

Perhitungan Efisiensi Termal Tungku Karbonizer Bahan Bakar Bio-Briket Menggunakan Metoda Tidak Langsung

M. Sumarsono

B2TE-BPPT, Puspiptek, Cisauk, Tangerang, Banten

Email: msumarsono@yahoo.com

ABSTRAK - PERHITUNGAN EFISIENSI TERMAL TUNGKU KARBONIZER BAHAN BAKAR BIO-BRIKET MENGGUNAKAN METODA TIDAK LANGSUNG. Ekstraksi biji jarak pagar untuk menghasilkan minyak jarak memiliki konsekuensi tersedianya ampas biji jarak sebanyak 60-70 %, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, salah satunya sebagai bio-briket terkarbonisasi untuk mengurangi atau sebagai substitusi bahan bakar minyak untuk keperluan rumah tangga maupun industri kecil. Pada kegiatan ini telah dilakukan pembuatan arang terkarbonisasi menggunakan tungku karbonizer dengan volume 0,2 m³ dengan bahan baku ampas jarak pagar dan serbuk gergaji. Pembuatan arang dilakukan secara *batch*, dan selama pembuatan berlangsung, dilakukan pengukuran parameter yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi termal karbonizer seperti: temperatur dan tekanan gas buang dalam saluran cerobong, temperatur dan kelembaban nisbi udara lingkungan, temperatur dinding luar, temperatur ruang karbonizer, emisi kandungan unsur dalam gas buang, kandungan unsur dalam bahan bakar, kandungan karbon tak terbakar dalam abu dan daya listrik blower. Di samping itu, diukur jumlah bahan baku sebelum dan sesudah proses, konsumsi bahan bakar dan jumlah abu sisa pembakaran bahan bakar. Perhitungan efisiensi termal dilakukan dengan Metoda Tidak Langsung dan hasil perhitungan memberikan efisiensi termal karbonizer pada proses karbonisasi ampas jarak 20,21% dan serbuk gergaji 13,80%.

Kata kunci: Karbonizer, Metoda tidak langsung, Efisiensi termal, Bio-briket

ABSTRACT - THERMAL EFFICIENCY CALCULATION OF CARBONIZER USING INDIRECT METHOD. *Jatropha curcas* seed extraction to produce *jatropha* oil has a consequence of availability of seed cakes as much as 60-70%, which can be used as alternative fuels, one of these is carbonized bio-briquettes to reduce or substitute kerosene for households and small industries. In this activity, carbonized char had been made by using a carbonizer of 0.2 m³ volume with the raw material were *jatropha curcas* cakes and sawdust. Char processing batch was done, and during the process, the parameters which were needed to calculate the thermal efficiency of carbonizer were measured such as, temperature and pressure of flue gas in the chimney duct, temperature and relative humidity of ambient air, the outside wall temperature, carbonizer chamber temperature, emission content of flue gas, the chemical element content of fuel, unburnt carbon content in ash and the power of blower. In addition, the amount of raw materials before and after process, fuel consumption and the amount of ash remaining fuel burning were measured. Thermal efficiency calculation was conducted by Indirect Method and

*the result of calculation gave the thermal efficiency of carbonizer on carbonization process of *jatropha* cakes of 20.21% and sawdust of 13.80%.*

Keywords: Carbonizer, Indirect method, Thermal efficiency, Bio-briquettes

I. PENDAHULUAN

Teknologi konversi termal biomassa meliputi 'pembakaran langsung, gasifikasi, dan pirolisis'. Dalam hal pirolisis dilakukan pembakaran biomassa pada kondisi tanpa oksigen dengan tujuan untuk melepaskan zat terbang (*volatile matter*) yang terkandung dalam biomassa. Secara umum kandungan zat terbang dalam biomassa cukup tinggi. Produk proses pirolisis ini berbentuk cair, gas, dan padat. Produk padat dari proses ini berupa arang (*char*) yang kemudian disebut proses karbonisasi.

Karbonisasi biomassa atau yang lebih dikenal dengan pengarang adalah suatu proses untuk menaikkan nilai kalor biomassa sehingga mudah dibakar dan dihasilkan pembakaran yang bersih dengan sedikit asap (Karve *et al*, 2004). Hasil karbonisasi adalah berupa arang yang tersusun atas karbon dan berwarna hitam. Sedikit banyaknya arang yang dihasilkan bergantung pada komposisi awal biomassa. Semakin banyak kandungan zat terbang maka semakin sedikit arang yang dihasilkan karena banyak bagian yang terlepas ke udara. Temperatur karbonisasi akan sangat berpengaruh terhadap arang yang dihasilkan sehingga penentuan temperatur yang tepat akan menentukan kualitas arang. Menurut Fachrizal *et al* (2007), temperatur akhir proses karbonisasi mencapai hingga 500°C agar tar, yang terkandung sekitar 30% dalam arang, dapat terlepas. Untuk mencapai temperatur tersebut dibutuhkan energi termal yang relatif tinggi.

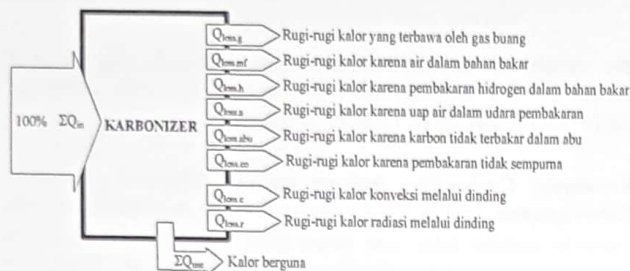
Ekstraksi biji jarak pagar untuk menghasilkan minyak jarak memiliki konsekuensi tersedianya ampas biji jarak sebanyak 60-70%, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif, salah satunya sebagai bio-briket terkarbonisasi untuk mengurangi atau sebagai substitusi bahan bakar minyak. Bio-briket terkarbonisasi ini dapat diaplikasikan untuk kompor rumah tangga maupun untuk industri kecil. Untuk itu telah dilakukan pembuatan arang terkarbonisasi dengan bahan baku ampas (bungkil) jarak pagar dan serbuk gergaji menggunakan tungku

karbonizer dengan volume drum bahan baku biomassa 0,2 m³. Selanjutnya data yang terkumpul pada percobaan karbonisasi dipakai untuk menghitung efisiensi termal tungku karbonizer menggunakan 'Metoda Tidak Langsung' yang dikenal juga dengan 'Metoda Kehilangan Panas' (Anonim, 2009).

II. TEORI DASAR

A. Efisiensi Termal

Kesetimbangan energi di dalam proses karbonisasi diperlihatkan seperti Gambar 1.



Gambar 1. Kesetimbangan energi proses karbonisasi

Kesetimbangan energi dalam suatu proses termal secara umum dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{use} + \sum Q_{loss} \quad (1)$$

Dari persamaan (1) didefinisikan dua efisiensi termal (η) alat, yaitu :

$$\eta = \frac{\sum Q_{use}}{\sum Q_{in}} \quad (2)$$

yang dikenal sebagai efisiensi termal 'Metoda Langsung' dan

$$\eta = 1 - \frac{\sum Q_{loss}}{\sum Q_{in}} \quad (3)$$

yang dikenal sebagai efisiensi termal 'Metoda Tidak Langsung'.

Energi masuk, Q_{in} (kW), yang disuplai ke alat karbonizer terdiri dari energi pembakaran bahan bakar, $Q_{in.BB}$ (kW), dan energi listrik, $Q_{in.listrik}$ (kW), untuk mengoperasikan blower:

$$Q_{in} = Q_{in.BB} + Q_{in.listrik} \quad (4)$$

Energi pembakaran bahan bakar, $Q_{in.BB}$ (kW), dihitung menurut rumus:

$$Q_{in.BB} = m_{BB} HV_{BB} \quad (5)$$

dengan m_{BB} (kg/s) adalah laju massa bahan bakar dan HV_{BB} (kJ/kg) nilai kalor bahan bakar. Energi listrik, $Q_{in.listrik}$ (kW), dihitung sebagai berikut:

$$Q_{in.listrik} = (V I p_f) / 1000 \quad (6)$$

dengan V (V) adalah tegangan listrik, I (A) arus listrik, dan p_f faktor daya.

Kerugian/kehilangan energi yang dinyatakan dengan Q_{loss} (kW) merupakan jumlah dari rugi-rugi kalor yang terbawa oleh gas buang (*flue gas*) dan rugi-rugi kalor pada pembakaran bahan bakar serta rugi-rugi kalor melalui dinding.

B. Rugi-rugi Kalor Terbawa Gas Buang dan Pada Pembakaran Bahan Bakar

Rugi-rugi kalor yang terbawa oleh gas buang, $Q_{loss.g}$ (kW), dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{loss.g} = m_{gb} c_{p.bg} (T_{gb} - T_a) \quad (7)$$

dengan m_{gb} (kg/s) adalah laju alir massa gas buang dan $c_{p.bg} = 1$ kJ/kg.K koefisien kalor jenis gas buang. Rugi-rugi kalor karena air dalam bahan bakar, $Q_{loss.mf}$ (kW), dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{loss.mf} = m_{moisture} (h_{vap} - h_{liq}) \quad (8)$$

dengan $m_{moisture}$ (kg/s) adalah massa moisture per-satuan waktu dalam bahan bakar, h_{vap} (kJ/kg) entalpi uap panas lanjut dan h_{liq} (kJ/kg) entalpi air jenuh. Rugi-rugi kalor karena pembakaran hidrogen dalam bahan bakar menjadi uap-air, $Q_{loss.h}$ (kW), diberikan sebagai berikut:

$$Q_{loss.h} = 8,936 m_H (h_{uap} - h_{liq}) \quad (9)$$

dengan m_H (kg/s) adalah massa hidrogen per-satuan waktu yang terkandung dalam bahan bakar. Rugi-rugi kalor karena uap-air dalam udara pembakaran, $Q_{loss.a}$ (kW), dihitung dengan rumus:

$$Q_{loss.a} = \omega m_a c_{p.vap} (T_{gb} - T_a) \quad (10)$$

dengan ω adalah rasio kelembaban, m_a (kg/s) massa udara kering per-satuan waktu, dan $c_{p.vap} = 1,97$ kJ/kg.K koefisien kalor jenis uap-air. Rugi-rugi kalor karena karbon tidak terbakar dalam abu, $Q_{loss.abu}$ (kW), dihitung dengan rumus:

$$Q_{loss.abu} = m_C HV_C \quad (11)$$

dengan m_C (kg/s) adalah massa karbon per-satuan waktu dalam abu dan HV_C (kJ/kg) nilai kalor karbon. Rugi-rugi kalor karena pembakaran tidak sempurna, $Q_{loss.co}$ (kW), dihitung dengan rumus:

$$Q_{loss.co} = m_{CO} HV_{CO} \quad (12)$$

dengan m_{CO} (kg/s) adalah massa karbon-monoksida per-satuan waktu dalam gas buang dan HV_{CO} (kJ/kg) nilai kalor karbon-monoksida.

C. Rugi-rugi Kalor melalui Dinding

Rugi-rugi kalor konveksi, $Q_{loss,c}$ (kW), diberikan sebagai berikut:

$$Q_{loss,c} = h_c A(T_w - T_a) \tag{13}$$

dengan A (m²) adalah luas permukaan pindah kalor, T_w (°C) temperatur dinding luar, T_a (°C) temperatur ambien (lingkungan), dan h_c (kW/m².°C) koefisien perpindahan kalor konveksi yang dihitung sebagai berikut (Haberman & John, 1984):

Untuk dinding vertikal,

$$h_c = 0,135 Ra^{0,333} \frac{k_f}{L} \tag{14}$$

Untuk dinding horisontal,

$$h_c = 0,176 Ra^{0,333} \frac{k_f}{L} \tag{15}$$

dengan k_f (kW/m.°C) adalah konduktivitas termal fluida, L (m) panjang karakteristik, dan Ra adalah bilangan sebagai fungsi parameter berikut ini:

$$Ra = f(\beta, \nu, L, T) \tag{16}$$

Rugi-rugi kalor radiasi, $Q_{loss,r}$ (kW), diberikan sebagai berikut:

$$Q_{loss,r} = \sigma \epsilon_w A(T_w^4 - T_a^4) \tag{17}$$

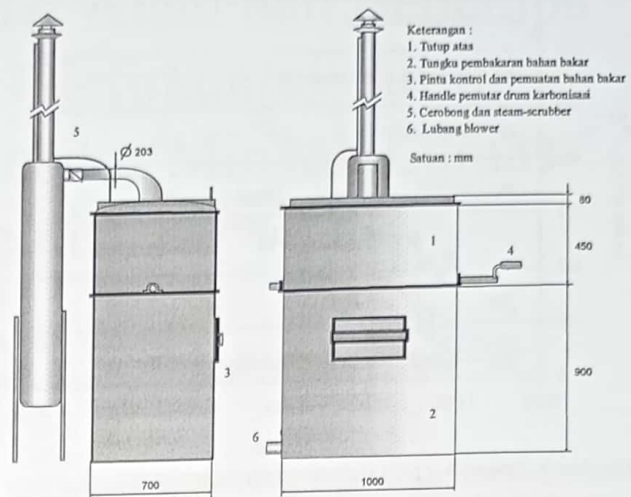
dengan σ (kW/m².K⁴) adalah konstanta Stefan-Boltzmann dan ϵ_w emisivitas permukaan dinding.

III. BAHAN DAN METODA

A. Deskripsi Karbonizer dan Bahan Baku

Tungku karbonizer berbentuk kotak dengan bagian-bagian dan dimensi utama diberikan pada Gambar 2. Di dalamnya terdapat drum karbonisasi dengan volume 0,2 m³. Bahan bakar tungku menggunakan limbah biomassa. Pada percobaan ini, drum karbonisasi diisi bahan baku ampas jarak pagar (percobaan-1) dan serbuk gergaji (percobaan-2). Bahan bakar yang dipakai adalah kayu bakar dengan kandungan unsur-unsurnya yang diperoleh dari hasil analisa laboratorium adalah sebagai berikut:

- Karbon (C)_w = 48,99%
- Hidrogen (H₂)_w = 6,20%
- Oksigen (O₂)_w = 44,25%
- Sulfur (S)_w = 0%
- Nitrogen (N₂)_w = 0,06%
- Abu = 0,50%
- Moisture (H₂O)_w = 30%
- Nilai kalor, HVBB = 8352,67 kJ/kg



Gambar 2. Tungku karbonizer

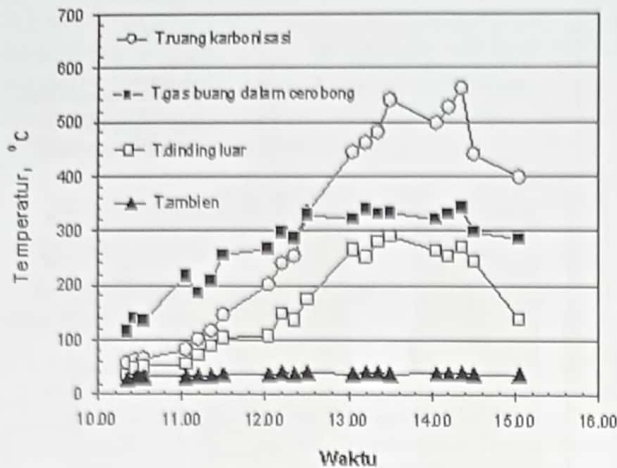
B. Metoda

Selama percobaan berlangsung, dilakukan pengukuran parameter yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi termal karbonizer, seperti: temperatur dan tekanan gas buang dalam saluran cerobong, temperatur dan kelembaban nisbi udara lingkungan (ambien), temperatur dinding luar, temperatur ruang karbonizer, emisi kandungan unsur dalam gas buang, kandungan unsur dalam bahan bakar, kandungan karbon tak terbakar dalam abu dan daya listrik blower. Alat ukur yang digunakan adalah termokopel untuk mengukur temperatur dan gas analyzer untuk mengukur emisi gas buang. Sedang kandungan unsur dalam bahan bakar dan abu dilakukan oleh laboratorium analitik kimia.

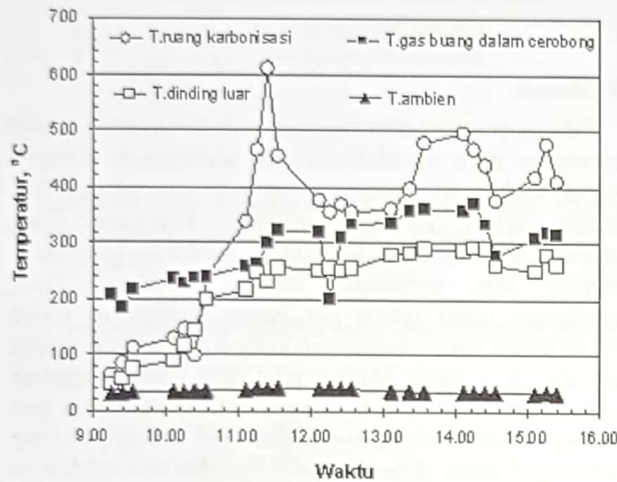
TABEL 1.
 DATA PERCOBAAN

No.	Deskripsi	Ampas Jarak	Serbuk Gergaji
1.	Massa bahan baku, kg	56	34
2.	Massa arang terkarbonisasi, kg	17,5	10,5
3.	Massa kayu bakar, kg	116	196
4.	Lama proses karbonisasi, jam	4,70	6,15
5.	Massa abu sisa pembakaran, kg	8	6
	Kandungan C dalam abu (% w)	46,0	46,0
6.	Tekanan gas buang, N/m ²	3,432	3,432
7.	Kandungan unsur dalam gas buang (% vol) :		
	CO ₂	17,26	17,56
	CO	0,634	0,645
	O ₂	2,15	2,33
	N ₂	79,956	79,472

Di samping itu, menggunakan timbangan diukur jumlah bahan baku sebelum dan sesudah proses, konsumsi bahan bakar dan jumlah abu sisa pembakaran bahan bakar. Pengukuran temperatur dicatat setiap 15 menit sekali. Untuk meratakan hasil arang terkarbonisasi, drum karbonisasi diputar setiap 60 menit sekali. Data percobaan dan hasil pengukuran temperatur diberikan pada Tabel 1, Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Temperatur pada karbonisasi ampas jarak pagar



Gambar 4. Temperatur pada karbonisasi serbuk gergaji

IV. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi hasil perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan (3) sampai dengan persamaan (17) diberikan seperti pada Tabel 2, tersaji bahwa efisiensi termal karbonizer pada proses karbonisasi ampas jarak 20,21% dan serbuk gergaji 13,80%. Dari jenis rugi-rugi kalor yang ada, tampak bahwa $Q_{loss,g}$, $Q_{loss,h}$ dan $Q_{loss,r}$ mengambil prosentasi tertinggi, disusul oleh $Q_{loss,mf}$ dan $Q_{loss,c}$ dan di urutan terendah adalah $Q_{loss,co}$ dan $Q_{loss,abu}$.

$Q_{loss,g}$ tinggi ini lebih disebabkan oleh perbedaan yang cukup besar antara temperatur gas buang dan temperatur ambien selama proses berjalan. $Q_{loss,h}$ tinggi menandakan bahwa reaksi pembakaran hidrogen yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi uap-air melepaskan energi yang tinggi. Sedangkan $Q_{loss,r}$ tinggi karena temperatur dinding luar tungku terukur jauh lebih tinggi daripada temperatur ambien. Untuk memperkecil $Q_{loss,r}$ ini dan juga $Q_{loss,c}$ perlu dilakukan perbaikan pada sistem isolator termal dinding-dalam tungku. $Q_{loss,co}$ dan $Q_{loss,abu}$ yang rendah mengindikasikan bahwa tingkat pembakaran tidak sempurna bahan bakar dan jumlah karbon yang tidak terbakar rendah.

TABEL 2.
HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI TERMAL

No.	Deskripsi	Ampas Jarak		Serbuk Gergaji	
		kWh	%	kWh	%
	$Q_{in, BB}$	5382,829	99,61	11368,907	99,70
	$Q_{in, listrik}$	21,224	0,39	34,716	0,30
1.	ΣQ_{in}	5404,053	100,00	11403,623	100,00
	$Q_{loss,g}$	1041,405	19,27	2381,591	20,88
	$Q_{loss,mf}$	552,089	10,22	1185,321	10,39
	$Q_{loss,h}$	1019,583	18,87	2189,020	19,20
	$Q_{loss,a}$	60,006	1,11	120,397	1,06
	$Q_{loss,abu}$	33,506	0,62	25,130	0,22
	$Q_{loss,co}$	159,593	2,95	269,657	2,36
2.	$Q_{loss, gas\ buang+BB}$	2866,184	53,03	6171,116	54,11
	$Q_{loss,c}$	517,011	9,57	1271,343	11,15
	$Q_{loss,r}$	928,887	17,19	2387,384	20,94
3.	$Q_{loss, dinding}$	1445,898	26,76	3658,727	32,09
4.	ΣQ_{loss}	4312,082	79,79	9829,842	86,20
5.	Efisiensi termal		20,21		13,80

V. KESIMPULAN

- Proses pembuatan arang terkarbonisasi dengan bahan baku ampas jarak pagar 56 kg dan serbuk gergaji 34 kg, yang telah dilakukan dengan menggunakan tungku karbonizer yang memiliki volume silindris 0,2 m³, memberikan efisiensi termal tungku masing-masing sebesar 20,21% dan 13,80%.
- Energi yang diperlukan untuk proses karbonisasi dengan tungku tersebut di atas dalam hal ampas jarak sebesar 308,803 kWh/kg-arang dan serbuk gergaji sebesar 1086,059 kWh/kg-arang. Terbilang boros, oleh karena itu diperlukan perbaikan lebih lanjut pada desain tungku karbonizer untuk meningkatkan kinerjanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Noor Fachrizal, Bambang Heruhadi, Rivai Mustafa, Titik Nurmawati, Sutopo, Mastur Pramuji dan Pranoto yang telah bekerja bersama dalam pengumpulan data di lapangan dalam rangka pelaksanaan riset pembuatan bio-briket ampas jarak untuk substitusi BBM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANONIM, "Measuring Boiler Efficiency ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units Methode", <http://www.energysolutionscenter.org.Boiler-Burner/>, diakses: 1-1-2009.
- [2] FACHRIZAL, N. et al., "Pembuatan Bio Briket Ampas Jarak untuk Substitusi BBM": Laporan Akhir Program Riset Terapan, Program Insentif Riset KNRT, B2TE-BPPT, 2007.
- [3] HABERMAN, WILLIAM L., & JAMES E.A. JOHN "Engineering Thermodynamics with Heat Transfer", 2nd Edition, Allyn & Bacon, Boston, 1989.
- [4] KARVE, P., H.Y. MAHAJAN, & A.D. KARVE, "Sistem Pembuatan Arang untuk Pedesaan", <http://www.tungku.or.id/ina/artikel/?kategori=biomassa>, diakses: 14-9-2009
- [5] KHURMI, R.S. & J.K. GUPTA "A Textbook of Thermal Engineering", 14th Edition, S. Chand & Co. Ltd., New Delhi, 1997.