

ADSORPSI ASETON, BENZENA, DAN TOLUENA PADA KARBON AKTIF TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI PEMBERSIH UDARA RUANG TERTUTUP

Audy D. Wuntu^{1*} dan Vanda S. Kamu¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sam Ratulangi, Manado

Diterima 03-09-2008; Diterima setelah direvisi 17-10-2008; Disetujui 24-10-2008

ABSTRACT

Wuntu, A. D and V. S. Kamu, 2008. Acetone, Benzene, and Toluene Adsorption on Coconut Shell Activated Carbon Used as Indoor Air Cleaner.

Adsorption of air pollutant volatile organic compounds, those are acetone, benzene, and toluene on activated carbon prepared from coconut shell had been studied. The research was aimed to explore the adsorption capacity and adsorption energy of the compounds on coconut shell activated carbon under static condition. In this condition, the adsorbent was stayed for 24 hours inside a closed bin containing single gas: acetone, benzene, or toluene. The result showed that the adsorption capacity of these compounds on activated carbon was in the order of acetone > benzene > toluene. The same order was observed for the parameter of adsorption energy of the compounds on activated carbon

Keywords: adsorption, adsorbent, activated carbon, coconut shell

PENDAHULUAN

Di area perkotaan negara tropis seperti Indonesia ada kecenderungan peningkatan penggunaan peralatan pendingin udara dalam ruangan. Pemakaian peralatan seperti ini mensyaratkan ruangan tertutup dengan laju pertukaran udara yang sekecil mungkin antara udara luar dan dalam ruangan. Kondisi seperti ini dapat menurunkan kualitas udara dalam ruangan karena memungkinkan terjadinya peningkatan konsentrasi partikulat, karbondioksida, karbonmonoksida, bakteri, dan senyawa organik volatil (VOC, *volatile organic compounds*). Kontaminan organik dapat berasal dari berbagai sumber seperti bahan bangunan, cat, lem, bahan pembersih, dan asap rokok. Tidak kurang dari 400 jenis senyawa kimia bersama dengan tar, air, dan karbondioksida dapat ditemukan dalam asap rokok (Allerair Industries, 2004). Hal seperti ini perlu mendapat perhatian karena pemaparan terhadap kontaminan organik dalam waktu yang lama dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan serius pada manusia akibat sifat karsinogenik dan mutagenik dari beberapa kontaminan organik. Samfield (1992) mengemukakan bahwa tidak kurang dari 220 jenis kontaminan organik volatil dapat ditemukan dalam lingkungan udara ruangan tertutup, diantaranya adalah aseton, benzena, asetaldehida, etilbenzena, metil etil keton, toluena,

trikloroetana, dan *p*-xilena yang konsentrasinya paling tinggi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan tertutup, diantaranya adalah filtrasi, pembentukan ion, dan presipitasi elektrostatis. Meskipun metode filtrasi cukup efektif untuk menyingkirkan partikel tersuspensi tetapi metode ini tidak mampu menghilangkan senyawa organik volatil dari udara (Energy Services, 2006). Metode lain seperti pembentukan ion dan presipitasi elektrostatis memang mampu menghilangkan senyawa organik volatil tetapi kedua metode ini justru dapat menimbulkan masalah baru karena menghasilkan gas ozon yang berbahaya bagi paru-paru (Wisconsin Division of Public Health, 2002). Metode lain yang dapat digabungkan dengan metode filtrasi adalah metode adsorpsi melalui penggunaan adsorben yang mampu mengadsorpsi senyawa organik volatil. Terdapat berbagai jenis adsorben yang telah lama dikenal, dua diantaranya adalah zeolit dan karbon aktif. Pemanfaatan zeolit sebagai adsorben sekaligus sebagai katalis dalam peralatan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas udara ruang tertutup telah dikemukakan oleh Massenbauer *et al.* (2007). Meskipun demikian, zeolit dengan spesifikasi khusus untuk pemurnian udara bukanlah material yang mudah diperoleh. Material adsorben lain yang relatif

lebih mudah diperoleh dan telah terbukti kemampuannya untuk mengadsorpsi senyawa organik adalah karbon aktif.

Karbon aktif telah lama digunakan dalam proses pemurnian air dan pengolahan air limbah serta dalam pengolahan gas buangan industri yang berbahaya. Di daerah penghasil kelapa seperti Sulawesi Utara, karbon aktif dibuat dari tempurung kelapa dan telah menjadi salah satu produk ekspor andalan daerah ini. Meskipun karbon aktif telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri namun penelitian yang mengevaluasi penggunaan karbon aktif tempurung kelapa untuk menghilangkan senyawa organik volatil dari lingkungan ruangan tertutup masih jarang dilakukan. Gaikwad (2004) bahkan menyebut karbon aktif tempurung kelapa sebagai suatu adsorben non-konvensional. Penelitian-penelitian seperti ini akan memberi nilai tambah bagi produk karbon aktif dari tempurung kelapa.

Pada adsorben berpori mikro seperti karbon aktif, salah satu teori yang paling sering digunakan untuk memberi gambaran adsorpsi fisik molekul gas adalah teori pengisian volume pori mikro (TVFM, *Theory of Volume Filling of micropores*) yang dikembangkan oleh M. M. Dubinin. Berbeda dengan teori-teori sebelumnya yang memberikan gambaran fisik berupa pembentukan satu atau lebih lapisan adsorpsi pada permukaan adsorben, teori TVFM menekankan bahwa adsorpsi molekul dalam pori mikro sebagai ruang adsorpsi tidak terjadi melalui pembentukan lapisan adsorpsi tetapi berupa pengisian volume dalam ruang adsorpsi dan zat yang teradsorpsi berada dalam bentuk cair (Cal, 1995).

Ada beberapa persamaan adsorpsi yang telah dikembangkan untuk mendeskripsikan adsorpsi molekul gas pada adsorben berpori mikro berdasarkan teori TVFM, diantaranya adalah persamaan-persamaan Dubinin-Astakhov, Dubinin-Raduskevich, dan Dubinin Stoeckli. Persamaan Dubinin-Astakhov adalah persamaan umum untuk TVFM dan dinyatakan dalam bentuk:

$$W = W_0 \exp [-(A/(\beta E_0))^n] \dots\dots\dots (1)$$

dengan W adalah volume adsorbat yang terkondensasi dalam pori mikro pada suhu T dan tekanan relatif P/P_0 (P adalah tekanan parsial adsorbat dan P_0 adalah tekanan uap jenuh adsorbat), W_0 adalah volume total pori mikro yang dapat diakses oleh adsorbat, A adalah kerja molar diferensial maksimum, E_0 adalah energi adsorpsi, serta β dan n adalah parameter yang bergantung pada jenis adsorbat.

Persamaan Dubinin-Raduskevich adalah persamaan yang dikembangkan khusus untuk menggambarkan adsorpsi fisik pada karbon berpori mikro (Cal, 1995). Dalam persamaan ini, parameter n pada persamaan Dubinin-Astakhov ditetapkan memiliki nilai 2 sehingga persamaan Dubinin-Raduskevich dinyatakan dalam bentuk:

$$W = W_0 \exp [-(A/(\beta E_0))^2] \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan (2) selanjutnya dapat diubah ke dalam bentuk:

$$\ln W = \ln W_0 - (1/(\beta E_0))^2 A^2 \dots\dots\dots (3)$$

yang merupakan persamaan linear dengan intersep $\ln W_0$ dan kemiringan $-(1/(\beta E_0))^2$. Dengan menentukan $\ln W$ sebagai fungsi dari A dapat dihitung W_0 .

Cal *et al.* (1994) telah meneliti adsorpsi aseton dan benzena pada karbon aktif yang terbuat dari serat sintetik fenolik (Kynol). Data eksperimen tersebut menunjukkan bahwa model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich sesuai dengan data eksperimen adsorpsi aseton dan benzena pada serat karbon aktif. Dimotakis *et al.* (1995) selanjutnya telah berhasil meningkatkan kemampuan serat karbon aktif mengadsorpsi aseton dan benzena melalui modifikasi adsorben menggunakan amonia dan klorin. Studi penerapan serat karbon aktif untuk menyingkirkan senyawa organik volatil yang kemudian dikerjakan oleh Lu dan Zimmerman (2005) menunjukkan bahwa adsorben ini cukup efektif sebagai pembersih udara.

Kajian-kajian tersebut setidaknya memberikan implikasi bahwa karbon aktif tempurung kelapa memiliki potensi sebagai pembersih udara khususnya dalam ruang tertutup. Karbon aktif tempurung kelapa telah dikenal sebagai adsorben terutama dalam pemurnian air dan sebagai penyerap bau namun kajian potensinya sebagai adsorben senyawa-senyawa organik volatil yang sering ditemukan dalam ruang tertutup masih belum banyak dilakukan. Pemanfaatan karbon aktif tempurung kelapa sebagai pembersih udara dalam ruang tertutup akan memberikan nilai tambah bagi karbon aktif tempurung kelapa yang banyak diproduksi di Sulawesi Utara.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Arang aktif yang digunakan adalah arang yang dibuat dari tempurung kelapa dan diaktivasi secara fisik melalui pemanasan. Bahan kimia yang menjadi adsorbat adalah benzena, toluena, dan

aseton (MERCK). Peralatan utama yang digunakan adalah tanur, oven, dan neraca analitik.

Metode

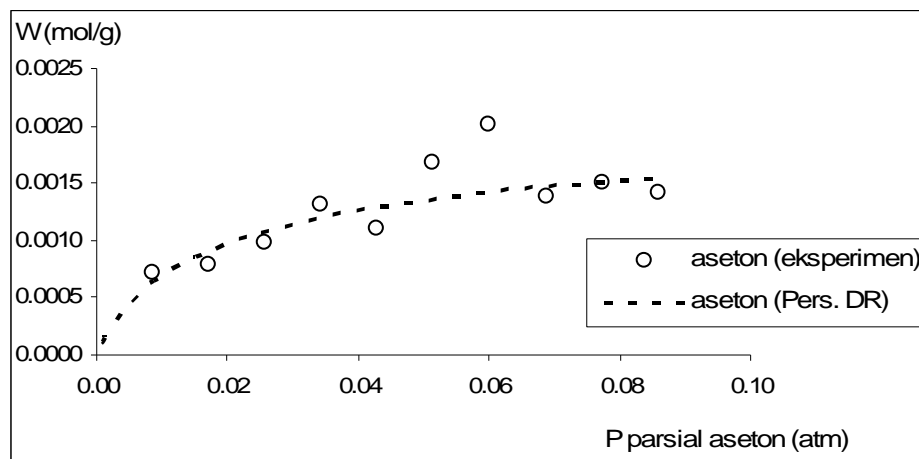
Kurang lebih 1 gram karbon aktif tempurung kelapa ditempatkan dalam cawan porselen dan dimasukkan dalam oven pada 120 °C selama 3 jam kemudian ditempatkan dalam desikator. Karbon aktif selanjutnya ditempatkan di atas gelas arloji dan ditimbang beratnya sebelum kemudian dimasukkan dalam wadah plastik berukuran 3.85 L. Ke dalam wadah plastik tersebut kemudian dimasukkan 0,1 mL aseton tanpa menyentuh karbon aktif dan sesegera mungkin wadah plastik ditutup. Aseton menguap dalam wadah plastik dan uap aseton diadsorpsi oleh karbon aktif hingga tercapai kesetimbangan. Setelah didiamkan selama kurang lebih 24 jam, karbon aktif dikeluarkan dari wadah plastik dan

ditimbang beratnya. Jumlah selisih berat karbon aktif sebelum dan sesudah adsorpsi adalah berat aseton yang teradsorpsi pada karbon aktif. Prosedur ini dilakukan untuk volume aseton pada kisaran 0,02 hingga 0,1 mL serta untuk benzena dan toluena dengan kisaran volume yang sama.

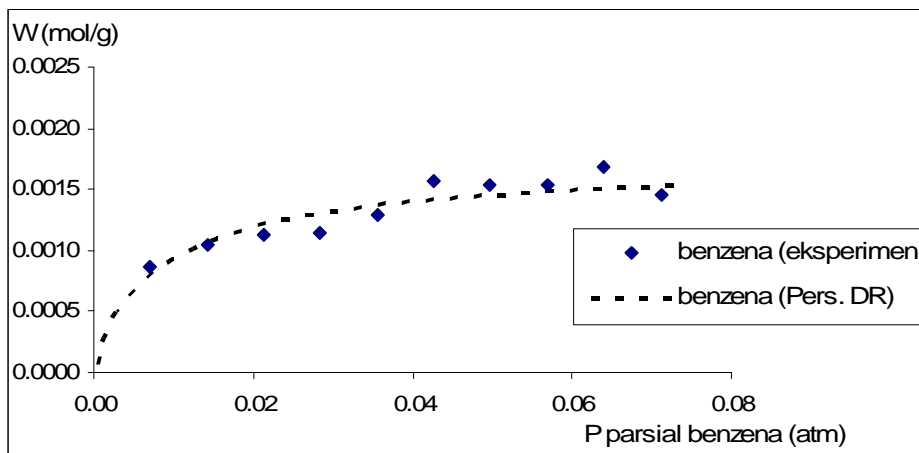
Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menurut model isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich untuk menentukan kapasitas dan energi adsorpsi aseton, benzena, dan aseton pada karbon aktif tempurung kelapa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

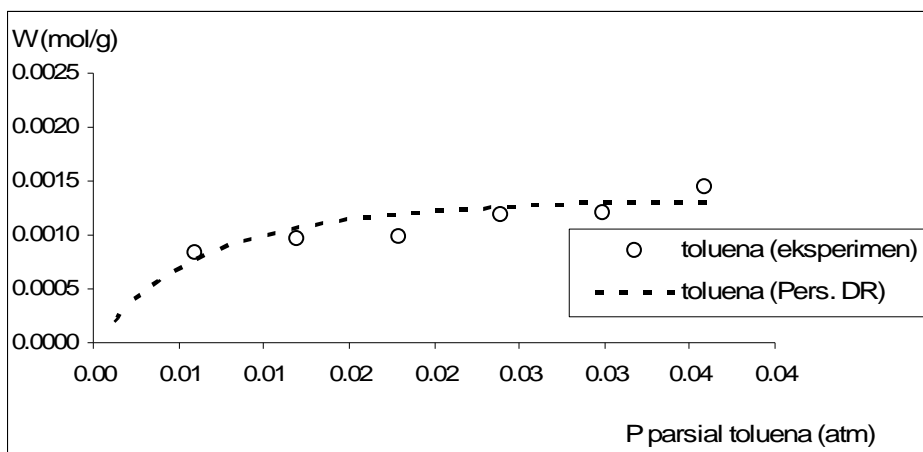
Adsorpsi aseton, benzena, dan toluena pada karbon aktif yang dibuat dari tempurung kelapa menurut isoterm adsorpsi Dubinin-Raduskevich (DR) disajikan berturut-turut pada Gambar 1, 2, dan 3.



Gambar 1. Adsorpsi aseton pada karbon aktif menurut isoterm adsorpsi DR



Gambar 2. Adsorpsi benzena pada karbon aktif menurut isoterm adsorpsi DR



Gambar 3. Adsorpsi toluena pada karbon aktif menurut isoterm adsorpsi DR

Kurva isoterm adsorpsi pada ketiga gambar di atas secara kualitatif menunjukkan adanya perbedaan adsorpsi antara aseton, benzena, dan toluena pada karbon aktif. Adsorpsi ketiga senyawa organik volatil tersebut selanjutnya dikuantitaskan dengan parameter DR (Tabel 1) yang ditentukan menggunakan persamaan DR (Persamaan 3).

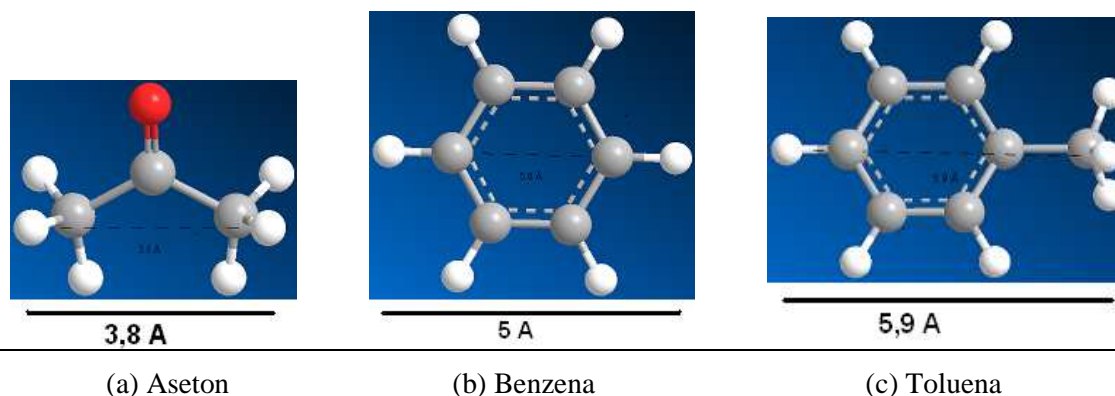
Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa karbon aktif yang dibuat dari tempurung kelapa memiliki kapasitas adsorpsi, yang ditunjukkan dengan nilai W_0 , paling besar untuk aseton kemudian diikuti oleh benzena dan toluena. Pola

penurunan kapasitas adsorpsi ini konsisten dengan semakin besarnya ukuran molekul senyawa organik volatil. Gambar 4 memperlihatkan perbandingan ukuran molekul-molekul aseton, benzena, dan toluena. Molekul-molekul seperti aseton berukuran lebih kecil sehingga memiliki kebebasan yang lebih besar untuk bergerak memasuki pori mikro dalam struktur karbon aktif. Toluena, sebaliknya, berukuran paling besar di antara ketiga senyawa organik volatil tersebut dan kurang bebas bergerak memasuki pori mikro dalam struktur karbon.

Tabel 1. Parameter Dubinin-Radushkevich untuk adsorpsi aseton, benzena, dan toluena pada karbon aktif

Parameter	Adsorbat		
	Aseton	Benzena	Toluena
W_0 (mol/g)	$1,8 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$1,22 \times 10^{-3}$
E_0 (kJ/mol)	8.684	7.037	4.603
β	1	1.27	1.503

Catatan: Koefisien afinitas (β) aseton = 1



Gambar 4. Perbandingan ukuran molekul (a) aseton, (b) benzena, dan (c) toluene

Penelitian lain yang dilakukan oleh Cal (1995) dengan menggunakan anyaman serat karbon memberikan nilai kapasitas adsorpsi aseton antara 5.72×10^{-3} mol/g sampai 7.8×10^{-3} mol/g. Penelitian ini dilakukan pada kondisi dinamis di mana udara yang mengandung senyawa organik volatil dialirkan melewati adsorben. Kondisi seperti ini sepertinya dapat memberikan pengukuran kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan kondisi statis yang tidak memberi kesempatan pada molekul senyawa organik untuk berinteraksi lebih aktif dengan adsorben.

Parameter energi adsorpsi, E_0 , juga memperlihatkan pola yang sama seperti kapasitas adsorpsi, mengikuti urutan aseton > benzena > toluena. Aseton memiliki oksigen karbonil yang dapat berikatan kuat dengan gugus-gugus karboksil dan hidroksil sebagai situs aktif untuk adsorpsi pada permukaan karbon. Interaksi yang lebih lemah dapat terjadi antara benzena dan permukaan lembar heksagonal dari karbon yang mengandung ikatan rangkap dua seperti pada struktur benzena. Molekul seperti toluena memiliki gugus metil yang merupakan gugus pendonor elektron dalam struktur toluena. Gugus metil menyebabkan tingginya densitas elektron pada sisi benzena dalam molekul toluena sehingga interaksi toluena dengan permukaan lembar heksagonal pada karbon yang juga memiliki situs dengan elektron terdelokalisasi akan menjadi lebih lemah dibandingkan pada molekul benzena.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa ukuran suatu molekul senyawa organik volatil dapat berpengaruh pada kapasitas adsorpsi karbon aktif untuk senyawa tersebut. Makin besar ukurannya, makin kecil kebebasan geraknya untuk memasuki pori dalam struktur karbon. Di sisi lain, energi adsorpsi lebih ditentukan oleh struktur molekul. Keberadaan gugus fungsi pada molekul senyawa organik akan menentukan kekuatan interaksi antara molekul tersebut dan situs-situs aktif pada struktur karbon aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Allerair Industries. 2004. *Air Purification System Model* 9400S/9425S/9450S. <http://www.allerair.com>
- Cal, P. M. 1995. *Characterization of Gas Phase Adsorption Capacity of Untreated and Chemically Treated Activated Carbon Cloths*. University of Illinois at Urbana Champaign. Illinois
- Cal, P. M., S. M. Larson, and M. J. Rood. 1994. Experimental and Modeled Results Describing the Adsorption of Acetone and Benzene onto Activated Carbon Fibers. *Environ. Progress*. 13:26-30.
- Dimotakis, E. D., P. M. Cal, J. Economy, M. J. Rood, and S. M. Larson. 1995. Chemically Treated Activated Carbon Cloth for Removal of Volatile Organic Carbons from Gas Stream: Evidence for Enhanced Physical Adsorption. *Environ. Sci. Technol.* 29:1876-1880.
- Energy Services. 2006. *Energy Efficiency and Indoor Air Quality*. Energy Services, Western Area Power Administration. Lakewood, USA.
- Gaikwad, R. W. 2004. *Removal of Cd(II) from Aqueous Solution by Activated Charcoal Derived From Coconut Shell*. Department of Chemical Engineering College. India.
- Lu, H. and N. Zimmerman. 2005. *The Study of Applicability of Activated Carbon Fibers (ACF) for Removal of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Indoor Environments*. Paper#203 on Seminar on General Indoor Environmental Quality and VOCs. Indiana.
- Massenbauer, I. A., B. M. C. Neiryck, J. R. G. Strafe. 2007. *Method and Apparatus for Improving the Air Quality Within a Building or Enclosed Space*. Patent No.20070039465. <http://www.freshpatents.com>.
- Samfield, M. M. 1992. *Indoor Air Quality Database for Organic Compounds*. United States Environmental Protection Agency. EPA-600-R-92-025.
- Wisconsin Division of Public Health. 2002. *Home Air Cleaners*. Wisconsin Division of Public Health Bureau of Environmental Health. Madison Wisconsin. <Http://www.dhfs.state.wi.us/eh>