

## SIFAT DAN MUTU ARANG AKTIF TEMPURUNG KEMIRI (*Properties and Quality of Candlenut Shell Activated Charcoal*)

Oleh /By:

Mody Lempang<sup>1</sup>, Wasrin Syafii<sup>2</sup> & Gustan Pari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Balai Penelitian Kehutanan Makassar

Jl. Perintis Kemerdekaan Km.16,5 Makassar-90243, Tlp. 0411-554049, Fax 0411-554058

<sup>2</sup>Guru Besar pada Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor  
Gedung Rektorat Lantai 6 Kampus IPB Darmaga, Bogor 1668 Telp/Fax. +62 251 862 1480

<sup>3</sup>Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan

Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Tlp. 0251-8633378, Fax 0251-8633413

Diterima 24 Februari 2009, disetujui 14 Februari 2012

### ABSTRACT

*Activated charcoal is charcoal product obtained through activating process which possesses better adsorption properties and wider uses than charcoal. The common sources of activated charcoal feedstocks are coal, wood and agricultural by-products such as nutshells and fruitpits. This research was carried out to develop processing technology of candlenut shell activated charcoal. Candlenut shell (*Aleurites moluccana* Willd) were carbonised in drum kelyn to produce charcoal, then the charcoal was activated in electrical retort heating duration of 90 and 120 minutes at temperature of 550°C, 650°C and 750°C. Properties evaluation were assessed in accordance with the Indonesia National Standard (SNI) 06-3730-1995.*

*Results indicated that the activation treatment had direct effect on the activated charcoal properties. The activated charcoal that afforded highest adsorption capacity on Iodine number of 758,70 mg/g was obtained by steaming activation could meet at temperature of 750°C. This activated charcoal properties the requirements of SNI 06-3730-1995.*

*Keywords: Activated charcoal, candlenut shell, properties, quality*

### ABSTRAK

Arang aktif adalah produk dari proses aktivasi arang yang kemampuan penyerapannya lebih tinggi dan memiliki kegunaan lebih banyak daripada arang biasa. Beberapa bahan yang banyak digunakan sebagai sumber bahan baku pembuatan arang aktif adalah batubara, kayu dan limbah pertanian seperti tempurung dan kulit biji. Penelitian ini bertujuan mendapatkan teknologi pengolahan arang tempurung kemiri menjadi arang aktif yang bermutu dengan sifat-sifat memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Tempurung kemiri dikarbonisasi menggunakan tungku drum untuk menghasilkan arang, selanjutnya arang diaktivasi di dalam retort listrik menggunakan aktivator panas dan uap H<sub>2</sub>O dalam waktu 90 dan 120 menit pada suhu 550°C, 650°C dan 750°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan aktivasi arang tempurung kemiri berpengaruh terhadap sifat-sifat arang aktif yang dihasilkan. Arang aktif yang memiliki sifat penyerapan tertinggi terhadap Iodium (758,70 mg/g) didapatkan dari proses aktivasi dengan perlakuan aktivator uap H<sub>2</sub>O dalam waktu 120 menit pada suhu 750°C. Proses aktivasi tersebut menghasilkan arang aktif dengan rendemen 56,67% dan memiliki mutu yang memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995.

Kata kunci: Arang aktif, tempurung kemiri, sifat, mutu

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya industri, kebutuhan arang aktif semakin meningkat. Pada tahun 2000 Indonesia mengekspor arang aktif sebesar 10.205 ton (BI, 2000). Volume ekspor arang aktif tersebut meningkat menjadi sebesar 25.671 ton pada tahun 2005 (Allorerung *et al.*, 2005). Perkembangan teknologi dan industri mendorong pemanfaatan arang aktif meningkat. Contoh, dalam industri masker, rokok, minuman dan makanan, air konsumsi, minyak, kimia, farmasi, alat pendingin dan otomotif (Austin, 1984). Arang aktif juga digunakan untuk industri cat dan perekat (Asano *et al.* 1999). Beberapa bahan yang mengandung banyak karbon seperti kayu, serbuk gergajian kayu, kulit biji, tempurung, gambut, batu bara, *petroleum coke* dan *lignit* dapat dibuat arang aktif, akan tetapi sifat arang aktif tidak hanya dipengaruhi oleh bahan baku, tetapi juga dipengaruhi oleh cara aktivasi yang digunakan (Austin, 1984).

Di Indonesia tanaman kemiri (*Aleurites moluccana*. Willd) tersebar hampir di seluruh Nusantara dengan produksi biji pada tahun 2003 sekitar 79.137 ton Departemen Pertanian dalam (Darmawan, 2004). Biji kemiri terdiri dari kulit biji (tempurung) dan daging biji (*karnel*) dengan perbandingan 3 : 7 (Heyne, 1987). Dalam pengolahan biji kemiri dihasilkan tempurung kemiri yang memiliki sifat keras dengan nilai kalor 4164 kal/g, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Setiawan dan Yang, 1992).

Mengingat potensi tempurung kemiri cukup besar, meskipun penggunaannya sebagai bahan bakar kurang populer, maka salah satu alternatif pemanfaatannya adalah mengolah tempurung kemiri menjadi arang aktif. Setiap bahan yang mengandung karbon asalkan berpori dapat dibuat arang aktif (Sudradjat dan Soleh, 1994), dan tempurung kemiri memiliki kriteria tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menguji sifat dan mutu arang aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi arang tempurung kemiri yang dilakukan dengan cara fisika.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni sampai Desember 2008 di Laboratorium Balai Penelitian Kehutanan Makassar dan Laboratorium Pengolahan Kimia dan Energi Biomassa Hasil Hutan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan Bogor.

### B. Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah tempurung kemiri yang diambil dari Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan. Bahan kimia yang digunakan antara lain : benzena ( $C_6H_6$ ), iodium ( $I_2$ ), natrium thiosulfat ( $Na_2S_2O_3$ ), kanji. Alat-alat yang digunakan antara lain tungku drum kapasitas 90 kg, retort listrik kapasitas  $\pm$  300 g dan steamer, penggiling (*Willemill*), ayakan 100 mesh, cawan porselin, timbangan, oven, tanur, desikator, petridish.

### C. Prosedur

#### 1. Pembuatan dan analisa sifat arang

Pembuatan arang dilakukan dengan menggunakan tungku drum kapasitas 90 kg. Ke dalam tungku drum tersebut diisi dengan 75 kg tempurung kemiri untuk setiap pembakaran. Tempurung kemiri diletakkan di atas tumpukan potongan kayu kecil yang telah dimasukkan lebih dulu pada dasar tungku drum. Pembakaran dilakukan pada suhu yang secara bertahap meningkat sampai mencapai  $\pm$  500°C dalam waktu sekitar 8 jam. Setelah semua tempurung kemiri terbakar sempurna (dicirikan oleh asap yang keluar dari dalam tungku telah berkurang dan berwarna kebiruan), maka pembakaran dihentikan dengan cara menutup rapat semua jalan yang dilalui udara ke dalam tungku. Setelah dingin, arang dalam tungku dikeluarkan dan selanjutnya ditimbang beratnya. Arang kemudian digiling menggunakan willey mill dan serbuknya diayak dengan ayakan 100 mesh. Hasil ayakan selanjutnya dianalisa berdasarkan SNI 01-1682-1996 (BSN, 1996) yang meliputi kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, serta daya serap terhadap iodium dan benzena.

## 2. Pembuatan dan analisa sifat arang aktif

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 menggunakan aktivator panas dan uap H<sub>2</sub>O selama 90 menit dan 120 menit masing-masing pada suhu 550°C, 650°C dan 750°C. Arang aktif yang dihasilkan pada setiap perlakuan ditimbang beratnya, kemudian digiling menggunakan *Willey mill* dan serbuknya diayak dengan ayakan 100 mesh. Hasil ayakan selanjutnya dianalisa berdasarkan SNI 06-3730-1995 (BSN, 1995) meliputi kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, dan daya serap terhadap iodium dan benzena.

## D. Rancangan Percobaan

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan aktivasi terhadap kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat dan daya serap terhadap iodium dan benzena dari arang aktif yang dihasilkan, maka proses aktivasi dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (Mattjik & Sumertajaya, 2006) dengan tiga faktor perlakuan. Faktor pertama, yaitu panas tanpa uap H<sub>2</sub>O (A1) dan panas dengan uap H<sub>2</sub>O (A2); faktor kedua, yaitu waktu aktivasi : 90 menit (W1) dan 120 menit (W2); dan faktor ketiga, yaitu suhu aktivasi: 550°C (S1), 650°C (S2) dan 750°C (S3).

## E. Analisis Data

Data yang diperoleh berdasarkan rancangan percobaan di atas dianalisis secara sidik ragam. Jika perlakuan menunjukkan signifikansi pada taraf  $\alpha = 0,05$ , maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji perbandingan berganda *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) (Mattjik & Sumertajaya, 2006).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Rendemen Arang dan Arang Aktif

Dari proses karbonisasi tempurung kemiri yang dilakukan sebanyak tiga kali dalam tungku drum dihasilkan arang dengan rendemen rata-rata 39,49% (38,50-41,30%). Rendemen arang ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan rendemen arang tempurung kelapa hibrida yang besarnya 36,04% (Nurhayati dan Syahri, 1997), akan tetapi lebih rendah daripada rendemen arang tempurung kemiri (50,00%) yang dikarbonisasi menggunakan reaktor pirolisis (Darmawan, 2008). Rendemen arang yang dihasilkan sangat bergantung pada jenis bahan baku, kadar air bahan baku serta teknologi pengolahan (Sudrajat dan Soleh, 1994). Aktivasi arang tempurung kemiri dengan berbagai perlakuan di dalam *retort* listrik menghasilkan arang aktif dengan rendemen seperti disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Rendemen arang aktif tempurung kemiri**  
*Table 1. Yield of Candlenut shell activated charcoal*

No.	Perlakuan (Treatment)	Rendemen (Yield), %	No.	Perlakuan (Treatment)	Rendemen (Yield), %
1.	A1W1S1	77,33	7.	A2W1S1	77,00
2.	A1W1S2	75,33	8.	A2W1S2	72,67
3.	A1S1S3	74,33	9.	A2W1S3	63,00
4.	A1W2S1	76,00	10.	A2W2S1	75,67
5.	A1W2S2	74,67	11.	A2W2S2	69,33
6.	A1W2S3	73,67	12.	A2W2S3	56,67
Jumlah (Total)					865,67
Rata-rata (Average)					72,14

Keterangan (Remarks) : A1 = Aktivator panas (Thermal activator); A2 = Aktivator uap H<sub>2</sub>O (Steam activator); W1 = Waktu aktivasi (Activated duration) 90 menit (minutes); W2 = Waktu aktivasi (Activated duration) 120 menit (minutes); S1 = Suhu aktivasi (Activated temperatur) 550°C; S2 = Suhu aktivasi (Activated temperatur) 650°C; S3 = Suhu aktivasi (Activated temperatur) 750°.

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa aktivasi arang tempurung kemiri menjadi arang aktif diperoleh rendemen antara 56,67-77,33% dengan rata-rata 72,14%. Rendemen arang aktif dari hasil penelitian ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan rendemen arang aktif tempurung kemiri (47,30-70,80%) yang diaktivasi dengan bahan kimia ( $H_3PO_4$ ) dan uap air pada suhu 750-800°C selama 60 dan 90 menit (Hendra dan Darmawan, 2007). Juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan rendemen arang aktif tempurung kelapa (36,7-51,5%) yang diaktivasi menggunakan uap pada suhu 900-1000°C selama 105 menit (Hartoyo dan Pari, 1993). Peningkatan suhu aktivasi cenderung menurunkan rendemen arang aktif. Suhu aktivasi yang semakin meningkat menyebabkan reaksi dalam *retort* semakin cepat dan berakibat pada peningkatan degradasi pada arang. Peningkatan waktu aktivasi juga mengakibatkan berkurangnya rendemen arang aktif. Semakin lama waktu aktivasi semakin banyak bagian arang yang terdegradasi. Di samping itu, aktivasi dengan uap  $H_2O$  juga berpengaruh terhadap berkurangnya rendemen arang aktif dibandingkan dengan aktivasi panas. Penggunaan uap  $H_2O$  dalam proses aktivasi menyebabkan pencucian hidrokarbon yang terdapat pada permukaan arang sehingga bobot arang aktif yang dihasilkan berkurang.

## B. Sifat dan Mutu Arang dan Arang Aktif

Mutu arang dan arang aktif yang dihasilkan pada suatu proses, antara lain dapat diketahui melalui analisa sifat-sifatnya yang meliputi variabel kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat dan daya serap terhadap iodium dan benzena.

### 1. Sifat dan mutu arang

Karbonisasi tempurung kemiri dalam tungku drum menghasilkan arang yang umumnya memiliki penampilan fisik yang relatif seragam dan bersih dari benda asing, akan tetapi warnanya belum merata hitam. Arang tempurung kemiri ini mengandung kadar air 4,90%, abu 2,07%, zat terbang 22,14% dan karbon terikat 75,79%. Tinggi rendahnya kadar air arang banyak dipengaruhi oleh sifat higroskopis, porositas dan waktu penayangan arang pada tempat terbuka selama proses pendinginan. Kadar abu arang

(2,07%) jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan kadar abu tempurung kemiri (8,73%) yang digunakan sebagai bahan bakunya. Arang pada umumnya mengandung abu sebesar 2-3% (JICA, 1997). Kadar zat terbang arang tempurung kemiri (22,14%) tergolong tinggi dan ini mungkin disebabkan oleh belum sempurnanya proses karbonisasi yang dilakukan dalam tungku drum. Kuantitas karbon terikat pada arang tempurung kemiri (75,79%) dipengaruhi oleh kadar abu dan zat terbang serta senyawa hidrokarbon yang masih menempel pada permukaan arang. Kadar karbon terikat pada arang selalu berbanding terbalik dengan kadar abu dan zat terbang, semakin tinggi kadar abu dan zat terbang semakin rendah kadar karbon terikat. Secara umum ukuran daya serap terhadap iodium sering dijadikan sebagai dasar untuk menilai kualitas suatu bahan dalam hal kemampuan serapnya, terutama dalam menyerap larutan yang berwarna. Nilai daya serap arang tempurung kemiri terhadap iodium yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 156,90 mg/g. Nilai ini lebih rendah dari nilai daya serap iodium arang tempurung kelapa hibrida yang besarnya 193,90 mg/g (Nurhayati dan Syahri, 1997). Daya serap arang terhadap iodium yang tergolong rendah dipengaruhi oleh masih tingginya abu dan hidro karbon yang menyumbat pori dan menutupi permukaan arang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Agustina (2004) bahwa rendahnya daya serap arang terhadap suatu bahan bisa disebabkan karena masih banyaknya senyawa hidro karbon dan komponen lain seperti: ter, abu, air, nitrogen dan sulfur yang terdapat pada permukaan arang. Penetapan daya serap arang terhadap uap benzena bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang menyerap berbagai macam gas yang bersifat non polar. Nilai daya serap arang terhadap benzena dalam waktu 24 jam yaitu 7,56%. Rendahnya daya serap benzena ini disebabkan oleh karena benzena bersifat non polar, sementara arang bersifat relatif polar.

Untuk menilai mutu arang tempurung kemiri yang dihasilkan, maka sifat-sifatnya dibandingkan dengan persyaratan mutu arang tempurung kelapa (BSN, 1996). Sifat dan persyaratan mutu arang tempurung kemiri yang dihasilkan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Sifat arang tempurung kemiri dan penilaian mutunya**  
**Table 2. Properties and quality valuation of Chandlenut shell charcoal**

Sifat (Properties)	Satuan (Unit)	Persyaratan mutu arang tempurung kelapa *) (Quality requirement for Coconut shell charcoal)	Arang tempurung kemiri (Chandlenut shell charcoal)
Air (Moisture)	%	Maksimum (Maximum) 6	4,90
Abu (Ash)	%	Maksimum (Maximum) 3	2,07
Zat terbang (Volatile)	%	Maksimum (Maximum) 15	22,14
Warna (Color)	-	Hitam merata (Homogeneous black)	Hitam tidak merata (Heterogeneous black)
Benda asing (Undesirable thing)	-	Tidak boleh ada (Not permissible)	Tidak ada (Not exist)

Keterangan (Remark) : \*) Persyaratan mutu arang teknis berdasarkan SNI (Anonim, 1996) (Quality requirement for technical charcoal based on SNI)

Dari Tabel 6 dapat diketahui bahwa kadar air, abu dan benda asing pada arang tempurung kemiri memenuhi persyaratan standar, sedangkan kadar zat terbang dan warna belum memenuhi persyaratan standar (BSN, 1996). Oleh karena itu arang tempurung kemiri yang dihasilkan belum memenuhi persyaratan atau memiliki mutu rendah sehingga perlu diaktivasi untuk menghasilkan arang aktif dengan mutu lebih tinggi.

2. Sifat dan mutu arang aktif

Arang aktif yang diperoleh dari proses aktivasi

arang hasil karbonisasi tempurung kemiri secara umum memiliki penampilan fisik dan ukuran yang relatif sama dengan arang sebagai bahan bakunya, akan tetapi memiliki warna hitam yang lebih merata dan lebih mengkilap. Mutu arang aktif dapat diketahui melalui analisa sifat-sifatnya yang meliputi variabel kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, daya serap benzena dan iodium. Data hasil analisa sifat arang aktif dan penilaian mutunya berdasarkan SNI 06-3730-1995 (BSN, 1995) disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Sifat arang aktif tempurung kemiri dan penilaian mutunya**  
**Table 3. Properties and quality valuation of Chandlenut shell activated charcoal**

Perlakuan (Treatment)	Kadar (Content)				Daya serap (Absorptive capacity)	
	Air (Moisture) (%)	Abu (Ash) (%)	Zat terbang (Volatile) (%)	Karbon terikat (Fixed carbon) (%)	Iodium (mg/g)	Benzena (Benzene) (%)
A1W1S1	0,44	1,76	7,19	91,05	229,20	10,64
A1W1S2	0,39	1,82	6,26	91,91	283,60	11,01
A1W1S3	1,94	1,74	6,28	91,99	303,25	11,19
A1W2S1	0,39	1,57	6,86	91,57	280,50	11,01
A1W2S2	0,34	1,47	5,15	93,38	301,55	11,23
A1W2S3	1,33	1,62	6,39	91,99	313,25	11,42
A2W1S1	0,59	1,76	7,04	91,20	361,95	11,24
A2W1S2	1,77	1,48	7,73	90,79	527,05	14,10
A2W1S3	1,83	1,09	6,50	92,41	683,05	17,12
A2W2S1	0,74	1,94	5,51	92,55	479,85	11,95
A2W2S2	1,66	1,27	8,25	90,48	612,20	14,63
A2W2S3	1,56	1,25	7,29	91,45	758,70	17,88
SNI 06-3703-95 *)	Max. 15	max. 10	Max. 25	min. 65	min. 750	-

Keterangan (Remark) : \*) Persyaratan mutu arang aktif berdasarkan SNI (Anonim, 1995) (Quality requirement for activated charcoal based on SNI)

## a. Kadar air

Kadar air arang tempurung kemiri sebesar 4,90%, setelah diaktivasi menghasilkan arang aktif dengan kadar air rata-rata 1,08% (0,34-1,94%). Kadar air arang aktif yang dikehendaki harus bernilai kecil karena akan mempengaruhi daya serapnya terhadap gas maupun cairan (Pari, 1996). Kadar air arang aktif dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara, lama proses pendinginan,

penggilingan dan pengayakan (Hendaway, 2003). Sidik ragam kadar air arang aktif disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil sidik ragam (Tabel 4) faktor aktivator, waktu, suhu, maupun interaksi aktivator-suhu dan waktu-suhu berpengaruh nyata terhadap kadar air arang aktif.

Selanjutnya hasil uji Duncan kadar air arang aktif tempurung kemiri disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 4. Sidik ragam kadar air arang aktif**

*Table 4. Analysis of variance on moisture content of activated charcoal*

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	1,8315	1,8315	67,22	< 0,0001**
W	1	0,14570	0,14570	5,35	0,0393*
AW	1	0,0392	0,0392	1,44	0,2535
S	2	5,0717	2,5358	93,07	< 0,0001**
AS	2	1,9413	0,9707	35,63	< 0,0001**
WS	2	0,2648	0,1324	4,86	0,0285*
AWS	2	0,0421	0,0211	0,77	0,4834

**Tabel 5. Uji Duncan kadar air arang aktif**

*Table 5. Duncan test on moisture content of activated charcoal*

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	1,36	A
		A1	0,81	B
2.	Faktor tunggal waktu (Single factor of duration)	W2	1,16	A
		W1	1,00	B
3.	Faktor tunggal suhu (Single factor of temperature)	S3	1,66	A
		S2	1,04	B
		S1	0,54	C
4.	Interaksi aktivator – suhu (Interaction of activator-temperature)	A2S2	1,72	A
		A2S3	1,70	A
		A1S3	1,63	A
		A2S1	0,66	B
		A1S1	0,42	B
		A1S2	0,37	B
5.	Interaksi waktu – suhu (Interaction of durationtemperature)	W1S3	1,89	A
		W2S3	1,44	AB
		W1S2	1,08	BC
		W2S2	1,00	BC
		W2S1	0,57	C
		W1S1	0,51	C

Dari Tabel 5 dapat dijelaskan bahwa penggunaan aktivator uap H<sub>2</sub>O menghasilkan arang aktif dengan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan aktivator panas. Semakin lama waktu aktivasi semakin rendah kadar air arang aktif yang dihasilkan. Demikian juga dengan pengaruh suhu terhadap kadar air, semakin tinggi suhu aktivasi semakin rendah kadar air arang aktif. Pada interaksi faktor aktivator-suhu menunjukkan bahwa ada kecenderungan faktor aktivator lebih besar pengaruhnya dari pada faktor suhu, dimana pada umumnya arang aktif yang diaktivasi dengan uap menghasilkan kadar air yang lebih tinggi. Sedangkan pada interaksi faktor waktu-suhu menunjukkan pengaruh yang tidak menentu terhadap kadar air arang aktif. Kadar air terendah (0,34%) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi dengan menggunakan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 750°C, sedangkan yang tertinggi (1,94%) didapatkan pada arang

aktif yang diaktivasi dengan aktivator panas selama 90 menit pada suhu 750°C.

b. Kadar abu

Kadar abu dari arang sebelum diaktivasi rata-rata 2,07% dan setelah diaktivasi menghasilkan arang aktif yang berkadar abu rata-rata 1,57% (1,09-1,94%). Kadar abu arang aktif yang dihasilkan pada berbagai perlakuan cenderung fluktuatif secara tidak menentu. Tingginya kadar abu yang terdapat pada arang aktif disebabkan oleh terjadinya reaksi oksidasi selama proses aktivasi berlangsung. Menurut Pari (2004) kadar abu yang besar dapat mengurangi daya serap arang aktif baik terhadap larutan maupun gas, karena kandungan mineral yang terdapat dalam abu seperti kalium, kalsium, natrium dan magnesium akan menyebar dalam kisi-kisi arang aktif, sehingga mengakibatkan kinerja arang aktif berkurang. Sidik ragam kadar abu arang aktif pada berbagai perlakuan aktivasi disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Sidik ragam kadar abu arang aktif**

*Table 6. Analysis of variance on ash content of activated charcoal*

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	0,2301	0,2301	14,21	0,0027**
W	1	0,0442	0,0442	2,73	0,1244
AW	1	01080	01080	6,67	0,0240*
S	2	0,4774	0,2387	14,74	0,0006**
AS	2	0,4937	0,2469	15,24	0,0005**
WS	2	0,1169	0,0585	3,61	0,0592
AWS	2	0,0134	0,0067	0,41	0,6696

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 6) dapat diketahui bahwa faktor aktivator, suhu, interaksi aktivator-waktu dan interaksi aktivator-suhu berpengaruh nyata pada kadar abu arang aktif. Sedangkan faktor waktu dan interaksi faktor waktu-suhu berpengaruh tidak nyata terhadap kadar abu arang aktif. Selanjutnya hasil uji Duncan kadar abu arang aktif disajikan pada Tabel 7.

Hasil uji Duncan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O menghasilkan arang aktif yang kadar abunya lebih tinggi dan berbeda nyata dengan kadar abu arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator panas. Semakin tinggi waktu aktivasi semakin rendah kadar abu. Walaupun demikian aktivasi

pada suhu 650°C dan 750°C menghasilkan arang aktif dengan kadar abu yang berbeda tidak nyata. Aktivasi menggunakan panas selama 90 menit dan menggunakan uap H<sub>2</sub>O selama 120 menit menghasilkan arang aktif dengan kadar abu yang berbeda nyata. Sedangkan aktivasi menggunakan panas selama 90 menit, panas selama 120 menit dan uap H<sub>2</sub>O selama 90 menit menghasilkan arang aktif dengan kadar abu yang berbeda tidak nyata. Aktivasi menggunakan uap H<sub>2</sub>O pada suhu 550°C, panas pada suhu 550°C, panas pada suhu 650°C dan panas pada suhu 750°C menghasilkan arang aktif dengan kadar abu yang berbeda tidak nyata, akan tetapi masing-masing berbeda nyata dengan kadar abu arang aktif yang diaktivasi dengan

**Tabel 7. Uji Duncan kadar abu arang aktif**  
**Table 7. Duncan test on ash content of activated charcoal**

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	1,66	A
		A1	1,47	B
2.	Faktor tunggal suhu (Single factor of temperature)	S1	1,76	A
		S2	1,51	B
		S3	1,43	B
3.	Interaksi aktivator – waktu (Interaction of activator-duration)	A1W1	2,47	A
		A1W2	2,45	AB
		A2W1	2,44	AB
		A2W2	2,44	B
4.	Interaksi aktivator – suhu (Interaction of activator-temperature)	A2S1	1,85	A
		A1S3	1,68	A
		A1S1	1,67	A
		A1S2	1,65	A
		A2S2	1,38	B
		A2S3	1,18	B

menggunakan uap H<sub>2</sub>O pada suhu 650°C dan uap H<sub>2</sub>O pada suhu 750°C. Sedangkan aktivasi menggunakan uap H<sub>2</sub>O pada suhu 650°C dan uap H<sub>2</sub>O pada suhu 750°C menghasilkan arang aktif dengan kadar abu yang berbeda tidak nyata. Kadar abu tertinggi (1,94%) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 550°C, sedangkan kadar abu terendah (1,09%) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator panas dengan waktu 90 menit pada suhu 750°C.

c. Kadar zat terbang

Kadar zat terbang arang aktif tempurung kemiri pada berbagai kondisi aktivasi berkisar

5,15-8,25% atau rata-rata 6,70% (Tabel 3). Sidik ragam (Tabel 8) menunjukkan bahwa faktor aktivator berpengaruh nyata terhadap zat terbang arang aktif, sedangkan suhu dan waktu aktivasi berpengaruh tidak nyata. Hal ini berarti bahwa pengaruh tunggal faktor suhu dan waktu aktivasi kurang mendorong terlepasnya zat terbang dari arang aktif. Interaksi faktor aktivator-waktu-suhu juga menunjukkan pengaruh nyata pada kadar zat terbang arang aktif.

Hasil uji Duncan pada Tabel 9 menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O menghasilkan arang aktif dengan kadar zat terbang yang lebih tinggi (7,05%) dan berbeda nyata dengan kadar zat terbang arang aktif yang diaktivasi dengan menggunakan aktivator panas (6,35%).

**Tabel 8. Sidik ragam kadar zat terbang arang aktif**  
**Table 8. Analysis of variance on volatile content of activated charcoal**

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	2,9260	2,9260	12,89	0,0037**
W	1	0,3953	0,3953	1,74	0,2117
AW	1	0,2091	0,2091	0,92	0,3562
S	2	0,2486	0,1243	0,55	0,5923
AS	2	9,2818	4,6409	20,44	0,0001**
WS	2	1,8963	0,9481	4,18	0,0420*
AWS	2	2,0869	1,0434	4,60	0,0330*

**Tabel 9. Uji Duncan kadar zat terbang arang aktif**  
**Table 9. Duncan test on volatile content of activated charcoal**

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	7,05	A
		A1	6,35	B
2.	Interaksi aktivator-waktu-suhu (Interaction of activator-duration-temperature)	A2W2S2	8,25	A
		A2W1S2	7,73	AB
		A2W2S3	7,30	ABC
		A1W1S1	7,19	ABC
		A2W1S1	7,04	BC
		A1W2S1	6,87	BC
		A2W1S3	6,50	CD
		A1W2S3	6,39	CD
		A1W1S3	6,28	CD
		A1W1S2	6,26	CD
		A2W2S1	5,51	DE
A1W2S2	5,15	E		

Kadar zat terbang tertinggi (8,25%) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi dengan menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O dengan waktu aktivasi 120 menit pada suhu 650°C, sedangkan kadar zat terbang terendah (5,15%) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator panas dengan waktu 120 menit pada suhu 650°C. Kadar zat terbang arang aktif tempurung kemiri yang diperoleh dalam penelitian ini (5,15-8,25%) relatif sama dengan kadar zat terbang arang aktif tempurung kemiri (5,34-8,21%) asal Mataram NTB (Darmawan, 2008). Kadar zat terbang yang tinggi pada arang aktif tidak diinginkan, karena senyawa yang menempel pada permukaan arang aktif dapat mengurangi daya serapnya baik terhadap larutan maupun gas.

d. Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat arang aktif tempurung kemiri berkisar antara 90,48-93,38% atau rata-rata 91,73%. Kadar karbon berbanding terbalik dengan kadar abu dan zat terbang. Pada perlakuan aktivasi menggunakan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 650°C menghasilkan arang aktif dengan kadar zat terbang yang paling rendah (5,15%) dan kadar abu yang relatif cukup rendah (1,47%) dibandingkan dengan perlakuan lainnya sehingga menghasilkan kadar karbon terikat yang paling tinggi (93,38%). Keadaan sebaliknya terjadi pada perlakuan aktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O selama 120 menit pada suhu 650°C. Sidik ragam kadar karbon terikat arang aktif pada berbagai perlakuan aktivasi disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10. Sidik ragam kadar karbon terikat arang aktif**  
**Table 10. Analysis of variance on fixed carbon content of activated charcoal**

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	1,5150	1,5150	7,00	0,0213*
W	1	0,7176	0,7176	3,32	0,0936
AW	1	0,6048	0,6048	2,79	0,1204
S	2	0,6339	0,3169	1,46	0,2697
AS	2	7,2309	3,6155	16,71	0,0003**
WS	2	2,1421	1,0710	4,95	0,0271*
AWS	2	1,7937	0,8969	4,14	0,0428*

**Tabel 11. Uji Duncan kadar zat terbang arang aktif**  
**Table 11. Duncan test on volatile content of activated charcoal**

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	7,05	A
		A1	6,35	B
2.	Interaksi aktivator-waktu-suhu (Interaction of activator duration- temperature)	A2W2S2	8,25	A
		A2W1S2	7,73	AB
		A2W2S3	7,30	ABC
		A1W1S1	7,19	ABC
		A2W1S1	7,04	BC
		A1W2S1	6,87	BC
		A2W1S3	6,50	CD
		A1W2S3	6,39	CD
		A1W1S3	6,28	CD
		A1W1S2	6,26	CD
		A2W2S1	5,51	DE
A1W2S2	5,15	E		

Tabel 11 menunjukkan bahwa kadar karbon arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator panas (91,98%) lebih tinggi dan berbeda nyata dengan yang diaktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O (91,48%). Kadar karbon terikat yang tertinggi (93,38%) dihasilkan dari perlakuan aktivasi menggunakan aktivator panas selama 120 menit pada suhu 650°C, sedangkan yang terendah (90,48%) diperoleh dari perlakuan aktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 650°C. Secara umum kadar karbon terikat pada arang aktif tempurung kemiri yang diperoleh dalam penelitian ini (90,48-93,38%) sama dengan arang aktif tempurung kemiri (89,78-93,95%) asal Mataram NTB (Darmawan, 2008), akan tetapi lebih tinggi bila dibandingkan dengan arang aktif kelapa hibrida (85,59-90,14%) hasil penelitian Nurhayati dan Syahri (1997). Kadirvelu *et al.* (2001) telah membuktikan kemampuan arang aktif sebagai adsorben terhadap logam Hg, Pb, Cd, Ni, Cu dalam limbah cair industri radiator, pelapisan nikel dan pelapisan tembaga. Pada hasil penelitian tersebut dijelaskan bahwa kemampuan arang aktif sebagai penghilang logam dipengaruhi oleh pH dan konsentrasi karbon. Kenaikan kadar karbon menaikkan persen penyerapan ion logam.

e. Daya serap benzena

Daya serap arang aktif terhadap benzena berkisar antara 10,64-17,88% (Tabel 3). Sidik ragam daya serap benzena arang aktif pada berbagai perlakuan aktivasi disajikan pada Tabel 12.

Dari Tabel 12 dapat dijelaskan bahwa perlakuan aktivator, waktu dan suhu aktivasi masing-masing memberikan pengaruh yang nyata terhadap daya serap arang aktif terhadap benzena. Di samping itu, interaksi aktivator-waktu dan aktivator-suhu juga berpengaruh nyata terhadap daya serap arang aktif terhadap benzena. Selanjutnya hasil uji Duncan daya serap arang aktif terhadap benzena disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13 menunjukkan bahwa proses aktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O dapat meningkatkan daya serap arang aktif terhadap benzena dan ini disebabkan oleh terjadinya pencucian uap H<sub>2</sub>O terhadap senyawa-senyawa yang bersifat non polar pada permukaan arang aktif. Daya serap terhadap benzena cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu dan suhu aktivasi. Aktivasi dengan uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 750°C menghasilkan arang aktif dengan daya serap tertinggi terhadap benzena (17,88%), sedangkan daya serap yang terendah (10,64%) didapatkan pada perlakuan aktivator panas dengan waktu 90 menit pada suhu

**Tabel 12. Sidik ragam daya serap benzena arang aktif**  
**Table 12. Analysis of variance on benzene absorption of activated charcoal**

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	69,3838	69,3838	3204,94	< 0,0001**
W	1	1,3240	1,3240	61,16	< 0,0001**
AW	1	0,2299	0,2299	10,62	0,0068**
S	2	40,7096	20,3548	940,22	< 0,0001**
AS	2	29,4788	14,7394	680,83	< 0,0001**
WS	2	0,0277	0,0138	0,64	0,5444
AWS	2	0,0141	0,0071	0,33	0,7275

**Tabel 13. Uji Duncan daya serap arang aktif terhadap benzena**  
**Table 13. Duncan test on benzene absorption of activated charcoal**

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	14,48	A
		A1	11,08	B
2.	Faktor tunggal waktu (Single factor of duration)	W2	13,02	A
		W1	12,55	B
3.	Faktor tunggal suhu (Single factor of temperatur)	S3	14,40	A
		S2	12,74	B
		S1	11,21	C
4.	Interaksi aktivator - waktu (Interaction of activator duration)	A2W2	14,82	A
		A2W1	14,15	A
		A1W2	11,22	B
		A1W1	10,95	B
5.	Interaksi aktivator – suhu (Interaction of activator temperature)	A2S3	17,50	A
		A2S2	14,37	B
		A2S1	11,59	C
		A1S3	11,31	CD
		A1S2	11,12	CD
		A1S1	10,83	D

550°C. Salah satu faktor yang mempengaruhi daya serap arang aktif yaitu sifat polaritas dari permukaannya. Sifat ini sangat bervariasi untuk setiap jenis arang aktif, karena hal ini sangat bergantung pada bahan baku, cara pembuatan arang dan bahan pengaktif yang digunakan (Lee dan Radovic, 2003). Rendahnya daya serap terhadap benzena mengindikasikan bahwa arang aktif tempurung kemiri yang dihasilkan bersifat relatif polar, sehingga diharapkan produk ini

dapat berperan sebagai penyerap larutan atau gas yang juga bersifat polar.

f. Daya serap iodium

Daya serap arang aktif tempurung kemiri terhadap iodium berkisar antara 229,20-758,70 mg/g (Tabel 3) atau rata-rata 427,85 mg/g. Sidik ragam daya serap iodium arang aktif pada berbagai perlakuan aktivasi disajikan pada Tabel 12.

**Tabel 14. Sidik ragam daya serap iodium arang aktif****Table 14. Analysis of variance on iodium absorption of activated charcoal**

Sumber keragaman (Source of variance)	DB (DF)	JK (SS)	KT (MS)	Nilai F (F Value)	Pr > F
A	1	488176,8504	488176,8504	1103,27	< 0,0001**
W	1	21354,7004	21354,7004	48,26	< 0,0001**
AW	1	6630,0504	6630,0504	14,98	0,0022**
S	2	125000,9658	62500,4829	141,25	< 0,0001**
AS	2	61000,5408	30500,2704	68,93	< 0,0001**
WS	2	1942,3858	971,1929	2,19	0,1540
AWS	2	0,6108	0,3054	0,00	0,9993

**Tabel 15. Uji Duncan daya serap arang aktif terhadap iodium****Table 15. Duncan test on iodium absorption of activated charcoal**

No.	Faktor (Factor)	Kode faktor (Factor code)	Rata-rata (Average)	Klasifikasi (Classification)
1.	Faktor tunggal aktivator (Single factor of activator)	A2	570,47	A
		A1	285,23	B
2.	Faktor tunggal waktu (Single factor of duration)	W2	457,68	A
		W1	398,02	B
3.	Faktor tunggal suhu (Single factor of temperature)	S3	514,56	A
		S2	431,10	B
		S1	337,88	C
4.	Interaksi aktivator- waktu (Interaction of activator-duration)	A2W2	616,92	A
		A2W1	524,02	A
		A1W2	298,43	B
		A1W1	272,02	B
5.	Interaksi aktivator-suhu (Interaction of activator-temperature)	A2S3	720,87	A
		A2S2	569,63	B
		A2S1	420,90	C
		A1S3	308,25	D
		A1S2	292,58	D
		A1S1	254,85	D

Sidik ragam Tabel 14 menunjukkan bahwa aktivator, waktu aktivasi dan suhu aktivasi masing-masing memberikan pengaruh sangat nyata pada daya serap arang aktif terhadap iodium. Selain itu, interaksi aktivator-waktu dan interaksi aktivator-suhu juga berpengaruh sangat nyata pada daya serap arang aktif terhadap iodium. Hasil uji Duncan daya serap arang aktif terhadap iodium disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15 menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan uap H<sub>2</sub>O dapat meningkatkan daya serap arang aktif terhadap iodium dibandingkan dengan aktivasi yang hanya menggunakan panas. Semakin meningkat waktu dan suhu aktivasi, daya serap arang aktif terhadap iodium juga semakin meningkat. Aktivasi dengan uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 750°C menghasilkan arang aktif dengan daya serap terhadap iodium yang tertinggi (758,70 mg/g), sedangkan daya

serap iodium yang terendah (229,20 mg/g) didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator panas dengan waktu 90 menit pada suhu 550°C.

#### g. Mutu arang aktif

Untuk menilai mutu arang aktif tempurung kemiri yang dihasilkan, maka sifat-sifatnya dibandingkan dengan standar SNI 06-3730-1995 (BSN, 1995) tentang syarat mutu arang aktif teknis. Penilaian mutu untuk arang aktif dalam bentuk serbuk dengan menggunakan standar tersebut menggunakan jenis uji kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat dan daya serap iodium. Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa kadar air, abu, zat terbang dan karbon terikat arang aktif tempurung kemiri yang dihasilkan pada semua perlakuan aktivasi memenuhi standar SNI 06-3730-1995, sedangkan daya serap iodium yang memenuhi standar SNI tersebut hanya didapatkan pada arang aktif yang diaktivasi menggunakan aktivator uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 750°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa arang aktif tempurung kemiri dari hasil penelitian ini yang mutunya memenuhi standar SNI 06-3730-1995 adalah arang aktif yang diaktivasi dengan menggunakan perlakuan aktivator uap H<sub>2</sub>O dengan waktu 120 menit pada suhu 750°C (A2W2S3), dimana dengan perlakuan tersebut didapatkan arang aktif dengan rendemen sebesar 56,67%.

#### IV. KESIMPULAN

1. Faktor aktivator, suhu, waktu aktivasi, interaksi aktivator-suhu dan interaksi aktivator-waktu berpengaruh sangat nyata terhadap sifat daya serap iodium dan daya serap benzena arang aktif.
2. Aktivasi dengan uap H<sub>2</sub>O dapat meningkatkan secara nyata daya serap arang aktif terhadap iodium dan benzena. Semakin tinggi suhu dan waktu aktivasi semakin tinggi pula daya serap arang aktif terhadap iodium dan benzena.
3. Mutu arang aktif terbaik dengan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995 didapatkan dari proses aktivasi dengan menggunakan perlakuan aktivator uap H<sub>2</sub>O dalam waktu 120 menit pada suhu 750°C, dimana pada proses aktivasi tersebut dihasilkan

arang aktif dengan kadar air 1,56%, abu 1,25%, zat terbang 7,29%, karbon terikat 91,73% dan daya serap iodium 758,70% serta rendemen 56,67%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. 2004. Kajian Proses Aktivasi Ulang Arang Aktif Bekas Adsorpsi Gliserin Dengan metode Pemanasan (Tesis Program Magister). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Allorerung, D., Z. Mahmud, B. Prastowo. 2008. Peluang kelapa untuk pengembangan pengembangan produk kesehatan. Pengembangan Inovasi Pertanian 1(4), 2008: 298-315. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor.
- Asano, N., J. Nishimura, K. Nishimiya, T. Hata, Y. Imamura, S. Ishihara and B. Tomita. 1999. Formaldehyde Reduction in Indoor Enviroments by Wood Charcoals. Wood Researsch No 86.
- Austin, G.T. 1884. Shreve's Chanical Process Industry. Fifth Edition. MCGraw-Hill Book Company, New York : 136-138.
- BI. 2000. Pola pembiayaan usaha kecil pengolahan arang tempurung. Bank Indonesia (BI) [http://www.bi.go.id/NR/rdonlyres/9CF2F82D-3796-4A5D-8E26-8448D83CD746/16003/ Pengolahan Arang Tempurung 1.pdf](http://www.bi.go.id/NR/rdonlyres/9CF2F82D-3796-4A5D-8E26-8448D83CD746/16003/PengolahanArangTempurung1.pdf) tgl 17 Juni 2009
- BSN. 1995. Arang aktif teknis. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta. SNI 01-1682-1996
- BSN. 1996. Arang tempurung kelapa. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta. SNI 01-1682-1996
- Darmawan, S. 2004. Pengolahan dan Pemanfaatan Kemiri. Prosiding ekspose Diskusi Hasil Hasil Penelitian BPPKNTB, 4 Desember 2004. Kupang.
- Darmawan, S. 2008. Sifat arang aktif tempurung kemiri dan pemanfaatannya sebagai penyerap emisi formaldehida papan serat berkerapatan sedang (Tesis Program Magister). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Hartoyo dan G. Pari. 1993. Peningkatan rendemen dan daya serap arang aktif dengan cara kimia dosis rendah dan gasifikasi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 11 (5) (1993). 205-206. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Hendaway, A.N.A. 2003. Influence of HNO<sub>3</sub> oxidation on the structure and adsorptive properties of corncob-based activated carbon. *Carbon* 41:713-722.
- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi I. IKIP Semarang Press, Semarang.
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Vol.III. Terjemahan Yayasan Sarana Wana Jaya. Jakarta.
- JICA. 1997. Development of technology for utilizing charcoal products (Text for wood based materials application technology course (1997) pp.233-238. Japan International Cooperation Agency (JICA), Nagoya
- Kadirvelu, K., K.Thamaraiselvi and C. Namasivayam. 2001. Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Waters by adsorption on to Activated carbon Preparad from an Agriculture Solid Waste. *Bioresource Tech* 76: 63-65.
- Lee, Y.J. and L.R. Radovic. 2003. Oxidation inhibition effects of phosphorus and boron in different carbon fabrics. *Carbon* 41:1987-1997.
- Mattjik, A.A. dan M. Sumertajaya. 2006. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. IPB Press. Bogor
- Nurhayati, T. dan M. Syahri. 1997. Pembuatan arang aktif dari tiga macam bahan baku dan penggunaannya sebagai penyerap pada pemurnian minyak goreng. *Buletin Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan* Vol.15 No.1 Thn. 1997: 68-78. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan. Bogor.
- 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.
- Setiawan, Y. Yang. 1992. *Penganekaragaman produk olahan kemiri*. Laporan Penelitian Tahun 1992 Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Hasil Pertanian, Bogor.
- 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.