

PERPIDAHAN PANAS PADA PROSES PEMBUATAN DRUM KILN

Rina Krisnayana

ABSTRAK

Salah satu produk pengolahan tempurung kelapa adalah pembuatan arang tempurung yang pada proses selanjutnya dapat diolah menjadi briket. Pembuatan arang tempurung kelapa belum banyak dilakukan, padahal potensi bahan baku, penggunaan, dan potensi pasar cukup besar, baik untuk dikonsumsi lokal maupun untuk industri besar, baik untuk penggunaan dalam negeri maupun ekspor ke luar negeri. Pengarang secara tradisional memiliki beberapa kelemahan, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan arang dengan menggunakan tungku yang dapat mengurangi banyaknya energi yang hilang, menghasilkan pengarangan yang merata, dan menghasilkan arang dengan kualitas yang baik sesuai dengan parameter standar kualitas arang yang baik, yaitu dengan menggunakan *drumkiln*.

Kata Kunci : Tempurung Kelapa, Perpindahan panas, Drum Kiln.

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa utama di dunia. Luas panen areal tanaman kelapa Indonesia pada tahun 2003 mencapai 1.611.488 hektar dengan luas produksi mencapai 3.550.486 ton kelapa, yang sebagian besar (95%) merupakan perkebunan rakyat. Pemanfaatan buah kelapa saat ini masih terbatas pada kopra, minyak, dan santan untuk keperluan rumah tangga, sedangkan hasil samping lain seperti tempurung kelapa belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagian besar tempurung kelapa hanya dimanfaatkan sebagai kayu bakar dan sebagian lainnya yang bentuk dan kualitas masih dalam kondisi baik digunakan sebagai bahan baku kerajinan.

Salah satu produk pengolahan tempurung kelapa adalah pembuatan arang tempurung yang pada proses selanjutnya dapat diolah menjadi briket. Pembuatan arang tempurung kelapa belum banyak dilakukan, padahal potensi bahan baku, penggunaan, dan potensi pasar cukup besar, baik untuk dikonsumsi lokal maupun untuk industri besar, baik untuk penggunaan dalam negeri maupun ekspor ke luar negeri (Bank Indonesia, 2001). Umumnya pembuatan arang dilakukan dengan cara tradisional yaitu dengan membakar secara langsung tempurung kelapa. Cara ini memiliki banyak kelemahan antara lain: pengarangan tidak merata dan banyak energi yang hilang akibat pembakaran. Arang tempurung kelapa yang dijual di pasar memiliki kadar air 8,32 %bb dan kadar abu 3,11% (Herawaty *et al.*, 2008). Cara pengarang secara tradisional memiliki beberapa kelemahan, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan arang dengan menggunakan tungku yang dapat mengurangi banyaknya energi yang hilang, menghasilkan pengarangan yang merata, dan menghasilkan arang dengan kualitas yang baik sesuai dengan parameter standar kualitas arang yang baik, yaitu dengan menggunakan *drumkiln*.

Mengacu pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu: (1) bagaimana performansi *drumkiln* untuk pembuatan arang, dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku, (2) kombinasi manakah yang tepat antara jumlah lubang udara dan volume tempurung kelapa pada *drumkiln*.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui performansi *drumkiln* untuk pembuatan arang, dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku, (2) mengetahui kombinasi yang tepat antara jumlah lubang udara, dan volume tempurung kelapa pada *drum kiln* untuk menghasilkan proses pengarangan yang cepat dengan kualitas arang yang baik.

Manfaat yang diharapkan dari penulisan penelitian ini adalah memberikan informasi tentang performansi *drum kiln* kepada masyarakat pembuat arang dari tempurung kelapa dan memberikan gambaran mengenai jumlah lubang udara dan volume yang ideal pada *drum kiln* untuk mendapatkan kualitas arang yang baik.

2 TINJAUAN PUSTAKA

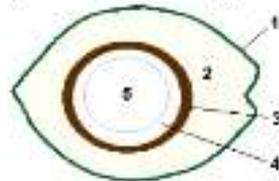
Palungkun (2004) mengungkapkan pemanfaatan buah kelapa sangat bervariasi tergantung pada tingkat kematangannya. Hampir semua bagian kelapa dengan komposisi seperti pada Tabel 1 dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Sabut kelapa dapat dibuat menjadi *cocofiber*, keset, dan sapu. Daging buah kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kopra, minyak kelapa, *coconut cream*, dan santan. Air kelapa dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku minuman isotonik, *nata de coco*, dan cuka, sedangkan tempurung dapat dimanfaatkan untuk membuat arang aktif, asap cair, fenol, tepung tempurung, dan arang.

Tabel 1. Komposisi buah kelapa

Bagian buah	Jumlah berat (%)
Sabut	35
Tempurung	12
Daging buah	28
Air kelapa	25

Sumber: Palungkun, 2004.

Komponen-komponen penyusun buah kelapa disajikan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Penampang membujur buah kelapa.

Keterangan:

1. Kulit luar (*epicarp*)
2. Sabut (*mesocarp*)
3. Tempurung (*endocarp*)
4. Daging buah (*endosperm*)
5. Air kelapa

Buah kelapa dalam bidang pertanian merupakan salah satu hasil pertanian yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Era seperti sekarang limbah dari buah kelapa biasanya tidak dimanfaatkan, bahkan untuk skala industri masih jarang yang menggunakannya walaupun sudah sejak lama digunakan oleh masyarakat di pedesaan. Subekti *dalam* Rachmawati (2005) menyatakan bahwa tempurung kelapa mempunyai nilai kalor 4.120 kal/g. Hal ini menunjukkan tempurung kelapa dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif.

B. Tempurung Kelapa

Aten *et al.*, (1985) dalam Ketaren (1986) menyatakan bahwa buah kelapa terdiri dari 4 komponen yaitu 35% sabut, 12% tempurung, 28% daging buah dan 25% air buah. Tempurung kelapa terletak di bagian dalam setelah sabut. Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6%-9% (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Tilman, 1981). Komposisi kimia tempurung kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia tempurung kelapa

Komponen	Persentase (%)
Selulosa	22,6
Hemiselulosa	27,7
Lignin	29,4
Abu	0,6
Komponen ekstraktif	4,2
Uronat anhidrat	3,5
Nitrogen	0,11
Air	8,0

Sumber: Suhardiyono, 1988.

Apabila tempurung kelapa dibakar pada temperatur tinggi dalam ruangan yang tidak berhubungan dengan udara, maka akan terjadi rangkaian proses peruraian penyusun tempurung kelapa tersebut dan akan menghasilkan arang selain destilat, tar, dan gas (UNEP, 2009). Destilat ini merupakan komponen yang sering disebut sebagai asap cair.

Arang adalah suatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur C (karbon). Sebagian besar pori-pori masih tertutup dengan hidrokarbon, *tar*, senyawa organik lain, dan komponen yang terdiri dari *fixed carbon*, karbon, abu, air nitrogen dan sulfur (Subroto, 2007). Menurut Palungkun (2004), arang tempurung yang baik adalah berwarna hitam merata dan tidak mengandung kotoran. Pada bagian ujung pecahan arangnya bercahaya dan bila dijatuhkan di atas lantai yang keras, pecahan kepingannya menampakkan lingkaran yang terang. Bila kepingan tersebut dibakar akan menimbulkan suara.

C. Kualitas Arang Tempurung Kelapa

Arang dapat dikatakan berkualitas baik atau tidak ditentukan dari kandungan karbon di dalamnya. Semakin tinggi *fixed carbon* yang terkandung dalam arang maka arang tersebut dapat dikatakan berkualitas baik karena *fixed carbon* ini merupakan pembangkit utama panas selama pembakaran. Kualitas dari arang menurut Borman dan Ragland (1988) dalam Wijaya (2007) ditentukan dengan analisa proksimat (*proximate analysis*). Analisa proksimat ini digunakan untuk menentukan *fixed carbon* (kadar karbon), dalam arang terlebih dahulu dicari kadar air (*moisture content*), kadar abu (*ash content*), serta kadar *volatile matter* (zat mudah menguap).

1. Kadar air

Air yang terkandung dalam kayu atau produk kayu dinyatakan sebagai kadar air. Kadar air ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam arang dengan berat kering arang tersebut. Kadar air arang dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat arang.

Salah satu cara yang paling lazim untuk menentukan kandungan air adalah dengan menempatkan benda uji dalam cawan, lalu timbang dan catat beratnya. Kemudian

keringkan dengan menggunakan oven atau dengan menggunakan kompor pada suhu 103 ± 2 °C. Pelaksanaan pengeringan dapat dilakukan dengan oven maupun pengeringan di atas kompor untuk benda uji yang tidak mengandung bahan organik.

Proses pengeringan dengan oven adalah dengan membuka tutup cawan dan taruh di dalam oven selama 24 jam, sedangkan pengeringan untuk benda uji yang tidak mengandung bahan organik dilakukan di atas kompor atau dibakar langsung setelah disiram dengan spirtus. Lakukan penimbangan dan pengeringan secara berulang-ulang sehingga mencapai berat yang tetap. Lalu cawan yang berisikan benda uji yang telah dikeringkan didinginkan dalam desikator. Setelah dingin lalu timbang dan catat beratnya (Kardianto, 2009).

Darmawan (2000) dalam Kardianto (2009), mengemukakan kadar air arang sangat mempengaruhi nilai kalor atau nilai panas yang dihasilkan. Tingginya kadar air akan menyebabkan penurunan nilai kalor. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam arang terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat dipergunakan sebagai panas pembakaran.

2. Kadar abu (*ash content*)

Kandungan abu merupakan ukuran kandungan material dan berbagai material anorganik di dalam benda uji. Metode pengujian ini meliputi penetapan abu yang dinyatakan dengan presentase sisa hasil oksidasi kering benda uji pada suhu $\pm 580-600$ °C, setelah dilakukan pengujian kadar air.

Abu adalah bahan yang tersisa apabila kayu dipanaskan hingga berat konstan (Earl, 1974) dalam Wijaya (2007). Kadar abu ini sebanding dengan kandungan bahan anorganik di dalam kayu. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Abu terdiri dari bahan mineral seperti lempung, silika, kalsium, serta magnesium oksida dan lain-lain.

3. *Volatile Matter*

Volatile matter atau sering disebut dengan zat mudah menguap, berpengaruh terhadap pembakaran arang. Kandungan *volatile matter* mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api. Penilaian tersebut didasarkan pada rasio atau perbandingan antara *volatile matter* dengan *fixed carbon*, yang disebut dengan *fuel ratio* (rasio bahan bakar). Semakin tinggi nilai *fuel ratio* maka jumlah karbon di dalam arang yang tidak terbakar juga semakin banyak. Jika perbandingan tersebut nilainya lebih dari 1,2, maka pengapian akan kurang bagus sehingga mengakibatkan kecepatan pembakaran menurun (Imam, 2006). Semakin banyak kandungan *volatile matter* pada bioarang maka arang semakin mudah untuk terbakar dan menyala (Kardianto, 2009).

4. *Fixed carbon*

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai panas arang (UNEP, 2009). Nilai *fixed carbon* diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar air, kadar abu, dan *volatile matter*.

Fixed carbon dan *volatile matter* digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu berupa nilai *fuel ratio* (Imam, 2006). Jumlah *fixed carbon* dan *volatile matter* secara langsung turut andil terhadap nilai panas arang. *Fixed carbon* bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Kandungan bahan yang

mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar (UNEP, 2009).

3 METODE PENELITIAN

a. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Inkubator Agroindustri Jurusan Teknologi Pertanian, Laboratorium Mekanisasi Pertanian, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian, Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, serta Laboratorium Fisiologi Hewan, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman. Penelitian ini dimulai dari bulan Maret sampai Juli 2010.

b. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: tempurung kelapa, minyak tanah, kertas, dan plastik. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: *drum kiln* (untuk gambar drum kiln dapat dilihat pada lampiran 3 dan 4), *hybrid recorder*, termokopel tipe K, timbangan, mortar, oven, desikator, *bomb calorimeter*, alat tulis, *stopwatch*, cawan, tanur, dan penjepit.

c. Garis Besar Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu:

1. Penelitian pendahuluan

Sebelum dilakukan penelitian pendahuluan mengenai uji performansi *drum kiln* untuk pembuatan arang dari tempurung kelapa terlebih dahulu dibuat hipotesis. Hipotesis dari penelitian ini yaitu bagaimana memanfaatkan limbah tempurung kelapa diolah menjadi arang dengan menggunakan *drum kiln* supaya mendapatkan kualitas arang yang baik dengan waktu pengarangan yang relatif lebih singkat.

Penelitian pendahuluan yaitu dilakukan sebelum dimulainya penelitian sebenarnya. Penelitian pendahuluan meliputi uji fungsional dan uji kinerja menggunakan beban.

Uji fungsional adalah pengujian alat yang dilakukan untuk mengetahui apakah semua bagian alat dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya. Pengujian yang dilakukan dengan memasukan tempurung kelapa sebanyak 7 kg, kemudian diamati setiap bagian *drum kiln*. Bagian-bagian yang diamati meliputi:

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 mengeluarkan 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.

d. Rancangan Percobaan

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan kombinasi perlakuan sebanyak enam variasi percobaan. Ulangan dilakukan sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 18 unit percobaan. Faktor perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Faktor pertama yang dicoba yaitu jumlah lubang dalam *drumkiln*, yaitu:
 - L₀ = Tungku dengan 9 lubang
 - L₁ = Tungku dengan 4 lubang
2. Faktor kedua yang dicoba yaitu volume tempurung kelapa, yaitu:
 - V₀ = Volume tempurung kelapa 100% (7 kg)
 - V₁ = Volume tempurung kelapa 90% (6,3 kg)
 - V₂ = Volume tempurung kelapa 80% (5,6 kg)

Tabel 4. Kombinasi perlakuan percobaan

Perlakuan	Variasi Percobaan	Keterangan
1	L ₀ V ₀	9 Lubang : volume tempurung kelapa 100%
2	L ₀ V ₁	9 Lubang : volume tempurung kelapa 90%
3	L ₀ V ₂	9 Lubang : volume tempurung kelapa 80%
4	L ₁ V ₀	4 Lubang : volume tempurung kelapa 100%
5	L ₁ V ₁	4 Lubang : volume tempurung kelapa 90%
6	L ₁ V ₂	4 Lubang : volume tempurung kelapa 80%

e. Variabel dan Pengukuran

Variabel yang diamati dan di ukur dalam penelitian ini adalah:

1. Kadar air

Arang yang dihasilkan pertama kali dari proses karbonisasi memiliki kadar air yang rendah, tetapi setelah melalui proses penyimpanan dan terkena udara sekitar yang lembab maka kadar air dalam arang akan meningkat. Kadar air ini dapat menurunkan kandungan panas per kg arang.

Penentuan kadar air menurut Borman dan Ragland (1988) dalam Wijaya (2007) dilakukan dengan memanaskan sampel arang sekitar 2-3 g ke dalam ruangan tertutup dengan temperatur 105-110 °C selama 3 jam. Massa sampel yang telah dipanaskan tersebut kemudian ditimbang dan digunakan untuk mengurangi massa sampel mula-mula. Perhitungan nilai kadar air dihitung dengan rumus:

$$KA_{(bb)} = \left\{ \frac{ma - mb}{ma} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- KA_(bb) : Kadar air basis basah (%)
- ma : Massa bahan sebelum dikeringkan dalam oven (g)
- mb : Massa bahan setelah dikeringkan dalam oven (g)

2. Nilai kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 g air sebesar 1

°C dengan satuan kalori, dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar didalam zat asam.

Menurut Prawirohatmojo (1976) dalam Kardianto (2009) nilai kalor suatu bahan ditentukan oleh berat jenis bahan dan kadar air dari bahan itu sendiri. Nilai kalor didapatkan dengan pengujian menggunakan alat *Bombcalorimeter*.

Petunjuk pemakaian *bombcalorimeter* (PARR 1563).

- 1) Hidupkan refrigerator dan sistem sirkulasi air dengan cara menghubungkan kabel power ke sumber listrik dan menggeser saklar *on* pada alat.
- 2) Biarkan refrigerator dan sistem sirkulasi air bekerja hingga tercapai suhu konstan (kira-kira 30 menit).
- 3) Hubungkan kabel power pada alat *bomb* dengan sumber listrik.
- 4) Tekan saklar pada bagian belakang alat *bomb* pada posisi *on* dapat ditunggu beberapa saat hingga muncul petunjuk operasional pada monitor.
- 5) Hidupkan hiter dan pompa pada *bomb* dengan cara mengubah tanda “off” ke “on”.
- 6) Tunggu beberapa saat hingga temperatur jacket mencapai 35 °C.
- 7) Buka kran tabung oksigen.
- 8) Lakukan preparasi sampel dan sampel telah siap dimasukan ke tabung *bomb*.
- 9) Isi tabung *bomb* dengan cara oksigen dengan cara menghubungkan slang oksigen dengan tabung *bomb* dan tekan tanda *O₂ fill* pada monitor, biarkan hingga ada tanda *O₂ fill completed*.
- 10) Isi ember *bomb* dengan akuades dan masukan tabung *bomb* pada ember dan tabung terendam air.
- 11) Masukan ember dan tabung *bomb* pada alat *bomb*.
- 12) Hubungkan elektroda pembakar pada *bomb* dengan tabung *bomb*.
- 13) Tekan tombol start, isi massa sampel dan tekan enter.
- 14) Biarkan proses berjalan hingga terdengar tanda bunyi yang menunjukkan sampel telah terbakar.
- 15) Bila proses telah selesai keluarkan ember dan tabung *bomb* dari alat. Matikan alat bila telah selesai menggunakan, dengan cara mengubah tanda *on* ke *off* pada monitor, mencabut kabel power dan menutup kran tabung oksigen.

3. Efisiensi kalor arang tempurung kelapa

Efisiensi kalor arang tempurung kelapa diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \left\{ \frac{mc \times Qc}{mt \times Qt} \right\} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

- η : Efisiensi (%)
- mc : Massa arang (g)
- mt : Massa tempurung kelapa (g)
- Qc : Nilai kalor arang (kal/g)
- Qt : Nilai kalor tempurung kelapa (kal/g)

4. Jumlah tempurung kelapa yang terbakar pada saat proses karbonisasi

Mengetahui jumlah tempurung kelapa yang terbakar pada saat proses karbonisasi, yang meliputi matang seluruhnya (tempurung kelapa terbakar seluruhnya, arang bewarna hitam), sedang (warna tidak hitam seluruhnya, masih terlihat bentuk atau warna tempurung kelapa) dan tidak matang (masih berbentuk tempurung kelapa). Perhitungan jumlah tempurung kelapa yang terbakar saat proses karbonisasi dapat dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ kematangan} = \frac{\Sigma \text{ arang yang jadi} - \Sigma \text{ arang yang tidak jadi}}{\Sigma \text{ arang yang jadi}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

5. Kadar abu (*ash content*)

Abu yang terdapat dalam arang merupakan kotoran yang tidak dapat terbakar. Abu ini dapat berupa tanah atau bahan mineral seperti silika. Analisa kadar abu menurut Culp (1991) dalam Wijaya (2007) dilakukan dengan mengambil sampel arang yang telah ditimbang dahulu sehingga didapat massa konstan sekitar 1 g kemudian sampel dipanaskan selama 3 jam pada temperatur 650 °C. Setelah selesai sampel kemudian didinginkan dan ditimbang lagi. Perhitungan nilai kadar abu dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

dengan:

- m₁ : Massa abu (g)
- m₂ : Massa sampel yang dikeringkan (g)

6. *Volatile Matter*

Volatile matter merupakan material yang mudah menguap dalam arang yang biasanya terdiri dari metana, senyawa hidrokarbon, hidrogen, dan gas yang tidak mudah terbakar seperti karbondioksida dan nitrogen. *Volatile matter* ini dapat membantu memudahkan penyalaan arang.

Analisa kadar *volatile matter* menurut Borman dan Ragland (1998) dalam Wijaya (2007) dilakukan dengan menimbang terlebih dahulu sampel arang sehingga didapatkan massa konstan sekitar 1 g, ditempatkan pada cawan tertutup kemudian dipanaskan selama 7 menit dengan temperatur yang di atur pada suhu 950 °C. Setelah selesai sampel ini kemudian ditimbang lagi, massa yang hilang dari pemanasan inilah yang dikatakan *volatile matter*. Perhitungan nilai *volatile matter* dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Susut massa (\%)} = \frac{a-d}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Kadar zat mudah menguap (\%)} = \text{susut massa} - \text{kadar air} \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

- a = Massa awal (g)
- d = Massa sampel setelah pemanasan (g)

7. *Fixed Carbon*

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen yang tidak terbawa gas. Nilai *fixed carbon* diperoleh melalui pengurangan angka 100 dengan jumlah kadar air, kadar abu, dan *volatile matter*. *Fixed carbon* dan *volatile matter* digunakan sebagai perhitungan untuk menilai kualitas bahan bakar, yaitu berupa nilai rasio bahan bakar.

Fixed carbon bertindak sebagai pembangkit utama panas selama pembakaran. Kandungan bahan yang mudah menguap yang tinggi menunjukkan mudahnya penyalaan bahan bakar (Kardianto, 2009). Persamaan untuk mencari *fixed carbon* adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Fixed carbon} = 100 \% - (\% \text{ air} + \% \text{ abu} + \% \text{ volatile matter}) \dots\dots\dots(7)$$

8. Lamanya waktu proses karbonisasi

Lamanya waktu proses karbonisasi dihitung mulai dari penyalaan api sampai berakhirnya proses karbonisasi yang ditandai dengan tidak adanya asap yang keluar dari cerobong *drum kiln* (Wijaya, 2007).

f. Analisis Data

Perhitungan data diperoleh dengan menggunakan rumus-rumus 1-7. Analisis data dilakukan dengan membandingkan kualitas arang tempurung kelapa yang dihasilkan dari pengukuran dengan standar internasional dari arang tempurung kelapa. Berikut ini standar internasional arang tempurung kelapa:

- a. Karbon terikat / *fixed carbon* (%) : 80-85
- b. Kadar air (%) : 2-5
- c. Bahan menguap / *volatile matter* (%) : 7-14
- d. Kadar abu (%) : 2-5 (Palungkun, 2004)

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dianalisis menggunakan uji F. Apabila hasil menunjukkan pengaruh yang nyata maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan pada faktor tersebut.

Penentuan perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan metode indeks efektivitas (De Garmo., *et al*, 1994). Metode ini dilakukan berdasarkan prosedur sebagai berikut: parameter-parameter fisik dan kimia dikelompokkan terpisah dengan organoleptik, memberikan bobot nilai pada masing-masing variabel sesuai kontribusinya dengan angka relatif 0-1. Bobot ini berbeda tergantung dari kepentingan masing-masing variabel yang hasilnya diperoleh sebagai akibat perlakuan. Bobot normal (BN) ditentukan dari masing-masing variabel dengan membagi bobot variabel (BV) dengan jumlah semua bobot variabel.

Mengelompokkan variabel-variabel yang dianalisa dua kelompok yaitu:

- a) Kelompok A, terdiri dari variabel-variabel yang semakin besar reratanya semakin baik (dikehendaki pada produk yang diperlakukan).
- b) Kelompok B adalah kelompok yang makin besar reratanya semakin jelek (tidak dikehendaki).

Ditentukan nilai efektivitas (Ne) masing-masing variabel, dengan rumus:

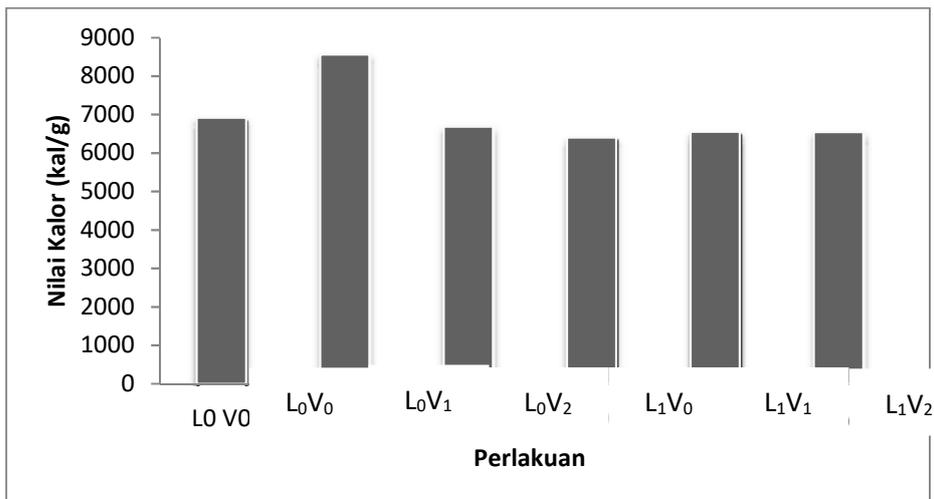
$$\text{Nilai efektifitas (Ne)} = \frac{\text{Nilai perlakuan} - \text{Nilai terendah}}{\text{Nilai tertinggi} - \text{Nilai terendah}}$$

Untuk variabel dengan rerata semakin besar semakin baik, maka nilai terendah sebagai nilai terjelek dan nilai tertinggi sebagai nilai terbaik, sebaliknya untuk variabel dengan nilai semakin kecil semakin baik, maka nilai tertinggi sebagai nilai terjelek dan nilai terendah sebagai yang terbaik. Menghitung nilai hasil masing-masing variabel yang diperoleh dari perkalian bobot normal (BN) dengan nilai efektivitas (Ne). Menjumlahkan nilai hasil dari semua variabel, dan kombinasi terbaik dipilih dari kombinasi perlakuan yang memiliki nilai hasil tertinggi (De Garmo., *et al*, 1994).

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh 1 g bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 g air sebesar 1 °C dengan satuan kalori. Perhitungan nilai kalor dari arang tempurung kelapa dengan mengkombinasikan antara jumlah lubang udara (L) dan volume (V) yang terdiri dari enam macam rancangan faktorial yaitu, untuk arang tempurung kelapa dari perlakuan sembilan lubang dengan volume 100% (L_0V_0) sebesar 6915,4 kal/g, sembilan lubang dengan volume 90% (L_0V_1) sebesar 8561,2 kal/g, sembilan lubang dengan volume 80% (L_0V_2) sebesar 6688,9 kal/g, empat lubang dengan volume 100% (L_1V_0) sebesar 6403,9 kal/g, empat lubang dengan volume 90% (L_1V_1) sebesar 6551,9 kal/g, empat lubang dengan volume 80% (L_1V_2) sebesar 6542,1 kal/g.

Nilai kalor tempurung kelapa yang digunakan untuk membuat arang tempurung kelapa yaitu sebesar 4353,2 kal/g. Hubungan antara nilai kalor arang tempurung kelapa dengan perlakuan percobaan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai kalor arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan Drum Kiln

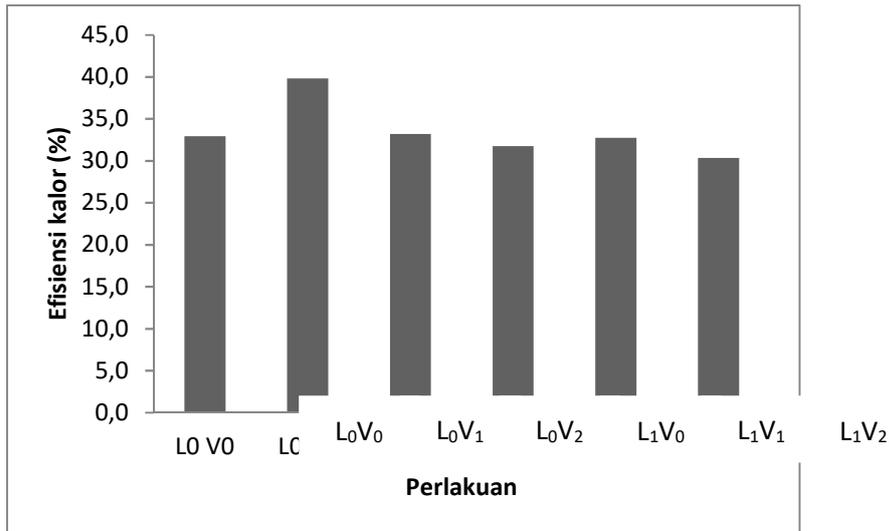
Hasil pengukuran nilai kalor diukur dengan menggunakan *bombcalorimeter* menunjukkan nilai kalor terbesar yaitu pada perlakuan sembilan lubang dengan volume 90% (L_0V_1) sebesar 8561,2 kal/g. Perlakuan sembilan lubang udara mempunyai pengaruh terhadap nilai kalor, yaitu jumlah oksigen yang masuk kedalam ruang pembakaran lebih banyak, sehingga tempurung kelapa terbakar secara merata, material-material yang terkandung dalam tempurung kelapa akan ikut terbakar, dan menghasilkan kadar karbon yang tinggi.

Arang yang memiliki *fixed carbon* yang tinggi akan memiliki nilai kalor yang tinggi, karena dengan *fixed carbon* yang tinggi kandungan energi kimia yang dimiliki arang tinggi, sehingga akan baik digunakan sebagai bahan bakar (Wijaya, 2007).

Semakin tinggi nilai kalor dari arang tempurung kelapa maka akan menghasilkan panas yang tinggi apabila digunakan sebagai bahan bakar dan memiliki kadar air yang rendah (Wijaya, 2007), sedangkan untuk arang tempurung yang memiliki nilai kalor rendah mempunyai kadar air yang tinggi. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan oleh arang digunakan untuk mengeluarkan air yang terkandung pada arang tempurung kelapa.

A. Efisiensi Kalor

Efisiensi kalor merupakan perbandingan antara nilai kalor arang yang dihasilkan dengan nilai kalor bahan baku tempurung kelapa. Hasil perhitungan efisiensi kalor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai efisiensi kalor arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan *drum kiln*.

Hasil perhitungan nilai efisiensi tertinggi di dapat pada perlakuan sembilan lubang dengan volume 90% (L_0V_1) sebesar 39,8%, sedangkan nilai efisiensi terendah pada perlakuan empat lubang dengan volume 80% (L_1V_2) sebesar 30,3%. Nilai efisiensi kalor dipengaruhi oleh nilai kalor dan massa dari sumber energi dan energi yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai efisiensi kalor, maka arang yang dihasilkan mempunyai kualitas yang baik.

B. Jumlah Tempurung Kelapa Yang Terbakar Pada Proses Karbonisasi

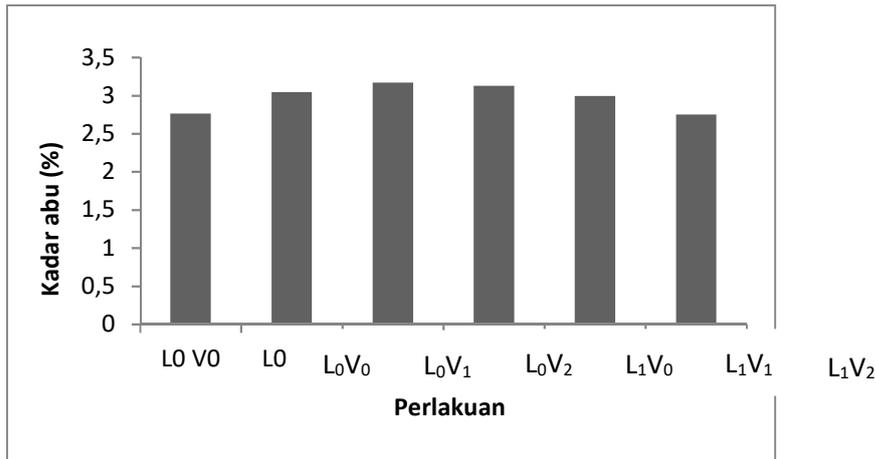
Jumlah tempurung kelapa yang terbakar pada saat proses karbonisasi dihitung dengan menggunakan rumus. Jumlah tempurung kelapa yang dimasukan ke dalam ruang pembakaran yaitu kapasitas 100%, 90%, dan 80%. Hasil pengukuran dan perhitungan untuk masing-masing perlakuan didapat nilai % kematangan dari semua perlakuan 100% atau matang seluruhnya.

Hasil pengukuran jumlah tempurung kelapa yang terbakar menjadi arang tidak dapat dianalisis secara statistik dikarenakan data yang diperoleh semuanya sama yaitu untuk % kematangan sebesar 100% atau matang seluruhnya. Faktor yang mempengaruhi jumlah tempurung kelapa yang terbakar menjadi arang saat proses karbonisasi yaitu pada saat asap yang keluar dari cerobong masih tebal dilakukan penutupan pada cerobong dan lubang *drum kiln*, sehingga masih ada tempurung kelapa yang belum terbakar menjadi arang.

C. Kadar Abu

Abu yang terdapat dalam arang merupakan kotoran yang tidak dapat terbakar. Abu ini dapat berupa tanah atau bahan mineral seperti silika. Pengukuran kadar abu merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kualitas dari arang. Hasil pengukuran kadar abu arang tempurung kelapa dapat dilihat pada Gambar 5.

Standar internasional untuk kadar abu arang tempurung kelapa yaitu 2%-5% (Palungkun, 2004), semakin banyak kadar abu yang terkandung dalam arang maka jumlah arang yang dihasilkan sedikit dibandingkan dengan arang yang mempunyai kadar abu yang rendah.



Gambar 5. Kadar abu arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan *drum kiln*.

Hasil analisis uji F yang terlihat pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kombinasi antara jumlah lubang udara (L) dengan volume (V) memberikan pengaruh nyata terhadap kadar abu arang tempurung kelapa yang dihasilkan, sedangkan jumlah lubang udara (L) dan volume (V) dalam pengujian berpengaruh tidak nyata terhadap kadar abu, hal ini ditandai dengan simbol *ns* pada Tabel 5. Hasil uji DMRT 5% ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis kombinasi jumlah lubang udara dan volume terhadap kadar abu

Perlakuan	Kadar abu (%)
L ₀ V ₀	2,8 b
L ₀ V ₁	3,0 a
L ₀ V ₂	3,2 a
L ₁ V ₀	3,1 a
L ₁ V ₁	3,0 ab
L ₁ V ₂	2,8 b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%.

Hasil uji DMRT dengan taraf 5% yang menganalisis hubungan antara kombinasi jumlah lubang udara (L) dengan volume (V) terhadap kadar abu menunjukkan bahwa, kombinasi antara jumlah lubang udara sembilan lubang volume 80% (L₀V₂), L₁V₀, dan L₀V₁ mempunyai nilai kadar abu terbesar dibandingkan dengan perlakuan L₁V₂ dan L₀V₀. Sedangkan untuk perlakuan L₁V₁ termasuk perlakuan yang bisa dikatakan keduanya menurut hasil uji DMRT.

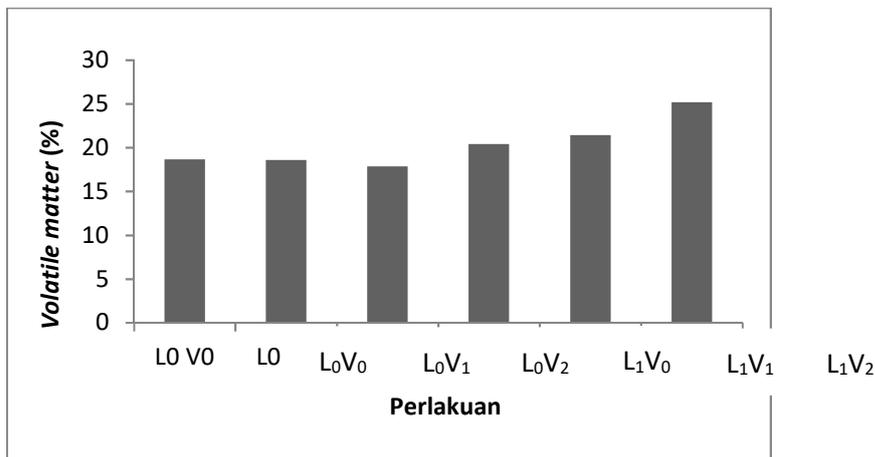
Perlakuan lubang udara dan volume memberikan sedikit pengaruh terhadap kadar abu yang dihasilkan. Kadar abu yang dihasilkan setiap perlakuan lebih dipengaruhi oleh kandungan mineral dari tempurung kelapa yang digunakan. Berdasarkan hasil uji statistik nilai kadar abu dari arang tempurung kelapa yang dihasilkan secara umum sesuai dengan standar internasional yaitu 2%-5% (Palungkun, 2004).

D. Volatile Matter

Volatile matter atau zat mudah menguap merupakan material yang mudah menguap dalam arang yang biasanya terdiri dari metana, senyawa hidrokarbon, hidrogen dan gas yang tidak mudah terbakar seperti karbondioksida dan nitrogen (Wijaya, 2007). Kandungan *volatile matter* pada arang mempengaruhi parameter dari kualitas arang yang dihasilkan, semakin banyak kandungan *volatile matter* pada

bioarang, maka arang semakin mudah untuk terbakar dan menyala (Kardianto, 2009). Hasil pengukuran kandungan *volatile matter* disajikan pada Gambar 6.

Hasil analisis uji F yang terlihat pada Tabel 5 menunjukkan bahwa jumlah lubang udara berpengaruh nyata terhadap *volatile matter*, sedangkan volume dan kombinasi antara jumlah lubang udara dan volume berpengaruh tidak nyata terhadap *volatile matter* yang ditunjukkan dengan simbol *ns* pada Tabel 5. Hasil uji DMRT 5% ditunjukkan pada Tabel 8.



Gambar 6. *Volatile matter* arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan *drum kiln*.

Tabel 8. Hasil analisis pengaruh jumlah lubang udara terhadap *volatile matter*

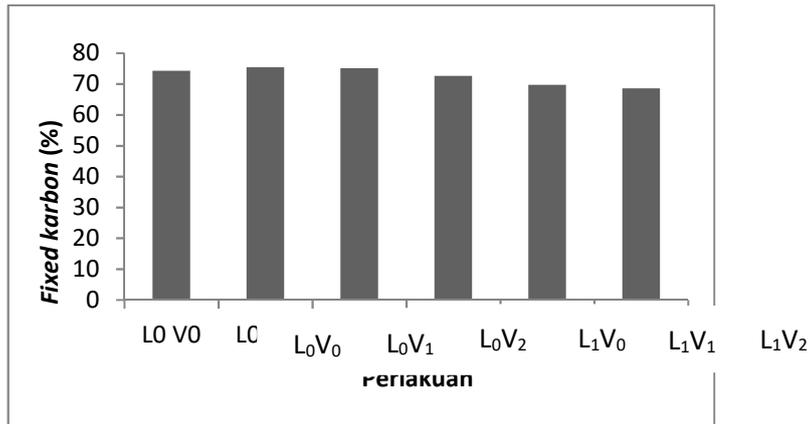
Jumlah lubang udara	<i>Volatile matter</i> (%)
L ₀	18,4 b
L ₁	22,4 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%.

Perlakuan empat lubang udara (L₁) memiliki nilai *volatile matter* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan sembilan lubang udara (L₀). Hal ini terjadi karena suplai udara yang lebih sedikit menyebabkan temperatur adiabatik pembakaran yang lebih rendah, sehingga material-material yang terkandung dalam tempurung kelapa selain karbon masih ada yang belum terbakar dan menjadi *volatile matter*. Suplai udara yang lebih sedikit ke dalam ruang pembakaran akan memberikan hasil jumlah arang tempurung kelapa yang banyak, namun memiliki kadar *fixed carbon* yang rendah.

E. Fixed Carbon

Fixed carbon merupakan bahan bakar padat residu dari pengurangan kadar abu, kadar air, dan *volatile matter*. Nilai *fixed carbon* dipengaruhi oleh kandungan arang lainnya seperti kadar abu, kadar air, dan *volatile matter*. Arang dapat dikatakan berkualitas atau tidak ditentukan dari kandungan karbon di dalamnya. Semakin tinggi *fixed carbon* yang terkandung dalam arang maka arang tersebut dapat dikatakan berkualitas karena *fixed carbon* ini merupakan pembangkit utama panas selama pembakaran (Wijaya, 2007). Hasil pengukuran nilai *fixed carbon* disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Fixed carbon* arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan *drum kiln*.

Standar internasional arang tempurung kelapa yaitu sekitar 80%-85% (Palungkun, 2004), sedangkan nilai *fixed carbon* arang tempurung kelapa yang dihasilkan rata-rata sekitar 68%-76%. Nilai yang dihasilkan berbeda dengan standar internasional yang ditetapkan ini dipengaruhi oleh *volatile matter*, kadar abu, kadar air yang dihasilkan dari analisis proksimat yang dilakukan di laboratorium

Hasil analisis uji F yang terlihat pada Tabel 5 menunjukkan bahwa jumlah lubang udara berpengaruh nyata terhadap *fixed carbon*, sedangkan volume dan kombinasi antara jumlah lubang udara dan volume berpengaruh tidak nyata terhadap *fixed carbon* yang ditunjukkan dengan simbol *ns* pada Tabel 5. Hasil uji DMRT 5% ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisis pengaruh jumlah lubang udara terhadap *fixed carbon*

Jumlah lubang udara	<i>Fixed carbon</i> (%)
L ₀	74,9 a
L ₁	70,3 b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%.

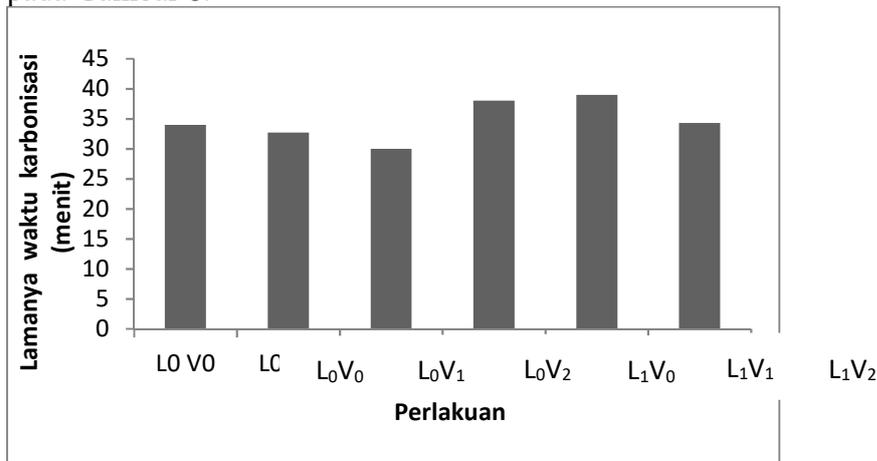
Hasil uji DMRT dengan taraf 5% menunjukkan perlakuan jumlah lubang udara berpengaruh terhadap *fixed carbon* yang dihasilkan oleh arang tempurung kelapa. Perlakuan sembilan lubang udara (L₀) memiliki kadar *fixed carbon* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan empat lubang udara (L₁). Hal ini disebabkan suplai udara yang masuk kedalam ruang pembakaran *drum kiln* lebih banyak, sehingga tempurung kelapa yang ada dalam *drum kiln* terbakar secara merata dan material-material yang terkandung dalam tempurung kelapa selain karbon akan terbakar habis.

F. Lamanya Waktu Karbonisasi

Lamanya waktu proses karbonisasi dihitung yaitu dimulai dari penyalaan api sampai berakhirnya proses karbonisasi yang ditandai dengan tidak adanya asap yang keluar dari cerobong *drum kiln* (Wijaya, 2007). Pengukuran lamanya waktu karbonisasi dimulai setelah penutupan cerobong *drum kiln* setelah api nyala secara merata sampai penutupan *drum kiln* dengan kain basah pada bagian cerobong dan penutupan dengan tanah pada bagian kaki *drum kiln*. Berakhirnya proses karbonisasi ditandai dengan asap yang keluar dari cerobong semakin menipis.

Drum kiln yang digunakan pada penelitian dilapisi dengan bahan isolator asbestos, keunggulan *drum kiln* yang dilapisi dengan asbestos yaitu panas yang dihasilkan dari proses karbonisasi tidak banyak yang keluar ke lingkungan sehingga proses karbonisasi dapat berlangsung dengan cepat dibandingkan dengan *drum kiln*

yang tidak dilapisi isolator. Hasil pengukuran lamanya proses karbonisasi disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Lamanya waktu karbonisasi arang tempurung kelapa hasil proses karbonisasi dengan *drum kiln*.

Hasil analisis uji F yang terlihat pada Tabel 5 menunjukkan jumlah lubang udara dan volume memberikan pengaruh nyata terhadap lamanya waktu karbonisasi. Sedangkan kombinasi jumlah lubang udara dengan volume tidak berpengaruh nyata terhadap lamanya waktu proses karbonisasi, hal ini ditandai dengan simbol *ns* pada Tabel 5. Hasil uji DMRT 5% ditunjukkan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Hasil analisis pengaruh jumlah lubang udara terhadap lamanya waktu proses karbonisasi

Perlakuan	Lamanya waktu proses karbonisasi (menit)
L ₀	32,2 b
L ₁	37,1 a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%.

Perlakuan sembilan lubang (L₀) mempunyai waktu proses karbonisasi lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan empat lubang (L₁) yang mempunyai waktu karbonisasi lebih lama. Hal ini disebabkan jumlah oksigen yang masuk ke dalam ruang pembakaran untuk perlakuan sembilan lubang (L₀) lebih banyak sehingga akan mempercepat proses karbonisasi yang terjadi di dalam *drum kiln*, sedangkan untuk perlakuan empat lubang (L₁) lebih lama untuk waktu proses karbonisasi dikarenakan jumlah oksigen yang masuk ke dalam ruang pembakaran sedikit.

Tabel 11. Hasil analisis pengaruh volume terhadap lamanya waktu proses karbonisasi

Perlakuan	Lamanya waktu proses karbonisasi (menit)
V ₀	36,0 a
V ₁	35,8 a
V ₂	32,2 b

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada DMRT 5%.

Perlakuan volume 100% (V₀) dan perlakuan volume 90% (V₁) pada uji DMRT 5% tidak berbeda nyata terhadap lamanya waktu proses karbonisasi yaitu memiliki waktu yang lebih lama. Hal ini disebabkan banyaknya jumlah bahan tempurung kelapa yang dibuat arang pada ruang pembakaran mempengaruhi waktu proses karbonisasi. Sedangkan perlakuan volume 80% (V₂) memiliki waktu karbonisasi yang cepat,

semakin banyak volume bahan pada ruang pembakaran waktu karbonisasi relatif lebih lama dibandingkan dengan volume yang lebih sedikit yang ada pada ruang pembakaran.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

a. Simpulan

1. Performansi *drumkiln* yang digunakan untuk membuat arang dengan menggunakan tempurung kelapa sebagai bahan baku berbeda-beda untuk masing-masing perlakuan. Rata-rata hasil pengujian performansi *drum kiln* yaitu kadar air 2,9%-5,9% , kadar abu 2,8%-3,2%, *volatile matter* 18,6%-25,2%, *fixed carbon* 68,5%-75,4%, lamanya waktu proses karbonisasi 32,7 menit-39 menit, nilai kalor 6403,9 kal/g-8561,2 kal/g, nilai efisiensi kalor 30%-40%, dan jumlah tempurung kelapa yang terbakar saat proses karbonisasi dihitung dalam %kematangan yaitu 100% untuk seluruh perlakuan.
2. Hasil pengujian kombinasi antara jumlah lubang udara dengan volume tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan baku di dapatkan kombinasi yang terbaik yaitu untuk perlakuan sembilan lubang udara dengan volume 90% (L0V1) dengan rata-rata nilai untuk masing-masing parameter yang di uji adalah kadar air 2,9%, kadar abu 3,0%, *volatile matter* 18,7%, *fixed carbon* 75,4%, lamanya waktu proses karbonisasi 32,7 menit, nilai kalor sebesar 8561,2 kal/g, dan nilai efisiensi kalor 39,8%.

b. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memodifikasi *drum kiln* pada bagian cerobong asap dengan ditambahkan pipa instalasi asap cair supaya dapat dibuat asap cair agar dapat mengurangi polusi udara yang dikeluarkan pada saat proses pengarangan tempurung kelapa dan membuat pegangan tangan pada selimut *drum kiln* untuk memudahkan pada saat proses pembongkaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A.K. Irwanto, N. Siregar, E. Agustina, A.H.Tambunan, M. Yamin, E. Hartulistiyono, dan Y.A. Purwanto. 1989. *Energi dan Listrik Pertanian*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Bank Indonesia. 2001. *Pola Pembiayaan Usaha Kecil Pembuatan Arang Tempurung Kelapa*. Penerbit TPP BK Bank Indonesia. Jakarta.
- De Garmo, E. P., W. G. Sullivan and J. R. Canada. 1994. *Engineering Economic*. Mac. Millan Publishing Co, New York. (On-line). www.skripsi.umm.ac.id/textbook.pdf. Diakses pada tanggal 6 November 2010
- Hanafiah, K. A. 2002. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta. 259 Hal.
- Herawaty, H, B, Kusbiantoro, Y, Rismayanti, dan Mulyani. 2008. Pemanfaatan Limbah Pembuatan VCO. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Imam, B, 2006 *Bidang Energi dan Sumber Daya Alam (Mengenal Batu Bara 2)*. (On-line). www.beritaiptek.com diakses 15 Maret 2010.
- Kardianto, P. 2009. Pengaruh Variasi Jumlah Campuran Perekat Terhadap Karakteristik Arang Batang Jagung. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Semarang. 105 Hal. (Tidak dipublikasikan).
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI-Press. Jakarta.
- Palungkun, R. 2004. *Aneka Produk olahan Kelapa*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Rachmawati, D. 2005. Uji Performansi Alat Pengering Tipe Kabinet dengan Menggunakan Bahan Bakar Tempurung Kelapa pada Pengeringan Kerupuk. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. 72 Hal. (Tidak dipublikasikan).
- Setyamidjaja, D. 1991. *Bertanam Kelapa*. Kanisius. Yogyakarta.
- Soetedjo, R. 1969. *Ilmu Bercocok Tanam Kelapa*. Yasaguna. Jakarta.
- Subroto. 2007. *Karakteristik Pembakaran Briket Campuran Arang Kayu dan Jerami*. (On-line). http://eprints.ums.ac.id/874/1/2._SUBROTO.pdf diakses pada tanggal 21 Juli 2010.
- Sudarmaji, S. B., Haryono dan Suhardi. 1997. *Prosedur Analisa Untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty, Yogyakarta.
- Suhardiyono, L. 1988. *Tanaman Kelapa, Budidaya dan Pemanfaatannya*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Susanto dan Saneto. 1994. *Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian*. PT. Bina Ilmu. Surabaya.
- Tilman, D. 1981. *Wood Combustion: Principles, Processes and Economics, Academic Press Inc*. New York.
- UNEP. 2009. *Bahan Bakar dan Pembakaran*. Pedoman Efisiensi untuk industri di Asia. (On-line). www.energyefficiencyasia.org diakses pada tanggal 31 Agustus 2010.
- Wijaya, H. 2007. Perencanaan *Drum Kiln* Untuk Karbonisasi Arang Tempurung Kelapa. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra. Surabaya. 95 Hal. (Tidak dipublikasikan).