

PENELITIAN NILAI KALOR BAHAN BAKAR BIOMASSA PADA LIMBAH KOTORAN HEWAN

Sunaryo¹, Wahyu Widiatmo²,

Abstrak

Biomassa adalah bahan kering dari material organik. Biomassa sangat penting sebagai potensi sumber energi (bahan bakar). Sifat yang sangat penting dari bahan bakar adalah nilai kalor. Maka dari itu perlu dilakukan penentuan nilai kalor dengan cara pengujian untuk kemudian diterapkan pada korelasi-korelasi yang telah ada guna dikembangkan dalam penelitian teknologi lebih lanjut. Dalam penelitian ini jenis limbah biomassa yang digunakan berasal dari kotoran hewan yaitu kotoran sapi, kotoran kelelawar, serta kotoran kambing. Pengujian dilakukan dengan alat pengukur nilai kalor bahan bakar biomassa Kalorimeter. Selanjutnya hasil pengujian dibandingkan dengan hasil perkiraan menggunakan korelasi. Nilai HHV untuk sampel uji kotoran Sapi besarnya 10,90874 MJ/kg, kotoran Kambing 10,37851 MJ/kg dan kotoran Kelelawar sebesar 17,09983 MJ/kg. Secara umum korelasi yang paling mendekati dari penelitian tiga macam sampel rata-rata bahan bakar Biomassa limbah hewan adalah korelasi Beckman dengan didapat selisih rata-rata 3,88%.

Kata Kunci : Biomassa, Nilai Kalor, Kalorimeter

Abstract

Biomass is the dry matter of organic material . Biomass is very important as a potential source of energy (fuel) . Very important properties of the fuel is the calorific value . Thus it is necessary for the determination of calorific value by means of testing and then applied to the correlations existing technologies to be developed in further research . In this study the type of waste biomass is derived from animal manure is manure , bat droppings , and goat manure . Tests performed with gauges calorific value of biomass fuels Calorimeter . Further test results compared to the results of the estimation using correlation . Value for the test sample size of cow dung 10.90874 MJ / kg , goat dung 10.37851 MJ / kg and bat droppings of 17.09983 MJ / kg . In general, the closest correlation study of three kinds of sample average animal waste biomass fuel is obtained correlation Beckman with an average difference of 3.88 %.

Keywords : Biomass , Calorific Value , Calorimeter

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan energi di Indonesia kepada bahan bakar minyak dan gas sangat tinggi, akibatnya ketika Pemerintah Pusat memutuskan kebijakan untuk menaikkan harga BBM dan gas baru-baru ini, berdampak sangat berat dirasakan oleh seluruh rakyat khususnya masyarakat menengah kebawah.

Terlepas dari itu upaya mengembangkan energi alternatif sangat diperlukan. Dan alternatif energi yang mulai di kembangkan adalah energi dari limbah biomassa serta sampah yang dapat menjadi salah satu pilihan

sumber energi alternatif bahan bakar, sebab biomassa ini sangat mudah ditemukan dari aktivitas pertanian, peternakan, kehutanan, perkebunan, perikanan di berbagai daerah.

Biomassa secara umum lebih dikenal sebagai bahan kering material organik atau bahan yang tersisa setelah suatu tanaman atau material organik dihilangkan kadar airnya (dikeringkan). Material organik hidup seperti manusia, tumbuhan, hewan dan kotorannya, umumnya mengandung 80 – 90% air, namun setelah kering sekitar 6 % kandungan air lembabnya akan mengandung senyawa hidrokarbon yang sangat tinggi. Karena

ketersediaan limbah yang sangat banyak menyebabkan timbulnya permasalahan limbah biomassa tidak termanfaatkan secara optimal. Berawal dari itu dimungkinkan bahwa biomassa dapat digunakan untuk potensi energi alternatif karena senyawa hidrokarbon merupakan hal terpenting juga dalam suatu bahan bakar. Untuk membuktikan hal tersebut maka diambil beberapa sampel biomassa dari limbah kotoran hewan yang banyak ditenakkan yaitu kotoran Sapi dan kotoran Kambing sedangkan sebagai bahan pembandingan diambil kotoran Kelelawar.

Salah satu sifat yang sangat penting dari suatu energi alternatif bahan bakar adalah nilai kalor. Dalam hal ini beberapa korelasi untuk estimasi nilai kalor telah diberikan oleh para peneliti sebelumnya, tetapi korelasi tersebut diberikan untuk batubara. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian untuk korelasi-korelasi yang sesuai diterapkan pada biomassa.

1.1.Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi dua golongan berdasarkan fasa salah satu produk pembakaran yaitu air (H₂O), yaitu:

1. HHV (*Higher Heating Value*)

Suatu besaran yang menyangkut bahan bakar yang mengandung hidrogen di mana air yang terbentuk dalam produk pembakaran berbentuk fase cair.

2. LHV (*Lower Heating Value*)

Suatu besaran yang menyangkut bahan bakar yang mengandung hidrogen: di mana air yang terbentuk dalam produk pembakaran berbentuk fase uap.

Hubungan antara HHV dan LHV adalah sebagai berikut:

$$LHV = HHV - \frac{m_{air} \cdot h_{fg,air}}{m_{bb}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

LHV : *Lower Heating Value* (kJ/kg bahan bakar)

HHV : *Higher Heating Value* (kJ/kg bahan bakar)

m_{air} : Massa air yang mengembun setelah proses pembakaran (kg)

m_{bb} : Massa bahan bakar (kg)

h_{fg,air} : Panas laten penguapan air (=2440 kJ/kg) (*Bormab,G. L., 1998:29*)

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang nilai kalor bahan bakar padat yang kebanyakan dengan bahan batubara. Estimasi nilai kalor berdasarkan komposisi dasar bahan bakar telah disampaikan oleh beberapa peneliti (Channiwala, 2002), seperti:

1. Dulong memberikan korelasi nilai kalor
 $HHV = 0,3383 C + 1,443 (H - (O/8)) - 0,0942 S$ MJ/kg ...pers.(2.2)
 Korelasi tersebut berdasarkan pada reaksi pembakaran. Hal tersebut diperoleh dari sifat batubara.
2. Strache dan Lant (1924) memberikan korelasinya
 $HHV = 0,3406 C + 1,4324 H - 0,1532 O + 0,1047 S$.. pers.(2.3)
3. Steuer menyempurnakan korelasi diatas pada tahun 1926 menjadi
 $HHV = 0,3391 (C - ((3/8) O)) + 0,2386 ((3/8) O) + 1,444 (H - ((1/16) O) + 0,1047 S$...pers.(2.4)
4. Vondreczek pada tahun 1927 memberikan korelasinya
 $HHV = (0,373 - 0,00026 C) C + 1,444 (H - (1/10) O) + 0,1047 S$ pers.(2.5)
5. D'Huart (1930) mendapatkan korelasi
 $HHV = 0,3391 C + 1,4337 H + 0,0931 S - 0,127 O$Pers.(2.6)
6. Schuster pada tahun 1931 memberikan korelasi
 $HHV = (1,0632 - 1,486 \times 10^{-3} O)(C / 3 + H - (O-S)/ 8)$ MJ/kg....pers.(2.7)
 Aplikasi untuk berbagai korelasi untuk cakupan bahan bakar yang lebih luas dilakukan oleh Van Krevelon.

7. Grummel dan Davis memberikan rumus korelasinya pada tahun 1933 sebagai berikut:

$$HHV = (0,0152 H + 0,9875) ((C/3) + H - ((O - S)/8)) \dots \text{pers. (2.8)}$$
8. Beberapa analisa untuk biomassa dilakukan oleh Grabosky yang menyatakan bahwa korelasi IGT dinyatakan lebih valid untuk biomassa dan arang, dimana:

$$HHV = 0,31 C + 1,323 H + 0,0685 - 0,0153 A - 0,1194 (O+N) \text{ MJ/kg}$$

pers.(2.9)
9. Channiwala memberikan korelasinya

$$HHV = 0.349C + 1.1783 H - 0.1034 O - 0.021 A + 0.1005 S - 0.0151 N$$

pers.(2.10)

 - a. Beckman (1990), memberikan korelasinya

$$HHV = 0,352 C + 0,944 H + (0,105(S - O))$$
10. Estimasi nilai kalor biomassa telah dilakukan juga oleh Changdong (2005), dimana data biomassa diperoleh dari literatur terbuka. Dari sini diperoleh korelasi baru yaitu:

$$HHV = -1,3675 + 0,3137 C + 0,07009 H + 0,0318 O \text{ MJ/kg} \dots \text{pers. (2.11)}$$

1.2. Bahan Bakar Limbah Biomassa

Adalah suatu sumber energi yang berasal dari material organik yang telah mengalami proses kimiawi sehingga mengandung senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon ini bila dikonversi dapat digunakan untuk menghasilkan panas, membuat bahan bakar.

Limbah yang berasal dari hewani semua dapat digunakan untuk bahan bakar, sebab didalamnya banyak terkandung unsur senyawa karbon. Sebagai contoh:

❖ Kotoran Kambing

Dari hasil pengujian *Proximate* yang telah dilakukan ternyata didalam kotoran kambing ini terkandung air lembab sebanyak 6.32 %, kadar abu 39.35 %, zat terbang 43.23 % dan karbon padat 11.10 %. Sedangkan untuk pengujian

Ultimate, belerang total sebanyak 0.52 %, Karbon 26.38 %, Hidrogen 4.17 %, Nitrogen 2.37 % dan Oksigen 27.21 % (*sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral RI 02/01/06*)

❖ Kotoran Sapi

Dari hasil pengujian *Proximate* yang telah dilakukan ternyata didalam kotoran Sapi ini mempunyai kadar air lembab sebanyak 3.06 %, kadar abu 41.18 %, zat terbang 43.56 % dan karbon padat 12.20 %. Sedangkan dari pengujian *Ultimate* diperoleh, belerang total sebanyak 0.37 %, Karbon 29.35 %, Hidrogen 4.38 %, Nitrogen 1.85 % dan Oksigen 22.87 % (*sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral RI 02/01/06*)

❖ Kotoran Kelelawar

Dari hasil pengujian *Proximate* yang telah dilakukan ternyata didalam kotoran kelelawar ini mempunyai kadar air lembab sebanyak 6.00 %, kadar abu 18.92 %, zat terbang 57.43 % dan karbon padat 17.65 %. Sedangkan dari pengujian *Ultimate* diperoleh, belerang total sebanyak 1.40 %, Karbon 40.59 %, Hidrogen 5.51 %, Nitrogen 0.47 % dan Oksigen 33.49 % (*sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral RI 02/01/06*)

1.3. Kalorimetri

Suatu bentuk energi yang menyebabkan materi mempunyai suhu disebut kalor. Kalor Juga dapat menyebabkan perubahan wujud. Apabila suatu zat menyerap kalor, maka suhu zat itu akan naik sampai tingkat tertentu hingga zat itu akan mencair (jika zat padat) atau akan menguap (jika zat cair). Sebaliknya jika kalor dilepaskan dari suatu zat, maka zat itu akan turun hingga tingkat tertentu hingga zat itu akan mengembun (jika zat gas) atau membeku (jika zat cair). Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram zat sebesar 1°C disebut kalor jenis. Sebagai contoh, kalor jenis air 4,18 J/g°C ini berarti untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1°C

diperlukan 4,18 J. Secara umum berlaku rumus:

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Dengan q = Jumlah kalor (J)

m = Massa zat (gram)

Δt = Perubahan Suhu ($t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}$)

c = kalor jenis

Jumlah kalor yang diperlukan oleh suatu zat atau suatu sistem untuk menaikkan suhu 1°C disebut kapasitas kalor (C). Untuk menentukan jumlah kalor reaksi dapat digunakan alat ukur calorimeter. Alat ini digunakan untuk mengukur ΔH reaksi.

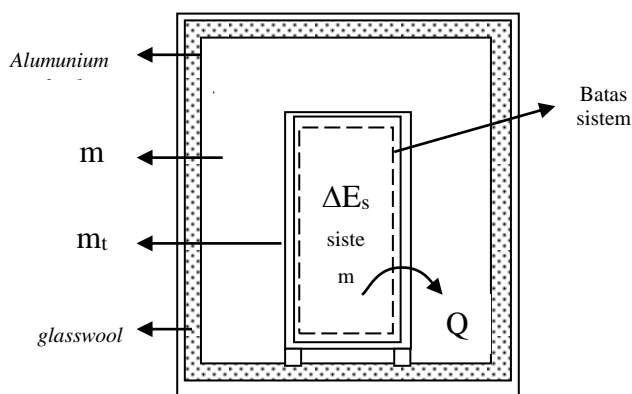
2. METODE PENELITIAN

1.2. Analisa Termodinamika Sistem

Tertutup

Penentuan nilai kalor bahan bakar dapat dilakukan dengan analisa Hukum I Termodinamika Tertutup. Hukum I Termodinamika menyatakan bahwa “*Energi adalah Kekal, tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan*”

Pada kasus ini energi kimia setelah terjadi proses pembakaran akan berubah menjadi energi panas. Energi ini selanjutnya diterima oleh media lain dengan indikasi kenaikan suhu media penyerap energi tersebut. Dalam *Calorimeter Bomb* media penyerap energi kimia bahan bakar adalah air, material bejana sebelah dalam (*bomb*) dan material sebelah luar (*pail*).



Gambar 2.1 Analisa termodinamika sistem tertutup

Hukum I Termodinamika – sistem tertutup adalah sebagai berikut:

$$\sum E_{\text{dilepas}} = \sum E_{\text{diterima}} \text{ ..pers.(2.12)}$$

Berdasarkan analisa gambar 2.1 maka didapat:

$$m_{BB} \cdot HHV_{BB} = C_v \cdot \Delta T - m_{\text{stimulan}} \cdot HHV_{\text{stimulan}}$$

$$\text{dimana } C_v = (m_a \cdot C_{p_a}) + (m_{tb} \cdot C_{p_{tb}})$$

pers.(2.13)

$$\text{Jadi besar } HHV_{BB} = \frac{C_v \cdot \Delta T - m_{\text{stimulan}} \cdot HHV_{\text{stimulan}}}{m_{BB}}$$

pers.(2.14)

Dengan, $m_{BB} = m_0 - m_1$ pers.(2.15)

dimana:

m_{BB} : Massa bahan bakar (kg)

HHV : Nilai kalor pembakaran bahan bakar (kJ/kg)

m_a : Massa air (kg)

c_{pa} : Kalor jenis rata-rata air (= 4,18 kJ/kg.°K)

c_{ptb} : Kalor spesifik tabung (= 0,46 kJ/kg.°K)

T_0 : Suhu awal air (°C)

T_1 : Suhu maksimum air (°C)

m_0 : Massa bahan bakar sebelum pembakaran (kg)

m_1 : Massa bahan bakar setelah pembakaran (kg)

2.2. Alat dan Bahan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bahan bakar dari limbah kotoran hewan yang sudah dikeringkan dan dihaluskan. Dengan hasil analisis proksimat dan ultimat seperti tabel berikut:

Tabel 3.1 Hasil Analisis Proksimat

No	Sampel Uji	Air lembab (%)	Abu (%)	Zat Terbang (%)	Karbon Padat (%)
1.	Kotoran Kambing	6.32	39.35	43.23	11.10
2.	Kotoran sapi	3.06	41.18	43.56	12.20
3.	Kotoran Kelelawar	6.00	18.92	57.43	17.65

Tabel 3.2 Hasil Analisis Ultimat

No	Sampel Uji	Belerang (%)	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen (%)
1.	Kotoran Kambing	0.52	26.38	4.17	2.37	27.21
2.	Kotoran sapi	0.37	29.35	4.38	1.85	22.87
3.	Kotoran Kelelawar	1.40	40.59	5.51	8.96	24.62



Gambar 3.1. Kotoran Sapi



Gambar 3.2. kotoran Kambing



Gambar 3.3. Kotoran Kelelawar

Tabel 4.8 Data hasil pengujian analisa ultimat limbah hewan

Nama limbah	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Ash (%)	HHV (MJ/kg)
Limbah Sapi	29.35	4.38	22.87	1.85	0.37	41.18	10.90821
Limbah Kambing	26.38	4.17	27.21	2.37	0.52	39.35	10.34007
Limbah Kelelawar	40.59	5.51	24.62	8.96	1.4	18.92	19.46403

Tabel 4.1 Data pengujian sampel uji kotoran kambing

No	Percobaan	Massa BB Awal (gram)	Perubahan suhu / ΔT (°C)	Bahan bakar sisa (gram)
1.	I	1.5	1	0.12
2.	II	1.5	1	0.18
3.	III	1.5	1	0.135

Tabel 4.3 Data hasil pengujian sampel uji kotoran sapi

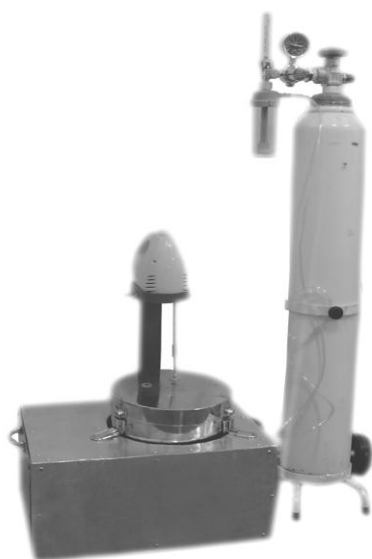
No	Percobaan	Massa BB Awal (gram)	Perubahan suhu / ΔT (°C)	Bahan bakar sisa (gram)
1.	I	1.5	1	0.075
2.	II	1.5	1	0.18
3.	III	1.2	1	0.06

Tabel 4.5 Data hasil pengujian untuk sampel uji kotoran kelelawar

No	Percobaan	Massa BB Awal (gram)	Perubahan suhu / ΔT (°C)	Bahan bakar sisa (gram)
1.	I	1.4	2	0.196
2.	II	1.2	1	0.12
3.	III	1.2	1.5	0.108

Alat.

Alat pengujian ini adalah Kalorimeter Bomb.



Dari hasil pengembangan analisa termodinamika tertutup pada persamaan 2.12 bahwa $\sum E_{dilepas} = \sum E_{diterima}$, maka nilai kalor pada pengujian ini dapat ditentukan dengan rumus:

$$m_{BB} \cdot HHV_{BB} = C_v \cdot \Delta T - m_{Stimulan} \cdot HHV_{stimulan}$$

$$\text{dimana } C_v = (m_a \cdot C_{p_a}) + (m_{tb} \cdot C_{p_{tb}})(\Delta t) \\ = 16.272 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi besar } HHV_{BB} &= \frac{C_v \cdot \Delta T - m_{stimulan} \cdot HHV_{stimulan}}{m_{BB}} \\ &= \frac{16.272 \text{ kJ/}^\circ\text{C} \cdot 1^\circ\text{C} - 2.2663 \text{ kJ/kg}}{1.38 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{14.0057 \text{ kJ/kg}}{1.38 \times 10^{-3}} \\ &= 10149.05 \text{ kJ/kg} \\ &= 10.14905 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

- ❖ Maka diperoleh HHV rata-rata sampel uji kotoran kambing sebesar:

$$\begin{aligned}\overline{HHV}_{Bkk} &= \frac{(10.14905 + 10.61058 + 10.26058) MJ / kg}{3} \\ &= \frac{31.02021 MJ / kg}{3} \\ &= 10.34007 MJ / kg\end{aligned}$$

- ❖ HHV rata-rata sampel uji kotoran sapi sebesar:

$$\begin{aligned}\overline{HHV}_{BKS} &= \frac{(9.82856 + 10.61037 + 12.28570) MJ / kg}{3} \\ &= \frac{32.72464 MJ / kg}{3} \\ &= 10.90821 MJ / kg\end{aligned}$$

- ❖ Maka HHV rata-rata uji kotoran kelelawar sebesar:

$$\begin{aligned}&= \frac{(25.14759 + 12.96824 + 20.27628) MJ / kg}{3} \\ &= \frac{58.39211 MJ / kg}{3} \\ &= 19.46403 MJ / kg\end{aligned}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan nilai kalor digunakan rumus korelasi-korelasi sebagai berikut:

- ❖ Dulong (1880)

$$HHV^* = 0,3383C^* + 1,443(H^* - (O^*/8)) + 0,0942S^*$$

- ❖ Strache dan Lant (1924)

$$HHV^* = 0,3406C^* + 1,4324H^* - 0,1532O^* + 0,1047S^*$$

- ❖ Steuer (1926)

$$HHV^* = 0,3391 (C^* - ((3/8)O^*)) + 0,2386 ((3/8)O^*) + 1,444 (H^* - ((1/16)O^*)) + 0,1047 S^*$$

- ❖ Vondreck (1927)

$$HHV^* = (0,373 - 0,00026 C^*)C^* + 1,444 (H^* - (1/10)O^*) + 0,1047 S^*$$

- ❖ D'Huart (1930)

$$HHV^* = 0,3391 C^* + 1,4337 H^* + 0,0931 S^* - 0,1273 O^*$$

- ❖ Schuster (1931)

$$HHV^* = (1,0632 + 1,486 \cdot 10^{-3} O^*)(C^*/3 + H^* - (O^* - S^*)/8)$$

- ❖ Grummel dan Davis (1933)

$$HHV^* = (0,0152H^* + 0,9875) ((C^*/3) + H^* - ((O^* - S^*)/8))$$

- ❖ Seyler (1938)

$$HHV^* = 0,519 C^* + 1,625 H^* + 0,001 O^{*2} - 17,87$$

- ❖ Gumz (1938)

$$HHV^* = 0,3403 C^* + 1,243 H^* + 0,0628 N^* + 0,1909 S^* - 0,0984 O^*$$

- ❖ Sumegi (1939)

$$HHV^* = 0,3391 (C^* - 0,75 (O^*/2)) + 1,444 (H - 0,125 (O^*/2)) + 0,107 S^*$$

- ❖ Mott dan Spooner(1940)

$$\begin{aligned}HHV^* &= 0,3361C^* + 1,419H^* - 0,1453O^* + 0,0924 S^* \text{ ---- } O^* < 15\% \\ HHV^* &= 0,3361C^* + 1,419H^* - (0,1532 - 0,0007 O^*) O^* + 0,0942 S^* \text{ ----- } O^* > 15\%\end{aligned}$$

- ❖ Boie (1953)

$$HHV^* = 0,3517 C^* + 1,1626 H^* + 0,1047 S^* - 0,111O^*$$

- ❖ Dulong-Berthelot

$$HHV^* = 0,314C^* + 1,4445 H^* - (N^* + O^* - 1)/8 + 0,0093 S^*$$

- ❖ IGT (1978)

$$HHV = 0,341C + 1,323 H + 0,0685 - 0,0153A - 0,1194 (O+N)$$

❖ Tillman (1978)

$$HHV = 0,4373 C - 0,3059 (a)$$

$$HHV = 0,4373 C - 1,6701 (b) \text{ (modified)}$$

❖ Jenkins (1980)

$$HHV = 0,4791 C + 0,6676H + 0,0589 O - 1,2077 S - 8,42$$

❖ Jenkins (1985)

$$HHV = -0,763 + 0,301 C + 0,525 H + 0,064 O$$

❖ Grabosky dan Bain (1981)

$$HHV = 0,328 C + 1,4306H - 0,0237 N + 0,0929 S - (1 - A/100)(40,11H/C) + 0,3466$$

❖ Beckman (1990)

$$HHV = 0,352 C + 0,944 H + (0,105(S - O))$$

❖ Changdong(1979)

$$HHV^* = -1.3675 + 0.3137 C^* + 0.07009 H^* + 0.0318 O^*$$

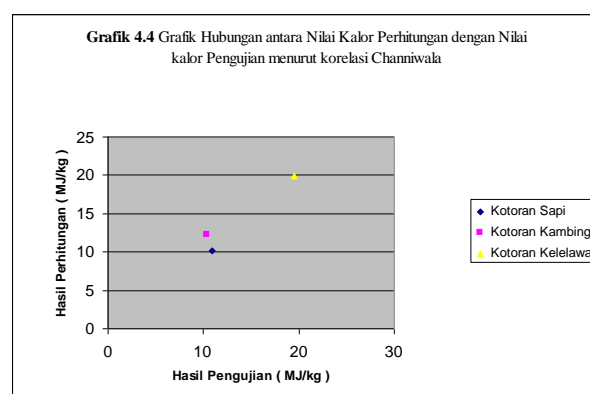
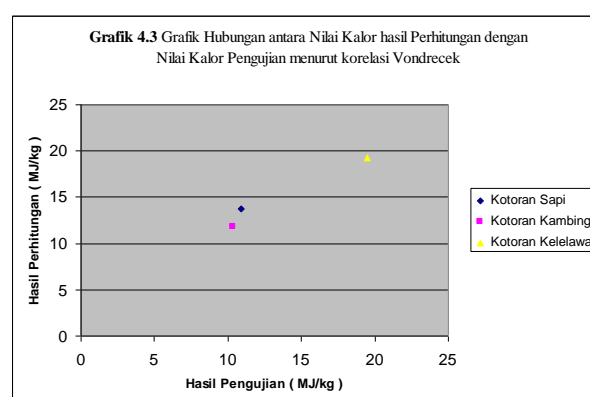
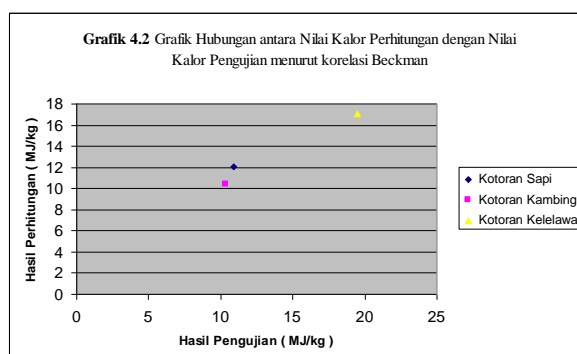
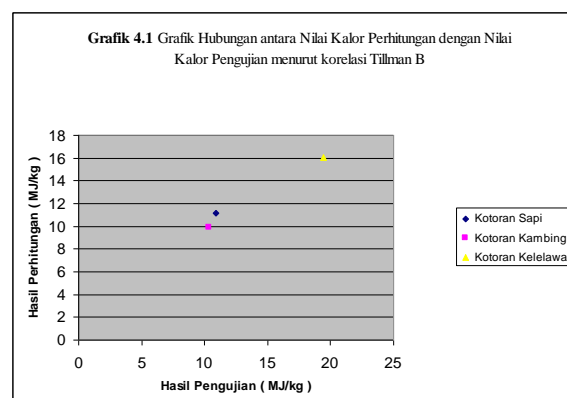
❖ Channiwalla (2002)

$$HHV^* = 0.349C^* + 1.1783 H^* - 0.1034 O^* - 0.021 ash^* + 0.1005 S^* - 0.0151 N$$

Hasil Perhitungan Korelasi

Dari hasil tersebut korelasi yang paling sesuai adalah:

- Untuk nilai kalor limbah kotoran Sapi yang paling sesuai adalah korelasi Tillman B dengan selisih 0.256445 MJ/kg
- Untuk nilai kalor limbah kotoran Kambing korelasi yang paling sesuai adalah Beckman dengan selisih 0.07972 MJ/kg
- Untuk nilai kalor limbah kotoran Kelelawar yang paling sesuai adalah korelasi Vondreck dengan selisih 0.204431 MJ/kg
- Untuk nilai kalor rata-rata keseluruhan sampel korelasi yang sesuai adalah korelasi Channiwalla dengan selisih rata-rata sebesar 0.155373 MJ/kg



4. KESIMPULAN

Berdasarkan data pengujian dan perhitungan maka dalam penelitian ini

dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk hasil dari pengujian nilai kalor sampel biomassa dari limbah kotoran hewan nilai \overline{HHV} untuk sampel uji kotoran Sapi besarnya 10.908,21 kJ/kg, kotoran Kambing 10.340,07 kJ/kg dan kotoran Kelelawar sebesar 17.099,04 kJ/kg.
2. Korelasi secara umum yang paling mendekati dari penelitian tiga macam sampel dari rata-rata bahan bakar limbah yang berupa kotoran Sapi, kotoran Kambing, dan kotoran Kelelawar adalah korelasi dari Beckman dengan selisih rata-rata 0.07972 MJ/kg

$$HHV = 0,352 C + 0,944 H + (0,105(S - O))$$
3. Secara khusus untuk kotoran Sapi korelasi yang sesuai adalah menurut Tillman B dengan selisih 0.256445 MJ/kg, adapun rumus korelasinya seperti berikut ini:

$$HHV = 0,4373 C - 1,6701$$

Kadarohman, A., dkk, *Kimia*, Vol 2, Cetakan III, SSC Intersolusi, Yogyakarta, 2003.

Purba, M., *Kimia 2000*, Jilid 2A, Erlangga, Jakarta, 2000..

Suyanto, D., *Ringkasan Kimia*, Mitra Gama Widya, Yogyakarta, 1998.

Tatang Sopian, *Sampah dan Limbah Biomassa, Potensi Alternatif Energi di Daerah*, Purwakarta, 2003.

5. DAFTAR PUSTAKA

Borman, and Regland, *Combustion Engineere*, McGraw-Hill, Singapore, 1998.

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

Djojodiharjo, H., *Termofdinamika Teknik*,. Gramedia, Jakarta, 1987.

Holman and Gadjia, *Experimental Methods for Engineers*, 3rd ed. McGraw-Hill, Tokyo, 1981.

