

ANALISIS NILAI KALOR BAHAN BAKAR SERABUT DAN CANGKANG SEBAGAI BAHAN BAKAR KETEL UAP DI PABRIK KELAPA SAWIT

Farel H. Napitupulu

Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin FT USU
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155

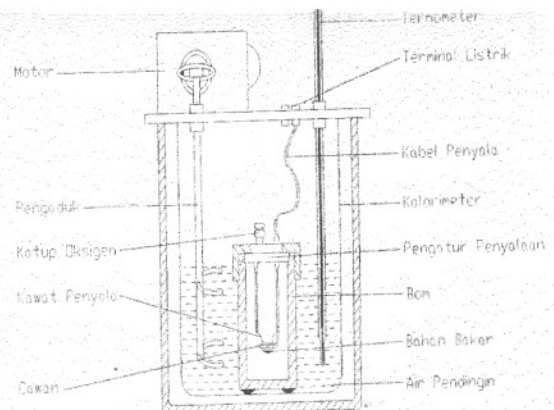
ABSTRAK

Uap yang diperlukan untuk memutar turbin dan untuk keperluan perebusan pada suatu Pabrik Kelapa Sawit (PKS), dihasilkan oleh ketel uap. Kualitas uap bergantung pada kualitas ruang bakar dan kualitas bahan bakar dan kualitas bahan bakar bergantung pada nilai kalornya. Bahan bakar yang dipergunakan pada PKS adalah campuran serabut dan cangkang sawit dengan komposisi 80% serabut dan 20% cangkang. Bahan bakar ini biasanya berasal dari lokasi PKS. Nilai kalor bahan bakar serabut dan cangkang inilah yang akan dianalisis melalui pengujian dengan menggunakan Bom Kalorimeter Oksigen yang ada di Laboratorium Mesin FT USU. Nilai kalor dianalisis untuk 100% serabut, 100% cangkang dan campuran 80% serabut dengan 20% cangkang. Kemudian nilai kalor ini dibandingkan dengan perhitungan nilai kalor dengan menggunakan Rumus Dulong dan Petit. Kemudian harga nilai kalor yang diperoleh baik melalui hasil percobaan ataupun dengan rumus Dulong dan Petit dibandingkan dengan harga nilai kalor bahan bakar cair dan padat lainnya yang didapat dari literatur.

Kata Kunci : Pabrik Kelapa Sawit, Nilai Kalor, Bahan Bakar, Serabut, Cangkang.

1. Pendahuluan

Bahan bakar yang digunakan oleh Ketel Uap pada Pabrik Kelapa Sawit umumnya adalah campuran serabut dan cangkang sawit dengan komposisi 80% serabut dengan 20% cangkang sawit yang merupakan limbah proses pengolahan biji sawit menjadi CPO (Crude Palm Oil) di suatu PKS. Di samping dapat menghemat bahan bakar cara pemanfaatan serabut dan cangkang ini dapat menjamin pengamanan limbah di suatu PKS yang jumlahnya cukup banyak, sekaligus debu hasil pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai campuran pupuk kompos. Melalui percobaan dengan menggunakan Bom Kalorimeter Oksigen yang terdapat di Laboratorium Mesin FT USU seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



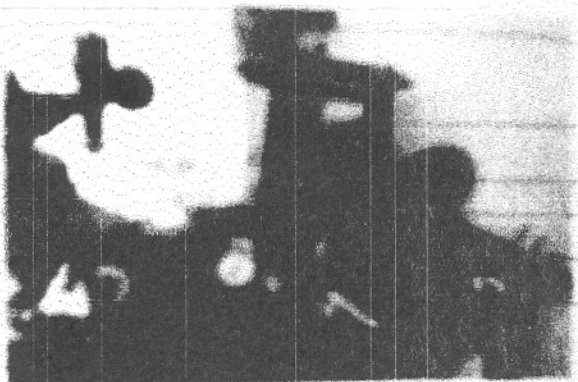
Gambar 2. Penampang Bom Kalorimeter Oksigen

dapat diperoleh nilai kalor dari bahan bakar campuran serabut dan cangkang sawit.

Nilai Kalor bahan bakar terdiri dari Nilai Kalor Atas atau Highest Heating Value (HHV) dan Nilai Kalor Bawah atau Lowest Heating Value (LHV).

Nilai Kalor Atas (HHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud cair).

Nilai Kalor Bawah (LHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap (air yang dihasilkan dari pembakaran berada dalam wujud gas/uap).



Gambar 1. Bom Kalorimeter Oksigen

Nilai Kalor Atas (HHV) dapat dihitung dengan rumus menurut [1] yaitu :

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times c_v \text{ (kJ/kg)}$$

Sedangkan nilai kalor bawah atau Lowest Heating Value (LHV) dihitung dengan persamaan menurut [1] :

$$LHV = HHV - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

Bila dilakukan n kali pengujian, maka :

$$HHV_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum_{i=1}^n HHV}{n} \text{ (kJ/kg) dan}$$

$$LHV_{\text{rata-rata}} = HHV_{\text{rata-rata}} - 3240 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana :

T_1 = Suhu air pendingin sebelum dinyalakan ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Suhu air pendingin sesudah dinyalakan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{kp} = Kenaikan suhu kawat penyalat = $0,05$ ($^{\circ}\text{C}$)

c_v = Panas jenis alat = $73.529,6$ (kJ / kg $^{\circ}\text{C}$)

Kemudian harga Nilai Kalor bahan bakar dapat juga dihitung dengan menggunakan rumus Dulong dan Petit yang menurut [2] adalah :

$$HHV = 33.950C + 144.200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9.400S$$

$$LHV = HHV - 2.400(H_2O + 9H_2) \text{ kJ/kg}$$

Dimana :

C = komposisi carbon dalam bahan bakar

H_2 = komposisi hidrogen dalam bahan bakar

O_2 = komposisi oksigen dalam bahan bakar

S = komposisi sulfur dalam bahan bakar

H_2O = komposisi uap air dalam bahan bakar

2. Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar

2.1 Hasil Percobaan Bom Kalorimeter Oksigen

Dalam percobaan ini sampel yang digunakan diambil dari lokasi PKS. Percobaan dilakukan dalam 3 tahap. Tahap I, percobaan untuk menentukan nilai kalor 100% serabut, tahap II untuk 100% cangkang dan tahap III untuk 80% serabut dan 20% cangkang. Dengan mengikuti tahapan prosedur pengujian dengan menggunakan Bom Kalorimeter Oksigen di Laboratorium Mesin FT USU dan melakukan 15 kali percobaan dan massa bahan bakar 1 gr untuk masing – masing tahapan, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.1, Tabel 2.2, dan Tabel 2.3

Dari Tabel 2.1. dapat dilihat bahwa nilai kalor 100% serabut adalah :

$$HHV = 17696,12 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14456,12 \text{ kJ/kg}$$

Dari Tabel 2.2. dapat dilihat bahwa nilai kalor 100% cangkang adalah :

$$HHV = 21274,56 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 18034,56 \text{ kJ/kg}$$

Dari Tabel 2.3. dapat dilihat bahwa nilai kalor 80% serabut dan 20% cangkang adalah :

$$HHV = 18774,56 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 15534,56 \text{ kJ/kg}$$

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi pada cangkang, sedangkan terendah pada serabut. Atas dasar pertimbangan jumlah persediaan serabut yang jauh lebih besar dibandingkan dengan cangkang dan alasan teknik pendistribusian bahan bakar ke ruang bakar maka kedua jenis bahan bakar ini dicampur dengan komposisi yang ideal, yaitu 80% serabut dan 20% cangkang. Kemudian nilai kalor bahan bakar ini dihitung dengan menggunakan Rumus Dulong dan Petit berdasarkan komposisi kimia dari masing – masing bahan bakar.

Komposisi Kimia Bahan Bakar

1. Serabut

Karbon (C)	: 42,6%
Hidrogen (H_2)	: 5,2%
Oksigen (O_2)	: 32,1%
Sulfur (S)	: 0,2 %
Air (H_2O)	: 12%
Lain – lain	: 7,9%

2. Cangkang

Karbon (C)	: 50,4%
Hidrogen (H_2)	: 5,8%
Oksigen (O_2)	: 34,2%
Sulfur (S)	: 0,3%
Air (H_2O)	: 6%
Lain – lain	: 3,3%

3. Serabut (80%) + Cangkang (20%)

Karbon (C)	: 44,6%
Hidrogen (H_2)	: 5,32%
Oksigen (O_2)	: 32,52%
Sulfur (S)	: 0,28 %
Air (H_2O)	: 10,8%
Lain – lain	: 6,48%

Maka berdasarkan Rumus Dulong dan Petit diperoleh nilai kalor bahan bakar :

1. Serabut

$$HHV = 16193,875 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14792,075 \text{ kJ/kg}$$

2. Cangkang

$$HHV = 19338,05 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 17941,25 \text{ kJ/kg}$$

3. Serabut (80%) + Cangkang (20%)

$$HHV = 16.828,35 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 15.420,03 \text{ kJ/kg}$$

Kemudian harga Nilai Kalor bahan bakar melalui percobaan dan melalui rumus Dulong dan Petit dapat dilihat pada Tabel 2.4, Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.4. Nilai Kalor Serabut

Sumber	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
Percobaan	17696,12	14456,12
Rumus	16139,875	14792,075

Tabel 2.5. Nilai Kalor Cangkang

Sumber	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
Percobaan	21274,56	18034,56
Rumus	19338,05	17945,25

Tabel 2.6. Nilai Kalor Serabut (80%) + Cangkang (20%)

Sumber	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
Percobaan	18774,56	15534,56
Rumus	16828,35	15420,03

Dari hasil ini dapat dilihat bahwa ada perbedaan hasil yang diperoleh melalui percobaan dengan hasil yang dihitung dengan rumus. Hal ini diakibatkan perbedaan komposisi kimia bahan bakar menurut literatur dengan komposisi - komposisi kimia bahan bakar yang diambil dari lapangan sebagai sampel.

Kemudian kedua hasil nilai kalor bahan bakar ini dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar cair seperti minyak (Tabel 2.7.) dan nilai kalor bahan bakar padat seperti kayu (Tabel 2.8.) dan Batu bara (Tabel 2.9.).

Kesimpulan

1. Nilai kalor campuran serabut dan cangkang sawit jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar minyak dan nilai kalor batu bara.
2. Namun penggunaan bahan bakar serabut dan cangkang sawit sebagai bahan bakar pada PKS masih cukup ekonomis, mengingat persediaannya yang cukup banyak dan gratis, sedangkan minyak dan batu bara relatif jauh lebih mahal.

Daftar Pustaka

1. Panduan Percobaan Bom Kalorimeter Oksigen Laboratorium Mesin FT USU Medan
2. Cusp Archie W.1991.*Prinsip - Prinsip Konversi Energi* Cetakan ke-3, hal 44.Jakarta: Penerbit Erlangga.

Tabel 2.1. Hasil Percobaan Untuk 100% Serabut (1gr)

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26,56	26,87	19117,696	15877,7
2	26,84	27,14	18382,4	15142,4
3	26,42	26,69	16176,512	12936,51
4	26,72	27	16911,808	13671,81
5	26,32	26,61	17647,104	14407,1
6	27,8	28,08	16911,808	13671,81
7	26,8	27,1	18382,4	15142,4
8	26,14	26,43	17647,104	14407,1
9	26,75	27,02	16176,512	12936,51
10	26,64	26,95	19117,696	15877,7
11	26,52	26,82	18382,4	15142,4
12	27,14	27,45	19117,696	15877,7
13	27,2	27,48	16911,808	13671,81
14	26,48	26,76	16911,808	13671,81
15	26,88	27,17	17647,104	14407,1
Rata - rata			17696,12373	14456,12

Tabel 2.2. Hasil Percobaan Untuk 100% Cangkang (1gr)

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	27,06	27,41	22058,88	18818,88
2	27,4	27,76	22794,176	19554,18
3	27,32	27,64	19852,992	16612,99
4	26,86	27,2	21323,584	18083,58
5	26,9	27,23	20588,288	17348,29
6	27,12	27,48	22794,176	19554,18
7	27,42	27,74	19852,992	16612,99
8	27,86	28,2	21323,584	18083,58
9	27,04	27,39	22058,88	18818,88
10	26,52	26,85	20588,288	17348,29
11	27,4	27,74	21323,584	18083,58
12	26,88	27,2	19852,992	16612,99
13	27	27,36	22794,176	19554,18
14	27,42	27,77	22058,88	18818,88
15	26,9	27,22	19852,992	16612,99
Total			319118,464	270518,5
Rata - rata			21274,56427	18034,56

Tabel 2.3. Hasil Percobaan 80% Serabut (0,8gr) + 20% cangkang (0,2gr)

No	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
1	26,82	27,14	19852,992	16612,99
2	27,04	27,33	17647,104	14407,1
3	26,7	26,98	16911,808	13671,81
4	26,8	27,11	19117,696	15877,7
5	27,1	27,41	19117,696	15877,7
6	27,42	27,71	17647,104	14407,1
7	28,02	28,32	18382,4	15142,4
8	26,48	26,81	20588,288	17348,29
9	26,9	27,2	18382,4	15142,4
10	26,82	27,14	19852,992	16612,99
11	27,46	27,77	19117,696	15877,7
12	26,56	26,84	16911,808	13671,81
13	27,26	27,59	20588,288	17348,29
14	27,5	27,81	19117,696	15877,7
15	27,34	27,64	18382,4	15142,4
Total			281618,368	233018,4
Rata - rata			18774,55787	15534,56

Tabel 2.7. Nilai Kalor Minyak

Fuel	Energy Value (gross) kcal/kg	Density kg/liter	Bahan Bakar kg/jam
R50/50	10.507,20	0.950	1.431,22
COAL TAR	9.313,20	1.050,00	1.614,71
HFO	10.335,56	0.985	1.452,17
LSO	10.554,96	0.92	1.424,74
R20/20	10.746,00	0.910	1.399,41
LO10	10.865,40	0.840	1.384,03
Paraffin	11.094,65	0.794	1.355,43
Diesel	10.984,80	0.880	1.368,99

Sumber: <http://www.ffa-refiners.com/CombustionHandbook.pdf>

Tabel 2.8. Nilai Kalor Kayu

	Green ¹ (Pound)	Air-dried ² (Pounds)	Million Btu Available	Heat Available (green) Kkal/Kg	Heat Available (air-dried) Kkal/Kg	Bahan Bakar (green) kg/jam	Bahan Bakar (air-dried) kg/jam
Ash	3.940,00	3.370,00	23,60	3.330,35	3.893,65	4.515,46	3.862,20
Basswood	3.360,00	2.100,00	14,70	2.432,50	3.892,00	6.182,15	3.863,84
Box elder	3.500,00	2.500,00	17,50	2.780,00	3.892,00	5.409,38	3.863,84
Cottonwood	3.920,00	2.304,00	16,10	2.283,57	3.885,24	6.585,33	3.870,56
Elm (American)	4.293,00	2.868,00	20,10	2.603,21	3.896,65	5.776,74	3.859,23
Elm (red)	4.480,00	3.056,00	21,40	2.655,89	3.893,45	5.662,16	3.862,40
Hackberry	4.000,00	3.080,00	21,60	3.002,40	3.899,22	5.008,68	3.856,69
Hickory (hagbark)	4.980,00	4.160,00	29,10	3.248,91	3.889,33	4.628,65	3.866,49
Locust (black)	4.640,00	4.010,00	28,10	3.367,15	3.896,16	4.466,11	3.859,72
Maple (silver)	3.783,00	2.970,00	20,80	3.057,04	3.893,87	4.919,16	3.861,99
Maple (sugar)	4.386,00	3.577,00	25,00	3.169,17	3.885,94	4.745,11	3.869,87
Oak (red)	4.988,00	3.609,00	25,30	2.820,13	3.897,70	5.332,40	3.858,19
Oak (white)	4.942,00	3.863,00	27,00	3.037,64	3.886,10	4.950,58	3.869,71
Osage orange	5.480,00	4.380,00	30,70	3.114,82	3.897,08	4.827,91	3.858,80
Pine (shortleaf)	4.120,00	2.713,00	19,00	2.564,08	3.893,84	5.864,90	3.862,02
Red cedar	3.260,00	2.700,00	18,90	3.223,43	3.892,00	4.665,24	3.863,84
Sycamore	4.160,00	2.956,00	20,70	2.766,63	3.893,50	5.435,52	3.862,35
Walnut (black)	4.640,00	3.120,00	21,80	2.612,24	3.884,87	5.756,77	3.870,93

Sumber : <http://muextension.missouri.edu/xplor/agguides/forestry/g05450.htm>

¹Approximate weight of standard cord (occupying 128 cubic feet of space and containing 80 cubic feet of solid wood), for the first two columns of figures.

²To 20 percent moisture content.

³Potential available heat from standard cord with 100 percent unit efficiency. Heat at 20 percent moisture content.

Tabel 2.9. Nilai Kalor Batu Bara

COAL RANK	HEATING VALUE (million BTU/short ton)	HEATING VALUE (KKAL/KG)	Bahan Bakar kg/jam
Lignite	$\leq 16,6$	$\approx 4.614,8$	3.258,66
Sub-bituminous	16,6 \rightarrow 23,0	4.614,8 \rightarrow 6.394	3.258,66 \rightarrow 2.351,90
Bituminous	21,0 \rightarrow 28,0	5.838 \rightarrow 7.748	2.575,89 \rightarrow 1.931,92
Anthracite	$\geq 26,0$	≥ 7.228	2.080,53

Sumber : <http://courses.washington.edu/me341/hw3sol.htm>