

ANALISIS KEHILANGAN PANAS PADA PROSES PRODUKSI ARANG TEMPURUNG KELAPA DENGAN *DRUM KILN*

Christian Soolany

Fakultas Teknologi Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali

Email : christiansoolany@gmail.com

ABSTRACT

Carbonization of biomass or as known a rusting is a method to increase the calorific value of biomass and produce clean combustion with smokeless. The making of charcoal used a lot of drum kilns. The widely drums had many weakness such as heat loss during the process of rusting and long time for carbonization process. Therefore, it was needed to design a drum kiln in order to reduce of time for the carbonization process. Used of drum material with insulator was promised to incearse the quality of charcoal and reduce the heat loss. The result of the research, that the drum kiln with asbestos layer showed that for the average of carbonization process for 34 minutes, drilling capacity of drum kiln equal to 0,044 kg / minute. Heat total lost during the carbonization process in the combustion chamber is 10923.59 kJ, and heat loss at the chimney is 503.18 kJ. The efficiency of kiln drum burning is 87.11%.

Keywords: Carbonization, kiln drum, heat loss

INTISARI

Karbonisasi biomassa atau yang lebih dikenal dengan pengarangan adalah suatu proses untuk menaikkan nilai kalor biomassa dan dihasilkan pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Pembuatan arang banyak menggunakan *drum kiln*, namun *drum kiln* yang banyak digunakan masih banyak kekurangan diantaranya kehilangan energi pada saat proses pengarangan dan waktu karbonisasi yang berlangsung lama. Oleh karena itu diperlukan desain tempat pembakaran berupa *drum kiln* yang baik agar proses karbonisasi dapat berlangsung lebih singkat dari proses yang ada dengan hasil arang yang berkualitas dan mampu meminimalisir kehilangan panas dengan penggunaan bahan yang bersifat isolator. Hasil penelitian menggunakan *drum kiln* yang sudah dilapisi asbestos diperoleh data yaitu untuk rata-rata proses karbonisasi berlangsung selama 34 menit, kapasitas pengarangan *drum kiln* sebesar 0,044 kg/menit. Total panas yang hilang saat proses karbonisasi berlangsung di ruang pembakaran sebesar 10923.59 kJ, dan pada cerobong sebesar 503.18 kJ. Efisiensi pembakaran *drum kiln* sebesar 87,11%.

Kata kunci : karbonisasi, *drum kiln*, kehilangan panas.

PENDAHULUAN

Penggunaan energi dari tahun ke tahun selalu meningkat, hal ini berbanding lurus dengan pertumbuhan populasi manusia. Konsumsi komersial Bahan Bakar Minyak (BBM) semakin meningkat sejak tahun 1970-an. Pemakaian sumber energi ini pada tahun 1984 di Indonesia mencapai 68,9 MTOE (setara dengan sejuta ton barel minyak) dengan rincian 57,9% dari minyak, 35,1% gas alam, serta 7% batubara dan geotermal atau *hydro energy* (Robith, 2004). Peningkatan konsumsi BBM menjadi salah satu sebab kelangkaan energi yang sangat berpengaruh pada sektor industri di Indonesia yang banyak membutuhkan energi.

Tingginya kebutuhan energi di Indonesia, menyebabkan diperlukan upaya pencarian alternatif energi guna memenuhi kebutuhan energi di Indonesia secara

berkesinambungan. Energi yang dimaksud berupa energi yang terbarukan (*renewable energy*).

Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan yaitu energi yang berasal dari biomassa, yang merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis berupa produk atau buangan. Biomassa merupakan produk fotosintesis, yaitu butir-butir hijau daun yang bekerja sebagai sel-sel surya, menyerap energi matahari dan mengkonversi karbon dioksida dengan air menjadi suatu senyawa karbon, hidrogen dan oksigen (Kadir, 1995). Hasil konversi dari senyawa tersebut dapat berbentuk arang atau karbon, dan lain sebagainya.

Menurut Utami (2006), sumber energi biomassa yang sering dimanfaatkan bahan bakar antara lain: kayu bakar, arang kayu, sekam padi, serbuk gergaji dan briket bomassa. Arang merupakan salah satu

alternatif bahan bakar yang baik digunakan. Pemilihan energi alternatif ini dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak dan batu bara, mengingat keberadaanya di dunia saat ini semakin terbatas.

Saat ini, pembuatan arang banyak menggunakan *drum kiln*. Namun *drum kiln* yang banyak digunakan masih banyak kekurangan diantaranya kehilangan energi pada saat proses pengarangan, sehingga perlu modifikasi *drum kiln* agar proses pengarangan dapat berjalan sempurna.

Waktu karbonisasi *drum kiln* dengan ukuran diameter 58 cm dan tinggi 87,5 cm sekitar 8 jam, dan pada proses *earth pit kiln* membutuhkan waktu 5 sampai 6 hari dengan kedalaman lubang 30 cm. Proses yang lama ini dikarenakan kadar oksigen (O₂) yang diberikan dalam ruang karbonisasi harus sedikit, agar bahan yang digunakan tidak habis terbakar semua melainkan terbentuk arang yang memiliki kadar karbon sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Wijaya, 2007). Penggunaan drum bekas sebagai tempat pembakaran membuat panas dalam ruang pembakaran mudah keluar, karena sifat bahan drum bekas (logam) yang mudah menghantarkan panas. Oleh karena itu diperlukan desain tempat pembakaran berupa *drum kiln* yang baik agar proses karbonisasi dapat berlangsung lebih singkat dari proses yang ada dengan hasil arang berkadar *fixed carbon* tinggi dan mampu meminimalisir kehilangan panas dengan penggunaan bahan yang bersifat isolator.

METODOLOGI

Pada laporan fokus yang dikaji adalah bagaimana analisis pindah panas yang terjadi ketika proses pembuatan arang dari tempurung kelapa menggunakan tungku *drum kiln* yang dirancang oleh Perwira (2010).

Alat yang digunakan dalam meliputi:

1. Alat untuk perancangan *drum kiln*, yaitu: kertas kerja, alat tulis, computer dan *software* AutoCAD 2006.
2. Alat untuk pembuatan *drum kiln*, yaitu: alat-alat perbengkelan yang digunakan untuk proses pengerjaan *drum kiln*.
3. Alat untuk pengujian, yaitu: timbangan, ayakan, termokopel tipe K, anemometer, *stopwatch*, *hybrid recorder*, *bomb calorimeter* dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan untuk pembuatan *drum kiln* terdiri dari plat besi, dan asbestos sebagai isolator..
2. Bahan untuk pengujian drum kiln yaitu tempurung kelapa, kertas, korek api dan minyak tanah.

Variabel yang dikaji untuk analisis pindah panas yang terjadi saat proses pembuatan arang dari tempurung kelapa menggunakan tungku *drum kiln* meliputi :

1. Variabel yang diukur meliputi suhu pada sistem, suhu lingkungan, dan kecepatan angin.
2. Variabel yang dihitung meliputi koefisien panas keseluruhan, kehilangan panas dan efisiensi termal.
3. Analisis pindah panas pada proses pembakaran

Tabel 1. Konstanta persamaan untuk permukaan isothermal

Geometri	$Gr_f Pr_f$	C	n
Bidang dan silinder vertikal	$10^{-1}-10^4$	*	*
	10^4-10^9	0,59	1/4
	10^9-10^{13}	0,021	2/5
	10^9-10^{13}	0,10	1/3
Silinder horizontal	$0-10^{-5}$	0,4	0
	$10^{-5}-10^4$	**	**
	10^4-10^9	0,53	1/4
	10^9-10^{12}	0,13	1/3
	$10^{-10}-10^{-2}$	0,675	0,058
	$10^{-2}-10^2$	1,02	0,148
	10^2-10^4	0,850	0,188
	10^4-10^7	0,480	1/4
Permukaan atas plat panas atau permukaan bawah plat dingin	10^7-10^{12}	0,125	1/3
	$2 \times 10^4 - 8 \times 10^6$	0,54	1/4
	$8 \times 10^6 - 10^{11}$	0,15	1/3

Permukaan bawah plat panas atau permukaan atas plat dingin	10 ⁵ -10 ¹¹	0,27	¼
Silinder vertikal t = d , v = d	10 ⁴ -10 ⁶	0,775	0,21
Benda padat tak teratur v = L	10 ⁴ -10 ⁹	0,52	¼

Sumber: Holman (1993).

Panas hasil proses pembakaran pada tungku pembakaran diserap oleh dinding tungku, dan cerobong pengeluaran. Tungku yang digunakan berbentuk silinder vertikal. Kehilangan panas pada dinding tungku terjadi secara konduksi dan konveksi. Besarnya kehilangan panas melalui dinding tungku (Holman, 1993) dapat dinyatakan dengan:

$$q_w = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}} \quad (1)$$

$$q_w = \frac{(T_g - T_l)}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (2)$$

dimana:

q_w = kehilangan panas melalui dinding pembakaran (J/s)

A = luas penampang (m²)

ΔT = perbedaan suhu (°C)

T_g = suhu dalam tungku (°C)

T_l = suhu luar tungku (°C)

R_{th} = tahanan termal

Dengan:

$$h = Nu_w \frac{k}{L} \quad (3)$$

$$Nu_w = C(Gr_w Pr)^n \quad (4)$$

$$Gr_w = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (5)$$

$$\beta = 1/T_f \quad (6)$$

$$T_f = \frac{T_g + T_l}{2} \quad (7)$$

Dimana:

A_o = luas permukaan luar (m²)

A_i = luas permukaan dalam (m²)

r_o = jari-jari luar (m)

r_i = jari-jari dalam (m)

k = konduktivitas termal (W/m °C)

L = panjang penampang (m)

h = koefisien pindah panas (W/m² °C)

Nu = bilangan Nusselt

Pr = bilangan Prandtl

Gr = bilangan Grashof

C = konstanta konveksi

ν = Viskositas kinematik (m²/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

β = koefisien ekspansi volume (K⁻¹)

T_f = suhu mutlak (K)

T_w = suhu dinding (°C)

T_∞ = suhu lingkungan (°C)

Nilai C dan n dapat dilihat pada Tabel 1

Cerobong pengeluaran yang digunakan pada subsistem tungku pembakaran berbentuk silinder vertikal, perpindahan panas terjadi secara konduksi dan konveksi. Sehingga kehilangan panas melalui cerobong pengeluaran dapat dinyatakan dengan:

$$q_{ex} = \frac{(T_c - T_l)}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad (8)$$

T_c = suhu dalam cerobong (°C)

Kehilangan panas total pada subsistem tungku pembakaran dapat dihitung dengan:

$$q_l = q_w + q_{ex} \quad (9)$$

q_l = kehilangan panas total (J/s)

q_{ex} = kehilangan panas cerobong (J/s)

Efisiensi sistem tungku pembakaran

Panas efektif (q_e) yang tersedia dapat ditentukan dengan persamaan:

$$q_e = q_{in} - q_l \quad (10)$$

$$q_{in} = m \cdot K \quad (11)$$

dimana:

m = jumlah bahan bakar yang dipakai (kg)

K = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

dan efisiensi tungku (E_f) adalah:

$$E_f = \frac{q_e}{q_{in}} \times 100\% \quad (12)$$

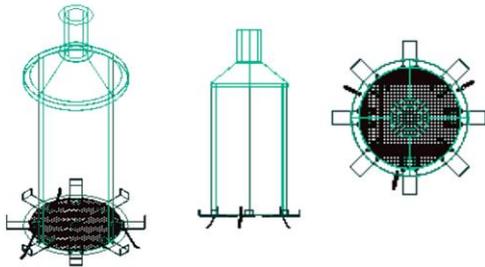
1) Kapasitas pengurangan

Kapasitas pengarangan dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam menghasilkan arang persatuan waktu, yang dirumuskan:

$$\text{Kapasitas} = \frac{\sum \text{bahan yang matang}}{\text{waktu karbonisasi}} \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancangan tungku *drum kiln* yang digunakan untuk analisis pindah panas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 *Drum Kiln*

Konstruksi ruang pembakaran *drum kiln* berbentuk silinder terbuat dari plat besi dengan ketebalan 1,5 mm, dengan panjang 60 cm, dan diameter dalam 30 cm. Bagian dasar ruang pembakaran terdapat lubang udara yang berfungsi untuk suplai udara ke dalam ruang pembakaran, lubang udara berbentuk persegi empat dengan dimensi 2,8 cm x 2,8 cm. Di bagian lubang udara diberi penutup untuk mengatur suplai udara yang masuk ke ruang pembakaran, sekaligus untuk menutup lubang saat proses karbonisasi berakhir. Di atas *drum kiln* terdapat cerobong yang terbuat dari bahan yang sama, yaitu plat besi dengan ketinggian 15 cm dengan diameter dalam 7 cm. Keseluruhan drum kiln terdiri atas 3 lapis, yaitu berturut turut dari luar ke dalam adalah plat besi, asbestos dan plat besi. Asbestos digunakan sebagai isolator sehingga panas di ruang pembakaran tidak banyak yang hilang dan dapat dimanfaatkan seefektif mungkin. Ketebalan asbestos yang digunakan sebagai isolator sebesar 1,7 cm. Di bagian dasar ruang pembakaran diletakkan kawat ayakan yang berbentuk lingkaran, agar meminimalisir arang yang jatuh melalui lubang udara.

Cara pengujian *drum kiln* dilakukan secara manual oleh tenaga manusia, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu karbonisasi. Lamanya waktu karbonisasi dihitung mulai dari penyalaan api sampai berakhirnya proses karbonisasi yang

ditandai dengan menipisnya asap yang keluar dari cerobong *drum kiln* (Wijaya, 2007). Pengujian yang dilakukan dengan mempersiapkan *drum kiln*, kemudian memasukan/menyusun tempurung kelapa dengan menyisakan ruang dibagian tengah untuk penyalaan awal dengan kertas dan minyak tanah. Setelah dinyalakan ruang pembakaran ditutup, dan diamati hingga asap menipis. Asap yang telah menipis menandakan proses karbonisasi telah berakhir, maka bagian atas cerobong ditutup dengan kain basah dan bagian dasar *drum kiln* ditutup pasir setelah lubang udara ditutup. Penutupan ini dimaksudkan agar udara tidak dapat masuk ke ruang pembakaran, sehingga bara api didalam ruang pembakaran dapat padam.



Gambar 2 proses pembuatan arang dengan tungku *drum kiln*

Dari pengujian karbonisasi yang dilakukan diatas terdapat kesulitan dalam melakukan penyalaan awal, tempurung kelapa yang telah terbakar tidak dapat menyala terus bila kertas dan minyak habis terbakar. Oleh karena itu dilakukan penambahan kertas dan minyak tanah sebelum melakukan penyalaan awal. Penyusunan tempurung kelapa agar menyisakan ruang dibagian tengah juga mengalami kesulitan, karena bentuk tempurung yang tidak seragam, hal ini bisa diatasi dengan meletakkan sebatang kayu pada bagian tengah ruang pembakaran saat melakukan penyusunan, kemudian batang kayu diambil dengan hati-hati. Gambar 2

menunjukkan proses pembuatan arang dengan tungku *drum kiln*.

Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah semua bagian alat dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian yang dilakukan dengan memasukan tempurung kelapa sebanyak 7 kg, kemudian diamati setiap bagian *drum kiln*.

1. Ruang Pembakaran

Ruang pembakaran berbentuk silinder dengan tinggi 60 cm dan diameter bagian dalam 30 cm. Dinding ruang pembakaran terdapat tiga lapisan, yaitu berturut turut dari luar ke dalam adalah plat besi, asbestos dan plat besi. Pada pengujian yang telah dilakukan bagian ruang pembakaran tidak terjadi kerusakan, penggunaan asbestos sebagai isolator juga sangat baik dalam meminimalisir panas yang keluar dari ruang pembakaran.

2. Cerobong

Bagian cerobong berbentuk silinder dengan tinggi 15 cm dan diameter bagian dalam 7 cm. Bagian cerobong juga terbuat dari plat besi yang dilapisi asbestos. Pada saat pengujian cerobong berfungsi mngeluarkan asap dengan baik, namun terdapat kebocoran dibagian sambungan antara cerobong dengan tutup ruang pembakaran, sehingga asap tidak hanya keluar dari ujung cerobong namun juga keluar dari kebocoran tersebut.

3. Lubang masuk udara

Lubang masuk udara berbentuk persegi empat dengan dimensi 2,8 cm x 2,8 cm.

Menurut Wijaya (2007) proses karbonisasi arang membutuhkan suplai udara pembakaran yang minimum agar karbon yang terkandung dalam arang tidak habis terbakar. Banyak sedikitnya pasokan udara kedalam *drum kiln* ini bergantung dari ukuran lubang masuk udara. Dari hasil pengujian lubang udara sudah berfungsi dengan baik, udara yang dibutuhkan dalam ruang pembakaran tercukupi, sehingga tempurung kelapa tidak terbakar habis, melainkan menjadi arang. Tetapi pada saat pengujian arang yang berukuran kecil jatuh melalui lubang udara, sehingga dilakukan penambahan kawat ayakan dibagian dasar ruang pembakaran agar arang tidak jatuh.

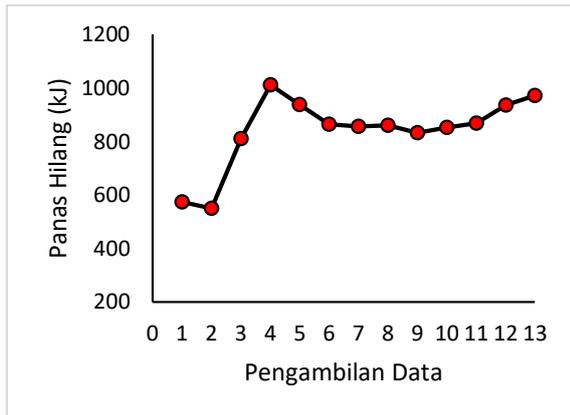
Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya kehilangan panas adalah nilai konduktivitas termal suatu bahan. Nilai konduktivitas termal bahan menunjukkan berapa cepat panas mengalir dalam bahan tertentu. Semakin cepat molekul bergerak semakin cepat pula molekul tersebut mengangkut energi. Jadi nilai konduktivitas yang tinggi menunjukkan laju perpindahan panas yang pesat, semakin tinggi laju perpindahan panas pada bahan tersebut maka panas yang hilang semakin besar.

Nilai resistensi termal setiap subsistem ditentukan oleh luas permukaan bahan yang dialiri panas. Semakin luas permukaan bahan yang dialiri panas, maka semaiakin besar pula kehilangan pindah panasnya. Faktor lain yang mempengaruhi besarnya nilai resistensi termal adalah koefisien pindah panas keseluruhan. Koefisien pindah panas menyeluruh adalah penjumlahan dari seluruh koefisien perpindahan panas yang meliputi koefisien perpindahan panas konduksi, koefisien perpindahan panas konveksi, dan koefisien perpindahan panas radiasi, namun karena perpindahan panas radiasi tidak begitu berpengaruh, maka koefisien perpindahan panas radiasi tidak dibahas.

Kehilangan panas yang terjadi pada tungku *drum kiln* yaitu pada dinding ruang pembakaran dan dinding cerobong. Kehilangan pada dinding ruang pembakaran selama proses karbonisasi disajikan pada Gambar 3. Besarnya panas yang hilang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Energi panas yang hilang pada dinding ruang pembakaran

Bagian	Data ke	q_w (kJ)
Dinding ruang pembakaran	1	574,16
	2	550,29
	3	810,17
	4	1012,04
	5	938,26
	6	863,39
	7	855,39
	8	859,88
	9	832,75
	10	852,09
	11	867,2
	12	935,87
	13	972,1
Jumlah		10923.59



Gambar 3. Panas yang hilang pada dinding ruang pembakaran.

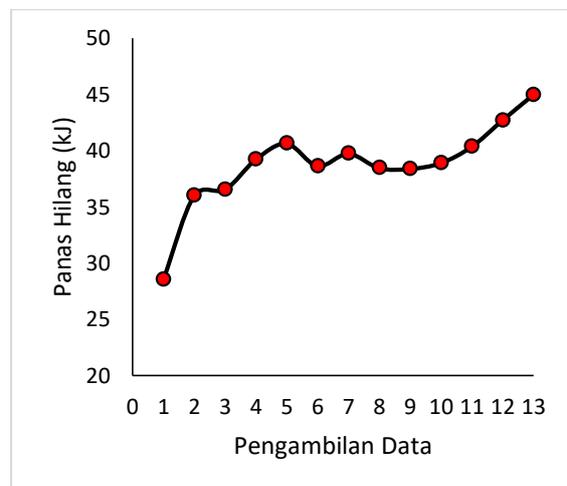
Kehilangan panas total pada dinding ruang pembakaran selama proses karbonisasi adalah sebesar 10923.59 kJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-4 sebesar 1012,04 kJ, dan kehilangan panas terendah diperoleh pada pengambilan data ke-2 sebesar 550,29 kJ. Gambar 3 menunjukkan kehilangan panas pada dinding ruang pembakaran. Panas yang hilang pada dinding ruang pembakaran besarnya cenderung meningkat. Panas yang hilang mengalami penurunan pada pengambilan data ke-5 yang kemudian meningkat kembali, hal ini diakibatkan oleh penurunan suhu pada ruang pembakaran. Untuk kehilangan panas pada cerobong *drum kiln* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 3.

Tabel 3. Energi panas yang hilang pada cerobong

Bagian	Data ke	q_{ex} (kJ)
Cerobong	1	28,57
	2	36,01
	3	36,54
	4	39,23
	5	40,64
	6	38,64
	7	39,74
	8	38,46
	9	38,39
	10	38,91
	11	40,36
	12	42,71
	13	44,98
Jumlah		503,18

Kehilangan panas total pada dinding cerobong selama proses karbonisasi adalah sebesar 503,18 kJ. Kehilangan panas tertinggi diperoleh pada pengambilan data ke-13 sebesar 44,98 kJ. Gambar 4 menunjukkan kehilangan panas pada cerobong mengalami kenaikan seiring kenaikan suhu ruangan. Efisiensi pembakaran merupakan perbandingan antara jumlah energi panas yang dihasilkan dengan nilai kalor sejumlah bahan bakar yang terbakar. Melalui perhitungan didapatkan energi panas yang tersedia adalah sebesar 127557,17 kJ. Besarnya energi ini ditentukan oleh massa bahan bakar dan nilai kalor bahan. Adapun nilai kalor dari tempurung kelapa adalah 18222,45 kJ/kg. Panas efektif yang dihasilkan dalam pembakaran sebesar 111117,77 kJ.

13 sebesar 44,98 kJ. Gambar 4 menunjukkan kehilangan panas pada cerobong mengalami kenaikan seiring kenaikan suhu ruangan. Efisiensi pembakaran merupakan perbandingan antara jumlah energi panas yang dihasilkan dengan nilai kalor sejumlah bahan bakar yang terbakar. Melalui perhitungan didapatkan energi panas yang tersedia adalah sebesar 127557,17 kJ. Besarnya energi ini ditentukan oleh massa bahan bakar dan nilai kalor bahan. Adapun nilai kalor dari tempurung kelapa adalah 18222,45 kJ/kg. Panas efektif yang dihasilkan dalam pembakaran sebesar 111117,77 kJ.



Gambar 4. Panas yang hilang pada dinding cerobong.

Sehingga efisiensi pembakaran yang dihasilkan sebesar 87,11%. Penggunaan asbestos sebagai isolator di dinding ruang pembakaran sangat berperan dalam meminimalisir panas yang keluar melalui dinding ruang pembakaran, sehingga efisiensi pembakaran yang didapatkan cukup besar.

Menurut Abdullah *et al.* (1991) rancangan tungku menentukan sempurna tidaknya proses pembakaran berlangsung dan besarnya energi panas yang dapat dimanfaatkan atau dihasilkan oleh sistem tungku. Sempurna atau tidaknya pembakaran dipengaruhi oleh rancangan ruang pembakaran yang menentukan mudah tidaknya oksigen kontak dengan partikel karbon pada bahan bakar. Selain itu kelancaran proses pembakaran bahan bakar juga ditentukan oleh kelancaran pembuangan gas hasil pembakaran bahan bakar. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahan tungku dan kaitannya dengan proses pindah panas

yang terjadi selama pembakaran berlangsung didalam tungku. Makin besar pindah panas ke luar tungku, maka semakin besar energi panas yang terbuang yang bereaksi makin rendah efisiensi sistem tersebut.

KESIMPULAN

1. Alat pembuatan arang *drum kiln* telah dibuat dan secara fungsional dapat bekerja sesuai rancangan.
2. Berdasarkan uji performasi menggunakan beban, rata-rata proses karbonisasi berlangsung selama 34 menit, dan dari 7 kg tempurung kelapa menghasilkan rata-rata 1,485 kg. Kapasitas pengarangan *drum kiln* sebesar 0,044 kg/menit.
3. Total panas yang hilang saat proses karbonisasi berlangsung di ruang pembakaran sebesar 10923.59 kJ, dan pada cerobong sebesar 503.18 kJ. Efisiensi pembakaran *drum kiln* sebesar 87,11%, hal ini dikarenakan pada lapisan dinding terdapat asbestos, sehingga panas yang keluar melalui dinding dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A. K. Irwanto, N. Siregar, E. Agustina, A. H. Tambunan, M. Yamin, E. Hartulistiyoso, dan Y. A. Purwanto. 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*. IPB, Bogor
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Terjemahan E. Jasjfi. Erlangga. Jakarta.
- Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potnsi Ekonomi*. Edisi Kedua. UI press, Jakarta
- Perwira, F.S. 2010. *Rancang Bangun Drum Kiln Menggunakan Isolator Untuk Pembuatan Arang Tempurung Kelapa*. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.
- Robith. 2004. *Tungku arang Thailand yang sudah ditingkatkan*. (On-line). <http://www.tungku.or.id>.
- Utami, P. 2006. *Pemanfaatan SDA non kayu*. (On-line). <http://www.tungku.or.id>.
- Wijaya, H. 2007. *Perencanaan Drum Kiln Untuk Karbonisasi Arang Tempurung Kelapa*. Skripsi. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya