AKTIVASI KIMIA-FISIK LIMBAH SERUTAN ROTAN

MENJADI KARBON AKTIF

CHEMICAL-PHYSICAL ACTIVATION OF

RATTAN SHAVINGS WASTE

TO PRODUCE ACTIVATED CARBONS

Andy Mizwar\*), Haryati

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

*\*) E-mail : andy.mizwar@gmail.com*

**Abstrak**

Limbah rotan dari industri kerajinan dan mebel berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena memiliki kandungan holoselulosa dan kadar karbon yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas dari aktivasi kimia menggunakan larutan natrium klorida (NaCl) yang dilanjutkan dengan aktivasi fisik dalam pembuatan karbon aktif berbahan dasar limbah serutan rotan. Pembuatan karbon aktif diawali dengan proses karbonisasi pada suhu 250°C selama 1 jam. Selanjutnya aktivasi kimia menggunakan larutan NaCl dengan variasi konsentrasi 10%, 15% dan 20% serta waktu perendaman selama 10, 15 dan 20 jam. Aktivasi fisik dilakukan dengan pembakaran pada suhu 700°C selama 30 menit. Analisis karakteristik fisik-kimia karbon aktif mengacu pada SNI 06-3730-95, meliputi kadar air, *fixed carbon*, dan *iodine number*, sedangkan perhitungan luas permukaan spesifik karbon aktif dilakukan dengan Metode Sears. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi optimum aktivasi kimia terjadi pada konsentrasi NaCl 10% dan lama perendaman 10 jam dengan hasil analisis kadar air 2.90%, *fixed carbon* 72.70%, *iodine number* 994.59 mg/g dan luas permukaan 1587.67 m²/g. Peningkatan *fixed carbon*, *iodine number* dan luas permukaan karbon aktif berbanding terbalik dengan peningkatan konsentrasi NaCl dan lama waktu perendaman, sedangkan peningkatan kadar air pada karbon aktif berlaku sebaliknya.

***Kata kunci:*** *aktivasi kimia-fisik, karbon aktif, luas permukaan, NaCl, rotan*

***Abstract***

*Rattan waste from handicraft and furniture industry could potentially be used as raw material of activated carbon due to high content of holoselulosa and carbon. This paper investigates the effectiveness of chemical activation using sodium chloride (NaCl) followed by physical activation in the making of activated carbon-based on rattan shavings waste. Preparation of the activated carbon began with the carbonization process at 250°C for 1 hour. Furthermore chemical activation using a variation of NaCl concentrations 10%, 15% and 20% as well as the time of immersion 10, 15 and 20 hours. Physical activation was done by burning at 700°C for 30 minutes. Analysis of the physical and chemical characteristics of the activated carbon was referred to the SNI 06-3730-95, including of moisture content, fixed carbon and iodine number, while the calculation of the specific surface area was done by the Sears’s method. The results of this study showed that the optimum conditions of chemical activation occurred in impregnation by NaCl 10% for 10 hours. The water content, fixed carbon, iodine number and surface area of activated carbon was 2.90%, 72.70%, 994.59 mg/g and 1587.67 m²/g respectively. The increase values of fixed carbon, iodine number, and surface area was inversely proportional to the increase of NaCl concentration and the length of impregnation time, while the increase of water content applied vice versa.*

**Keywords:** *chemical-physical activation, activated carbon, surface area, NaCl, rattan*

1. **PENDAHULUAN**

Karbon aktif adalah bahan karbon yang telah mengalami proses aktivasi untuk meningkatkan luas permukaannya ([Hayashi *et al.*, 2000](#_ENREF_13); [Tang *et al.*, 2012](#_ENREF_25)). Karena kemampuannya dalam mengadsorpsi gas dan zat terlarut yang tinggi, karbon aktif menjadi salah satu jenis adsorben yang paling banyak digunakan untuk pemisahan gas, pengolahan air limbah, air minum dan sebagai katalis ([Adinata *et al.*, 2007](#_ENREF_2); [Hayashi *et al.*, 2000](#_ENREF_13)). Kebutuhan karbon aktif semakin meningkat seiring dengan meningkatnya masalah pencemaran lingkungan ([Adinata *et al.*, 2007](#_ENREF_2)). Di sisi lain, dalam beberapa tahun terakhir ini industri karbon aktif sedang menghadapi masalah kelangkaan bahan baku yang mengakibatkan biaya produksi dan harga jual karbon aktif menjadi tinggi ([Tang *et al.*, 2012](#_ENREF_25)). Merespons kondisi tersebut, telah banyak dilakukan penelitian untuk mencari bahan baku karbon aktif yang lebih murah, terutama dengan memanfaatkan limbah pengolahan hasil pertanian dan kehutanan, antara lain: tempurung kelapa ([Chen *et al.*, 2010](#_ENREF_8); [Hu dan Srinivasan, 1999](#_ENREF_14); [Yang *et al.*, 2010](#_ENREF_28)), cangkang kelapa sawit ([Guo dan Lua, 2002a](#_ENREF_9); [Kushwaha *et al.*, 2013](#_ENREF_16); [Lua dan Jia, 2007](#_ENREF_18)), tongkol jagung ([Bagheri dan Abedi, 2011](#_ENREF_6); [Song *et al.*, 2013](#_ENREF_23); [Tsai *et al.*, 1997](#_ENREF_26)), serbuk gergaji ([Hameed *et al.*, 2007](#_ENREF_11); [Matos *et al.*, 2011](#_ENREF_19); [Zhang *et al.*, 2010](#_ENREF_29)), dan ampas tebu ([Kalderis *et al.*, 2008](#_ENREF_15); [Mirwan, 2005](#_ENREF_20)). [Ahmedna *et al.* (2000](#_ENREF_4)) mengemukakan bahwa limbah pengolahan hasil pertanian dan kehutanan yang mengandung lignoselulosa dengan kadar karbon lebih dari 45% merupakan bahan baku karbon aktif bermutu tinggi.

Kualitas karbon aktif tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, tapi juga dipengaruhi oleh metode aktivasinya ([Patil dan Kulkarni, 2012](#_ENREF_21)). Metode aktivasi karbon terdiri dari aktivasi fisik, kimia dan kombinasi aktivasi fisik-kimia ([Tang *et al.*, 2012](#_ENREF_25)). Aktivasi fisik biasanya dilakukan dengan gas CO2 atau dengan penguapan H2O ([Avelar *et al.*, 2010](#_ENREF_5)). Suhu optimum aktivasi fisik berkisar antara 600 - 800°C ([Adinata *et al.*, 2007](#_ENREF_2)). Sementara itu, beberapa aktivator yang biasa digunakan dalam aktivasi kimia adalah H3PO4, KOH, NaOH, ZnCl2, NaCl, Na2CO3, HCl, H2SO4 dan lain-lain ([Patil dan Kulkarni, 2012](#_ENREF_21); [Tang *et al.*, 2012](#_ENREF_25); [Verla *et al.*, 2012](#_ENREF_27)).

Berbeda dengan limbah hasil pertanian dan kehutanan yang lain, pemanfaatan limbah rotan (terutama dalam bentuk serutan) dari industri kerajinan dan mebel sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif belum banyak dikembangkan. Padahal dengan kandungan holoselulosa sebanyak 71 - 76%, selulosa 39 - 56%, lignin 18 - 27% dan silika 0.54 - 8% (Arifin, 2011; Jasni *et al*., 2000) serta kadar karbon sebanyak 44 - 52% ([Bunsal, 2000](#_ENREF_7)), rotan (termasuk limbah serutan rotan) sangat potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.

[Hameed *et al.* (2007](#_ENREF_11)) dan [Hameed *et al.* (2008](#_ENREF_12)) telah melakukan uji coba pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji rotan. Pada penelitian tersebut, karbonisasi serbuk gergaji rotan dilakukan pada suhu 700°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan larutan KOH dan diakhiri dengan aktivasi fisik pada suhu 850°C selama 4 jam. Karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan sebesar 1083 m²/g dan kapasitas adsorpsi *methylene blue* sebesar 294.14 mg/g. Namun, menurut [Lillo-Ródenas *et al.* (2004](#_ENREF_17)), larutan alkali hidroksida seperti KOH dan NaOH tidak direkomendasikan untuk digunakan sebagai aktivator pada pembuatan karbon aktif, karena sifatnya yang berbahaya, korosif dan mahal. Hal yang sama juga berlaku pada larutan ZnCl2 ([Guo dan Lua, 2002b](#_ENREF_10)). Oleh sebab itu, [Ahmad *et al.* (2008](#_ENREF_3)) melakukan percobaan pembuatan karbon aktif dari serbuk gergaji rotan menggunakan larutan H3PO4 sebagai aktivator. Karbonisasi dan aktivasi fisik dilakukan pada suhu 500°C selama 2 jam. Proses ini menghasilkan karbon aktif dengan kapasitas adsorpsi *disperse orange 30* sebesar 89.29 mg/g. Sementara itu, hasil penelitian [Mirwan (2005](#_ENREF_20)) pada pembuatan karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivator NaCl 15% dan lama perendaman 10 jam menghasilkan karbon aktif yang sifatnya serupa dengan karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan H3PO4. Lebih lanjut Cobb *et al*. (2012) dan Gimba *et al*. (2009) menjelaskan bahwa NaCl merupakan salah satu aktivator yang paling efektif dalam pembuatan karbon aktif, murah, tidak berbahaya dan tidak beracun.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektifitas dari aktivasi kimia dengan larutan NaCl yang dilanjutkan aktivasi fisik dengan pembakaran pada suhu 700°C dalam pembuatan karbon aktif berbahan dasar limbah serutan rotan.

# METODA

## Persiapan Bahan

Sampel limbah serutan rotan diambil dari salah satu sentra industri kerajinan lampit rotan di Kota Amuntai, Kabupaten Hulu Sungai Utara, Provinsi Kalimantan Selatan. Limbah serutan rotan yang telah terkumpul dicuci dengan air destilasi panas untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel, kemudian dijemur pada panas matahari selama 1 hari. Selanjutnya, limbah serutan rotan dipotong kecil-kecil (5 - 10 mm) untuk mendapatkan ukuran yang homogen, lalu dicuci dengan air destilasi dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah didinginkan pada suhu ruang, bahan disimpan di dalam desikator.

## Pembuatan Karbon Aktif

Pada penelitian ini, pembuatan karbon aktif diawali dengan proses karbonisasi bahan serutan rotan di dalam labu pengarangan pada suhu pembakaran 250°C selama 1 jam. Setelah didinginkan, arang yang terbentuk kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan 40 mesh. Partikel arang yang lolos ayakan 40 mesh (ukuran partikel < 400 µm) kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan larutan NaCl dengan variasi konsentrasi 10%, 15% dan 20% serta waktu perendaman selama 10, 15 dan 20 jam. Setiap variasi perlakuan dibuat masing-masing 3 buah sampel. Setelah perendaman, arang disaring dengan kertas saring (whattman No. 42) dan dicuci dengan air destilasi. Setelah itu, arang dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah kering, arang kemudian diaktivasi secara fisika pada suhu 700°C di dalam *furnace* selama 30 menit. Setelah proses aktivasi selesai, karbon aktif yang dihasilkan kemudian didinginkan dan disimpan di dalam desikator agar tetap kering.

## Analisis Karakteristik Karbon Aktif

Dalam penelitian ini, analisis karakteristik fisik-kimia karbon aktif dari limbah serutan rotan mengacu pada metode analisis mutu arang aktif menurut SNI 06-3730-95, meliputi: 1) kadar air, 2) *fixed carbon*, dan 3) *iodine number*. Rendemen (*yield*) karbon aktif yang dihasilkan ditentukan dengan persamaan :

|  |  |
| --- | --- |
|  | ….[1] |

Analisis luas permukaan spesifik karbon aktif dilakukan dengan Metode Sears ([Sears, 1956](#_ENREF_22)). Pengamatan morfologi karbon aktif dilakukan dengan *scanning electron microscope* (SEM), sedangkan konfirmasi unsur kimia pada karbon aktif dilakukan dengan *energy dispersive X-ray* (EDX) *analizer* menggunakan SEM EVO® MA 10, [Carl Zeiss Germany](http://corporate.zeiss.com/corporate/en_de/home.html).

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## Karakteristik karbon aktif yang dihasilkan

Hasil analisis karakteristik karbon aktif dari limbah serutan rotan disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel tersebut diketahui bahwa seluruh karakteristik fisik-kimia dari karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI 06-3730-95.

Pada penelitian ini, kadar air karbon aktif berkisar antara 2.90% sampai 5.10%, jauh di bawah kadar air maksimum yang dipersyarat-kan SNI 06-3730-95 yaitu sebesar 15%. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pembuatan karbon aktif dari limbah serutan rotan dengan menggunakan aktivasi kimia menggunakan NaCl dan aktivasi fisika pada suhu 700°C telah

Tabel 1. Karakteristik karbon aktif dari limbah serutan rotan

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Konsentrasi NaCl** | **Lama Perendaman** | **Kadar Air (%)** | ***Fixed carbon* (%)** | ***Iodine number* (mg/g)** | **Luas Permukaan (m²/g)** | **Rendemen****(%)** |
| 10% | 10 jam | 2.90 | 72.70 | 994.59 | 1587.67 | 42.11 |
|  | 15 jam | 3.83 | 68.41 | 922.21 | 1552.53 | 39.62 |
|  | 20 jam | 4.83 | 66.45 | 799.35 | 1466.23 | 38.49 |
| 15% | 10 jam | 3.03 | 70.40 | 989.38 | 1575.08 | 40.78 |
|  | 15 jam | 3.93 | 68.57 | 870.07 | 1527.50 | 39.72 |
|  | 20 jam | 4.87 | 65.78 | 764.61 | 1453.47 | 38.10 |
| 20% | 10 jam | 3.67 | 68.59 | 951.36 | 1558.93 | 39.73 |
|  | 15 jam | 4.10 | 67.49 | 833.59 | 1495.15 | 39.09 |
|  | 20 jam | 5.10 | 65.60 | 721.62 | 1423.27 | 38.00 |
| Standar SNI 06-3730-95untuk arang aktif serbuk | ≤ 15 | ≥ 65 | ≥ 750 | - | - |
|  |  |  |  |  |  |

berjalan optimum untuk mengurangi kadar air pada karbon aktif. Meskipun kadar air pada karbon aktif tidak berpengaruh langsung pada kemampuan adsorpsinya, namun keberadaan air di dalam karbon aktif dapat melarutkan karbon dan akan mengurangi kadar *fixed carbon* dan luas permukaan karbon aktif ([Ahmedna *et al.*, 2000](#_ENREF_4); [Subadra *et al.*, 2005](#_ENREF_24)).

Oleh karena itu, dengan rendahnya kadar air, karbon aktif diharapkan memiliki kadar *fixed carbon* dan luas permukaan yang lebih besar.

*Fixed carbon* adalah banyaknya karbon di dalam karbon aktif yang ditentukan berdasarkan hasil pengurangan dari berat sampel karbon aktif terhadap zat mudah menguap (*volatile*) dan abu (SNI 06-3730-95). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar *fixed carbon* pada karbon aktif dari limbah serutan rotan berkisar antara 65.60 - 72.70%. Kondisi ini terkait dengan keberadaan abu dan *volatile* di dalam karbon aktif sebesar 27.30 – 34.40% sebagai produk sampingan dari proses karbonasi dan aktivasi yang mengisi sebagian pori-pori karbon aktif ([Mirwan, 2005](#_ENREF_20); [Subadra *et al.*, 2005](#_ENREF_24)). Kadar *fixed carbon* ini berada dalam rentang nilai tipikal karbon aktif dari limbah hasil pertanian dan kehutanan yang dikemukakan oleh [Verla *et al.* (2012](#_ENREF_27)), yaitu sebesar 60 - 80%.

*Iodine number* adalah jumlah yodium 0.02 M, dalam miligram, yang diserap oleh setiap gram karbon aktif ([Verla *et al.*, 2012](#_ENREF_27)) dan merupakan indikator relatif porositas karbon aktif (Collin *et al*., 2006). Pada penelitian ini, *iodine number* karbon aktif dari limbah serutan rotan yang dihasilkan berkisar antara 721.62 - 994.59 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi kimia-fisik yang dilakukan telah berhasil meningkatkan porositas karbon aktif.

 Perlu dikemukakan di sini bahwa nilai *iodine number* dari karbon aktif yang dihasilkan dalam penelitian ini telah memenuhi standar karbon aktif untuk pengolahan air yang direkomendasi-kan oleh *American Water Works Association* yaitu sebesar 600 - 1100 mg/g (AWWA, 2010). Dengan demikian karbon aktif dari limbah serutan rotan ini berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben dalam proses pengolahan air.

Gambar 1menunjukkan morfologi serutan rotan dan karbon aktif yang dihasilkan. Permukaan serutan rotan halus dengan pori sangat kecil berupa jejak jaringan pembuluh (metaxylem, phloem dan protoxylem) pada batang rotan. Sebaliknya, morfologi karbon aktif menunjukkan sifat pori yang didominasi oleh mesopori (2 - 50 µm) sebagai hasil dari perubahan substansial akibat proses karbonisasi dan aktivasi kimia-fisik (Chowdhury *et al*., 2013).

Pada proses karbonisasi hampir semua unsur bukan karbon terlepas dalam bentuk gas,sedangkan karbon membentuk susunan kristal grafitik yang di dalamnya terdapat celah-celah bebas sebagai indikasi bahwa struktur dasar karbon sudah terbentuk ([Verla *et al.*, 2012](#_ENREF_27)).

Gambar 1**.** Foto SEM; (a) serutan rotan, dan (b) Karbon aktif (NaCl 10%, waktu perendaman 10 jam)

Komposisi kimia karbon aktif merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas karbon aktif selain struktur pori dan luas permukaan (Kaouah *et al*., 2013). Hasil analisis EDX menunjukkan bahwa serutan rotan didominasi oleh oksigen (57.96%) dan karbon (40.73%). Tingginya konsentrasi oksigen pada serutan rotan menegaskan tekstur bagian tengah batang rotan yang berpori dan diisi oleh oksigen (Krisdianto dan Jasni, 2005). Sedangkan pada karbon aktif (NaCl 10% dan waktu perendaman 10 jam) didominasi oleh karbon (69.96%) dan oksigen (27.73%). Berkurangnya jumlah oksigen pada karbon aktif dibanding pada serutan rotan merupakan hasil degradasi lignoselulosa menjadi H2O, CO, CO2, CH4, aldehida dan lain-lain (Marsh dan Rodríguez-Reinoso, 2006).

Salah satu sifat penting karbon aktif adalah memiliki luas permukaan yang besar dan berpori ([Abdullah *et al.*, 2001](#_ENREF_1); [Verla *et al.*, 2012](#_ENREF_27)). Pada penelitian ini, luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan berkisar antara 1423.27 - 1587.67 m²/g. Nilai ini 1.3 - 1.5 kali lebih besar daripada luas permukaan karbon aktif berbahan dasar serbuk gergaji rotan yang dihasilkan dari percobaan [Hameed *et al.* (2007](#_ENREF_11)) dan [Hameed *et al.* (2008](#_ENREF_12)). Apabila dibandingkan dengan rentang nilai tipikal luas permukaan karbon aktif komersil yang berkisar antara 400 – 1500 m2/g (Shi *et al*., 2010), maka dapat dikatakan bahwa karbon aktif yang dihasilkan dari penelitian ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala besar.

**a)**

**b)**

Rendemen (*yield*) merupakan faktor penting dalam proses produksi karbon aktif karena berhubungan langsung dengan tingkat keekonomisan proses ([Yang *et al.*, 2010](#_ENREF_28)).

Pada penelitian ini, rendemen karbon aktif ditentukan dengan persamaan (1) dan hasilnya berkisar antara 38 - 42.11% yang berarti terjadi penurunan berat sebesar 57.89 - 62% dari bahan serutan rotan menjadi karbon aktif. Nilai ini dalam rentang nilai tipikal rendemen karbon aktif dari limbah hasil pertanian dan kehutanan yang dikemukakan oleh [Verla *et al*. (2012](#_ENREF_27)), yaitu sebesar 20 - 50%. Penurunan berat ini terjadi karena devolatilisasi bahan baku oleh proses dehidrasi dan reaksi eliminasi yang intens untuk meningkatkan pembangunan pori dan membuat pori-pori baru (Owabor dan Iyaomolere, 2013). Selain itu, penggunaan aktivator kimia dalam konsentrasi yang tepat akan membatasi pembentukan tar serta cairan lain (seperti asam asetat dan metanol) dan menghambat penyusutan partikel bahan baku ([Guo dan Lua, 2002b](#_ENREF_10)).

## Pengaruh konsentrasi NaCl dan lama peren-daman terhadap karakteristik karbon aktif

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa peningkatan kadar *fixed carbon*, *iodine number*, luas permukaan dan rendemen pada karbon aktif yang dihasilkan berbanding terbalik dengan peningkatan konsentrasi NaCl dan lama waktu perendaman. Sedangkan peningkatan kadar air pada karbon aktif berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi NaCl dan lama waktu perendaman. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi rendah dan waktu perendaman yang lebih cepat, NaCl dapat terdistribusi secara merata dengan dispersi tinggi di seluruh interior partikel sehingga menghasilkan pori yang relatif seragam ([Abdullah *et al.*, 2001](#_ENREF_1); [Mirwan, 2005](#_ENREF_20); [Verla *et al.*, 2012](#_ENREF_27)). Selain itu, peningkatan jumlah dan ukuran pori secara berlebihan dapat mengakibatkan runtuhnya struktur internal pori dan akhirnya akan menurunkan kualitas karbon aktif (Owabor dan Iyaomolere, 2013). Seluruh fenomena ini sejalan dengan hasil penelitian [Abdullah *et al.* (2001](#_ENREF_1)), [Mirwan (2005](#_ENREF_20)) dan [Verla *et al*. (2012](#_ENREF_27)).

Kondisi optimum aktivasi karbon aktif dari limbah serutan rotan ini terjadi pada konsentrasi NaCl 10% dan lama perendaman 10 jam dengan aktivasi fisik pada suhu 700ºC. Hal ini mengindikasikan bahwa pembuatan karbon aktif dari limbah serutan rotan berjalan efektif pada konsentrasi NaCl yang rendah, waktu yang singkat dan suhu pembakaran yang tidak terlalu tinggi. Apabila dikaitkan dengan tingkat ekonomis proses, maka dapat dikatakan bahwa proses pembuatan karbon aktif ini cukup ekonomis dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala yang lebih besar.

# KESIMPULAN

Aktivasi kimia menggunakan larutan NaCl yang dilanjutkan dengan aktivasi fisik pada suhu 700ºC terbukti efektif menghasilkan karbon aktif dari limbah serutan rotan dengan karakteristik fisik-kimia yang memenuhi SNI 06-3730-95, luas permukaan yang besar dan ekonomis. Kondisi optimum aktivasi kimia terjadi pada konsentrasi NaCl 10% dan lama perendaman 10 jam.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abdullah, A.H., Kassim, A., Zainal, Z., Hussien, M.Z., Kuang, D., Ahmad, F. dan Wooi, O.S. 2001. Preparation dan characterization of activated carbon from Gelam wood bark (*Melaleuca cajuputi*). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 7 (1), 65-68.

Adinata, D., Wan Daud, W.M. dan Aroua, M.K. 2007. Preparation dan characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K2CO3. *Bioresource Technology*, 98 (1), 145-149.

Ahmad, A.A., Hameed, B.H. dan Ahmad, A.L. 2008. Equilibrium dan kinetics of disperse dye adsorption on activated carbon prepared from rattan sawdust by chemical activation. *International Conference on Environment 2008 (ICENV 2008)*. Penang, Malaysia.

Ahmedna, M., Marshall, W.E. dan Rao, R.M. 2000. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products dan evaluation of their physical, chemical dan adsorption properties. *Bioresource Technology*, 71 (2), 113-123.

Arifin, Y.F. 2011. *Rotan: budidaya dan pen-gelolaannya*. Universitas Lambung Mangkurat Press., Banjarmasin.

Avelar, F.F., Bianchi, M.L., Gonçalves, M. dan da Mota, E.G. 2010. The use of piassava fibers (Attalea funifera) in the preparation of activated carbon. *Bioresource Technology*, 101 (12), 4639-4645.

AWWA, American Water Works Association 2010. *B600-10 Powdered Activated Carbon*, ANSI/AWWA, Denver Co.

Bagheri, N. dan Abedi, J. 2011. Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon. *Chemical Engineering Research dan Design*, 89 (10), 2038-2043.

Chen, Y., Zhou, L.-j., Hong, Y.-z., Cao, F., Li, L. dan Li, J.-b. 2010. Preparation of high-surface-area activated carbon from coconut shell fibers. *Carbon*, 48 (10), 3005.

Chowdhury, Z.Z., Hamid, S.B.A., Das, R., Hasan M.R., Zain, S.M., Khalid, K. dan Uddin M.N. 2013. Preparation of caronaceous adsorbents from lignocellulosic biomass dan their use in removal of contaminants from aqueous solution. *BioResources,* 8 (4), 1-33.

Cobb, A., Warms, M., Maurer, E.P. dan Chiesa, S. 2012. Low-tech coconut shell activated charcoal production. *International Journal for Service Learning in Engineering,* 7(1), 93-104.

Collin G.J., Fauziah A.A., Hasnul F.M.Z. dan Siti F.D. 2006. Treatment of ldanfill leachate in Kayu Madang, Sabah: Porosity dan adsorption studies (Part 2). *Asian Chemistry Letters*, 10 (3-4), 89-94.

Gimba, C.E., Ocholi, O., Egwaikhide, P.A., Muyiwa, T. dan Akporhonor, E.E. 2009. New raw material for activated carbon. I. Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from Khaya senegalensis fruits. *Cien. Inv. Agr.,* 36 (1), 107-114.

Guo, J. dan Lua, A.C. 2002a. Characterization of adsorbent prepared from oil-palm shell by CO2 activation for removal of gaseous pollutants. *Materials Letters*, 55 (5), 334-339.

Guo, J. dan Lua, A.C. 2002b. Textural dan Chemical Characterizations of Adsorbent Prepared from Palm Shell by Potassium Hydroxide Impregnation at Different Stages. *Journal of Colloid dan Interface Science*, 254 (2), 227-233.

Hameed, B.H., Ahmad, A.L. dan Latiff, K.N.A. 2007. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes dan Pigments*, 75 (1), 143-149.

Hameed, B.H., Chin, L.H. dan Rengaraj, S. 2008. Adsorption of 4-chlorophenol onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Desalination*, 225 (1-3), 185-198.

Hayashi, J.-i., Kazehaya, A., Muroyama, K. dan Watkinson, A.P. 2000. Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*, 38 (13), 1873-1878.

Hu, Z. dan Srinivasan, M.P. 1999. Preparation of high-surface-area activated carbons from coconut shell. *Microporous dan Mesoporous Materials*, 27 (1), 11-18.

Jasni, Martono, D. dan Supriana, N. 2000. Sari hasil penelitian rotan. *Himpunan Sari Hasil Penelitian Rotan dan Bambu*, 1-28.

Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P. dan Diamadopoulos, E. 2008. Production of activated carbon from bagasse dan rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. *Bioresource Technology*, 99 (15), 6809-6816.

Kaouah, F., Boumaza, S., Berrama, T., Trari, M. dan Bendjama, Z. 2013. Preparation dan characterization of activated carbon from wild olive cores (*oleaster*) by H3PO4 for the removal of Basic Red 46. *Journal of Cleaner Production* (*article in press*).

Krisdianto dan Jasni .2005. Struktur anatomi tiga jenis batang rotan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis,* 3 (2), 1-8.

Kushwaha, S., Sreelatha, G. dan Padmaja, P. 2013. Physical dan chemical modified forms of palm shell: preparation, characterization dan preliminary assessment as adsorbents. *Journal of Porous Materials*, 20 (1), 21-36.

Lillo-Ródenas, M.A., Juan-Juan, J., Cazorla-Amorós, D. dan Linares-Solano, A. (2004). About reactions occurring during chemical activation with hydroxides. *Carbon*, 42 (7), 1371-1375.

Lua, A. dan Jia, Q. 2007. Adsorption of phenol by oil-palm-shell activated carbons. *Adsorption*, 13 (2), 129-137.

Marsh, H. dan Rodríguez-Reinoso, F. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science dan Technology Books.

Matos, J., Nahas, C., Rojas, L. dan Rosales, M. 2011. Synthesis dan characterization of activated carbon from sawdust of Algarroba wood. 1. Physical activation dan pyrolysis. *Journal of Hazardous Materials*, 196 (0), 360-369.

Mirwan, M. 2005. Daur ulang limbah hasil industri gula (ampas tebu/bagasse) dengan proses karbonisasi sebagai arang aktif. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 1 (3).

Owabor, C.N. dan Iyaomolere, A.I. 2013. Evaluation of the influence of salt treatment on the structure of pyrolyzed periwinkle shell. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 17 (2), 321-327.

Patil, B.S. dan Kulkarni, K.S. 2012. Development of high surface area activated carbon from waste material. *International Journal of Advanced Engineering Research dan Studies*, 1 (2), 109-113.

Sears, G.W. 1956. Determination of Specific Surface Area of Colloidal Silica by Titration with Sodium Hydroxide. *Analytical Chemistry*, 28 (12), 1981-1983.

Shi, Q., Zhang, J., Zang, C., Li, C., Zhang, B., Hu, W., Xu, J. dan Zhao R. 2010. Preparation of activated carbon from cattail dan its application for dyes removal. *Journal of Environmental Sciences,* 22 (1), 91-97.

Song, M., Jin, B., Xiao, R., Yang, L., Wu, Y., Zhong, Z. dan Huang, Y. 2013. The comparison of two activation techniques to prepare activated carbon from corn cob. *Biomass dan Bioenergy*, 48, 250-256.

Subadra, I., Setiaji, B. dan Tahir, I. 2005. Activated carbon production from coconut shell with (NH4)HCO3 activator as an adsorbent in virgin coconut oil purification. *Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM*. Yogyakarta, Indonesia.

Tang, Y.-b., Liu, Q. dan Chen, F.-y. 2012. Preparation dan characterization of activated carbon from waste ramulus mori. *Chemical Engineering Journal*, 203, 19-24.

Tsai, W.T., Chang, C.Y. dan Lee, S.L. 1997. Preparation dan characterization of activated carbons from corn cob. *Carbon*, 35 (8), 1198-1200.

Verla, A.W., Horsfall, M., Verla, E.N., Spiff, A.I. dan Ekpete, O.A. 2012. Preparation dan characterization of activated carbon from fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* hook.f) seed shell. *Asian Journal of Natural dan Applied Sciences*, 1 (3), 39-50.

Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., Zhang, L., Xia, H. dan Duan, X. 2010. Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource Technology*, 101 (15), 6163-6169.

Zhang, H., Yan, Y. dan Yang, L. 2010. Preparation of activated carbon from sawdust by zinc chloride activation. *Adsorption*, 16 (3), 161-166.