

STRUKTUR DAN KOMPONEN ARANG SERTA ARANG AKTIF TEMPURUNG KEMIRI

(Structure and Components of Charcoal and Activated Charcoal from Candlenut Shell)

Oleh/By :

Mody Lempang, Wasrin Syafii & Gustan Pari

e-mail: mlempang@yahoo.com

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610
Telp. 0251 - 8633378, Fax. 0251 - 8633413.

Diterima 14 Desember 2009, disetujui 18 September 2011

ABSTRACT

*Activated method of charcoal determines the specific usage of activated charcoal. Generally there recognize two activation methods to produce activated charcoal : physical and chemical methods. This research was carried out to identify structure and components of charcoal and activated charcoal from candlenut shell. Candlenut shell (*Aleurites moluccana* Willd) was carbonised in drum-kayln to produce charcoal, and then the product was activated in electrical retort by applying thermal activator with heating duration of 120 minutes at temperature of 550⁰ C, 650⁰ C and 750⁰ C respectively. For further investigation, the beats at 750⁰ C was chosed, combined with steam activator by heating duration of 90 minutes and 120 minutes. Fungsional group, crystallinity and porosity of candlenut shell, charcoal and activated charcoals sample test were characterized by Fourier Transform Infra Red (FTIR), X-Ray Diffractometer (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM), and chemical compounds on sample test of candlenut shell, charcoal and activated charcoals identified by using Pyrolysis Gas Chromatograph Mass Spectrometer (Py-GCMS).*

In turned out that activation process brought about changing in fungsional group pattern, increasing in crystallinity, pore opening and chemical compound reduction. The higher activation temperature caused the increase in crystallinity, pore diameter and chemical compound reduction. The activation by steam resulted activated charcoal with relatively cleaner pore.

*Keyword : Structure, components, charcoal, activated charcoal, candlenut shell (*Aleurites moluccana*).*

ABSTRAK

Cara aktivasi arang menentukan kekhususan penggunaan arang aktif yang dihasilkan. Secara umum dikenal dua cara aktivasi arang untuk menghasilkan arang aktif yaitu cara fisika dan kimia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur dan komponen penyusun arang dan arang aktif tempurung kemiri. Tempurung kemiri dikarbonisasi menggunakan tungku drum untuk menghasilkan arang, selanjutnya arang diaktivasi di dalam retort listrik menggunakan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 550⁰C, 650⁰C, dan 750⁰C dan aktivator uap air selama 90 dan 120 menit pada suhu 750⁰C. Sampel uji tempurung kemiri, arang dan arang aktif dikarakterisasi strukturnya yang meliputi gugus fungsi, kristalinitas dan porositas dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *X-Ray Diffractometer (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Selain itu, senyawa kimia masing-masing sampel uji diidentifikasi menggunakan *Pyrolysis Gas Chromatograph Mass Spectrometer (Py-GCMS)*.

Hasil mengindikasikan bahwa proses aktivasi menyebabkan terjadinya perubahan pola gugus fungsi, peningkatan kristalinitas, pembukaan pori dan reduksi senyawa kimia. Semakin tinggi suhu aktivasi diikuti oleh peningkatan kristalinitas, diameter pori dan reduksi senyawa kimia arang aktif. Aktivasi menggunakan uap air menghasilkan arang aktif dengan pori yang relatif lebih bersih.

Kata kunci: Struktur, komponen, arang, arang aktif, tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*).

I. PENDAHULUAN

Arang aktif merupakan suatu bahan berupa karbon amorf yang sebahagian besar terdiri atas atom karbon bebas dan mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap (*adsorption*) yang baik (Surtamtomo *et al.*, 1997). Bahan ini mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas (Pari, 1996). Arang aktif dapat dibedakan dari arang berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan pada arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang dapat menghambat keaktifannya, sedangkan pada arang aktif permukaannya relatif telah bebas dari deposit sehingga mampu mengadsorpsi karena permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka (Gomez-Serrano *et al.*, 2003).

Pembuatan arang aktif dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembentukan arang bersifat amorf dan porous pada suhu rendah. Tahap kedua adalah proses pengaktifan untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang supaya porositas arang meningkat. Aktivasi arang untuk menghasilkan arang aktif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara kimia dan fisika. Aktivasi cara kimia dilakukan dengan cara perendaman arang dalam larutan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Aktivasi arang dengan cara fisika biasanya menggunakan oksidator lemah, antara lain uap air (H₂O), gas CO₂, dan nitrogen (Guerrero *et al.*, 1970). Pada proses ini tidak terjadi oksidasi terhadap atom karbon penyusun arang, akan tetapi oksidator tersebut hanya mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori arang (Manocha, 2003). Beberapa bahan yang mengandung karbon dalam jumlah banyak seperti kayu, serbuk gergajian kayu, kulit biji, tempurung, gambut, batu bara, *petroleum coke* dan *lignit* dapat dibuat arang aktif. Sifat arang aktif dipengaruhi oleh bahan baku dan cara aktivasi yang digunakan (Austin, 1984).

Tempurung kemiri sebagai hasil samping dari pengolahan biji kemiri belum dimanfaatkan secara optimal. Bahan tersebut dapat dibuat arang sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Akan tetapi teknologi proses aktivasi arang untuk menghasilkan arang aktif dengan karakteristik struktur yang sesuai standar masih mengalami banyak hambatan. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan mengkarakterisasi struktur (gugus fungsi, porositas, kristalinitas dan senyawa kimia) arang aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi cara fisika dengan berbagai perlakuan.

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai Desember 2008 dengan tahapan kegiatan sebagai berikut :

1. Pembuatan arang dari tempurung kemiri menggunakan tungku drum dilaksanakan di Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
2. Analisa komponen kimia tempurung, aktivasi arang dalam *retort* listrik untuk menghasilkan arang aktif, pengujian senyawa kimia menggunakan *Pyrolysis Gas Chromatograph Mass Spectrometer (Py-GCMS)* dan kristalinitas menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)* serta pengamatan porositas menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* pada tempurung, arang dan arang aktif dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Kimia dan Energi Biomassa Hasil Hutan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor.
3. Penetapan gugus fungsi yang terdapat dalam tempurung, arang dan arang aktif menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dilaksanakan di Laboratorium Kimia Instrumen FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia Bandung

B. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kemiri yang diambil dari Kabupaten Maros Propinsi Sulawesi Selatan. Bahan kimia yang digunakan antara lain : ethanol (C_2H_5OH), benzena (C_6H_6), asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), natrium thiosulfat ($Na_2S_2O_3$), gas helium (He) dan kromium bromida (KBr).

Alat-alat yang digunakan antara lain tungku drum kapasitas 90 kg, *retort* listrik kapasitas ± 300 g, penguap (*steamer*), penggiling (*Willemil*), ayakan (40, 60 dan 100 mesh), cawan porselin, timbangan, oven, tanur, desikator, penangas (*waterbath*), peralatan gelas, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *X-Ray Diffractometer (XRD)*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan *Pyrolysis Gas Chromatograph Mass Spectrometer (Py-GCMS)*.

C. Prosedur

1. Pembuatan arang dan arang aktif

Pembuatan arang dilakukan dengan menggunakan tungku drum kapasitas 90 kg. Tungku drum diisi dengan 75 kg tempurung kemiri untuk setiap pembakaran. Tempurung kemiri tersebut diletakkan di atas potongan kayu kecil yang telah dimasukkan dan diletakkan lebih dulu pada dasar tungku drum. Pembakaran dilakukan pada suhu yang meningkat secara bertahap sampai mencapai $500\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah semua tempurung kemiri terbakar dengan sempurna, yang dicirikan oleh asap yang keluar dari dalam tungku telah berkurang dan berwarna kebiruan, maka pembakaran dihentikan dengan menutup rapat semua jalan yang dilalui udara ke dalam tungku.

Arang aktif dibuat dengan cara mengaktivasi arang tempurung kemiri di dalam *retort* listrik. Arang ditimbang sebanyak 300 g dan dimasukkan ke dalam *retort* listrik untuk diaktivasi dengan perlakuan sebagai berikut :

A1W2S1 = aktivasi dengan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 550°

A1W2S2 = aktivasi dengan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 650°C

A1W2S3 = aktivasi dengan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 750°C

A2W1S3 = aktivasi dengan aktivator uap H_2O selama 90 menit pada suhu 750°C

A2W2S3 = aktivasi dengan aktivator uap H_2O selama 120 menit pada suhu 750°C

2. Analisa komponen kimia tempurung kemiri

Tempurung kemiri digiling menggunakan alat giling kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk. Serbuk yang lolos ayakan 40 mesh dan tertahan 60 mesh digunakan untuk analisa komponen kimia, sedangkan yang lolos ayakan 100 mesh digunakan untuk analisa struktur. Komponen kimia tempurung kemiri yang dianalisa adalah lignin dan holoselulosa, pentosan dan ekstraktif. Holoselulosa ditetapkan dengan menggunakan NaClO_2 (Young, 1972) dan penetapan pentosan dilakukan dengan metoda gravimetri menggunakan phloroglusinol (Wise, 1944). Penetapan lignin dan ekstraktif dilakukan mengikuti standar TAPPI (Anonim, 1993). Penetapan lignin berdasarkan TAPPI T13 wd-74, kelarutan dalam air T 207 om-93, kelarutan dalam NaOH 1% T 212 om-93, dan kelarutan dalam ethanol-benzene 1:2 T 204 om-88.

3. Karakterisasi struktur tempurung kemiri, arang dan arang aktif

Tempurung kemiri, arang dan arang aktif masing-masing digiling menggunakan penggiling kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk. Serbuk yang lolos ayakan 100 mesh digunakan sebagai contoh untuk karakteristik struktur dan identifikasi senyawa kimia. Karakteristik struktur dan identifikasi senyawa kimia tempurung kemiri, arang dan arang aktif dilakukan dengan cara berikut:

a. Gugus fungsi

Gugus fungsi bahan dikarakterisasi dengan FTIR. Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi pada tempurung kemiri, arang hasil karbonisasi tempurung kemiri dalam tungku drum dan arang aktif hasil aktivasi dalam *retort* listrik dengan berbagai perlakuan. Karakterisasi ini dilakukan dengan cara mencampurkan serbuk contoh dengan kalium bromida (KBr) kering (1 : 99). Campuran serbuk contoh dan KBr kemudian dicetak dan dipadatkan sehingga berbentuk pelet yang tipis, selanjutnya diukur serapannya pada bilangan gelombang 600-4000 cm^{-1} (Hendayana, 1994)

b. Porositas

Karakterisasi struktur porositas tempurung kemiri, arang dan arang aktif pada penampang atas (*transversal*) secara visual dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) berkekuatan 20 kV menggunakan sample berbentuk butiran. Pengambilan gambar pada penampang atas menggunakan perbesaran 5000 kali. Pengamatan porositas yang terbentuk pada permukaan contoh meliputi ukuran pori dan frekuensinya.

c. Kristalinitas

Karakterisasi struktur dengan XRD untuk mengetahui derajat kristalinitas, tinggi, lebar, jarak dan jumlah lapisan aromatik pada contoh. Karakterisasi ini dilakukan dengan cara menginterpretasi pola difraksi dari hamburan sinar X pada contoh. Sekitar 2 g serbuk contoh dimasukkan ke dalam kuvet aluminium, kemudian permukaan serbuk contoh dipadatkan dan diratakan dengan menggunakan sepotong kaca. Kaca tersebut ditekan sambil digerakkan diatas permukaan kuvet yang berisi serbuk contoh, sehingga serbuk contoh menjadi padat dan permukaannya rata dan sejajar dengan permukaan kuvet, selanjutnya diradiasi dengan sinar X. Penetapan derajat kristalinitas, tinggi (Lc), lebar (La), jarak (d) dan jumlah lapisan aromatik (N) pada contoh dilakukan sesuai dengan prosedur yang dikembangkan Kercher dan Nagle (2003).

d. Senyawa kimia

Identifikasi senyawa kimia tempurung kemiri, arang dan arang aktif dilakukan dengan menggunakan kromatografi Py-GCMS dengan gas helium (He) sebagai fasa gerak. Sampel

berbentuk serbuk sebanyak 10 mg dimasukkan kedalam kuvet (sel) dan selanjutnya kuvet dimasukkan kedalam Py-GCMS yang dipanaskan dengan menggunakan suhu terprogram (suhu analisa) yang secara bertahap meningkat dari 100-250⁰C.

E. Analisis Data

Data hasil pengujian ditabulasi dan dianalisis secara diskriptif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Komponen Kimia Tempurung Kemiri

Hasil analisa komponen kimia tempurung kemiri yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen kimia tempurung kemiri
Table 1. Chemical components of Candlenut shell.

No.	Komponen (<i>Components</i>)	Kadar (<i>Content</i>), %
1.	Holosekulosa (<i>Holosellulose</i>)	49,22
2.	Pentosa (<i>Pentosan</i>)	14,55
3.	Lignin	54,46
4.	Ekstraktif :	
	- Kelarutan dalam air dingin (<i>Solubility in cold water</i>)	1,96
	- Kelarutan dalam air panas (<i>Solubility in hot water</i>)	6,18
	- Kelarutan dalam alkohol-benzena (<i>Solubility in alcohol-benzene</i>) 1 : 2	2,69
5.	- Kelarutan dalam (<i>Solubility in</i>) NaOH 1%	17,14
	- Abu (<i>Asb</i>)	8,73

Pada tabel 1 di atas diketahui bahwa tempurung kemiri mengandung holosekulosa 49,22%. Kadar holosekulosa tempurung kemiri ini lebih rendah daripada holosekulosa kayu yang besarnya antara 65%-75% (Fengel dan Wegener, 1995), akan tetapi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kadar holosekulosa pada tempurung *Brazil nut* yang besarnya 48,5% (Bonelli *et al.*, 2001). Pada penetapan pentosa yang dilakukan dengan cara gravimetri didapatkan kadar pentosa tempurung kemiri sebesar 14,55%.

Lignin merupakan komponen kimia dalam bagian tumbuhan yang selalu bergabung dengan selulosa dan bukan merupakan karbohidrat, melainkan didominasi oleh gugus aromatis berupa fenilpropana. Di dalam struktur jaringan kayu, lignin terutama terdapat di dalam lamela tengah dan dinding sel primer (Fengel dan Wegener, 1995). Kandungan lignin dalam tempurung kemiri sebesar 54,68%. Kadar lignin tempurung kemiri ini relatif sama dengan kadar lignin tempurung *Brazil nut* yang besarnya 54,9% (Bonelli *et al.*, 2001), akan tetapi lebih tinggi bila dibandingkan dengan kadar lignin kayu pada umumnya yang berkisar antara 20%-40% (Fengel dan Wegener, 1995).

Zat ekstraktif merupakan komponen kimia non struktural di dalam sel organ tumbuhan. Jumlah bahan ekstraktif yang terdapat dalam tumbuhan tergantung pada jenis tumbuhan dan letaknya dalam bagian tumbuhan. Zat ekstraktif pada tempurung kemiri yang larut dalam air dingin sebesar 1,96%. Komponen utama yang larut air terdiri dari karbohidrat, protein dan garam-garam anorganik (Achmadi, 1990). Ekstraktif tempurung kemiri yang larut dalam air panas sebesar 6,18%. Dalam proses ekstraksi dengan air panas, maka yang akan terlarut antara lain tanin, getah, gula, bahan pewarna dan pati (Fengel dan Wegener, 1995; Anonim, 1996). Zat ekstraktif tempurung kemiri yang larut dalam alkohol benzena sebesar 2,69%. Zat ekstraktif yang dapat terlarut dalam pelarut organik seperti larutan alkohol-benzena antara lain lilin, lemak, resin, minyak dan tanin serta komponen tertentu yang tidak larut dalam eter (Anonim, 1996). Kelarutan ekstraktif tempurung kemiri dalam NaOH 1% sebesar 17,14%. Besarnya bahan yang larut dalam NaOH dapat digunakan sebagai indikator tingkat kerusakan pada bahan akibat pelapuk (*decay*), panas, cahaya dan oksidasi (Wardhani *et al.*, 2005).

Abu merupakan komponen penyusun sel tumbuhan yang tidak dapat larut dalam air atau pelarut organik. Kandungan abu tempurung kemiri sangat tinggi, yaitu sebesar 8,73%. Fengel dan Wegener (1995) menyatakan bahwa komponen abu utama kayu adalah kalsium (Ca), kalium (K) dan magnesium (Mg). Selanjutnya dikemukakan bahwa dalam banyak kayu jumlah Ca hingga 50% dan lebih dari unsur total dalam abu kayu. K dan Mg menduduki tempat kedua dan ketiga, diikuti Mn, Na, P dan Cl.

B. Karakteristik Struktur Tempurung Kemiri, Arang dan Arang Aktif

1. Gugus fungsi

Hasil analisa spektrum serapan infra merah (IR) dapat memberikan petunjuk tentang perubahan gugus fungsi bahan contoh akibat proses karbonisasi dan aktivasi. Gugus fungsi dari bahan yang berbeda akibat mengalami proses karbonisasi dan atau aktivasi diperlihatkan pada Gambar 1, sedangkan serapan terhadap radiasi IR ditunjukkan oleh bilangan gelombang yang disajikan pada Tabel 2.

Pola spektrum serapan IR dari tempurung kemiri mengalami perubahan setelah dikarbonisasi menjadi arang akibat pengaruh suhu. Selama proses karbonisasi terjadi penguraian struktur kimia pada tempurung kemiri yang diperlihatkan oleh adanya perubahan spektrum serapan pada arang bila dibandingkan dengan spektrum serapan pada tempurung kemiri. Perubahan tersebut dalam bentuk penurunan intensitas serapan, serapan hilang, serapan bergeser dan terbentuknya serapan baru di daerah bilangan gelombang tertentu. Proses karbonisasi pada pembuatan arang mengakibatkan perubahan gugus fungsi pada tempurung kemiri, yang diikuti terbentuknya senyawa baru pada hasil arang melalui mekanisme radikal. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan Demibras (2005) bahwa makin tinggi suhu karbonisasi makin banyak gugus fungsi yang teroksidasi atau terurai sehingga menjadi hilang atau tingkat serapannya berkurang atau menyebabkan pergeseran bilangan gelombang serapan. Gugus-gugus fungsi yang teridentifikasi pada bahan tempurung kemiri antara lain OH, C-H alifatik (dari CH₃ dan CH₂) C-H aromatik (dari berbagai substitusi cincin benzena), ikatan C=O (karbonil), ikatan C-C dan C=C, serta ikatan eter (C-O). Besarnya gugus hidroksil merupakan cerminan dari banyaknya senyawa kimia pada tempurung kemiri yang mengandung gugus OH seperti senyawa alkohol (dikoniferil alkohol dan furanmetanol),

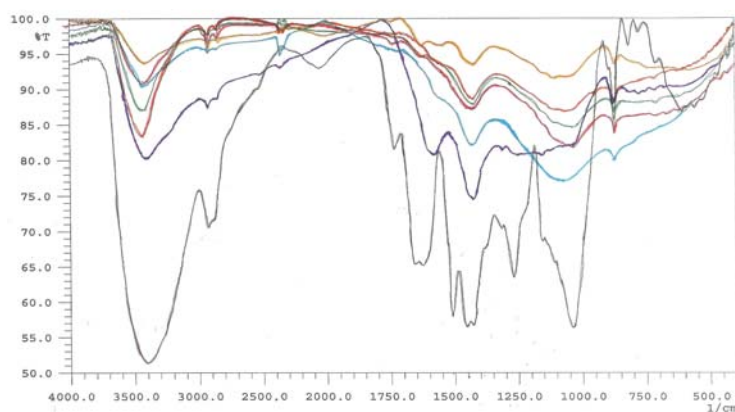
fenol (benzena, benzenadiol dan etanon) dan asam (asam asetat, asam hexana dan benzena asam asetat) (Lampiran 1).

Tabel 2. Bilangan gelombang serapan IR tempurung, arang dan arang aktif kemiri
Table 2. IR absorption waving number on shell, charcoal and activated charcoal of
Candlenut

No	Bahan (Material)	Bilangan gelombang (Waving number), cm ⁻¹									
		3402	2928	1736	1624	1508	1427	1269	1038	876	
1.	Tempurung (Shell)										
2.	Arang (Charcoal)	3406	2924	2854	2527	1581	1427	1061	876		
Arang aktif (Activated charcoal)											
3.	A1W2S1	3429	2924	2854	2002	1632	1423	1068	876		
4.	A1W2S2	3425	2924	2854	1423	1034	876				
5.	A1W2S3	3429	2924	2854	1431	1034	876				
6.	A2W1S3	3352	2924	2854	2175	1427	1038	876			
7.	A2W2S3	3402	2924	2519	2279	1427	1068	876			

Keterangan (Remarks):

- A1W2S1 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 550^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 550^oC)
- A1W2S2 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 650^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 650^oC)
- A1W2S3 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 750^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 750^oC)
- A2W1S3 = aktivasi uap H₂O selama 90 menit pada suhu 750^oC (steam activation for 90 minutes at temperature of 750^oC)
- A2W2S3 = aktivasi uap H₂O selama 120 menit pada suhu 750^oC (steam activation for 120 minutes at temperature of 750^oC)



Keterangan (Remarks):

- Tempurung (Shell)
- Arang (Charcoal)
- Arang aktif, panas/120 menit/550^oC (Activated charcoal, thermal/120 minuts/55^oC)
- Arang aktif, panas/120 menit/650^oC (Activated charcoal, thermal/120 minuts/650^oC)
- Arang aktif, panas/120 mnt/750^oC (Activated charcoal, thermal/120 minuts/750^oC)
- Arang aktif, uap H₂O/90 mnt/750^oC (Activated charcoal, steam/90 minuts/750^oC)
- Arang aktif, uap H₂O/120 menit/750^oC (Activated charcoal, steam/120 minuts/750^oC)

Gambar 1. Spektrogram FTIR pada tempurung, arang dan arang aktif kemiri
Figure 1. FTIR spectrograph on shell, charcoal and activated charcoal of Candlenut

Gugus-gugus fungsi yang teridentifikasi pada arang hasil karbonisasi tempurung kemiri antara lain OH, C-H dari gugus metil (CH₃) dan metilen (CH₂), C-H dari struktur aromatik dan C-O. Pada bilangan gelombang 3402-3429 cm⁻¹ merupakan daerah serapan gugus OH, dimana tempurung kemiri memiliki intensitas paling tinggi kemudian menurun setelah melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Menurunnya intensitas serapan pada bilangan gelombang 2700-3500 cm⁻¹ merupakan petunjuk mulai terbentuknya senyawa aromatik (Kimura dan Kaito, 2004). Senyawa tersebut merupakan penyusun struktur kristalit heksagonal arang dan arang aktif.

Arang aktif tempurung kemiri yang dihasilkan dari semua perlakuan secara umum memiliki gugus fungsi (jenis ikatan) dengan pola spektrum serapan IR yang relatif sama, dan hanya berbeda dalam intensitas serapannya. Gugus fungsi dan jenis ikatan yang terdapat pada arang aktif antara lain OH, C-H dan C=O. Gugus karbonil (C=O) memiliki sifat kepolaran yang tinggi sedangkan C-H bersifat bipolar (Hendayana, 1994), sedangkan gugus OH relatif cenderung bersifat polar (Houghton dan Raman, 1998). Berdasarkan gugus fungsi yang dimiliki, arang aktif tempurung kemiri yang dihasilkan relatif bersifat polar sehingga diharapkan dapat berperan sebagai penyerap larutan atau gas yang juga bersifat polar.

2. Kristalinitas

Data hasil pengujian dengan difraktometer sinar-X (XRD) pada contoh bahan tempurung kemiri, arang dan arang aktif disajikan pada Tabel 3 dan spektrogram XRD pada bahan yang dianalisa seperti pada Gambar 2.

Tabel 3 Struktur kristalin dan lapisan aromatik pada tempurung, arang dan arang aktif kemiri

Table 3. Crystalline structure and aromatic layer on shell, charcoal and activated charcoal of Candlenut

No.	Bahan (Material)	X (%)	$\dot{\epsilon}_{(002)}$ ($^{\circ}$)	d (nm)	$\dot{E}_{(100)}$ ($^{\circ}$)	D (nm)	Lc (nm)	N (nm)	La (nm)
1.	Tempurung (Shell)	18,86	22,30	0,3983	-	-	-	-	-
2.	Arang (Charcoal)	18,65	23,36	0,3763	43,35	0,2085	1,3263	6,36	8,1272
	Arang aktif (Activated charcoal)								
3.	A1W2S1	16,40	23,10	0,3763	43,8	0,2085	1,6385	7,84	7,9389
4.	A1W2S2	20,89	22,75	0,3701	43,65	0,2096	1,6557	7,90	7,1263
5.	A1W2S3	23,60	23,35	0,3716	43,90	0,2091	1,7634	8,43	6,7171
6.	A2W1S3	20,53	22,95	0,3769	44,00	0,2092	1,5911	7,58	7,5895
7.	A2W2S3	24,99	23,93	0,3667	43,83	0,2097	2,0759	9,90	6,2913

Keterangan (Remarks):

A1W2S1 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 550^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 550^o C)

A1W2S2 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 650^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 650^o C)

A1W2S3 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 750^oC (thermal activation for 120 minutes at temperature of 750^o C)

A2W1S3 = aktivasi uap H₂O selama 90 menit pada suhu 750^o C (steam activation for 90 minutes at temperature of 75^o C)

A2W2S3 = aktivasi uap H₂O selama 120 menit pada suhu 750^o C (steam activation for 120 minutes at temperature of 750^o C)

X = kristalinitas (crystallinity)

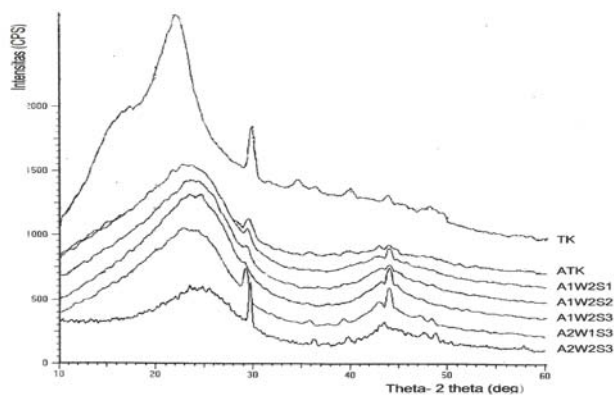
$\dot{\epsilon}_{(002)}$ = sudut difraksi 22^o-24^o (diffraction angle of 22^o-24^o)

$\dot{E}_{(100)}$ = sudut difraksi 43^o (diffraction angle of 43^o)

d = jarak antar lapisan aromatik pada sudut difraksi 22^o-24^o (distance between aromatic layers at diffraction angle of 22^o-24^o)

D = jarak antar lapisan aromatik pada sudut difraksi 43° (*distance between aromatic layers at diffraction angle of 43°*)
 Lc = tinggi lapisan aromatik pada sudut difraksi 22° - 24° (*high of aromatic layers at diffraction angle of 22° - 24°*)
 La = lebar lapisan aromatik pada sudut difraksi 43° (*Width of aromatic layers at diffraction angle of 43°*)
 N = jumlah lapisan aromatik (*Number of aromatic layers*)

Hasil analisa komponen kimia menunjukkan bahwa komponen struktural tempurung kemiri terdiri dari lignin dengan kadar sebesar 54,68% yang lebih tinggi dari kadar holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) yang besarnya 49,22%. Pada umumnya lignin dan hemiselulosa memiliki struktur amorf, sedangkan selulosa sendiri hanya memiliki sebagian struktur yang kristalin. Fengel dan Wegener (1995) menyatakan bahwa selulosa kayu memiliki kristalinitas antara 60-70%. Dengan rendahnya kadar selulosa pada tempurung kemiri menyebabkan bahan ini memiliki derajat kristalinitas yang cukup rendah yaitu 18,86%. Derajat kristalinitas tempurung kemiri sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan derajat kristalinitas arang (18,65%). Pada tempurung kemiri struktur kristalin berada pada struktur selulosa, sedangkan pada arang struktur kristalin terbentuk dari senyawa karbon yang membentuk lapisan heksagonal (Pari, 2004).



Gambar 2. Spektrogram XRD pada tempurung, arang dan arang aktif kemiri
Figure 2. XRD spectrograph on shell, charcoal and activated charcoal of Candlenut

Kristalinitas suatu bahan terinduksi dengan sejumlah cara, antara lain pendinginan leburan polimer, evaporasi larutan polimer atau pemanasan suatu polimer dalam kondisi hampa udara atau suatu atmosfer yang lembam (untuk mencegah oksidasi) pada suhu tertentu (Stevens, 2007). Pada proses aktivasi menggunakan aktivator panas, peningkatan suhu aktivasi dari 550° - 750° C menyebabkan derajat kristalinitas arang aktif juga meningkat. Peningkatan derajat kristalinitas ini terjadi melalui induksi pemanasan yang semakin meningkat. Peningkatan kristalinitas tersebut terjadi karena jarak antar lapisan aromatik (d) semakin berkurang disertai penyempitan lebar lapisan aromatik (La). Perubahan ini menyebabkan tingkat keteraturan yang semula rendah (amorf) berubah menjadi lebih teratur. Hal ini didukung oleh pernyataan Stevens (2007) bahwa kecenderungan terbentuknya kekristalan makin bertambah dengan naiknya *stereoregularitas* (keteraturan stereo). Keteraturan tersebut terjadi karena adanya pergeseran pada struktur kristalin arang aktif (Schukin *et al.*, 2002). Pergeseran terjadi pada penambahan tinggi lapisan aromatik (Lc) yang diikuti dengan

penyempitan lapisan aromatik (La) serta terjadinya peningkatan jumlah lapisan aromatik (Kercher dan Nagle, 2003).

Peningkatan kristalinitas arang aktif tempurung kemiri akibat bertambahnya suhu aktivasi didukung oleh hasil penelitian Schukin *et al.* (2002) dan Pari *et al.* (2006) yang menunjukkan bahwa kristalinitas arang aktif meningkat dengan semakin meningkatnya suhu aktivasi. Pada Tabel 4 ditunjukkan juga bahwa aktivasi menggunakan aktivator uap H₂O juga menunjukkan peningkatan kristalinitas arang aktif bila dibandingkan dengan aktivasi yang hanya menggunakan aktivator panas. Waktu aktivasi juga berpengaruh pada pembentukan struktur kristalin arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator uap H₂O, semakin meningkat waktu aktivasi derajat kristalinitas arang aktif juga meningkat. Kristalinitas arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator uap H₂O pada suhu 750^o C selama 90 menit adalah sebesar 20,53% meningkat menjadi 24,99% pada arang aktif yang diaktivasi selama 120 menit.

3. Porositas

Pengamatan porositas tempurung kemiri, arang dan arang aktif pada penampang atas (*transversal*) dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan pengambilan gambar pada penampang tersebut menggunakan perbesaran 5000 kali. Diameter pori tempurung kemiri, arang dan arang aktif disajikan pada Tabel 4 dan mikrofotogram SEM pada contoh bahan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 4. Diameter pori pada permukaan tempurung, arang dan arang aktif kemiri
Table 4. Pore diameter on surface of shell, charcoal and activated charcoal of Candlenut

No	Bahan (Material)	Diameter pori, μm (Diameter of pore)		Porsi diameter pori, % (Portion of pore diameter)		
		Minimum (Minimum)	Maksimum (Maximum)	< 5 μm	5-25 μm	> 25 μm
1.	Tempurung (<i>Shell</i>)	Tidak tampak (<i>Not visible</i>)	Tidak tampak (<i>Not visible</i>)	-	-	-
2.	Arang (<i>Charcoal</i>)	Tidak tampak (<i>Not visible</i>)	Tidak tampak (<i>Not visible</i>)	-	-	-
	Arang Aktif (<i>Activated charcoal</i>)					
3.	A1W2S1	0,4		100,00	-	-
4.	A1W2S2	1,2		79,13	20,83	-
5.	A1W2S3	1,5	3,3	66,72	33,28	-
6.	A2W1S3	1,4	6,2	71,67	28,33	-
7.	A2W2S3	1,6	8,7 6,7 8,3	64,84	35,16	-

Keterangan (*Remarks*):

A1W2S1 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 550^o C (*thermal activation for 120 minutes at temperature of 550^o C*)

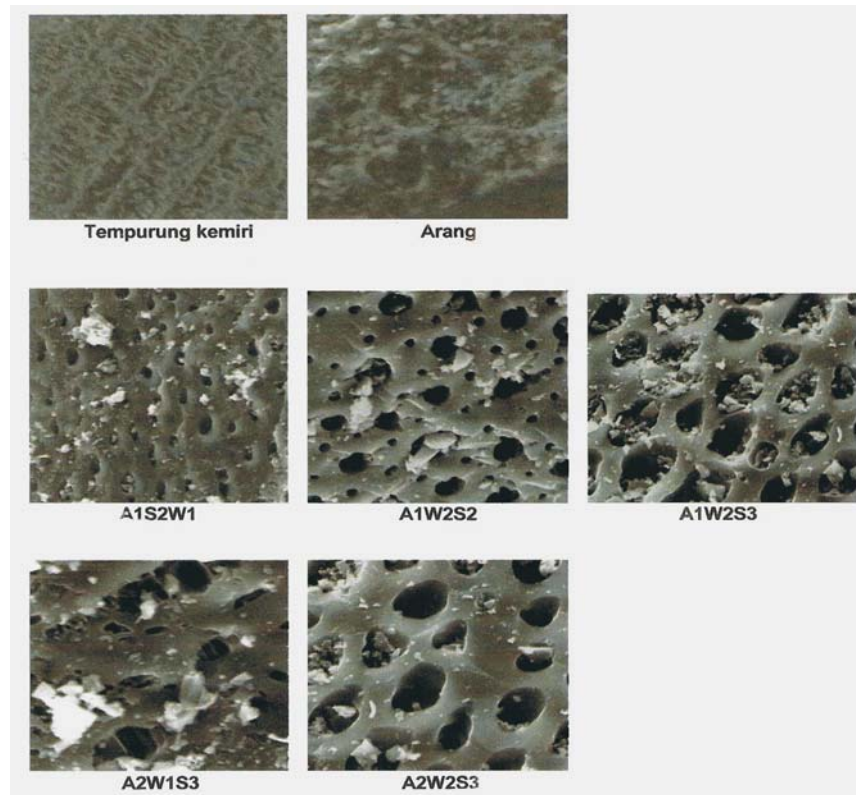
A1W2S2 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 650^o C (*thermal activation for 120 minutes at temperature of 650^o C*)

A1W2S3 = aktivasi panas selama 120 menit pada suhu 750^o C (*thermal activation for 120 minutes at temperature of 750^o C*)

A2W1S3 = aktivasi uap H₂O selama 90 menit pada suhu 750^o C (*steam activation for 90 minutes at temperature of 750^o C*)

A2W2S3 = aktivasi uap H₂O selama 120 menit pada suhu 750^o C (*steam activation for 120 minutes at temperature of 750^o C*)

Pada penampang atas tempurung kemiri (Gambar 3) tidak terlihat adanya pori-pori yang terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa tempurung kemiri merupakan bahan masif yang memiliki ukuran pori yang sangat kecil. Setelah tempurung kemiri dikarbonisasi pada suhu 500⁰C untuk menghasilkan arang, pori-pori pada penampang atas arang hasil karbonisasi juga belum terlihat karena keseluruhan permukaannya masih tertutup dengan senyawa hidrokarbon dan abu. Pemanasan sampai dengan suhu 500⁰ C telah menyebabkan terdegradasinya komponen holoselulosa dan lignin yang menghasilkan produk gas (antara lain CO₂, H₂, CO, CH₄ dan benzena), produk cair (tar, hidrokarbon dengan berat molekul tinggi dan air) dan produk padatan berupa arang (Vigouroux, 2001). Pada karbonisasi tempurung kemiri menjadi arang akan dihasilkan lebih banyak karbon, sedikit hidrogen dan oksigen, namun demikian pada arang masih terdapat cukup banyak senyawa hidrokarbon sebagaimana disajikan pada Lampiran 1. Senyawa tersebut menutupi pori dan permukaan arang yang dapat menyebabkan kemampuan daya serapnya rendah.



Gambar 3. Mikrofotogram SEM pada permukaan tempurung, arang dan arang aktif kemiri (Perbesaran 5000x)

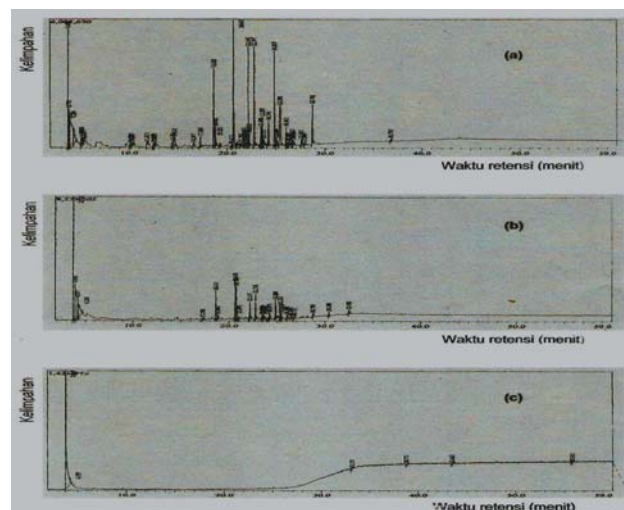
Figure 3. SEM microphotograph on shell, charcoal and activated charcoal of candlenut (Magnification 5000x)

Aktivasi menyebabkan semakin banyaknya bahan mudah terbang (*volatile*) terlepas dari arang sehingga menyebabkan terbukanya struktur *seluler* yang tersisa yang berakibat pada pembentukan pori. Aktivasi arang menjadi arang aktif pada suhu 550° C selama 120 menit ternyata telah mampu membuka pori-pori kecil dan mengurangi penutupan hidrokarbon pada permukaan arang, walaupun demikian pori-pori yang terbentuk keseluruhannya tergolong mikro pori (< 5 µm) dengan ukuran 0,4-3,3 µm.

Pembentukan meso pori (5-25 µm) sebanyak 20,83% mulai terbentuk pada aktivasi dengan suhu 650° C. Jumlah meso pori semakin bertambah banyak (33,28%) sejalan dengan peningkatan suhu aktivasi yaitu pada suhu 750° C. Bonelli *et.al.* (2001) menyatakan bahwa pembentukan dan pembesaran pori disebabkan oleh penguapan komponen yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Dengan berkurangnya senyawa hidrokarbon maka pori pada permukaan arang aktif semakin jelas terlihat (Gambar 3). Secara keseluruhan diameter pori pada permukaan arang aktif tempurung kemiri hasil analisa SEM termasuk ke dalam struktur mikro pori (< 5 µm) yang lebih dominan, sampai meso pori (5-25 µm) dengan diameter 0,2-11,3 µm.

4. Komponen penyusun

Pemisahan komponen dengan kromatografi didasarkan pada perbedaan kesetimbangan komponen-komponen campuran diantara fasa gerak (fasa mobil) dan fasa diam. Analisa komponen tempurung kemiri, arang dan arang aktif di dalam penelitian ini menggunakan kromatografi Py-GCMS dengan gas helium (He) sebagai fasa gerak. Kromatogram Py-GCMS dari tempurung kemiri, arang dan arang aktif ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan senyawa-senyawa yang teridentifikasi dan merupakan komponen penyusun tempurung kemiri, arang dan arang aktif disajikan pada Lampiran 1.



Gambar 4 Kromatogram Pr-GCMS dari (a) tempurung, (b) arang dan (c) arang aktif (A2W2S3) kemiri.

Figure 4. Py-GCMS chromatograph of shell, charcoal and activated charcoal (A2W2S3) of Candlenut

Gambar 4 memperlihatkan sejumlah puncak muncul pada kromatogram dimana puncak-puncak tersebut merupakan komponen yang dipisahkan dari sampel yang dianalisa. Di dalam analisa tempurung kemiri, senyawa yang dapat teridentifikasi jumlahnya sebanyak 43 (Lampiran 1) yang terdiri dari senyawa golongan alkohol, keton, fenolik, aldehida, asam karboksilat, hidrokarbon, organik ikatan rangkap, ester, eter dan karbohidrat. Pada pembuatan arang, bahan baku tempurung kemiri mengalami degradasi termal yang menyebabkan penguraian hemiselulosa, selulosa dan lignin. Penguraian tersebut menghasilkan larutan pirolignat (asam asetat, asam format dan metanol), gas CO, CO₂, CH₄ dan ter (Byrne dan Nagle, 1997), dimana komponen-komponen tersebut sebagian besar terpisah dari arang. Perubahan ini ditunjukkan oleh banyaknya puncak-puncak yang hilang pada kromatogram analisa arang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(b). Di dalam analisa arang, komponen penyusun yang teridentifikasi sebanyak 21 (Lampiran 1) yang terdiri senyawa golongan alkohol, karbonil (keton), fenol, fenil, aldehida, asam karboksilat, dan ester.

Aktivasi arang dengan aktivator uap H₂O dengan waktu 120 menit pada suhu 750^o C menghasilkan arang aktif yang mengalami perubahan senyawa penyusunnya yang cukup besar bila dibanding dengan senyawa penyusun arangnya. Kromatogram Py-GCMS arang aktif (A2W2S3) ditunjukkan pada Gambar 4(c), sedangkan senyawa-senyawa penyusun arang aktif tersebut disajikan pada Lampiran 1. Aktivasi arang pada suhu 500-1000^o C merupakan tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon (Sudrajat dan Soleh, 1994). Pada proses aktivasi, heterogenitas senyawa penyusun arang seperti asam karboksilat, alkohol, keton, fenol, aldehida, hidrokarbon dan beberapa senyawa organik lainnya mengalami pemurnian sehingga arang aktif yang dihasilkan hanya disusun oleh 5-7 komponen saja yang terdiri dari senyawa golongan asam karboksilat, keton dan hidrokarbon ikatan rangkap.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses karbonisasi tempurung kemiri menjadi arang dan aktivasi arang menjadi arang aktif dapat merubah karakteristik struktur dan susunan senyawa kimia bahan dengan karakteristik dan susunan senyawa kimia baru yang berbeda dengan asalnya.
2. Suhu aktivasi arang menghasilkan arang aktif dengan gugus fungsi, kristalinitas, porositas dan senyawa kimia penyusun yang berbeda. Semakin tinggi suhu aktivasi kristalinitas dan ukuran diameter pori meningkat, sebaliknya jumlah senyawa kimia penyusun arang aktif semakin berkurang.
3. Proses aktivasi menggunakan aktivator uap H₂O pada suhu 750^o C menghasilkan arang aktif dengan permukaan pori yang bersih, semakin lama waktu aktivasi semakin lebih bersih permukaan arang aktif.
4. Arang aktif tempurung kemiri memiliki gugus fungsi O-H, C-H dan C=O, kristalinitas 16,40-24,99%, porositas tergolong mikropori dan mesopori, dengan jumlah senyawa kimia penyusun 9-5.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S.S. 1990. Kimia Kayu. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati IPB, Bogor.
- Anonim. 1993. TAPPI Test methods. Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), Atlanta, Georgia.
- _____. 1996. Annual Books of ASTM (American Society for Testing and Material) Sandards, Volume 14.10 Wood. West Conshoocken.
- Austin, G.T. 1984. Shreve's Chemical Process Industry. Fifth Edition. MCGraw-Hill Book Company, New York : 136-138.
- Bonelli, P.R., P.A.D. Rocca, E.G. Cerrella, A.L. Cukierman. 2001. Effect of pyrolysis temperatur on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil Nut shells. *Bioresource Tech* 76: 15-22.
- Byrne, C.E., D.C. Nagle. 1997. Carbonization of wood for advanced materials applications. *Carbon* 35(2):259-266
- Demirbas, A. 2005. Pyrolysis of ground beech wood in irregular heating rate conditions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 73:39-43.
- Fengel, D., G. Wegner. 1995. Kayu : Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi. (Terjemahan) Gajah Mada University Press, Yogyakarta. 730 p.
- Gomez-Serrano, V., M.C. Femandez-Gonzales, M.L. Rojas-Cervantes, M.F. Alexandre-Franco, A. Macias-Garcia. 2003. Carbonization and demineralization of coals: a study by means of FT-IR spectroscopy. *Bulletin Material Science* 26(7):721-732.
- Guerrero, A.E., M.F. Collamates, L.A. Reyes. 1970. Preparation of Actived Carbon from Coconut Cor Dust dalam: Coconut Research and Development. Volume 3, United Coconut Association of The Philippines Inc, Manila
- Hendayana, S. 1994. Kimia Analitik Instrumen. Edisi I. IKIP Semarang Press, Semarang.
- Houghton, P.J., A. Raman. 1998. Laboratory Handbook For the Fractination of Natural Extracts. First Edition 1998, Chapman & Hall. London.
- Kercher, A., D.C. Nagle. 2003. Microstructural evolution during charcoal carbonization by X-Ray diffraction analysis. *Carbon* 41:15-27.
- Kimura, Y., Sato, C. Kaito. 2004. Production and structural characterization of carbon soot with narrow UV absorption feature. *Carbon* 42: 33-38.
- Kyotani, T. 2000. Control of pore structure in carbon. *Carbon* 38:269-286
- Manocha, S. 2003. Porous carbon. *Sadhana* 28(1-2): 335-348.
- Pari, G. 1996. Pembuatan arang aktif dari serbuk gergajian sengon dengan cara kimia. *Bulletin Penelitian Hasil Hutan* 14(8):308-320.

- _____. 2004. Kajian Struktur Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu sebagai Adsorben Emisi Formaldehida Kayu Lapis [Disertasi Program Doktor]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor. (Tidak diterbitkan)
- Pari, G., K. Sofyan, W. Syafii, Buchari, H. Yamamoto. 2006. Kajian struktur arang dari lignin. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 24(1) : 9-20.
- Schunkin, L. L. , M.V. Konnievich, R.S. Vartapetjan, S.I. Beznisko. 2002. Low temperatur plasma oxidation of activated carbons. *Carbon* 40: 2021-2040
- Stevens, M.P. 2007. *Kimia Polimer*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sudradjat, R., S. Soleh. 1994. Petunjuk teknis pembuatan arang aktif. Bagian Proyek Litbang Pemanfaatan Hasil HTI Pusat Litbang Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan. Bogor.
- Surtamtomo, I. Fauzi, M. Rifai, D. Maniaryadi, I. Setyaningsih, S. Haryati dan Saifuddin. 1997. Teknologi adsorpsi karbon aktif untuk mengolah air limbah industri. Balitbang Industri. Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia. Semarang.
- Vigouroux, R.Z. 2001. Pyrolysis of biomass. Dissertation. Stockholm. Royal Institute of Technology.
- Wardhani, I.Y., S. Surjokusumo, Y.S. Hadi, N. Nugroho. 2004. Distribusi kandungan kimia kayu kelapa (*Cocos nucifera* L.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 2(1) :1-7. Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia, Bogor.
- Wise, L.E. 1944. *Wood Chemistry*. Reinhold Publisher Corporation, New York.
- Young, R.A. 1972. *Wood chemistry laboratory procedure*. Univ.of Washington, Seattle. USA. (Limited Circulation)

Lampiran 1. Komponen penyusun tempurung, arang dan arang aktif kemiri hasil analisa dengan Py-GCMS
Appendix 1. Ingredients of shell, charcoal and activated charcoal from Candlenut tested by Py-GCMS

No.	Tempurung kemiri (<i>Candlenut shell</i>)	Arang tempurung kemiri (<i>Candlenut shell charcoal</i>)
1.	Acetic acid	Acetovanillone
2.	Ethanal	Allyl methoxy phenol
3.	Ethanone	Benzene
4.	Allyl methoxy phenol	Benzaldehyde
5.	Benzenediol	Biphenyl
6.	Butanedial	Butanenoic acid methyl ester
7.	Conyferyl alcochol	Cyclopentenone
8.	Cyclopentanedione	Cyclopropyl carbinol
9.	Cyclopentenone	Ethyl ester
10.	Cyclopentane propanoic acid	Hexadecanoic acid
11.	Cyclopropyl carbinol	Methyl dimethoxy benzaldehyde
12.	Diethyl ketone	Methyl ester
13.	Dihydro stilbene	Methoxy guaicol
14.	Ethylbutanal	Methoxy methyl phenol
15.	Ethyl hydroxy cyclopentenone	Napthalene
16.	Ethyl guaiaicol	Octadecanoic acid
17.	Ethyl ester	Phenol
18.	Ethyl resorcinol	Propano methoxy hydroxyphenone
19.	Furfural	Propanone
20.	Furfuryl alcohol	Propenal
21.	Furanone	Propynoic acid
22.	Guanosine	-
23.	Hexanoic acid	-
24.	Hydroxy oxa bicyclo nonanone	-
25.	Isoeugenol	-
26.	Isopropyl nitrobenzene	-
27.	Levoglucosan	-
28.	Methyl ethyl ketone	-
29.	Methyl ether	-
30.	Methyl pyrocatechol	-
31.	Methoxy guaiaicol	-
32.	Methoxy methylphenol	-
33.	Methoxy phenol	-
34.	Methoxy propyl phenol	-
35.	Methoxy propenyl phenol	-
36.	Methoxy pyrocatechol	-
37.	Phenol	-
38.	Propanoic acid	-
39.	Prophyl guaiaicol	-
40.	Propano methoxy hydroxy phenone	-
41.	Propanone	-
42.	Propenal	-
43.	Methane	-

Lampiran 1 (Lanjutan)
Appendix 1 (Continuous)

No.	Arang aktif (Activated charcoal)		
	Panas/120 m enit /550 ⁰ C (<i>Thermal/120 minuts/ 550⁰ C</i>)	Panas/120 mnt/650 ⁰ C (<i>Thermal/120 minuts/ 650⁰ C</i>)	Panas/120 mnt/750 ⁰ C (<i>Thermal/ 120 minuts/750⁰ C</i>)
1.	Benzene	Benzene	Benzene
2.	Biphenyl	Carbamic acid	Carbamic acid
3.	Carbamic acid	Ethanone	Cholestanone
4.	Isopropenyl alcohol	Isoprene	Napthalene
5.	Isopentyl benzene Napthalene	Methylheptane	Pentadecane
6.	Pentadecanol	Napthalane	Methylcyclodecasiloxane
7.	Propanoic acid	Silane	Tetracosahexaene
8.	Silane	Tetracosahexaene	-
9.	Tetracosahexaene	-	-
	Uap H ₂ O/90 m enit /750 ⁰ C (<i>Steam/90 minuts/750⁰ C</i>)	Uap H ₂ O /120 menit /750 ⁰ C (<i>Steam/120 minuts/750⁰ C</i>)	-
1.	Carbamic acid	Carbamic acid	
2.	Cyclobuta dicyclooctene	Cyclobuta dicyclooctene	
3.	Cyclotetrasiloxane	Eicosamethyl cyclodecasiloxane	
4.	Ditertbutyl dimethoxy cyclohexadienone	Ditertbutyl dimethoxy cyclohexadienone	
5.	Napthalene	Pyranone	
6.	Pyranone	-	