

## Lembar Abstrak

UDC (OSDC) 630. ....

Sudradjat R., Anggorowati & D. Setiawan (Pusat Litbang Hasil Hutan)

Pembuatan Arang Aktif dari Kayu Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Jurnal Penelitian Hasil Hutan, ..... 2005, Vol. .... No. .... hlm: .....

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa konsentrasi  $H_3PO_4$  meningkatkan daya serap iod dan benzena arang aktif secara nyata, tetapi pengaruh suhu hanya nyata terhadap daya serap iod. Sifat fisiko-kimia yang optimum dari arang aktif jarak dihasilkan dari sampel yang menggunakan suhu aktivasi  $750^\circ C$  dan  $H_3PO_4$  konsentrasi 15%. Sampel ini memberikan rendemen 52,5%, kadar air 4%, zat terbang 11,8%, abu 19,29%, karbon terikat 68,91%, daya serap iod 1039,2 mg/g dan benzena 13,5%. Kecuali daya serap benzena, semua sampel memenuhi SNI 06-3730-1995.

**Kata kunci** : arang aktif, *Jatropha curcas* L., daya serap iod, daya serap benzena.

## Abstract Sheet

UDC (OSDC) 630. ....

Sudradjat R., Anggorowati & D. Setiawan

*Manufacture of Activated Charcoal from *Jatropha curcas* L. Wood*

*Journal of Forest Products Research*, ..... 2005, Vol. .... No. .... pp: .....

*The results showed that  $H_3PO_4$  concentration increased iodine and benzene absorption of activated charcoal significantly, while temperature only significantly affected iodine absorption. The optimum physico-chemical properties of activated charcoal was obtained from the activated charcoal sample using activation temperature  $750^\circ C$  and  $H_3PO_4$  concentration 15%. This sample gave yield of 52.5%, moisture content 4%, volatile matter 11.8%, ash 19.29%, fixed carbon 68.91%, iodine absorption 1039.2 mg/g and benzene absorption 13.5%. Except benzene absorption, all values could met the SNI 06-3730-1995.*

**Keywords** : *activated charcoal, *Jatropha curcas* L., iodine and benzene absorption*

**PEMBUATAN ARANG AKTIF DARI KAYU  
JARAK PAGAR (*Jatropha Curcas L.*)**

***Manufacture of Activated Charcoal from Jatropha Curcas L. Wood***

Oleh/By:  
R. Sudradjat, Anggorowati & D. Setiawan

**ABSTRACT**

*The aim of this research is to find an optimum condition process in manufacturing activated charcoal from *Jatropha curcas L.* wood, and to figure out an optimum concentration of activated *Jatropha* charcoal for bleaching of *Jatropha* oil. Variable factors used in this research were:  $H_3PO_4$  concentration (5%, 10% and 15%) and activation temperature of 650°C, 750°C and 850°C. Parameters to be observed on the resulting activated charcoal were: yield, moisture, volatile matter, ash, fixed carbon, iodine and benzene absorption. Meanwhile the observed parameters for bleaching *jatropha* oils were: oil yield, opacity, acid value and peroxide number.*

*The results showed that  $H_3PO_4$  concentration increased iodine and benzene absorption significantly, while temperature was only significant to iodine absorption increase. The optimum physico-chemical properties of activated charcoal obtained using activation temperature 750°C and  $H_3PO_4$  concentration 15%. That optimum condition gave yield of activated charcoal 52.5%, moisture 4%, volatile matter 11.8%, ash 19.29%, fixed carbon 68.91%, iodine absorption 1039.2 mg/g and benzene absorption 13.5%. Except benzene absorption, all values met with the SNI 06-3730-1995.*

*Activated charcoal by employing optimum condition could successfully be used as an adsorbent for bleaching of *jatropha* crude oil, since it increased oil transparency to 92% – 105%, and reduced an acid value to 27% - 32%.*

*Keywords: activated charcoal, *Jatropha curcas L.*, iodine and benzene absorption.*

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi proses yang optimum pada pembuatan arang aktif dari kayu jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dan mengetahui konsentrasi optimum dari penggunaan arang aktif jarak untuk pemucatan minyak jarak. Faktor perubah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu : konsentrasi  $H_3PO_4$  (5%, 10% dan 15%) dan suhu aktifasi ( $650^\circ C$ ,  $750^\circ C$  dan  $850^\circ C$ ). Parameter yang diamati adalah rendemen, kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, daya serap iod dan benzena. Untuk pemucatan minyak jarak parameternya adalah : rendemen, kejernihan, bilangan asam dan bilangan peroksida.

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa konsentrai  $H_3PO_4$  meningkatkan daya serap iod dan benzena secara nyata, tetapi pengaruh suhu hanya nyata terhadap peningkatan daya serap iod. Sifat fisiko-kimia yang optimum dari arang aktif dihasilkan dengan menggunakan suhu aktifasi  $750^\circ C$  dan konsentrasi  $H_3PO_4$  15%. Kondisi optimum ini memberikan rendemen arang aktif 52,5%, kadar air 4%, zat terbang 11,8%, abu 19,29%, karbon terikat 68,91%, daya serap iod 1039,2 mg/g dan benzena 13,5%. Kecuali daya serap benzena, semua sifat arang aktif lainnya memenuhi SNI 06-3730-1995.

Karbon aktif yang dibuat dengan kondisi optimum, berhasil dengan baik digunakan sebagai absorben untuk pemucatan minyak jarak pagar kasar, karena berhasil meningkatkan kejernihan minyak tersebut hingga 92% - 105% dan mengurangi bilangan asam hingga 27% - 32 %.

**Kata kunci :** arang aktif, *Jatropha curcas* L., daya serap iod, daya serap benzena.

## I. PENDAHULUAN

Arang aktif adalah salah satu jenis karbon berpori yang memiliki kapasitas absorpsi yang besar dan umumnya digunakan dalam pemurnian larutan atau gas (Figueiredo, 1986). Industri yang menggunakan produk ini antara lain industri pemurnian gas, pengolahan gas alam cair (LNG), obat, makanan, minuman ringan, minyak, penjernihan air, pengolahan pulp, pengolahan pupuk dan pengolahan emas.

Kebutuhan arang aktif sebagai bahan baku penolong dalam industri akan meningkat seiring dengan kemajuan industri. Indonesia sejak lama telah mengekspor arang aktif ke Jepang, Belgia, USA, Inggris dan negara lainnya, namun Indonesia juga masih mengimpor arang aktif dari beberapa negara seperti Jerman, Jepang, China dan Belanda (Anonim, 2000).

Arang aktif dapat dibuat dari semua jenis bahan yang mengandung banyak unsur karbon, baik yang berasal dari tumbuhan, binatang maupun barang tambang seperti kayu, tempurung kelapa, tempurung biji-bijian, tulang dan batu bara (Pari, 1996).

Salah satu bahan baku alternatif yang dapat digunakan adalah kayu jarak pagar yang merupakan limbah hasil pemangkasan. Pemangkasan bertujuan untuk memperbanyak cabang pada tanaman jarak, sehingga dapat meningkatkan produksi biji jarak. Biji tersebut umumnya diolah lagi menjadi produk minyak atau oleokimia (Heyne, 1987).

Kayu jarak pagar memiliki potensi untuk dijadikan bahan baku arang aktif, tetapi pemanfaatannya belum banyak dilakukan. Pemanfaatan kayu jarak pagar menjadi arang aktif diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis kayu tersebut. Arang aktif ini dapat dimanfaatkan sebagai penyerap kotoran dalam pemurnian minyak kasar (*crude oil*) atau biodisel yang dibuat dari minyak tersebut (Sudradjat *et al.*, 2004).

Minyak jarak pagar dapat juga digunakan untuk penerangan, pelumas, sabun, lilin dan bahan campuran minyak zaitun (Watt *et al.*, 1962). Selain minyak, hampir seluruh bagian tanaman jarak pagar dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti : 1) Tanamannya untuk pengendali erosi, pagar dan tanaman pelindung, 2) Daun untuk makanan ulat sutra dan obat-obatan, 3) Lateks untuk

penyembuh luka dan obat-obatan, 4) Biji untuk insektisida dan pakan ternak, 5) Kulit buah untuk bahan bakar, pupuk dan biogas, 6) Tempurung biji untuk arang, arang aktif dan bahan bakar, 7) Bungkil untuk pupuk dan pakan ternak, 8) Minyak untuk biodisel, sabun, insektisida dan obat-obatan (Guibitz *et al.*, 1999).

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat arang aktif dari kayu jarak pagar hasil pangkasan untuk dimanfaatkan sebagai bahan absorben dalam pembuatan biodisel dari minyak jarak pagar itu sendiri.

## **II. METODE PENELITIAN**

### **A. Bahan dan Alat**

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jarak pagar yang diperoleh dari Kebumen, Jawa Tengah. Bahan kimia yang digunakan antara lain asam fosfat teknis, benzena, iod, kalium iodida, natrium tiosulfat, indikator kanji, etanol, indikator fenolftalein, kalium hidroksida, asam asetat, kloroform, dan air suling.

Alat yang digunakan adalah tungku karbonisasi, tungku aktivasi (*retort*) yang dilengkapi ketel uap bertekanan, labu takar dan pengatur suhu, lumpang, saringan 120 mesh, cawan porselen, cawan petri, oven, tanur, desikator, gegep, buret, pengocok, Spectrophotometer, buret, labu ukur, erlemeyer, piala gelas dan lain-lain.

### **B. Metode**

#### **1. Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui kisaran konsentrasi  $H_3PO_4$  dan suhu aktivasi yang akan digunakan pada penelitian utama. Analisa fisiko-kimia yang dilakukan pada penelitian pendahuluan adalah kadar air, abu, zat mudah menguap, karbon terikat serta rendemen, daya serap terhadap iodium dan benzena.

Konsentrasi  $H_3PO_4$  yang digunakan untuk merendam arang pada penelitian pendahuluan adalah 1% ; 2,5% dan 5%. Suhu aktivasi yang digunakan 550°C, 650°C, 750°C dan 850°C. Sampel yang memiliki sifat fisiko-kimia terbaik akan digunakan pada penelitian utama.

Dari penelitian pendahuluan diketahui bahwa arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 650°C dan konsentrasi  $H_3PO_4$  2,5% dan 5%, serta arang aktif dengan

perlakuan suhu aktivasi 850°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5% telah memenuhi SNI 06-3730-1995 mengenai nilai daya serap iodnya (> 750 mg/g). Ketiga sampel tersebut memiliki rendemen yang memenuhi syarat, sampel dengan perlakuan suhu aktivasi 850°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5% menunjukkan nilai daya serap iod terbesar yaitu 875,60 mg/g. Oleh karena itu, maka pada penelitian utama kisaran suhu aktivasi dilakukan pada suhu 650°C, 750°C dan 850°C, sedangkan kisaran konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> diubah menjadi 5%, 10% dan 15% dengan harapan akan memperoleh arang aktif dengan nilai daya serap iod dan benzena yang memenuhi SNI 06-3730-1995.

## 2. Penelitian Utama

Kayu jarak pagar yang telah dibuat serpih dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 5 jam. Arang yang dihasilkan diaktifkan dengan cara merendam arang tersebut di dalam larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%, 10% dan 15% selama 24 jam. Arang yang sudah direndam kemudian ditiriskan dan dimasukkan ke dalam kawat kasa untuk diaktifasi dengan suhu 650°C, 750°C dan 850°C dan disemprot dengan uap panas pada tungku aktivasi (*retort*) selama 60 menit. Uap panas yang digunakan memiliki suhu 125°C dan tekanan 0,025 mbar.

Arang aktif yang dihasilkan kemudian dihaluskan hingga lolos saringan 120 mesh dan dianalisa untuk mengetahui sifat fisiko-kimianya. Analisa yang dilakukan pada arang aktif sama dengan analisa yang dilakukan pada arang. Sampel yang memiliki nilai analisa fisiko-kimia terbaik diuji cobakan pada minyak jarak pagar kasar. Arang aktif terlebih dahulu dicuci dengan air suling sampai pH air cucuannya netral, lalu ditiriskan dan dihaluskan hingga lolos saringan 120 mesh, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C.

Pemucatan minyak dilakukan dengan mencampur minyak dan arang aktif dengan konsentrasi 1%, 3% dan 5 % (b/b) pada suhu 80°C dengan waktu kontak selama 1 jam. Minyak hasil pencampuran didinginkan dan disaring dengan kertas saring tak berabu. Analisa fisiko-kimia yang dilakukan pada minyak jarak pagar yang sudah dipucatkan adalah rendemen pemucatan, kejernihan, bilangan asam dan bilangan peroksida.

### 3. Rancangan Percobaan

Model rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan percobaan faktorial dan dua kali ulangan untuk masing-masing taraf perlakuan. Perlakuan pada penelitian terdiri dari 1) aktivasi (A), dengan taraf faktor : a1 = 650°C ; a2 = 750°C dan a3 = 850°C, 2) Konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (B), dengan taraf faktor : b1 = 0% ; b2 = 5% ; b3 = 10% dan b4 = 15%. Berdasarkan model rancangan percobaan yang digunakan, maka jumlah satuan eksperimen (SE) penelitian ini adalah A x B x jumlah ulangan = 3 x 4 x 2 = 24 SE. Parameter yang diuji adalah rendemen arang dan arang aktif, kadar air, abu, zat terbang, karbon terikat, daya serap terhadap iod dan benzena (Anonim, 1999). Untuk pemucatan minyak parameter yang diuji adalah : rendemen, kejernihan, bilangan asam dan bilangan peroksida (Roy, 1985).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Penelitian Pendahuluan

Kayu jarak pagar langsung diserpih dan dijemur untuk mengurangi kadar airnya agar tidak terjadi kebusukan. Kayu yang kering udara kemudian dikarbonisasi menjadi arang pada suhu 500°C selama 5 jam. Menurut Sudradjat (1986a), proses karbonisasi akan mengakibatkan penguraian selulosa menjadi unsur karbon dan pengeluaran unsur-unsur non karbon. Sifat fisiko-kimia arang yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisiko-kimia arang kayu jarak pagar

*Table 1. Physico-chemical properties of charcoal from jatropha wood*

Parameter ( <i>Parameters</i> )	Nilai ( <i>Value</i> )
Rendemen ( <i>Yield</i> ), %	36,29
Kadar air ( <i>Moisture content</i> ), %	6,44
Kadar zat terbang ( <i>Volatile matter</i> ), %	21,56
Kadar abu ( <i>Ash content</i> ), %	21,53
Kadar karbon terikat ( <i>Fixed carbon</i> ), %	56,92
Daya serap iod ( <i>Iodine absorption</i> ), mg/g	216,31
Daya serap benzena ( <i>Benzene absorption</i> ), %	1,84

Hasil analisa fisiko-kimia arang kayu jarak pagar di atas menunjukkan bahwa kandungan karbon terikat dalam arang tidak memenuhi syarat (< 65%). Hal ini mungkin disebabkan karena jenis struktur kayu jarak pagar yang bersifat lunak.

Daya serap iod dan benzena arang kayu jarak pagar dapat ditingkatkan dengan menambahkan zat pengaktif dan mengaktifkannya pada suhu tinggi serta mengalirkan zat oksidator lemah (misalnya uap air). Perlakuan tersebut dimaksudkan agar deposit hidrokarbon pada permukaan arang dapat dihilangkan untuk meningkatkan daya adsorpsi arang terhadap cairan dan gas (Jankowska *et al.*, 1991).

Aktifasi arang dari kayu jarak dilakukan dengan merendam arang tersebut dalam larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 2,5% dan 5% selama 24 jam. Pemilihan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai bahan pengaktif merujuk pada penelitian yang dilakukan Estudillo *et al.* (1977) yang mengemukakan, bahwa H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dapat digunakan sebagai pengganti ZnCl<sub>2</sub> karena menghasilkan rendemen yang lebih besar dengan daya jerap yang tidak jauh berbeda. Arang hasil perendaman kemudian dipanaskan pada suhu 550°C, 650°C, 750°C dan 850°C dan dialiri uap panas selama 1 jam. Uap panas yang digunakan memiliki suhu 125°C dan tekanan 0,025 mbar. Hasil analisa fisiko-kimia arang aktif pada penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisiko-kimia arang aktif kayu jarak hasil penelitian pendahuluan  
*Table 2. Preliminary research results on physico-chemical properties of activated charcoal from jatropha wood*

Perlakuan (Treatments)	Rendemen (Yield) %	Kadar air (Moisture cont.) %	Zat terbang (Volatile matter) %	Kadar abu (Ash cont.) %	Karbon terikat (Fixed carbon) %	Daya serap iod (Iodine abs.) mg/g	Daya serap benzena (Benzene abs.) %
A0B1	81.00	9.40	14.64	23.03	62.33	481.93	12.46
A1B1	68.30	10.79	14.76	25.58	59.66	595.92	7.65
A2B1	86.60	9.05	12.63	21.20	66.17	516.22	9.40
A0B2	60.00	14.42	17.28	32.78	49.94	714.58	10.60
A1B2	83.30	16.93	19.45	43.32	37.23	863.03	14.04
A2B2	81.60	15.74	21.09	27.13	51.78	806.83	11.60
A0B3	73.30	12.50	17.56	31.03	51.41	674.48	7.30
A1B3	75.00	12.72	20.89	25.36	53.75	642.36	8.50
A2B3	85.00	11.33	13.22	22.85	63.93	626.30	8.20
A2B4	15.40	11.78	20.67	42.44	36.89	875.60	7.48

Keterangan (Remarks) : A = Konsentrasi (Concentration of) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; A0= 0% ; A1= 2,5% ; A2= 5%. B = Suhu aktifasi (Activation temperature) ; B1= 550°C B2= 650°C ; B3= 750°C ; B4= 850°C.

Nilai daya serap iod yang diperoleh berkisar antara 516,22 mg/g – 875,60 mg/g. Nilai daya serap iod terendah diperoleh arang aktif dengan perlakuan suhu aktifasi 550°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%, sedangkan nilai yang tertinggi



diperoleh arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 850°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%.

Arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 650°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 2,5% dan 5% serta arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 850°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5% telah memenuhi SNI 06-3730-1995 mengenai nilai daya serap iodnya yaitu di atas 750 mg/g.

Atas dasar inilah, maka pada penelitian utama kisaran suhu aktivasi dilakukan pada suhu 650°C, 750°C dan 850°C, sedangkan kisaran konsentrasinya diperbesar menjadi 5%, 10% dan 15 %, dengan harapan akan memperoleh arang aktif dengan nilai daya serap iod dan rendemen yang lebih besar.

## **B. Penelitian Utama**

### **1. Arang Aktif**

#### **a. Rendemen arang aktif**

Nilai rendemen arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 51,65% – 69,00%. Hasil analisa keragaman menunjukkan, bahwa pengaruh suhu aktivasi, konsentrasi bahan pengaktif (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan interaksi kedua faktor tersebut tak berpengaruh nyata terhadap rendemen. Dengan demikian, berbagai kombinasi taraf konsentrasi bahan pengaktif dan suhu aktivasi dianggap memberi rendemen yang sama, yaitu diambil rata-rata keseluruhannya sebesar 58,10%.

Secara teoritis, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> bisa digunakan sebagai pelindung bahan dari panas. Semakin tinggi konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang digunakan, maka semakin sedikit bahan yang terbakar pada saat aktivasi, sehingga rendemen arang aktif yang dihasilkan juga lebih besar. Hal ini sesuai dengan penelitian Hartoyo (1993) yang mengemukakan, bahwa bahan kimia yang ditambahkan dapat memperlambat laju reaksi pada proses oksidasi.

Meningkatnya suhu aktivasi juga cenderung mengakibatkan turunnya rendemen arang aktif yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena panas akan mempercepat laju reaksi antara karbon dengan uap air, sehingga semakin banyak karbon yang terkonversi menjadi H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dan semakin sedikit karbon yang tersisa yang mengakibatkan rendemen arang aktif yang diperoleh sedikit. Hal ini sesuai dengan teori kinetika yaitu semakin tinggi suhu reaksi yang digunakan, maka laju reaksi akan bertambah cepat (Sudradjat, 1986b).

## **b. Kadar air**

Kadar air arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 3,70% – 14,16%. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa pengaruh suhu aktifasi, konsentrasi bahan pengaktif ( $H_3PO_4$ ) dan interaksi kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air. Dengan demikian berbagai kombinasi taraf suhu aktifasi dan konsentrasi bahan pengaktif dianggap memberi kadar air yang sama, yaitu diambil rata-rata keseluruhannya sebesar 8,15%.

Secara teoritis, semakin tinggi suhu aktifasi maka jumlah air yang menguap akan lebih banyak, sehingga kadar airnya juga semakin sedikit. Waktu dan kondisi penyimpanan serta pengolahan arang aktif seperti penggilingan dan pengayakan juga akan mempengaruhi nilai kadar air arang aktif, karena arang aktif bersifat higroskopis yaitu menyerap uap air atau molekul lain jika kontak dengan udara, sehingga kemampuannya untuk mengadsorpsi gas atau cairan lain akan menurun. Hal ini terjadi karena pori-pori arang aktif telah terisi atau tertutup oleh atom atau molekul tersebut (Pari,1996).

Kadar air dari semua sampel yang dihasilkan memenuhi standar kualitas arang aktif berbentuk serbuk (SNI 06-3730-95) yaitu < 15%. Nilai tersebut bahkan lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai kadar air kontrol dan kadar air arang aktif komersial berbentuk serbuk, kecuali arang aktif dengan perlakuan suhu aktifasi 650°C dan konsentrasi  $H_3PO_4$  5%.

## **c. Kadar zat mudah menguap**

Penetapan nilai kadar zat mudah menguap bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa yang belum menguap pada proses karbonisasi dan aktifasi, tetapi menguap pada suhu 950°C. Menurut Smisek (1970), komponen yang terdapat dalam arang aktif adalah air, abu, karbon terikat, nitrogen dan sulfur. Pada pemanasan diatas 900°C nitrogen dan sulfur akan menguap. Komponen inilah yang disebut sebagai zat mudah menguap.

Nilai kadar zat mudah menguap yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 8,65% – 21,04%. Hasil analisa keragaman menunjukkan, bahwa pengaruh suhu aktifasi, konsentrasi bahan pengaktif ( $H_3PO_4$ ) dan interaksi kedua faktor tersebut tak berpengaruh nyata terhadap kadar zat terbang. Dengan demikian, berbagai kombinasi taraf suhu aktifasi dan taraf konsentrasi bahan pengaktif

dianggap memberi kadar zat terbang yang sama, yaitu diambil rata-rata keseluruhannya sebesar 14,54%.

Secara teoritis, meningkatnya konsentrasi  $H_3PO_4$  cenderung akan meningkatkan kadar zat mudah menguap. Hal ini dapat disebabkan karena  $H_3PO_4$  yang ditambahkan akan melapisi dan melindungi bahan dari panas, sehingga semakin tinggi konsentrasi  $H_3PO_4$  maka semakin sedikit sulfur dan nitrogen dalam bahan yang ikut terbakar dan menguap pada suhu  $950^\circ C$ . Kadar zat terbang yang tinggi akan mengurangi daya serap, karena ada sebagian pori-pori arang aktif yang masih tertutupi zat-zat terbang seperti persenyawaan karbon, sulfur dan nitrogen.

Peningkatan suhu aktivasi akan menurunkan kadar zat mudah menguap. Hal ini terjadi karena pada suhu tinggi penguraian senyawa non karbon seperti  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  dan  $H_2$  dapat berlangsung sempurna (Kuriyama, 1961). Kadar zat mudah menguap semua sampel memenuhi standar arang aktif berbentuk serbuk menurut SNI 06-3730-95 yaitu maksimum 25%. Nilai kadar zat menguap juga lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol, kecuali arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi  $650^\circ C$  dan konsentrasi  $H_3PO_4$  5% dan 15%.

#### **d. Kadar abu**

Abu merupakan komponen anorganik yang tertinggal setelah bahan dipanaskan pada suhu  $500^\circ C - 600^\circ C$  dan terdiri dari kalium, natrium, magnesium, kalsium dan komponen lain dalam jumlah kecil (Joslyn, 1970).

Kadar abu arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar 19,29% – 40,63%. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa pengaruh suhu aktivasi, konsentrasi bahan pengaktif ( $H_3PO_4$ ) dan interaksi kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu. Dengan demikian berbagai kombinasi taraf suhu aktivasi dan taraf konsentrasi bahan pengaktif dianggap memberi kadar abu yang sama, yaitu diambil rata-rata keseluruhannya sebesar 34,86%.

Secara teoritis, peningkatan suhu aktivasi cenderung meningkatkan kadar abu arang aktif, karena semakin tinggi suhu aktivasi, bahan akan lebih mudah teroksidasi dan menghasilkan komponen-komponen anorganik. Selain itu, suhu aktivasi yang tinggi memungkinkan terbentuknya oksida logam dari hasil interaksi bahan kimia yang digunakan dengan besi kawat kasa pembungkus arang aktif dan tungku aktivasi (*retort*), sehingga kandungan komponen anorganik pada arang

aktif bertambah besar dibandingkan dengan arangnya. Menurut Sudradjat (1985), kadar abu yang tinggi dapat mengurangi kemampuan arang aktif untuk menyerap gas dan larutan, karena kandungan mineral yang terdapat dalam abu menyebar dalam kisi-kisi arang aktif.

Nilai kadar abu semua sampel lebih rendah bila dibandingkan dengan kontrol, kecuali arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 650°C dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%. Namun nilai kadar abu semua sampel lebih tinggi bila dibandingkan dengan arang aktif komersial. Nilai kadar abu semua sampel tidak memenuhi standar kualitas arang aktif berbentuk serbuk menurut SNI 06-3730-95 karena nilainya >10%.

#### **e. Kadar karbon terikat**

Bahan baku yang mengandung kadar karbon tinggi berpotensi besar untuk dijadikan sebagai bahan baku arang aktif. Menurut Sudradjat (1986b) arang dapat dibuat menjadi arang aktif bila mengandung kadar karbon yang cukup tinggi yaitu sekitar 70% - 80%. Kadar karbon terikat menunjukkan besarnya kemurnian arang aktif tersebut.

Nilai kadar karbon terikat yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 38,34% – 68,91%. Hasil analisa keragaman menunjukkan, bahwa pengaruh suhu aktivasi, konsentrasi bahan pengaktif (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan interaksi kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kadar karbon terikat. Dengan demikian, berbagai kombinasi taraf suhu aktivasi dan taraf konsentrasi bahan pengaktif dianggap memberi kadar karbon terikat yang sama, yaitu diambil rata-rata keseluruhannya sebesar 50,61%.

Kadar karbon terikat arang aktif lebih kecil dari kadar karbon terikat pada arang. Hal ini disebabkan terjadinya kerusakan pelat-pelat karbon, karena terjadi oksidasi yang berlebihan. Meningkatnya daya oksidasi, baik oleh suhu yang tinggi maupun oleh gas pengoksidasi yang dialirkan akan menyebabkan kerusakan dinding pori, sehingga luas permukaan dinding pori akan menurun.

Kadar karbon terikat sangat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu. Semakin besar nilai kadar zat mudah menguap dan kadar abu, maka kadar karbon terikat akan semakin rendah. Nilai kadar karbon terikat berbanding lurus dengan kemampuan adsorpsi arang aktif tersebut, sehingga semakin besar

kadar karbon terikat, maka kemampuan arang aktif untuk menyerap gas atau larutan akan menjadi lebih besar pula.

Kadar karbon terikat yang dihasilkan tidak memenuhi standar arang aktif berbentuk serbuk menurut SNI 06-3730-95 ( $> 65\%$ ), kecuali arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi  $750^{\circ}\text{C}$  dan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15%. Namun nilai kadar karbon terikat semua sampel lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, kecuali arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi  $650^{\circ}\text{C}$  dan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  5%. Nilai semua sampel tersebut berada di bawah nilai karbon terikat dari arang aktif komersial berbentuk serbuk.

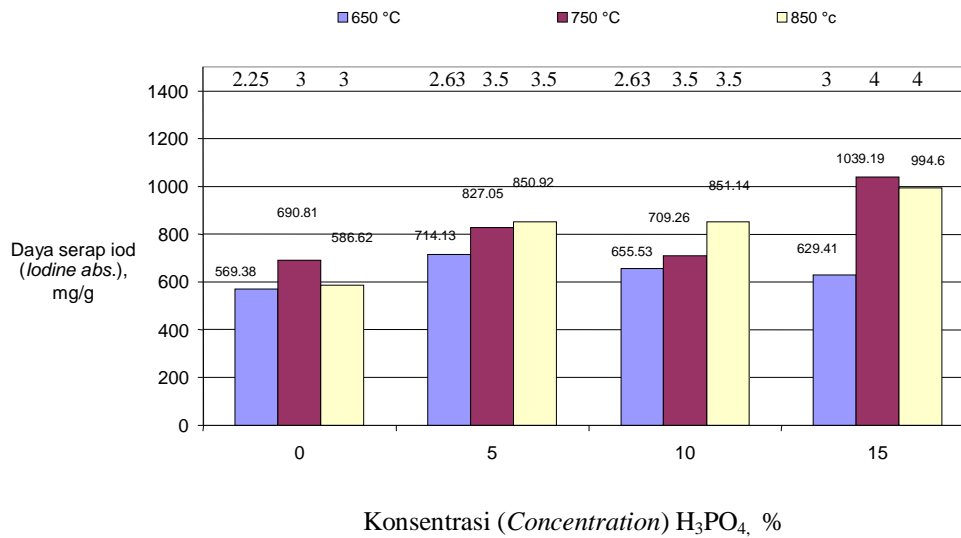
#### **f. Daya serap terhadap iod**

Daya serap arang aktif terhadap iod menunjukkan kemampuan arang aktif dalam menyerap zat yang mempunyai ukuran molekul yang lebih kecil dari 10 Angstrom. Semakin banyak iod yang terserap menunjukkan semakin banyak pula struktur mikropori yang dapat dimasuki oleh molekul polar yang mempunyai ukuran kurang dari 10 Angstrom.

Daya serap arang aktif terhadap iodium berkisar  $629,42 \text{ mg/g} - 1039,20 \text{ mg/g}$ . Nilai daya serap arang aktif terhadap iodium terendah diperoleh dari sampel dengan perlakuan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15% dan suhu aktivasi  $650^{\circ}\text{C}$ , sedangkan nilai tertinggi diperoleh dari sampel dengan perlakuan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15% dan suhu aktivasi  $750^{\circ}\text{C}$ .

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa pengaruh suhu aktivasi dan konsentrasi bahan pengaktif ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) berpengaruh nyata terhadap daya serap iod, sedangkan interaksi kedua faktor tersebut ternyata tak berpengaruh nyata terhadap daya serap iod tersebut pada taraf 5%.

Hasil Uji Duncan menunjukkan, bahwa daya serap arang aktif terhadap iod dipengaruhi oleh suhu aktivasi dan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Daya serap iod tertinggi berdasarkan uji Duncan adalah arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi  $750^{\circ}\text{C}$  dan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15% serta arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi  $850^{\circ}\text{C}$  dan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  15%. Kedua sampel tersebut memiliki nilai daya serap iod yang tidak berbeda nyata. Histogram hubungan konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan daya serap iod pada tiga taraf suhu aktivasi ( $650^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$  dan  $850^{\circ}\text{C}$ ) dapat dilihat pada Gambar 1.



Keterangan (*Remarks*) : Angka rata-rata yang diikuti oleh skor yang sama tak berbeda nyata :  $4 > 3 > 2 > 1 > 0$   
 (Average value followed with the same score is not significantly different:  $4 > 3 > 2 > 1 > 0$ )  
 Nilai skor adalah dari manipulasi hasil uji tes Tukey (*Score values were manipulated from the results of Tukey test*)

Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi bahan pengaktif (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dengan daya serap iod pada tiga taraf suhu aktivasi 650°C, 750°C dan 850°C  
 Figure 1. Relationship between H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentration and iodine absorption at activation temperature of 650°C, 750°C and 850°C

Peningkatan konsentrasi bahan pengaktif (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) cenderung menghasilkan arang aktif dengan daya serap iod yang lebih besar. Hal ini terjadi karena bahan pengaktif akan membantu pembukaan permukaan pori yang semula tertutup deposit hidrokarbon, sehingga pori-pori arang aktif menjadi semakin banyak atau luasan permukaan arang aktif meningkat.

Daya serap iod meningkat pada arang aktif dengan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%, namun pada konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10% dan 15% sebagian sampel mengalami penurunan. Hal ini mungkin disebabkan karena jumlah asam fosfat yang diserap dan melapisi arang aktif lebih banyak, sehingga oksida logam hasil interaksi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan besi kawat kasa dan tungku aktivasi juga lebih banyak dan menutupi pori-pori arang aktif. Arang aktif dengan perlakuan suhu aktivasi 750°C dan konsentrasi 10% mengalami peningkatan daya serap iod setelah diberi perlakuan dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15% pada suhu yang sama.

Semua sampel memiliki nilai daya serap terhadap iodium lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Sampel yang diaktivasi pada suhu 750°C (konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5% dan 15%) dan 850°C (konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%, 10% dan

15%) memiliki kisaran nilai daya serap terhadap iodium yang memenuhi standar kualitas arang aktif berbentuk serbuk menurut SNI 06-3730-95 yaitu minimal 750 mg/g, sehingga efektif bila digunakan sebagai pemurni, penjernih air dan penyerap zat warna pada cairan. Nilai daya serap iod pada kelima sampel tersebut lebih besar daripada nilai daya serap iod pada arang aktif komersial.

#### **g. Daya serap terhadap benzena**

Daya serap terhadap benzena menunjukkan kemampuan arang aktif dalam menyerap gas yang bersifat non polar dengan ukuran molekul 6 Angstrom. Daya serap arang aktif terhadap benzena berkisar 8,61% – 18,90%. Nilai daya serap arang aktif terhadap benzena terendah diperoleh dari sampel dengan perlakuan  $H_3PO_4$  10% dan suhu aktivasi  $650^\circ C$ , sedangkan nilai tertinggi diperoleh dari sampel dengan perlakuan  $H_3PO_4$  15% dan suhu aktivasi  $850^\circ C$ .

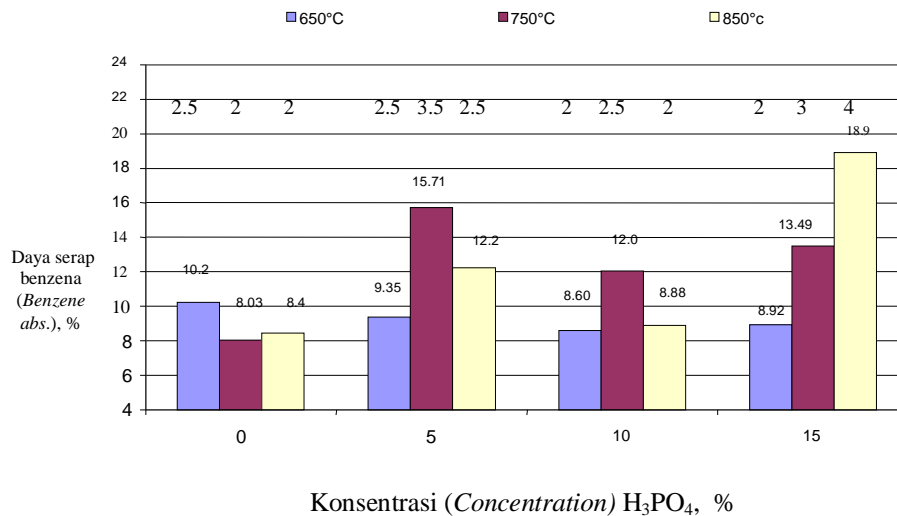
Hasil analisa keragaman menunjukkan, bahwa pengaruh konsentrasi bahan pengaktif ( $H_3PO_4$ ) berpengaruh nyata terhadap daya serap iod, sedangkan pengaruh suhu aktivasi dan interaksinya dengan konsentrasi bahan pengaktif tersebut ternyata tak berpengaruh nyata terhadap daya serap benzena, tetapi pengaruh interaksi tersebut nyata pada taraf 10%.

Dari uji Duncan dapat diketahui bahwa arang aktif dengan perlakuan suhu  $850^\circ C$  dan konsentrasi  $H_3PO_4$  15% memiliki daya serap benzena yang tertinggi bila dibandingkan dengan sampel lainnya. Histogram hubungan konsentrasi  $H_3PO_4$  dengan daya serap benzena pada tiga taraf suhu aktivasi ( $650^\circ C$ ,  $750^\circ C$  dan  $850^\circ C$ ) dilihat pada Gambar 2.

Secara teoritis, peningkatan suhu aktivasi dapat meningkatkan daya serap arang aktif terhadap benzena. Hal ini dapat disebabkan karena semakin tinggi suhu, maka semakin banyak pelat-pelat karbon yang bergeser yang akan mendorong senyawa hidrokarbon, ter dan senyawa organik lainnya untuk keluar pada saat aktivasi. Rendahnya nilai daya serap benzena dapat disebabkan karena pori-pori arang aktif tertutup oleh senyawa non karbon yang tidak terdorong keluar permukaan arang aktif pada saat aktivasi (Pari, 1996).

Nilai kadar benzena semua sampel lebih rendah bila dibandingkan arang aktif komersial dan nilainya tidak memenuhi SNI 06-3730-95 yaitu minimal 25%.

Hal ini menunjukkan, bahwa arang aktif yang dihasilkan dari penelitian ini kurang efektif bila digunakan untuk menyerap gas.



Keterangan (*Remarks*) : Angka rata-rata yang diikuti oleh skor yang sama tak berbeda nyata :  $4 > 3 > 2 > 1 > 0$   
*(Average values followed with the same score is not significantly different  $4 > 3 > 2 > 1 > 0$ )*  
 Nilai skor diperoleh dari manipulasi hasil uji tes Tukey (*Score values were manipulated from the results of Tukey test*)

Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi bahan pengaktif ( $H_3PO_4$ ) dengan daya serap benzena pada tiga taraf suhu aktivasi 650°C, 750°C dan 850°C

*Figure 2. The relationship between  $H_3PO_4$  concentration with benzene absorption at three activation temperatures of 650°C, 750°C and 850°C*

## 2. Pemucatan Minyak

Proses pemucatan dapat mengurangi kandungan komponen lain yang tidak diinginkan seperti zat warna, asam lemak bebas, peroksida dan hasil pemecahannya (aldehid dan keton) serta kandungan logam (Roy, 1985).

Arang aktif yang dipilih untuk memucatkan minyak adalah arang aktif yang memiliki nilai daya serap terhadap iodium tertinggi yaitu arang aktif dengan perlakuan  $H_3PO_4$  15% dan suhu aktivasi 750°C. Banyaknya arang aktif yang ditambahkan sebesar 1%, 3% dan 5% (b/b).

### a. Rendemen pemucatan

Penetapan rendemen pemucatan bertujuan untuk mengetahui perbandingan minyak pucat yang diperoleh dengan jumlah minyak kasar (crude). Rendemen



minyak arang aktif yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 79,34% – 93,15%.

Semakin besar konsentrasi arang aktif yang digunakan dalam pemucatan minyak, rendemen pemucatannya semakin rendah. Hal ini disebabkan karena kotoran yang tertinggal dalam arang aktif juga semakin banyak, sehingga minyak pucat yang diperoleh semakin sedikit.

Tabel 3. Sifat minyak jarak pagar setelah dipucatkan menggunakan arang aktif  
*Table 3. Properties of jatropha oil after bleaching using activated charcoal*

Parameter (Parameters)	Persentase arang aktif (Activated charcoal percentage), b/b*			
	0	1	3	5
Rendemen (Yield), %	-	93,15	87,34	79,34
Kejernihan (Transparency), %	45,70	90,28	96,05	96,80
Bilangan asam (Acid value)	21,82	15,90	14,97	14,92
Bilangan peroksida (Peroxide number)	1,99	3,55	3,19	2,76

Keterangan (Remark) : b/b = atas dasar berat (*as the weight basis*)

#### **b. Kejernihan**

Kejernihan diukur dengan persen transmisi yaitu menunjukkan banyaknya cahaya yang bisa dilewatkan dalam sampel dibandingkan dengan standar (air destilat). Semakin besar persen transmisi dalam pemucatan minyak menunjukkan bahwa minyak semakin jernih, karena semakin banyak cahaya yang bisa dilewatkan melalui minyak tersebut.

Peningkatan kejernihan minyak menunjukkan berkurangnya zat pengotor, seperti zat warna, asam lemak bebas, peroksida dan hasil pemecahannya (aldehid dan keton) serta kandungan logam dalam minyak. Zat-zat pengotor tersebut sebagian ikut terabsorpsi oleh arang aktif.

Hasil transmisi minyak jarak pagar kasar 45,70%. Persen transmisi minyak jarak pagar yang telah dipucatkan dengan arang aktif 1%, 3% dan 5% adalah 90,28% ; 96,05% dan 96,8% (Tabel 3). Arang aktif yang ditambahkan mampu meningkatkan kejernihan minyak jarak pagar kasar sampai > 100%. Nilai persen transmisi pada minyak yang dipucatkan dengan arang aktif sebesar 3% dan 5% tidak berbeda jauh.

### **c. Bilangan asam**

Bilangan asam adalah ukuran dari jumlah asam lemak bebas yang dihitung berdasarkan berat molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak. Bilangan asam dinyatakan sebagai jumlah mg larutan KOH 0,1 N yang dibutuhkan untuk menetralkan asam-asam lemak bebas pada 1 g minyak atau lemak.

Asam-asam lemak dihasilkan dari minyak atau lemak yang mengalami reaksi hidrolisis atau oksidasi. Asam-asam lemak bebas yang terbentuk dari kedua reaksi tersebut akan mempengaruhi kualitas minyak atau lemak. Nilai bilangan asam yang tinggi menunjukkan kandungan asam lemak bebas dalam minyak tersebut juga tinggi, sehingga akan menyebabkan minyak semakin mudah rusak (tengik).

Minyak jarak pagar kasar memiliki bilangan asam 21,82. Tingginya bilangan asam mungkin disebabkan karena pemakaian panas yang berlebihan pada saat ekstraksi biji jarak pagar. Panas yang berlebihan akan menimbulkan reaksi hidrolisis dan oksidasi termal yang menghasilkan asam-asam lemak bebas.

Bilangan asam pada minyak hasil pemucatan berkisar antara 14,92 – 15,90. Hal ini berarti arang aktif kayu jarak pagar dapat menurunkan bilangan asam minyak jarak pagar kasar sekitar 27,13% – 31,62%. Nilai bilangan asam pada minyak yang dipucatkan dengan arang aktif 3% dan 5% tidak banyak berbeda.

### **d. Bilangan peroksida**

Bilangan peroksida merupakan indikator terjadinya reaksi oksidasi pada tahap awal, sehingga sering digunakan sebagai parameter tingkat kerusakan minyak. Prinsip dari penghitungan bilangan peroksida adalah pengukuran sejumlah iod yang dibebaskan dari KI melalui reaksi oksidasi oleh peroksida pada suhu ruang di dalam medium asam asetat kloroform.

Pada proses oksidasi terjadi penambahan molekul-molekul oksigen pada ikatan rangkap dari asam lemak tidak jenuh. Asam lemak pada umumnya semakin reaktif terhadap oksigen dengan bertambahnya jumlah ikatan rangkap pada rantai molekulnya. Molekul-molekul yang aktif dari minyak akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan peroksida.

Nilai bilangan peroksida pada minyak jarak pagar kasar adalah 1,99 mg O<sub>2</sub>/100 g sampel. Awalnya peroksida ini bisa terbentuk dari hasil reaksi oksidasi selama proses ekstraksi, yaitu pada proses pemanasan. Selama penyimpanan,

peroksida ini merupakan *oxidizing agent*, sehingga menyebabkan reaksi oksidasi tetap berlanjut.

Bilangan peroksida pada minyak pucat berkisar antara 3,55 mg – 2,66 mg O<sub>2</sub>/100 g sampel. Bilangan peroksida pada semua sampel setelah mengalami proses pemucatan cenderung meningkat. Hal ini mungkin disebabkan karena adanya oksidasi lebih lanjut pada waktu penyimpanan akibat proses pemanasan ekstraksi minyak serta kerusakan oksidasi termal akibat pemanasan pada saat proses pemutihan (suhu 80°C selama 1 jam).

Semakin banyak arang aktif yang ditambahkan pada minyak, maka bilangan peroksida semakin menurun. Hal ini bisa terjadi karena arang aktif mampu menyerap dan mengikat senyawa peroksida atau mungkin disebabkan karena peroksida yang terbentuk telah terurai menjadi zat-zat yang mudah menguap (aldehid, keton dan asam-asam organik), sehingga terjadi penurunan bilangan peroksida. Hal ini bisa saja terjadi karena peroksida aktif bersifat tidak stabil, dan bila proses oksidasi berlanjut maka peroksida tersebut akan terurai menjadi zat yang mudah menguap.

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

1. Karakteristik arang aktif dari tempurung biji jarak pagar yang dihasilkan pada penelitian ini antara lain adalah rendemen (51,65% – 69,0%), kadar air (3,70% – 14,16%), kadar zat mudah menguap (8,64% – 21,04%), kadar abu (19,29% – 40,63%), kadar karbon terikat (38,34% – 68,91%), daya serap terhadap iod (629,4 mg/g – 1039,2 mg/g) dan terhadap benzena (8,61% – 18,90%).
2. Keseluruhan karakteristik arang aktif yang dibuat memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan arang aktif komersial kecuali kadar abu, kadar karbon terikat dan daya serap benzena. Arang aktif yang dihasilkan juga memenuhi standar arang aktif berbentuk serbuk menurut SNI 06-3730-95, kecuali kadar abu dan daya serap benzena.
3. Daya serap arang aktif dipengaruhi secara nyata oleh konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan suhu aktivasi. Semakin tinggi suhu aktivasi dan konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang digunakan, maka semakin baik daya serap arang aktif yang dihasilkan. Sampel yang terbaik adalah sampel yang memiliki daya serap iod tertinggi yaitu

sampel yang diaktifasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15% pada suhu 750°C. Nilai daya serap iod pada sampel tersebut tidak berbeda nyata dengan sampel yang diaktifasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15% pada suhu 850°C. Arang aktif yang dihasilkan kurang efektif bila digunakan untuk menyerap gas, tetapi cukup efektif bila digunakan untuk menyerap senyawa polar yang mempunyai ukuran molekul yang lebih kecil dari 10 Angstrom.

4. Arang aktif yang dihasilkan, ternyata baik digunakan dalam proses pemucatan minyak jarak pagar. Hal ini dapat diketahui dari peningkatan nilai kejernihan minyak jarak sebesar 92,08% – 105,96%. Jumlah arang aktif terbaik yang ditambahkan ke dalam minyak adalah 3% dari berat minyak yang akan dipucatkan. Jumlah ini memberikan nilai kejernihan minyak dan nilai bilangan asam yang tidak berbeda nyata dengan penambahan arang aktif sebesar 5%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1999. Standard Test Method for Total Ash Content, Moisture, Iodine Number, Volatile Matter of Activated Carbon. American Society for Testing and Material. Philadelphia. ASTM D 2866-94.
- \_\_\_\_\_. 1995. Arang Aktif Teknis. Dewan Standarisasi Nasional. Jakarta. SNI 06-3730-1995.
- \_\_\_\_\_. 2002. Statistik Industri 2002. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- Estudillo, J. M., S. Luis., E. C. Amio & F. N. Tamolang. 1977. Charcoal production and utilization of coconut shells and trunk in the Philippines. Forest Product Research. Madison.
- Figueiredo, J.L. & J.A. Moulijn. 1986. Carbon and coal gasification science and technology. Martinus Nijhoff Publ. Boston.
- Guibitz, G.M., M. Mittelbach & M. Trabi. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Bioresource Tech. (67): 73-78.
- Hartoyo & Gustan Pari. 1993. Peningkatan rendemen dan daya serap arang aktif dengan cara kimia dosis rendah dan gasifikasi. Buletin Penelitian Hasil Hutan. Vol. 11 (5) : 205 - 208. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia. Terjemahan Badan Litbang Kehutanan. Departemen Kehutanan. Jakarta.

- Jankowska, H., Andrzes, S. & Jerzy, C. 1991. Active Carbon. Edisi ke-1. Ellis Horwood. New York.
- Joslyn, M. A. 1970. Method in Food Analysis. Academic Press. New York.
- Kuriyama, A. 1961. Destructive distillation of wood. Ministry of Agriculture and Forestry Overseas. Technical Cooperation Agency. Tokyo.
- Pari, G. 1996. Kualitas arang aktif dari 5 jenis kayu. Buletin Penelitian Hasil Hutan. Vol. 14 (2) : 60-68. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- Roy, G. M. 1985. Activated carbon applications in the food and pharmaceutical industries. Tachnomic. Lancaster.
- Sastroamidjojo, S. 1997. Obat Asli Indonesia. Dian Rakyat. Jakarta.
- Smisek, M. & S. Cerny. 1970. Active carbon: manufacture, properties and application. Elsevier Publishing Co. New York.
- Sudradjat, R. 1985. Pengaruh beberapa faktor pengolahan terhadap sifat arang aktif. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol 5 (11): 343-39. Pusat Litbang Hasil Hutan. Bogor.
- \_\_\_\_\_. 1986a. Pedoman teknis pembuatan arang. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 1986b. Pedoman teknis pembuatan arang aktif. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Jakarta.
- Sudradjat, R. & D. Setiawan. 2004. Teknologi pembuatan biodisel dari minyak biji jarak pagar. Laporan Hasil Penelitian. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan. Bogor. Tidak dipublikasi.
- Watt, J. M. & Breyer-Brandwijk, M. G. 1962. The medical and poisonous plants of Southern and Easthtern Africa. Edisi 2nd. E & S. Livingstone, Ltd. Edinburg and London.

Lampiran 1. Nilai daya serap iod dan benzena serta analisis sidik ragamnya  
*Appendix 2. Iodine and benzene absorption values and its ANOVA*

Perlakuan ( <i>Treatments</i> )		Sidik ragam (ANOVA)	
		F-hitung ( <i>F-calc.</i> ) / Peluang ( <i>Probability</i> )	
Sumber ( <i>Source</i> )		DS. Iod	DS. Benzena
A. Suhu ( <i>Temperature</i> )		3,98* (0,047)	3,15 (0,0079)
B. Konsentrasi ( <i>Concentration</i> ) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		3,73* (0,042)	34,16* (0,031)
		Uji Duncan ( <i>Duncan test</i> )	
Perlakuan ( <i>Treatments</i> )		Rata-rata ( <i>Average</i> )	
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	569,39	10,23
	B <sub>2</sub>	714,14 bac	9,36 bc
	B <sub>3</sub>	655,5 bc	8,61 c
	B <sub>4</sub>	629,4 c	8,93 c
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	690,8	8,04
	B <sub>2</sub>	827,06 bac	15,72 ba
	B <sub>3</sub>	709,27 bac	12,05 bc
	B <sub>4</sub>	1039,2 a	13,50 bac
A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	586,62	8,44
	B <sub>2</sub>	850,93 bac	12,24 bc
	B <sub>3</sub>	851,14 bac	8,89 c
	B <sub>4</sub>	994,6 ba	18,9 a

Keterangan (*Remarks*) : A = Suhu (*Temperature*) : A<sub>1</sub> = 650°C ; A<sub>2</sub> = 750°C ; A<sub>3</sub> = 850°C ;  
 B = Konsentrasi (*Concentration*) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> : B<sub>1</sub> = 0% ; B<sub>2</sub> = 5% ;  
 B<sub>3</sub> = 10% ; B<sub>4</sub> = 15%. Parameter lainnya selain daya serap iod dan benzena tidak berbeda nyata (*Other parameters than iodine and benzene absorption are not significantly different*). Huruf yang sama pada lajur yang sama tidak berbeda nyata (*The same letters in the same row are not significantly different*).



