5 – 220
9	Khlorida	96 – 2350
10	Sulfat	84 – 730
11	Fosfat	0,3 – 29
12	Senyawa nitrogen organik	2,4 – 465
13	NH <sub>3</sub> - N	0,22 – 480
14	BOD	21700 - 30300

Sumber : T. J. Sorg & T.W. Bendixen, (1975 dalam soewedo Hadiwiyoto, 1983)

#### Karakteristik Sampah

Selain komposisi, maka karakteristik lain yang biasa ditampilkan dalam penanganan sampah adalah karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik tersebut sangat bervariasi, tergantung pada komponen-komponen sampah. Kekhasan sampah dari berbagai tempat/daerah serta jenisnya yang berbeda-beda memungkinkan sifat-sifat yang berbeda pula. Sampah kota di negara-negara yang sedang berkembang akan berbeda susunannya dengan sampah kota di negara-negara maju. Karakteristik sampah dapat dikelompokkan menurut sifat-sifatnya, seperti:

- Karakteristik fisika: yang paling penting adalah densitas, kadar air, kadar volatil, kadar abu, nilai kalor, distribusi ukuran (Gambar 2.1 merupakan skematis berat bahan)
- Karakteristik kimia: khususnya yang menggambarkan susunan kimia sampah tersebut yang terdiri dari unsur C, N, O, P, H, S, dsb.

Menurut pengamatan di lapangan, maka densitas sampah akan tergantung pada sarana pengumpul dan pengangkut yang digunakan, biasanya untuk kebutuhan desain digunakan angka [24] :

- Sampah di wadah sampah rumah: 0,01 – 0,20 ton/m<sup>3</sup>
- Sampah di gerobak sampah: 0,20 – 0,25 ton/m<sup>3</sup>
- Sampah di truk terbuka: 0,30 – 0,40 ton/m<sup>3</sup>

- Sampah di TPA dengan pemataran konvensional = 0,50 – 0,60 ton/m<sup>3</sup>.

Kadar air hilang pada 105oC	Berat basah
Volatil hilang pada 550oC	
Fixed carbon hilang pada 850oC	Berat kering
Karbonat	
	Abu pada 550oC

Gambar 2.1 Posisi bahan pada temperatur pembakaran

Tabel 2.4 merupakan contoh karakteristik sampah yang sering dimunculkan di Indonesia.

Tabel 2.5 Karakteristik sampah kota

Parameter	Persentase
Kadar air (% berat basah)	64,27
pH	6,27
Materi organik (% berat basah)	44,70
Karbon (% berat kering)	44,70
Nitrogen (% berat kering)	1,56
Posfor (% berat kering)	0,241
Kadar abu (% berat kering)	23,09
Nilai kalor ( kkal/kg)	1197

## II. Nilai Kalor

Pengertian nilai kalor bahan bakar menurut Eddy dan Budi (1990) adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar dengan satuan kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>, kkal/kg, kkal/m<sup>3</sup>, Btu/lb dan Btu/ft<sup>3</sup>. M. M. El-Wakil (1992) mendefinisikan nilai kalor adalah kalor yang berpindah bila hasil pembakaran sempurna.

Menurut Wiradarma (2002) dalam sampah organik dapat digunakan sebagai energi panas maka akan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 3,25MW. Energi panas yang dimaksud diperoleh dari hasil kalkulasi nilai kalor yang merupakan hasil kali antara kalor spesifik dengan komposisi sampah. Data untuk kalor spesifik diperoleh dari sumber Paul T. Williams (1998) dengan nilai rata-rata untuk nilai kalor sebagai berikut :

Tabel 2.6 . Nilai kalor rata-rata dari berbagai sampah

Jenis sampah	%	Kalor spesifik (kJ/kg)	Nilai kalor (KJ/kg)
Sampah makanan	68,70	4.170	2.864,79
Aneka kertas	6,30	17.530	1.104,39
Kaca/ gelas	3,10	-	-
Plastik	11,60	17.910	2.077,56
Logam	0,90	-	-
Kayu	2,50	19.940	498,5
Kain/ tekstil	3,30	17.720	584,76
Karet	2,10	26.230	550,83
Baterai	0,10	-	-
Lain-lain	1,40	-	-

Sumber: Wiradarma (2002)

Berdasarkan Tabel 2.6. dapat disimpulkan bahwa nilai kalor terbanyak terdapat pada sampah makanan yang berasal dari rumah tangga. Menurut Budiman (2005) menyatakan untuk mendapatkan listrik maka sampah harus mempunyai kalor atau nilai panas yang tinggi. Kalor tinggi itu berasal dari sampah makanan, kertas dan plastik.

Menurut Enri (2005 dalam Budiman, 2005) menyatakan untuk mendapatkan energi maka sampah harus mempunyai kalor atau nilai panas yang tinggi. Kalor tinggi itu berasal dari sampah kertas dan plastik. sampah plastik mempunyai nilai kalor sekitar 6.000 kalori. Sementara itu kertas memiliki nilai kalor 4.000 - 5.000 kalori. Sedangkan sampah lainnya seperti daun hanya 500 kalori. Sarofim (1977 dalam J. Glinn Henry, 1989) menjelaskan bahwa kandungan energi sampah perkotaan mengandung sekitar 50% zat yang mudah menguap (*combustible*).

Tabel 2.7 Kandungan energi untuk material yang *combustible*

Material	Kandungan Energi	
	kJ/kg	Btu/lb
Sampah perkotaan		
- Bahan buangan (sampah)	10.500	4500
- Bahan <i>combustible</i>	23.300	10.000
- Kertas	16.300	7.000
- Sampah organik	5.800	2.500
Endapan saluran utama		
- padatan kering	17.700	7.600
Intisari endapan saluran		

Jenis sampah	Kandungan Energi (kJ)	Jenis sampah	Kandungan Energi (kJ)
Kertas/karton	8.082	Kulit	10.550
Kayu, kotak, tatal	8.256	Kertas berlapis lilin	12.661
Ranting	7.533	Plastik ( <i>Cellophane</i> )	12.661
Daun-daunan	5.170	Plastik ( <i>polyethylene</i> )	20.932
Rumput-rumputan hijau	4.030	Plastik ( <i>polyvinil</i> )	18.464
Sisa-sisa sayur & buah	1.920	Sisa-sisa minyak	18.991
Kain, tekstil	6.795	Semen basah	12.133
Karet	13.104		

Sumber : L. J. Cohan & J. H. Fernandes (1975 dalam Soewedo Hadiwiyoto, 1983)

L. J. Cohan & J. H. Fernandes (1977 dalam Soewedo Hadiwiyoto, 1983) menjelaskan bahwa nilai kalor dan dasar dari perhitungan panas pembakaran berbagai jenis sampah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.8. Kandungan energi berbagai jenis sampah

- padatan kering	9.100	3.900
Bahan bakar		
- #6 bahan bakar minyak	46.500	20.000
- <i>anthracite</i>	28.000	12.000
- <i>methana</i>	49.000	21.000

Sumber : Sarofim (1977 dalam J. Glinn Henry, 1989)

### Analisa Kalor

#### ▪ Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses penurunan kadar air sampah sampai batas tertentu. Cara ini merupakan salah satu proses fisis yang termasuk dalam kelompok operasi pemisahan.

Pada prinsipnya proses tersebut menyangkut dua langkah fundamental yaitu :1. Panas ditransfer dari media pemanas ke bahan yang dikeringkan. 2. Massa air ditransfer ke medium pengering. Dengan kata lain pengeringan merupakan proses transfer panas dan massa yang terjadi secara simultan. Proses perpindahan panas terjadi karena suhu bahan lebih rendah dari pada suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu bahan dan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari pada tekanan uap air udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa. Ketika udara pengering menembus bahan basah, sebagian panas sensibel udara pengering diubah menjadi panas laten sambil menghasilkan uap air. Sebelum proses pengeringan berlangsung tekanan uap air di dalam bahan berada dalam

keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya.

Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. setelah itu tekanan uap air pada permukaan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh permukaan bahan, maka terjadi gerakan air secara difusi dari bahan kepermukaannya seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan akan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya.

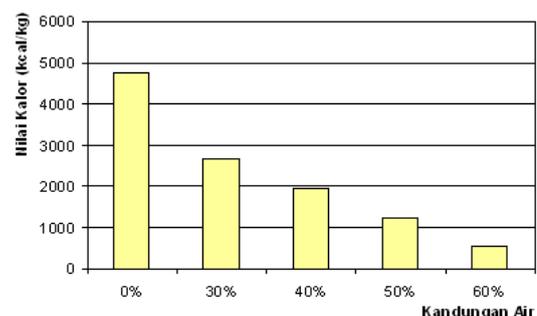
#### ▪ Kadar Air

Perhitungan energi sangat diperlukan agar pembakaran dapat berlangsung efektif dan efisien. Besarnya energi yang diperlukan terutama juga tergantung pada besarnya kadar air sampah. Apabila kadar air sampah tinggi, maka energi yang diperlukan untuk pengeringan dan pembakaran juga tinggi.

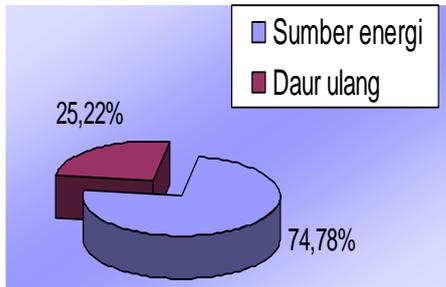
Selain tergantung pada kadar air sampah, besarnya energi yang diperlukan juga tergantung pada kandungan energi sampah.

Efektifitas pengeringan dan pembakaran ditentukan oleh empat hal, yaitu (Soewedo Hadiwiyoto, 1983):

- Kecepatan dispersi uap dari sampah.
- Tingginya diferensiasi suhu, yaitu kenaikan suhu bertahap yang diperlukan.
- Pengadukan, untuk mempercepat pemindahan panas.
- Ukuran sampah. Bila ukuran sampah kecil (misalnya dirajang atau digiling), berarti permukaannya menjadi lebih luas, akibatnya air yang menguap lebih cepat.



Gambar 2.2 Pengaruh kandungan air terhadap nilai kalor sampah (sumber: LPPM ITB, 2007)



Gambar 2. 3 Persentasi Energy To Waste (sumber: LPPM ITB, 2007)

Kandungan bahan kering sampel dan bahan lainnya dapat diekspresikan dalam tiga dasar bahan kering yaitu (INFIC, 1997):

a. *As Fed As fed*

menunjuk pada bahan pakan yang dikonsumsi oleh ternak, istilah *as collected* dipakai untuk bahan yang tidak biasa diberikan pada ternak seperti *urine, faeces*, dan lain-lain.

b. *Partially Dry*

*Partially dry* (dikeringkan sebagian) menunjuk pada sampel *as fed* atau *as collected* (saat mengumpulkan sampel) yang telah mengalami pengeringan dan yang telah dikuilibrasi dengan udara. Sampel setelah mengalami proses ini biasanya mengandung lebih dari 88% bahan kering ( $\pm 12\%$  air). Beberapa bahan disiapkan/dipreparasi dengan cara ini, sehingga dapat diambil sampelnya, dianalisis secara kimia dan disimpan. Analisa ini dinyatakan sebagai *partially dry matter* (sebagian bahan kering) dalam presentase (%).

Sampel yang dikeringkan sebagian harus dianalisis untuk mendapatkan bahan kering (penetapannya dengan cara memanaskan di dalam oven pada temperatur 105°C), guna mengoreksi analisis kimia berikutnya menjadi dasar dasar bahan kering atau *dry basic*.

c. *Dry*

*Dry* (kering) menunjuk pada bahan yang telah dikeringkan pada temperatur 105 °C ditetapkan pada *as fed sample*, itu menunjuk pada *dry matter of as fed sample*. Bila *dry matter* ditetapkan pada *partial dry*

*sample* itu menunjuk pada *dry matter on partial dry sample*.

Seperti telah diuraikan pada definisi ada dua macam sampel padat yang penting yaitu:

- Sampel yang sudah cukup kering untuk digiling dan dianalisis segera (lebih dari 88% bahan kering).
- Sampel yang memerlukan pengeringan sebagian (*partially dried*) atau diperlakukan secara khusus (kurang dari 88% bahan kering). Berdasarkan kadar air bahan didapatkan bahan kering yang digunakan untuk menganalisa kalor bersih dari hasil pengujian bomb calorimeter. Untuk mengetahui kadar air dari bahan kering dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven listrik dalam suhu 105°C (Waste Technology lecture 3, 2005), kemudian dianalisa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

✓ Berat sampel

$$D = B - A$$

.....(2-1)

dimana :

D = Berat sampel ..... (gr)

B = Berat cawan dan sampel.....(gr)

A = Berat cawan kosong .....(gr)

✓ % kadar air

$$\% \text{ kadar air (E)} = \frac{(B-C)}{D} \times 100$$

..... (2-2)

dimana :

C = berat cawan dan sampel 105°C .....(gr)

✓ Sampel kering (Bk)

$$F = 100 - E$$

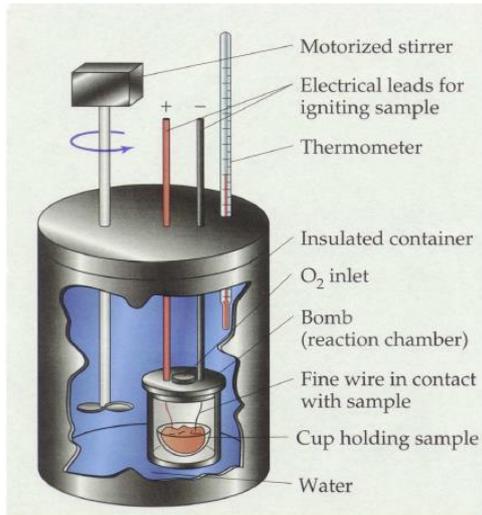
.....(2-3)

dimana : F = bahan kering .... (%)

▪ **Panas Pembakaran (Heating Value)**

Analisa kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi/proses pembakaran (Eddy dan Budi, 1990). Nilai kalor menunjukkan kalor yang berpindah bila hasil pembakaran sempurna. Menurut standar ASTM D 2015 nilai kalor ditentukan dalam uji standar dalam Bom Kalorimeter.

## Bomb Calorimeter



<http://chemistry.umeche.maine.edu/~amar/fall2007/bomb.html>

Gambar 2.2 Bom calorimeter

Ada dua macam penentuan: nilai kalor tinggi (bruto), (HHV, *higer heating value*) dimana diasumsikan bahwa semua uap yang terbentuk telah terkondensasi; sehingga dalam hal ini termasuk kalor laten penguapan uap air dalam produk; dan nilai kalor rendah (*lower heating value*, LHV) yang tidak mencakup kalor latentersebut. (M. M. El-Wakil, 1992)

### Macam-macam kalorimeter :

- Ishothermal Oxigen Bomb Calorimeter**  
Kenaikkan suhu dari *inner vessel* (Calorimeter Bucket) dapat diperiksa, sedang suhu out vessel (jacket) konstan. Suhu jacket dapat diatur terus menerus selama penetapan untuk tetap sama dipertahankan terhadap Calorimeter Bucket.
- Adiabatic Oxigen Bomb Calorimeter**  
Tidak diperlukan koreksi radiasi panas dan hanya memerlukan pemeriksaan suhu awal dan akhir kalorimeter dan suhu jacket terpaku sama terhadap suhu *linier vessel* selama penetapan. Perbedaannya dengan jenis yang pertama bahwa isothermal memerlukan pengukuran/pemeriksaan suhu awal, antara dan suhu akhir.
- Ballistic Oxigen Bomb Calorimeter**  
Sampel yang diketahui beratnya ditetapkan kalornya dengan dibakar di dalam suatu *bomb* yang berisi oksigen yang berlebihan, kemudian kenaikan maksimum dari bomb diukur dengan termokopel dan

galvanometer. Dengan membandingkan kenaikan suhu degansampel standar yang telah diketahui nilai kalornya dengan cara pembakaran asam benzoate dalam bomb calorimeter.

Dalam analisa nilai kalor dengan *adiabatic oxygen bomb calorimeter* untuk sampah yang masih mengandung air yaitu *Gross Energy* (GE) atau besar energi bruto menggunakan persamaan :

$$\Delta T = (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (2-4)$$

$$\text{Kawat laor terbakar} = (10 - \text{sisa kawat}) \times 2,3 \text{ kal/cm}^2 \dots \dots \dots (2-5)$$

dimana :

Suhu awal ( $t_1$ )..... (°C)

Suhu akhir ( $t_2$ )..... (°C)

Perubahan suhu... ( $\Delta T$ )

- 2,3 (kal) merupakan besar kalor yang dibutuhkan untuk membakar 1 cm kawat pijar.

$$GE_{\text{basah}} = \frac{(2470 \times \Delta x) - (\text{Panas kawat} + \text{mililiter titrasi})}{\text{Berat sampel}} \dots \dots \dots (2-6)$$

dengan berat sampel (gr), berat basah (%), Mililiter titrasi(kalori), GE basah (gross energi) (kal/gr), Kalor kawat terbakar (kalori), 2470 (kal) merupakan besar kalor yang dibutuhkan suatu bahan yang dibakar dalam menaikkan suhu 1°C, Mililiter titrasi (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) merupakan koreksi panas yang terbentuk oleh asam nitrat selama pembakaran berlangsung. Sedangkan untuk menganalisa nilai kalor bersih atau tanpa kadar air menggunakan persamaan :

$$GE_{\text{kering}} = \frac{100 \times GE_{\text{basah}}}{\text{Bahan Kering}} \dots \dots \dots (2-7)$$

Lengan  $GE_{\text{kering}}$  (gross energy)(kal/gr), Bahan kering (%).

### ▪ Larutan Kimia

Larutan kimia yang sering digunakan dalam uji nilai kalor dengan menggunakan bomb calorimeter adalah : Asam Benzoat (nilai kalori 6,32 kkal/gr, tidak higroskopis, terbakar dengan mudah dan sempurna, ada yang tersedia dalam bentuk pellet untuk mudahnya penanganan); Naphtalene (nilai kalori 9,614 kkal/gr); Sucrose (nilai kalori 3,950 kkal/gr); Larutan alkali standar (dipakai untuk menitrasi air cucian dalam bomb dan untuk menetapkan koreksi asam, biasanya dipakai larutan natrium karbonat 0,0725 N, larutan ini ekuivalen dengan 1 kal/ml); Indikator methyl orange atau methyl red (dikerjakan terhadap air cucian dalam bomb

yang telah ditampung dalam gelas ukur/beaker dan ditambah dengan indikator); *Methyl orange* atau *methyl red* (koreksi asam pada umumnya digunakan bahan atau bahan uji yang dibakar mengandung Nitrogen (N) dan Sulfur (S) yang selanjutnya dengan proses pembakaran dan adanya oksigen yang berlebihan akan terbentuk  $N_2O_3$  dan  $S_2O_3$ . Oksida ini dengan air akan membentuk  $HNO_3$  dan  $H_2SO_4$ . Panas yang dihasilkan oleh  $HNO_3$  0,1 N dalam kondisi bomb adalah 13,8 kkal/ml).

### III. Bio-drying

*Bio-drying* adalah proses satu-aliran aerobik yang diterapkan dalam limbah padat atau *municipal solid waste* (MSW). Selama proses ini, material *biodegradable* diuraikan terutama menjadi karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan air ( $H_2O$ ). Panas dihasilkan dari respirasi mikroba dengan oksigen.

Dalam proses *biodrying*, tingkat pengeringan selain panas biologis juga ditambahkan aerasi. Bagian utama dari panas biologis, secara alami tersedia melalui degradasi aerobik bahan organik, digunakan untuk menguapkan permukaan dan air terikat dengan campuran lumpur. Panas ini membantu dalam mengurangi kadar air dalam biomassa tanpa perlu bahan bakar fosil tambahan, dan dengan konsumsi listrik minimal.

Teknologi *bio-drying* mengurangi *Moisture Content* (MC) dari matriks limbah oleh adanya panas yang menyebabkan air menguap ke fase udara (uap), dan menghasilkan produk kering dengan karakteristik yang diinginkan (*Dufour, 2006*). Dalam *bio-drying*, mekanisme pengeringan utama adalah penguapan kadar air secara konveksi menggunakan panas dari biodegradasi limbah atau matriks secara aerob, karena aktivitas mikroba dalam komponen matriks dandilewati oleh aliran udara yang dapat diatur kecepatannya. *Moisture Content* (MC) dalam matriks limbah dikurangi melalui dua langkah utama yaitu molekul air menguap dari permukaan fragmen limbah ke udara sekitarnya, dan kemudian air yang menguap tersebut akan terikat ke dalam aliran udara dan masuk ke dalam pembuangan gas. Air yang merembes ke bagian bawah matriks dikumpulkan dibagian bawah reaktor *bio-drying* sebagai lindi.

Hasil dari pengolahan sampah ini akan menghasilkan produk sampah kering memiliki nilai kalor yang tinggi yang nantinya akan meningkatkan nilai kalornya dengan proses pembriketan pada pembuatan briket arang sebagai bahan bakar alternatif.

### Pengujian hasil produk *biodrying* (sampah kering)

Sampah organik sebelum dilakukan proses *bio-drying* dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat awal sampah menggunakan neraca Ohaus. Setelah dilakukan penimbangan sampah hasil proses *biodrying* guna mengetahui pengurangan berat dan untuk penyesuaian terhadap alat yang akan dipergunakan dalam pengujian nilai kalor pembakaran sampah tersebut karena alat pengujian hanya untuk bahan kering. Setelah sampah kering kemudian dilakukan proses penghancuran. Untuk sampah sisa makanan, sampah daun dan kayu/ranting menggunakan lesung dan alu sebagai alat penghancur. Setelah proses penghancuran selesai kemudian sampel masing-masing sampah ditimbang untuk mengetahui berat akhir dan sampel sampah siap untuk di uji.

### DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. Kimia Lingkungan. Penerbit ANDI Yogyakarta. Jakarta.
- Akselerasi Pertukaran Teknologi Lingkungan (APEC). 2005. Teknologi Pengolahan Sampah Jepang. KAWASAKI JUKO Co.Ltd. Jakarta.
- Apriadi, W. Harry., 1995, Memproses Sampah, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Borman, G.L., and Ragland, K.W., 1998, Combustion Engineering, McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Budiman, 2005, Mengelola Sampah Tak Perlu Teknologi Mahal, [www.bppt.go.id/berita/news2php?id=698](http://www.bppt.go.id/berita/news2php?id=698)
- Eddy dan Budi., 1990, Teknik Pembakaran Dasar dan Bahan Bakar, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri -ITS, Surabaya.
- Electricity in Mataram Regency, Rekayasa Vol. 3 No. 1, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, NTB.
- Grammelis, P. Basinas, A. Malliopoulou, G. Sakellariopoulos, (2009), Pyrolysis kinetics and combustion characteristics, of waste recovered fuels, Fuel 88 (2009) 195–205
- Hadiwiyoto, Soewedo., 1983, Penanganan dan Pemanfaatan Sampah, Yayasan Idayu, Jakarta.

- Henry, J Glynn., 1989, Environmental Science and Engineering, Prentice Hall, EngleWood, Cliffs, New Jersey.
- Himawanto, D.A (2005), Pengaruh karbonasi terhadap karakteristik pembakaran briket sampah kota, Media mesin, Volume 6 . 2005
- INFIC., 1997, International Feed Data Bank System, Publication No. 3 Nebraska, USA
- Jupri, Ahmad., 2001, Manajemen Sampah Padat (Solid Waste Management), Jurnal BiologiTropis Vol. 2 No. 1, Program Studi Pendidikan Biologi PMIPA FKIP, Universitas Mataram, NTB.
- M. El-Wakil., 1992, Instalasi Pembangkit Daya Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Sitompul, Darwin., 1989, Prinsip-Prinsip Konversi Energi, Erlangga Jakarta.
- Ojolo,S.J dan Bamboye, 2005 ,Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Vol. VII. Manuscript EE 05 006. September, 2005.
- Phan, AN, Ryu, C., Sharifi, V.N., Swithenbank, J., 2008, Characterisation of Slow Pyrolysis Products from Segregated Wastes for Energy Production, J.Anal.Appl.Pyrolysis 81 (2008), pp. 65-71.
- Saptoadi, H., 2006, The Best Biobriquette Dimension and its Particle Size, The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)" 21- 23 November, Bangkok, Thailand.
- Zandersons, J., Gravitis, J., Kokorevics, A., Zhurinsh, A., Bikovens, O., Tardenaka, A. dan Spince, B., 1999, Studies of Brazilian Sugarcane Bagasse Carbonisation Process and Product Properties, Biomass and Bioenergy Journal Vol. 17, pp. 209-219
- Zapusek, A., Wirtgen, C., Weigandt, J. dan Lenart, F., 2003, Characterisation of Carbonizate Produced from Velenje Lignite In Lab-Scale Reactor, Acta Chim. Slov. 50, 789-798.
- Wiradarma. 2002. The Energy Potency of Municipal Solid Waste to Supply Electricity in Mataram Regency. Rekayasa Vol. 3; No.1. Universitas Mataram. Mataram.
- Tanudi dan Sukardi, Eddi., 1998, Membuat Bahan Bangunan dari Sampah, Puspa Swara.
- Wiradarma, 2002, The Energy Potency of Municipal Solid Waste to Supply