

PENELITIAN NILAI KALOR BIOMASSA : PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DENGAN HASIL PERHITUNGAN

Wahyudi

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat Tamantirto Kasihan Bantul Yogyakarta 55183
Telp. 0274-387656

ABSTRAK

Indonesia memiliki berbagai jenis bahan bakar biomassa yang banyak seperti limbah pertanian, limbah peternakan dan lainnya. Walaupun banyak digunakan oleh masyarakat pedesaan sebagai bahan bakar, namun pemanfaatannya belum optimal, bahan bakar limbah pertanian masih berkisar pada kayu dan sekam padi, sedangkan ampas tebu, daun kering dan limbah peternakan belum banyak digunakan. Banyaknya jenis biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal, khususnya di Indonesia, mengharuskan adanya penelitian-penelitian yang ditujukan untuk pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian nilai kalor biomassa meliputi limbah pertanian dan limbah peternakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kalor biomassa yang diuji dan membandingkannya dengan hasil perhitungan menggunakan korelasi-korelasi yang ada. Penelitian diawali dengan melakukan analisa ultimat dan analisa proksimat masing-masing bahan untuk mengetahui komposisi dasar bahan. Data tersebut digunakan untuk memperkirakan nilai kalor bahan bakar berdasar korelasi-korelasi yang ada. Pengujian menggunakan kalorimeter bomb memberikan data kenaikan suhu yang digunakan untuk menghitung nilai kalor. Nilai kalor hasil pengujian dibandingkan dengan nilai kalor yang dihitung dari korelasi, sehingga dapat diketahui korelasi yang paling sesuai untuk biomassa yang diuji. Hasil pengujian menunjukkan nilai kalor biomassa yang diuji adalah 10,2 MJ/kg sampai dengan 24,7 MJ/kg. Korelasi yang memberikan nilai kalor mendekati nilai kalor hasil pengujian adalah Korelasi Tillman. Korelasi yang paling sesuai untuk biomassa yang diuji adalah $HHV = 1.3941.C - 18.3638.H + 1.4682.O + 16.7184.N - 95.753.S + 0.5184.A$

Kata kunci : biomassa, nilai kalor, korelasi.

PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah penduduk dan taraf hidup masyarakat mengakibatkan bertambahnya jumlah energi yang dibutuhkan. Berbagai bentuk sumber energi telah digunakan manusia, antara lain minyak bumi, batubara, gas alam, panas bumi dan sebagainya. Penggunaan bahan bakar yang berasal dari hasil tambang saat ini masih lebih besar daripada bahan bakar lainnya seperti biomassa.

Biomassa merupakan bahan-bahan organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang meliputi, dedaunan, rerumputan, ranting, gulma, limbah pertanian, limbah peternakan, limbah kehutanan dan gambut (Borman, 1998).

Indonesia memiliki bahan bakar biomassa yang melimpah seperti limbah pertanian, limbah peternakan dan sebagainya, walaupun banyak digunakan oleh masyarakat pedesaan sebagai bahan bakar, namun pemanfaatannya belum optimal. Bahan bakar limbah pertanian masih berkisar pada kayu dan sekam padi, sedangkan jerami, daun kering dan limbah peternakan belum banyak digunakan. Sebab rendahnya penggunaan biomassa dalam hal ini limbah pertanian dan limbah peternakan, sebagai bahan bakar adalah karena rendahnya informasi yang berkaitan dengan nilai kalor dan karakteristik pembakaran.

Nilai kalor adalah suatu sifat bahan bakar yang menyatakan kandungan energi pada bahan bakar tersebut. Korelasi untuk perhitungan nilai kalor berdasar komposisi dasar telah diberikan oleh beberapa peneliti, diantaranya disajikan dengan dasar hubungan dan asumsi. Kebanyakan hubungan tersebut ditujukan untuk batubara (Channiwala, 2002). Studi yang berhubungan dengan perbandingan dan validitas dari korelasi-korelasi tersebut untuk batubara sebagaimana bahan bakar lain telah menarik perhatian para peneliti.

Bahan bakar alternatif selain hasil tambang sangat perlu dikembangkan. Bahan bakar tersebut adalah biomassa antara lain limbah pertanian, limbah peternakan dan sampah.

Salah satu sifat yang sangat penting dari suatu bahan bakar adalah nilai kalor. Penentuan nilai kalor suatu bahan bakar dapat dilakukan dengan pengujian maupun dengan perkiraan berdasar komposisi dasar bahan bakar tersebut. Walaupun beberapa korelasi untuk estimasi nilai kalor telah diberikan oleh para peneliti sebelumnya, kebanyakan korelasi tersebut diberikan untuk batubara. Perlu dilakukan pengujian untuk korelasi-korelasi yang sesuai diterapkan pada biomassa.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pengujian nilai kalor biomassa dan pengujian korelasi-korelasi untuk estimasi nilai kalor yang telah diberikan para peneliti sebelumnya.

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Memperoleh data nilai kalor biomassa
2. (limbah pertanian dan limbah peternakan)
3. Membandingkan nilai kalor yang diperoleh dari hasil pengujian dengan estimasi berdasarkan komposisi dasar.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan penelitian ini adalah biomassa yang berasal dari :

- a. limbah pertanian, yaitu : Sekam padi, Jerami dan Serbuk kayu
- b. limbah peternakan yaitu : Kotoran Sapi, Kotoran Kambing dan Kotoran

Kelelawar

Bahan-bahan tersebut sudah dikeringkan dan dihaluskan.

Peralatan yang digunakan adalah :

1. Kalorimeter Bom (*Bomb Calorimeter*)
2. Kalorimeter Bom digunakan untuk mengukur nilai kalor bahan bakar (Gambar 1).
3. Stopwatch, digunakan untuk mencatat waktu pengujian bahan bakar.
4. Timbangan digital

Alat ini digunakan untuk menimbang masing- masing bahan bakar yang akan diteliti.



Gambar 1. Kalorimeter Bom

PEMBAHASAN

Langkah yang dilakukan untuk penelitian ini adalah :

1. Persiapan alat-alat penelitian.
2. Menyiapkan bahan-bahan penelitian.
Kegiatan persiapan bahan antara lain menghaluskan dan mengeringkan bahan.
3. Melakukan analisa ultimat dan analisa proksimat bahan bakar.

Analisa ultimat dan analisa proksimat dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara.

4. Menguji nilai kalor bahan bakar dengan kalorimeter bom.
Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah kenaikan suhu air pada tabung.
5. Menghitung nilai kalor berdasarkan hasil pengujian dengan kalorimeter bomb.
6. Menghitung nilai kalor berdasarkan korelasi komposisi dasar bahan bakar.
7. Membandingkan hasil pengujian dan hasil perhitungan berdasar beberapa korelasi yang ada.

Penelitian dilakukan di laboratorium Fenomena Dasar Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, kecuali analisa ultimat dan analisa proksimat,

Korelasi Yang Digunakan

Dari beberapa literatur, diperoleh korelasi sebagai berikut :

Tabel 1. Korelasi Nilai Kalor berdasar data analisa ultimat

No	Nama peneliti (tahun)	Korelasi
1	Dulong (1880)	$HHV^* = 0,3383C^* + 1,443(H^* - (O^*/8)) + 0,0942S^*$
2	Strache dan Lant (1924)	$HHV^* = 0,3406C^* + 1,4324H^* - 0,1532O^* + 0,1047S^*$
3	Steuer (1926)	$HHV^* = 0,3391 (C^* - ((3/8)O^*)) + 0,2386 ((3/8)O^*) + 1,444 (H^* - ((1/16)O^*)) + 0,1047 S^*$
4	Vondrecek (1927)	$HHV^* = (0,373 - 0,00026 C^*)C^* + 1,444 (H^* - (1/10)O^*) + 0,1047 S^*$
5	D'Huart (1930)	$HHV^* = 0,3391 C^* + 1,4337 H^* + 0,0931 S^* - 0,1273 O^*$
6	Schuster (1931)	$HHV^* = (1,0632 + 1,486 \cdot 10^{-3} O^*)(C^*/3 + H^* - (O^* - S^*)/8)$
7	Grummel dan Davis (1933)	$HHV^* = (0,0152H^* + 0,9875) ((C^*/3) + H^* - ((O^* - S^*)/8))$
8	Seyler (1938)	$HHV^* = 0,519 C^* + 1,625 H^* + 0,001 O^{*2} - 17,87$
9	Gumz (1938)	$HHV^* = 0,3403 C^* + 1,243 H^* + 0,0628 N^* + 0,1909 S^* - 0,0984 O^*$
10	Sumegi (1939)	$HHV^* = 0,3391 (C^* - 0,75 (O^*/2)) + 1,444 (H - 0,125 (O^*/2)) + 0,107 S^*$
11	Mott dan Spooner (1940)	$HHV^* = 0,3361C^* + 1,419H^* - (0,1532 - 0,0007 O^*) O^* + 0,0942 S^*$
12	Boie (1953)	$HHV^* = 0,3517 C^* + 1,1626 H^* + 0,1047 S^* - 0,111O^*$
13	Dulong-Berthelot	$HHV^* = 0,314C^* + 1,4445 H^* - (N^* + O^* - 1)/8) + 0,0093 S^*$
14	IGT (1978)	$HHV = 0,341C + 1,323 H + 0,0685 - 0,0153A - 0,1194 (O+N)$
15	Tillman (1978)	$HHV = 0,4373 C - 0,3059 (a)$
16	Tillman (1980)	$HHV = 0,4373 C - 1,6701 (b) (modified)$

No	Nama peneliti (tahun)	Korelasi
17	Jenkins (1985)	HHV = 0,4791 C + 0,6676H + 0,0589 O - 1,2077 S - 8,42
18	Jenkins (1985)	HHV = -0,763 + 0,301 C + 0,525 H + 0,064 O
19	Grabosky dan Bain (1981)	HHV = 0,328 C + 1,4306H - 0,0237 N + 0,0929 S - (1-A/100)(40,11H/C) + 0,3466
20	Beckman (1990)	HHV = 0,352 C + 0,944 H + (0,105(S - O)
21	Channiwala (2002)	HHV = 0.3491C + 1.1783 H - 0.1034 O - 0.0211 A + 0.1005 S -0.0151 N
22	Changdong (2005)	HHV = -1,3675 + 0,3137 C + 0,07009 H + 0,0318 O

Nilai Kalor yang diperoleh dari korelasi diatas dibandingkan dengan nilai kalor yang diperoleh dari pengujian. Tingkat kesalahan perkiraan nilai kalor dari tiap korelasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E = \left| \frac{HHV_k - HHV}{HHV} \right| \times 100\% \quad (1)$$

dengan

E = Tingkat kesalahan, %

HHV_k = Nilai Kalor yang diperoleh dari perhitungan korelasi

HHV = Nilai Kalor yang diperoleh dari pengujian.

Tingkat kesalahan rata-rata diperoleh dengan persamaan :

$$E_{rata} = \frac{E}{n} \quad (2)$$

dengan

n = Jumlah sampel biomassa yang diteliti.

Korelasi Berdasarkan Data Elemen Penyusun *Sample Biomassa* Yang Digunakan.

Beberapa metode untuk memperkirakan korelasi yang sesuai dengan data dari analisa ultimat sample biomassa yang diteliti adalah :

- Menggunakan asumsi bahwa besarnya nilai kalor dipengaruhi secara proporsional oleh kadar elemen penyusunnya (Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen dan Sulfur), seperti ditunjukkan pada persamaan 3.

$$HHV = x_1.C + x_2.H + x_3.O + x_4.N + x_5.S \quad (3)$$

- b. Menggunakan asumsi bahwa besarnya nilai kalor dipengaruhi secara proporsional oleh kadar elemen penyusunnya (Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen , Sulfur dan abu) , seperti ditunjukkan pada persamaan 4.

$$HHV = x_1.C + x_2.H + x_3.O + x_4.N + x_5.S + x_6.A \quad (4)$$

- c. Menggunakan asumsi bahwa besarnya nilai kalor dipengaruhi oleh kadar karbonnya (sesuai dengan korelasi Tillman), seperti ditunjukkan pada persamaan 5.

$$HHV = x_1.C + x_2 \quad (5)$$

- d. Modifikasi korelasi-korelasi lain yang sudah ada.

Berdasarkan beberapa metode diatas, disusun korelasi yang sesuai untuk biomassa limbah pertanian dan limbah peternakan.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1. Nilai Kalor Berdasarkan Pengukuran

Pengukuran Nilai Kalor Biomassa menggunakan Kalorimeter Bom memberikan data seperti tertera pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Hasil pengujian Nilai Kalor

No	Jenis Biomassa	HHV (MJ/kg)
1	Sekam Padi	12.33881
2	Jerami	14.00637
3	Serbuk Kayu	24.85482
4	Kotoran Sapi	10.90874
5	Kotoran Kambing	10.37851
6	Kotoran Kelelawar	17.09983

2. Nilai Kalor Berdasarkan Pendekatan Menggunakan Korelasi Hhv

Analisa Proksimat dan Analisa Ultimat dilakukan di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Bandung dengan hasil seperti tertera pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut :

Tabel 3. Hasil analisa proksimat bahan penelitian

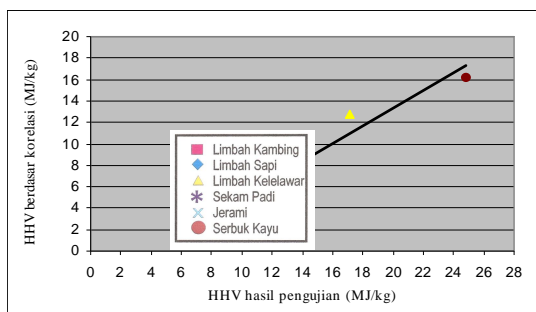
Bahan	Air Lembab, % adb	Abu ,% adb	Zat Terbang ,% adb	Karbon Padat ,% adb
Sekam Padi	4.03	27.56	55.06	13.35
Jerami	3.37	26.29	56.59	13.75
Serbuk Kayu	3.87	2.39	78.33	15.41
Kotoran Sapi	3.06	41.18	43.56	12.20
Kotoran Kambing	6.32	39.35	43.23	11.10
Kotoran Kelelawar	6.00	18.92	57.43	17.65

Tabel 4. Hasil analisa ultimat bahan penelitian

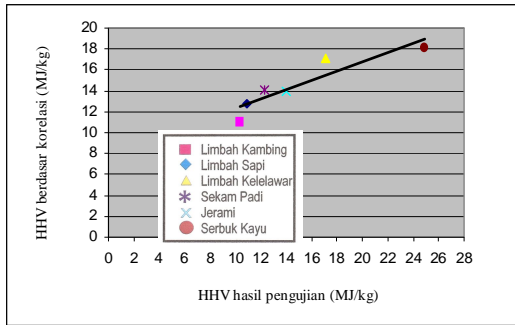
Bahan	S ,% adb	C ,% adb	H ,% adb	N ,% adb	O ,% adb
Sekam Padi	0.12	33.25	5.11	0.47	33.49
Jerami	0.17	33.04	5.15	0.87	34.48
Serbuk Kayu	0.22	45.48	5.11	0.42	46.38
Kotoran Sapi	0.37	29.35	4.38	1.85	22.87
Kotoran Kambing	0.52	26.38	4.17	2.37	27.21
Kotoran Kelelawar	1.4	40.39	5.51	8.96	24.62

Berdasarkan komposisi dasar bahan bakar yang diperoleh dengan analisa ultimat, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kalor digunakan korelasi-korelasi perhitungan nilai kalor.

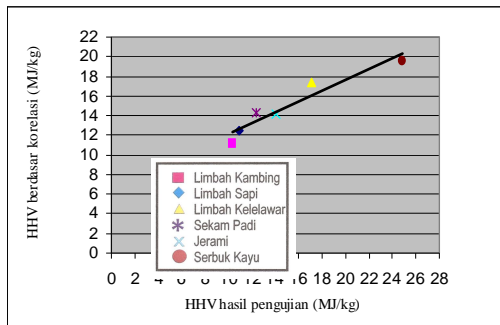
Hasil-hasil perhitungan nilai kalor berdasar korelasi diatas dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 9 sebagai berikut :



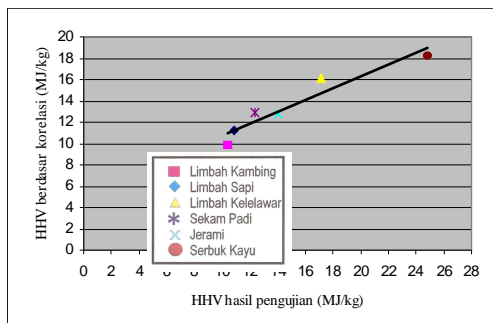
Gambar 2. Grafik HHV berdasar korelasi Seyler terhadap hasil pengujian



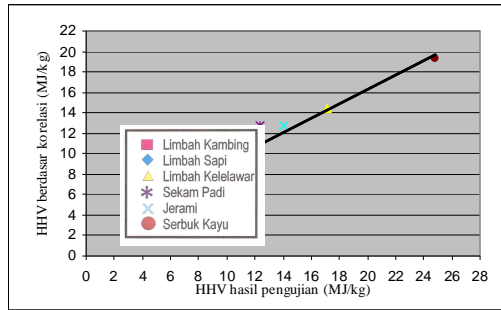
Gambar 3. Grafik HHV berdasar korelasi Grabosky dan Bain terhadap hasil pengujian



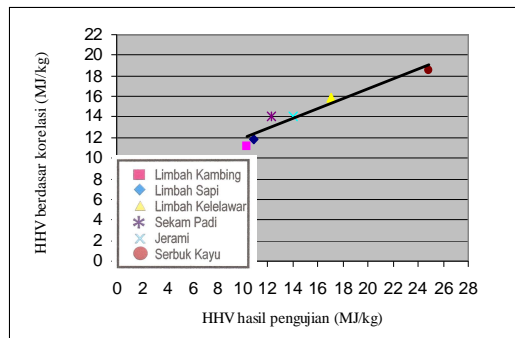
Gambar 4. Grafik HHV berdasar korelasi Tillman (a) terhadap hasil pengujian



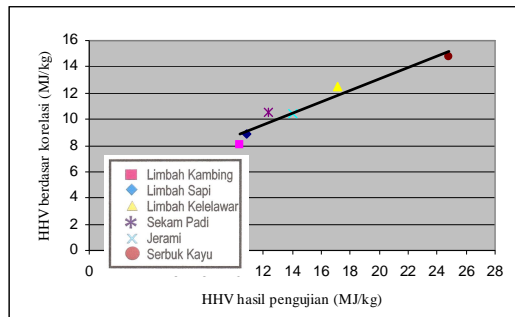
Gambar 5. Grafik HHV berdasar korelasi Tillman (b) terhadap hasil pengujian



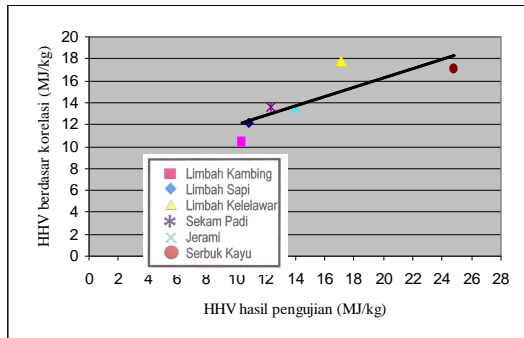
Gambar 6. Grafik HHV berdasar korelasi Jenkins (a) terhadap hasil pengujian



Gambar 7. Grafik HHV berdasar korelasi Jenkins (b) terhadap hasil pengujian



Gambar 8. Grafik HHV berdasar korelasi Changdong terhadap hasil pengujian



Gambar 9. Grafik HHV berdasar korelasi Channiwala terhadap hasil pengujian

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh korelasi yang paling sesuai dengan hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Korelasi yang sesuai dengan hasil pengujian

Jenis Biomassa	Korelasi yang mendekati	Tingkat kesalahan %
Limbah Sapi	Tilman (b)	5,39
Limbah Kambing	Beckman	0,4
Limbah Kelelawar	Dulong	0,06
Jerami	Grabosky dan Bain	0,49
Sekam Padi	Schuster	1,26
Serbuk Kayu	Tilman (a)	21,21

Pada keenam biomassa yang diteliti, secara rata-rata, korelasi yang memberikan tingkat kesalahan terkecil adalah korelasi Tillman (b) yaitu 8,84%.

3. Penyusunan Korelasi Yang Sesuai Dengan Biomassa Yang Diuji

Korelasi yang sesuai untuk biomassa yang diuji disusun berdasarkan beberapa asumsi :

- Besarnya nilai kalor dipengaruhi secara proporsional oleh kadar elemen penyusunnya (Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen dan Sulfur)

$$HHV = x_1.C + x_2.H + x_3.O + x_4.N + x_5.S$$

Dengan bantuan program Matlab, dapat diperoleh nilai x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 sehingga dapat disusun korelasi (Korelasi A):

$$HHV = 0.6988.C - 3.7235.H + 0.2679.O + 0.7873.N - 3.0959.S \text{ MJ/kg}$$

- b. Menggunakan asumsi bahwa besarnya nilai kalor dipengaruhi secara proporsional oleh kadar elemen penyusunnya (Carbon, Hidrogen, Oksigen, Nitrogen , Sulfur dan abu)

$$HHV = x_1.C + x_2.H + x_3.O + x_4.N + x_5.S + x_6.A$$

Dengan bantuan program Matlab, dapat diperoleh nilai $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ sehingga dapat disusun korelasi (Korelasi B):

$$HHV = 1.3941.C - 18.3638.H + 1.4682.O + 16.7184.N - 95.753.S + 0.5184.A$$

- c. Menggunakan asumsi bahwa besarnya nilai kalor dipengaruhi oleh kadar karbonnya (sesuai dengan korelasi Tillman)

$$HHV = x_1.C + x_2$$

Asumsi bahwa nilai kalor hanya dipengaruhi oleh kadar karbon memberikan korelasi sebagai berikut (Korelasi C) :

$$HHV = 0.7273.C - 10.293$$

- d. Modifikasi korelasi-korelasi lain yang sudah ada.

Modifikasi Korelasi Strache & Lant, dimana nitrogen tidak dimasukkan dalam korelasi memberikan korelasi sebagai berikut (Korelasi D):

$$HHV = 0.7315.C - 3.6181.H + 0.2105.O + 1.4818.S \text{ MJ/kg}$$

Dari korelasi-korelasi yang disusun diatas, setelah diterapkan pada data biomassa yang diuji diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 6. Nilai Kalor berdasar korelasi yang disusun
(a) Korelasi A dan Korelasi B

Jenis Biomassa	Korelasi			
	A		B	
	HHV (MJ/kg)	E (%)	HHV (MJ/kg)	E (%)
Limbah Sapi	10.6	2.47	10.9	0
Limbah Kambing	10.45	0.72	10.38	0.01
Limbah Kelelawar	17.16	0.37	17.1	0
Jerami	13.31	4.98	14.01	0
Sekam Padi	13.18	6.81	12.34	0
Serbuk Kayu	24.83	0.1	24.85	0
Rata-rata		2.58		0

(a) Korelasi C dan Korelasi D

Jenis Biomassa	Korelasi			
	C		D	
	HHV (MJ/kg)	E (%)	HHV (MJ/kg)	E (%)
Limbah Sapi	11.05	1.32	10.98	0.7
Limbah Kambing	8.89	14.31	10.71	3.17
Limbah Kelelawar	19.23	12.45	17.01	0.51
Jerami	13.74	1.92	13.04	6.86
Sekam Padi	13.89	12.57	13.06	5.86
Serbuk Kayu	22.78	8.33	24.87	0.06
Rata-rata		8.48		2.86

Dari Tabel 6 diatas dapat ditentukan bahwa korelasi yang memberikan kesalahan paling kecil adalah Korelasi B

$HHV = 1.3941.C - 18.3638.H + 1.4682.O + 16.7184.N - 95.753.S + 0.5184.A$, dengan tingkat kesalahan 0%

KESIMPULAN

1. Hasil HHV adalah sebagai berikut

No	Jenis Biomassa	HHV (MJ/kg)
1	Sekam Padi	12.33881
2	Jerami	14.00637
3	Serbuk Kayu	24.85482
4	Kotoran Sapi	10.90874
5	Kotoran Kambing	10.37851
6	Kotoran Kelelawar	17.09983

2. Perbandingan antara hasil pengujian dengan hasil perhitungan nilai kalor dengan menggunakan korelasi-korelasi yang sudah dipublikasikan sebelumnya menunjukkan bahwa secara rata-rata, korelasi yang memberikan kesalahan terkecil adalah korelasi Tillman , dengan tingkat kesalahan 8,84%.

3. Korelasi baru yang disusun berdasarkan data yang diperoleh adalah $HHV = 1.3941.C - 18.3638.H + 1.4682.O + 16.7184.N - 95.753.S + 0.5184.A$

Korelasi tersebut memberika tingkat kesalahan 0%

DAFTAR PUSTAKA

- Borman, G.L., and Ragland, K.W., 1998, “*Combustion Engineering*”, McGraw Hill Publishing Co, New York. pp 14.1-14.20
- Changdong, S., Azevedo, J.L.T., 2005, ‘*Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data*, *Bioamass and Bioenergy* vol 28, pp. 4449-507
- Channiwala, S.A., Parikh, P.P., 2002, ‘*A Unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels*: ”*Journal of Fuel* , vol 81, pp. 1051-1063
- Kanury, A.M., 1975, “*Introduction to Combustion Phenomena*”, Gordon and Breach Science Publishers, New York, pp 195-216
- Patil, K.N., Ramana, P.V., Singh, R.N., 2000, “*Performance Evaluation of Natural Draft Based Agricultural Residues Charcoal System*”, *Journal of Biomass and Bioenergy*, 18, pp. 161-173.
- Turns, S.R., 1996, “*An Introduction o Combustion*”, McGraw-Hill Inc. Singapore, pp. 443-437
- Wagini, R., dkk, 2000, “*Pembuatan dan Karakterisasi Briket Bioarang dari Limbah Padat Industri Peternakan Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif*”. *Energi no 10*,.Pusat Studi Energi UGM, hal. 12-16