

ARANG DARI LIMBAH TEMPURUNG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq)

(Charcoal From Palm Shell Waste)

Oleh / By :

Djoko Purwanto

Peneliti pada Balai Riset dan Standardisasi Industri
Jl. Panglima Batur Barat No.2 .Telp. 0511-4774861,4772115,4772461 Banjarbaru 70711

Diterima 3 September 2010 disetujui 25 Pebruari 2011

ABSTRACT

Indonesia is the largest CPO (Crude Palm Oil) producer. CPO processing produces a large amount of solid waste (shell), which may be utilized to produce charcoal, hence providing more value-added. The objective of this study was to investigate the appropriate temperature and time of carbonization on the quality of palm shell charcoal. Three carbonization temperatures (400°C, 500°C, 600°C,) and three carbonization durations (2,3 and 4 hours) were applied. The best charcoal was obtained using 500° - 600°C with 2-3 hours of carbonization. The produced charcoal has 7,032,22-7,177.87 cal/g calorific value, 66.79-77.73 carbon content, 0.29-0.53 water content, 7.90-16.44 ash content, negative sulfur content, and 11.93-19.99% volatile matter content.

Keywords : Palm shell, charcoal, carbonization temperatures, carbonization duration, charcoal quality.

ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu pengarangan terhadap mutu arang tempurung kelapa sawit. Proses pengarangan dilakukan pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C dengan waktu pengarangan 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Mutu arang yang baik dihasilkan pada temperatur 500° - 600°C selama waktu pengarangan 2 - 3 jam dengan hasil nilai kalor 7.032,22 - 7.177,87 kal/g, kadar karbon 66,79 - 77,73%, kadar air 0,29 - 0,53%, kadar abu 7,90 - 16,44%, kadar sulfur negatif, dan kadar zat terbang 11,93 - 19,99%.

Kata kunci : Tempurung sawit, arang, karbon, abu.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah Malaysia. Proyeksi beberapa tahun kedepan diperkirakan Indonesia akan menempati posisi pertama. Prospek pasar bagi olahan kelapa sawit cukup menjanjikan, karena permintaan dari tahun ketahun mengalami peningkatan yang cukup besar, tidak hanya di dalam negeri tetapi juga di luar negeri (Anonim, 2009).

Dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) akan diperoleh limbah industri. Limbah ini digolongkan menjadi limbah padat, cair dan gas. Limbah padat berupa tandan kosong dan tempurung kelapa sawit. Menurut Fauzi, *et al.* (2002) tempurung kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti atau PKO (*Palm Kernel Oil*). Limbah tempurung kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan dan memiliki kekerasan cukup tinggi. Selama ini limbah tersebut digunakan sebagai bahan pembangkit tenaga uap dan pengeras jalan.

Arang merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang cukup menjanjikan untuk substitusi minyak tanah. Kualitas arang menurut Standar Nasional Indonesia (Anonim, 1996 dan 1989) dapat diketahui berdasarkan sifatnya seperti: kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan nilai kalor. Menurut Djatmiko (1991), arang adalah suatu bahan padat, berpori yang merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur karbon. Dalam proses pembuatan arang terjadi proses karbonisasi atau pengarangan, dan proses ini berlangsung pada suhu 100° - 1000°C dimana perubahan terbesar terjadi pada suhu 200° - 500°C.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari alternatif pemanfaatan limbah tempurung kelapa sawit untuk arang sekaligus menemukan suhu dan waktu pengarangan yang tepat sehingga menghasilkan kualitas arang yang baik.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

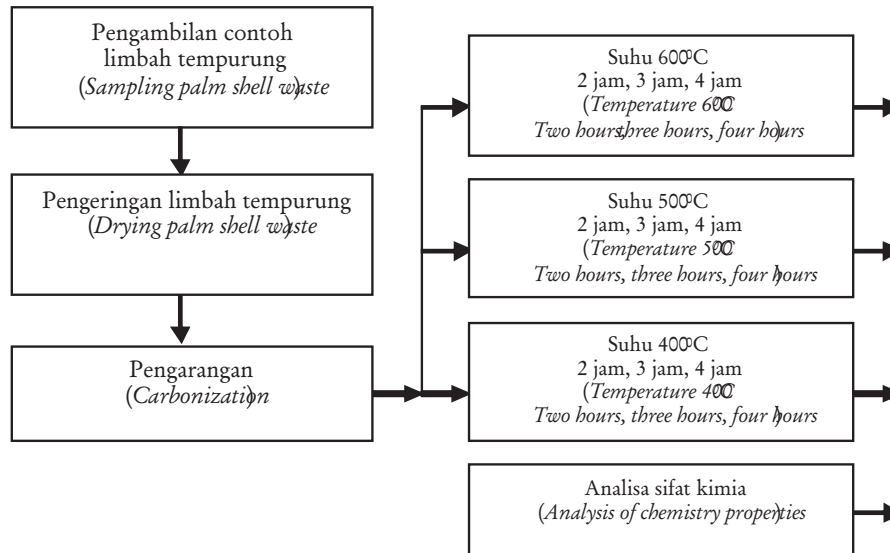
Tempurung kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari perusahaan pengolahan minyak kelapa sawit PT Smart di Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. Peralatan yang digunakan di antaranya tanur untuk proses pengarangan, cawan porselin untuk wadah tempurung, *bomb calorimeter*, neraca analitik dan oven.

B. Metode

1. Prosedur kerja

- a. Tempurung kelapa sawit dikeringkan secara alami hingga memiliki kadar air maksimum 15%.
- b. Proses pengarangan dilakukan dalam suhu 400°C, 500°C, dan 600°C, masing-

Tahapan pekerjaan dapat dilihat pada bagan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian
Figure 1. Step of research

2. Analisis

Data dari hasil analisis kimia antara lain: nilai kalor, kadar karbon, kadar abu, kadar air, sulfur, dan zat terbang ditabulasi dan dilakukan analisis statistik dengan rancangan acak faktorial 2 faktor yaitu suhu (A) yang terdiri dari 400°C (a1), 500°C (a2), dan 600°C (a3), dengan waktu pengarangan (B) yang terdiri atas 2 jam (b1), 3 jam (b2) dan 4 jam (b3), dengan model rancangan menurut Sudjana (1985), yaitu

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

μ = Nilai rata-rata harapan

A_i = Pengaruh perlakuan A pada tingkat ke-i

B_j = Pengaruh perlakuan B pada tingkat ke-j

AB_{ij} = Interaksi AB pada tingkat ke-i (A), tingkat ke-j (B)

E_{ijk} = Kesalahan percobaan

Setiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak tiga kali.

Analisis lanjutan dilakukan terhadap analisis persamaan regresi dan uji beda nyata jujur (BNJ). Data analisa kimia dari hasil percobaan juga dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk arang tempurung kelapa dan arang kayu.

Arang tempurung kalapa sawit (Gambar 2) dianalisa nilai kalor, kadar karbon,



Gambar 2. Arang tempurung kelapa sawit
 Figure 2. Charcoal of palm shell

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa arang tempurung kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisa arang tempurung kelapa sawit
 Table 1. The result of analysis charcoal palm shell

Suhu pengarangan (°C) Temperature of carbonization (°C)	Waktu pengarangan (jam) Time of carbonization (hours)	Hasil Analisa (Result of analysis)					
		Nilai kalor (kal/g) Caloric value (cal/g)	Kadar karbon (%) Carbon content (%)	Kadar air (%) Water content (%)	Kadar abu (%) Ash content (%)	Kadar sulfur (%) Sulfur content (%)	Kadar zat terbang (%) Volatile Matter (%)
400	2	6.976,64	67,75	0,98	4,11	Negatif	27,64
400	3	6.866,21	66,31	0,95	6,18	Negatif	26,55
400	4	6.904,12	59,04	0,53	13,49	Negatif	26,52
500	2	7.050,01	66,79	0,63	7,90	Negatif	24,93
500	3	7.032,40	70,50	0,38	8,88	Negatif	19,99
500	4	7.014,92	67,42	0,25	10,04	Negatif	15,89
600	2	7.177,87	70,93	0,29	13,49	Negatif	20,87
600	3	7.114,92	77,73	0,30	16,44	Negatif	11,93
600	4	7.103,86	68,51	0,21	20,64	Negatif	10,56

A. Nilai Kalor

Nilai kalor arang tempurung kelapa sawit yang dihasilkan berkisar antara 6.866,21 - 7.177,87 kal/g (Tabel 1). Angka ini lebih besar dibandingkan nilai kalor arang kayu yang berasal dari Kalimantan Selatan yaitu 5.491 - 6.518 kal/g (Estetika, 1992), dan lebih besar dari persyaratan kualitas arang kayu untuk industri peleburan timah yaitu 6.781

kal/g (Djatkiko, 1991). Berdasarkan perhitungan sidik ragam ternyata perlakuan suhu pengarangan dan interaksi antara suhu dengan waktu pengarangan berpengaruh sangat nyata terhadap nilai kalor yang dihasilkan (Tabel 2). Nilai kalor tertinggi (7.177,87 kal/g) diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 600°C selama 2 jam, dan nilai kalor yang terendah (6.866,21 kal/g) dihasilkan oleh tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 400°C selama 3 jam. Dari uji regresi ada kecenderungan bahwa makin tinggi suhu (X_1) nilai kalor makin tinggi (Tabel 3), hal ini disebabkan proses karbonisasi makin sempurna. Menurut Sudrajat (1982), dalam proses karbonisasi semakin sempurna prosesnya semakin tinggi nilai kalor. Pada uji regresi (Tabel 3) penambahan waktu pengarangan (X_2) ada kemungkinan terjadi penurunan nilai kalor. Hal ini disebabkan batas waktu karbonisasi telah mencapai batas optimal, dan yang diperoleh kemungkinan diantaranya kadar abu akan bertambah. Hasil uji BNJ menunjukkan tidak semua perlakuan dan interaksinya memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai kalor (Tabel 4). Sebagai contoh adalah suhu pengarangan 600°C dengan waktu pengarangan 3 jam (a3b2) sebesar 7.177,87 kal/g tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap nilai kalor yang dihasilkan pada suhu pengarangan 600°C dengan waktu pengarangan 4 jam (a3b3) sebesar 7.103,86 kal/g.

B. Kadar Karbon

Kadar karbon arang tempurung kelapa sawit yang dihasilkan berkisar antara 59,04 - 77,73% (Tabel 1). Berdasarkan perhitungan sidik ragam ternyata semua perlakuan dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kadar karbon yang dihasilkan (Tabel 2). Kadar karbon tertinggi (77,73%) diperoleh pada suhu pengarangan 600°C dengan waktu pengarangan 3 jam. Bila dibandingkan kadar karbon arang serbuk gergaji kayu (72,32%) hasil penelitian Pari, *et al* (2009), maka kadar karbon arang tempurung kelapa sawit lebih besar. Kadar karbon terendah (59,04%) diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 400°C selama 4 jam. Dari uji regresi ada kecenderungan bahwa makin tinggi suhu (X_1) kadar karbon makin tinggi, dan makin lama waktu (X_2) karbonisasi makin rendah kadar karbon (Tabel 3). Djatkiko (1991), mengemukakan bahwa dalam proses karbonisasi meningkatnya suhu dan lamanya waktu, maka CO₂ makin berkurang, sedang gas CO, CH₄, dan H₂ semakin bertambah. Menurut Hambali (2008), dalam proses karbonisasi atau pirolisis pada suhu 280°C akan terjadi dekomposisi selulosa dan akan berakhir pada suhu 300 - 350°C. Dalam kondisi ini akan terjadi dua tahap yaitu reaksi hidrolisis menghasilkan glukosa dan tahap kedua merupakan reaksi yang menghasilkan turunannya, bersama dengan air dan sejumlah kecil furan dan fenol. Pada suhu 300° - 350°C lignin juga mulai mengalami dekomposisi dan berakhir pada suhu 400° - 450°C. Proses karbonisasi pada suhu 500° - 1000°C merupakan proses pemurnian arang, dalam proses pirolisis dihasilkan tiga macam pengulangan produk yaitu gas CO₂, CO, CH₄, H₂ dan HCl, distilat (asap, tar) dan residu berupa karbon (Tahir, 1992). Hasil Uji BNJ menunjukkan bahwa tidak semua

Tabel 2. Ringkasan analisis sidik ragam, nilai kalor, kadar karbon, kadar abu, kadar air dan kadar zat terbang.

Table 2. Summarized analysis of variable kalori, carbon, ash, moisture content, and volatile matter.

No.	Sumber keragaman (Source of variances)	db	F-hitung(F-calculated)				
			Nilai kalor (Calorific)	Kadar karbon (Carbon)	Kadar abu (Ash)	Kadar air (Water)	Zat terbang (Volatile matter)
1.	Suhu (A) Temperature (A)	2	49,620 **	322,709 **	566,842 **	626,157 **	828,915 **
2.	Waktu (B) Time (B)	2	0,349	212,77 **	2699,45 **	112,185 **	265,081 **
3.	Interaksi AB Interaction AB	4	5,155 **	55,018 **	43,39 **	79,986 **	52,470 **

Keterangan (Remarks) : ** Sangat nyata (Very significant)

Tabel 3. Persamaan regresi hubungan antara suhu pengarangan (X₁) dan waktu pengarangan (X₂) terhadap analisa arang tempurung kelapa sawit

Table 3. Regressions between temperature (X₁) and time carbonization (X₂) on result of analysis charcoal palm shell

Hasil analisa (Result of analysis)	Regresi (Regression)	Koefisien korelasi (r) Coefisients correlation	F-hitung (F-calculation)
Nilai kalor (kal/g) Value of calorific (cal/g)	$Y = 6.515 + 1,05X_1 - 9,5X_2$	0,8579	33,53 **
Kadar carbon (%) Carbon content (%)	$Y = 53,5 + 0,040X_1 - 1,74X_2$	0,7655	16,96 **
Kadar air (%) Water content (%)	$Y = 1,69 - 0,003X_1 + 0,045X_2$	0,8105	22,98 **
Kadar abu (%) Ash content (%)	$Y = -17,1 + 0,025X_1 + 5,10X_2$	0,9301	76,67 **
Kadar zat terbang (%) Volatile matter Content (%)	$Y = 61,9 - 0,0623 X_1 - 3,41 X_2$	0,9433	97,22 **

Keterangan (Remarks) : ** Sangat nyata (Very significant)

Tabel 4. Hasil uji BNJ (beda nyata jujur) arang tempurung kelapa sawit
Table 4. Test result of HSD (honesty significant difference) on charcoal of palm shell

No	Sifat (Propeties)	Percobaan (Treatment)	Nilai rata-rata yang dibandingkan (Comparison of mean value)								
			a3b2	a3b3	a3b1	a2b1	a2b3	a2b2	a1b1	a1b2	a1b3
1.	Nilai kalor (Colorific Value)	AB	7.177,87	7.103,86	7.063,037	7.050,017	7.032,346	7.962,346	7.946,64	6.899,5	6.866,21
2.	Kadar karbon (Carbon)	AB	77,73	70,93	70,50	68,52	67,72	67,42	66,79	66,31	59,04
3.	Kadar abu (Ash)	AB	20,65	16,44	13,49	13,49	10,04	8,88	7,90	6,18	4,11
4.	Kadar air (Water)	AB	0,96	0,95	0,63	0,53	0,38	0,30	0,29	0,27	0,25
5.	Zat terbang (Volatile matter)	AB	27,04	26,55	26,52	24,93	20,84	19,99	19,99	11,93	10,56

Keterangan (Remarks) : AB = Interaksi antara suhu dengan waktu pengarangan (Interaction between temperature and time of carbonization)
 — Tidak berbeda nyata (Non significant)

C. Kadar Abu

Kadar abu arang tempurung kelapa sawit yang dihasilkan berkisar antara 4,11 - 13,49%. (Tabel. 1). Angka ini lebih besar dibandingkan persyaratan kadar abu arang tempurung kelapa dalam SNI.01-1682-1996 (Anonim, 1996) yaitu maksimal 3%, kadar abu untuk arang kayu yang digunakan secara umum untuk tujuan komersil yaitu 1 - 3% (Wenzi, 1970), dan standar mutu kadar abu arang kayu buatan Jepang maksimum 3% (Hartoyo, 1982). Berdasarkan perhitungan sidik ragam ternyata semua perlakuan dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu yang dihasilkan (Tabel 2). Kadar abu yang tertinggi (20,64%) diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 600°C selama 4 jam dan kadar abu yang terendah (4,11%) dihasilkan dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 400°C selama 2 jam. Dari uji regresi ada kecenderungan makin tinggi suhu (X₁) dan lama karbonisasi (X₂) kadar abunya makin tinggi (Tabel 3). Hal ini disebabkan terbakarnya partikel-partikel serabut yang ada pada tempurung kelapa sawit menjadi abu lebih banyak. Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa tidak semua perlakuan dan interaksinya memberikan perbedaan

yang nyata terhadap kadar abu (Tabel 4). Sebagai contoh adalah suhu pengarangan 400°C dengan waktu pengarangan 4 jam (a_1b_3) sebesar 13,49% tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap kadar abu yang dihasilkan pada suhu pengarangan 600°C dengan waktu pengarangan 2 jam (a_3b_1) sebesar 13,49%.

D. Kadar Air

Kadar air arang tempurung kelapa sawit yang dihasilkan berkisar antara 0,98 - 0,21% (Tabel 1). Angka ini lebih rendah dari kadar air arang tempurung kelapa yang dipersyaratkan dalam SNI. 01-1682-1996 (Anonim, 1996) yaitu maksimum 6%, dan lebih rendah dari persyaratan standar kadar air arang kayu buatan Jepang yaitu 6 - 8% (Hartoyo, 1982). Berdasarkan perhitungan sidik ragam ternyata semua perlakuan dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air yang dihasilkan (Tabel 2). Kadar air yang tertinggi (0,98%) diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 400°C, selama 2 jam dan kadar air yang terendah (0,21%) dihasilkan oleh tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 600°C selama 4 jam. Dari uji regresi ada kecenderungan makin tinggi suhu (X_1) dan lama karbonisasi (X_2) secara bersama-sama kadar air makin rendah (Tabel 3). Hal ini disebabkan kadar air didalam dinding-dinding dan rongga-rongga sel tempurung kelapa sawit makin banyak menguap. Menurut Nurhayati dan Adalina (2009), kadar air arang kayu dipengaruhi oleh waktu proses karbonisasi, dan kadar air bahan baku yang rendah menunjukkan proses pembakaran lebih cepat. Hasil uji BNP menunjukkan bahwa tidak semua perlakuan dan interaksinya menyebabkan perbedaan yang nyata terhadap kadar air (Tabel 4). Sebagai contoh adalah suhu pengarangan 400°C dengan waktu pengarangan 3 jam (a_3b_2) sebesar 0,96% tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap kadar air yang dihasilkan pada suhu pengarangan 400°C dengan waktu pengarangan 4 jam (a_3b_3) sebesar 0,95%.

E. Kadar Sulfur

Hasil analisa kadar sulfur untuk semua perlakuan proses pengarangan adalah negatif (Tabel 2), kondisi ini menunjukkan arang tempurung kelapa sawit tidak menimbulkan dampak pencemaran gas sulfur bila digunakan sebagai bahan bakar. Menurut Djatmiko (1991), persyaratan kualitas arang kayu untuk peleburan timah kadar belerangnya sebesar 0,07%.

F. Kadar Zat Terbang

Kadar zat terbang arang tempurung kelapa sawit yang dihasilkan berkisar antara 10,56 - 27,64% (Tabel 1). Kadar zat terbang yang tertinggi (27,64%) diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang diarangkan pada suhu 400°C selama 2 jam, dan kadar zat terbang terendah (10,56%) diperoleh pada suhu pengarangan 600°C selama 4 jam.

Dibandingkan persyaratan kadar zat terbang untuk arang tempurung kelapa adalah maksimum 15% (Anonim, 1996). Menurut Djatmiko (1991) arang kayu yang diperdagangkan di pasaran Amerika Serikat mempunyai kadar zat terbang 18-22%, dan arang kayu untuk industri peleburan timah di Bangka memiliki kadar zat terbang 33,40%. Arang serbuk gergaji kayu memiliki kadar zat terbang sebesar 23,68% (Pari, *et al.*, 2009). Berdasarkan perhitungan sidik ragam ternyata semua perlakuan dan interaksinya berpengaruh sangat nyata terhadap kadar zat terbang yang dihasilkan (Tabel 2). Dari uji regresi ada kecenderungan makin tinggi suhu (X_1) dan lama karbonisasi (X_2) kadar zat terbang makin berkurang (Tabel 3). Rendahnya suhu pengarangan 400°C dan waktu karbonisasi 2 jam dapat menyebabkan tingginya kadar zat terbang, menurut Pari, *et al.* (2009) besarnya kadar zat terbang 23,68% dalam hal ini untuk arang serbuk gergaji kayu juga disebabkan oleh rendahnya suhu karbonisasi 350°C. Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa tidak semua perlakuan dan interaksinya menyebabkan perbedaan yang nyata terhadap kadar zat terbang (Tabel 4). Sebagai contoh adalah suhu pengarangan 400°C dengan waktu pengarangan 2 jam (a_1b_1) sebesar 27,04% tidak memberikan perbedaan yang nyata terhadap kadar zat terbang yang dihasilkan pada suhu pengarangan 400°C dengan waktu pengarangan 3 jam (a_1b_2) sebesar 26,55%.

IV. KESIMPULAN

1. Kadar karbon dan nilai kalor arang tempurung kelapa sawit terbesar diperoleh pada pengarangan suhu 600°C selama 2 - 3 jam, sebaliknya arang tempurung kelapa sawit yang mempunyai kadar air rendah adalah pada pengarangan suhu 600°C selama 4 jam.
2. Rata-rata arang tempurung kelapa sawit yang mempunyai kadar abu terkecil adalah pada proses pengarangan suhu 400°C dengan waktu pengarangan 2 jam.
3. Untuk mendapatkan arang tempurung kelapa sawit dengan mutu yang baik (nilai kalor dan kadar karbon yang tinggi, kadar air rendah, kadar abu dan zat terbang cukup rendah) maka suhu pengarangan dapat digunakan antara 500° - 600°C, dengan waktu pengarangan 2 - 3 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1989. Standard Nasional Indonesia 01-1683-1989. Arang Kayu. Badan Standardisasi Nasional Indonesia BSN. Jakarta.
- Anonim. 1996. Standardisasi Nasional Indonesia 01-1682-1996. Arang Tempurung Kelapa. Dewan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- Anonim. 2009. Kelapa Sawit. Wiki Media Bahasa Indonesia. Ensiklopedia Bebas. Website <http://id.wikimedia.org/wiki/kelapa> diakses tanggal 10 September 2009.
- Djarmiko, B. 1991. Arang pengolahan dan kegunaannya. Jurusan Teknologi Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.
- Estetika, N.B. 1992. Studi investasi pembuatan arang kayu di Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan. Unlam. Banjarbaru.
- Fauzi, Y. Widyastuti, Y.E. dan Satyawibawa, I. 2002. Pemanfaatan hasil dan limbah analisis usaha dan pemasaran kelapa sawit seri agribisnis. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Hambali, E. Mujdalipah, S. dan Haloman, A. 2008. Teknologi Bioenergi. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Hartoyo. 1982. Pembuatan arang dan briket arang secara sederhana dari serbuk gergaji dan limbah perkayuan. Proseding Seminar Pemanfaatan Limbah Pertanian / Kehutanan Sebagai Sumber Energi. Puslitbang Hasil Hutan. Bogor.
- Nurhayati, T. dan Adalina, Y. 2007. Analisis teknis dan finansial produksi arang dan cuka kayu dari limbah industri penggergajian dan pemanfaatannya. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Bogor. 27(4)337-380.
- Pari, G. Widayati, D.T. dan Yoshida, M. 2009. Mutu arang aktif dari serbuk gergaji kayu. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Bogor. 27(4)381-398.
- Sudrajat, 1982. Produksi arang dan briket arang serta prospek pengusahaannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Pertanian. Bogor.
- Sudjana, 1985. Desain dan Analisis Eksperimen. Tarsito. Bandung.
- Tahir, L. 1992. Pengambilan asap cair secara destilasi kering pada proses pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa. Skripsi FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Wenzi, H.F. 1970. The Chemical Technology of Wood. Academic Press. New York, London.