

# KESETIMBANGAN ADSORPSI FENOL DARI ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA HIBRIDA PADA ARANG AKTIF

Adsorption Equilibrium of Phenol From Liquid Smoke of Coconut Shell onto Activated Carbon

Syahrani Kadir<sup>1</sup>, Purnama Darmadji<sup>1</sup>, Chusnul Hidayat<sup>2</sup>, Supriyadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta, Palu Selatan, 94118;

<sup>2</sup> Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl Flora, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

Email: kadirsyahrani@ymail.com

## ABSTRAK

Adsorpsi fenol dari asap cair tempurung kelapa hibrida pada arang aktif dievaluasi pada berbagai suhu (30-70 °C) dan konsentrasi fenol untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan mekanisme adsorpsi. Data yang diperoleh dievaluasi menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol dari asap cair tempurung kelapa hibrida meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi asap cair dari 0,025 ke 1,0 %, namun kapasitas adsorpsi menurun akibat peningkatan suhu adsorpsi dari 30 ke 70 °C. Hal ini menunjukkan afinitas arang aktif terhadap fenol lebih tinggi pada asap cair konsentrasi tinggi dibanding dengan asap cair konsentrasi rendah. Penurunan kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada konsentrasi fenol setimbang ( $C_e$ ) 342,78 mg/L yaitu menurun dari 32,67 mg/g menjadi 13,02 mg/g. Mekanisme adsorpsi fenol pada arang aktif lebih sesuai dengan model isotherm Freundlich dibanding model isotherm Langmuir. Kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol pada konsentrasi setimbang ( $K_F$ ) mengalami penurunan dari 12,05 mg/g menjadi 9,66 mg/g pada kenaikan suhu adsorpsi dari 30 ke 50 °C, selanjutnya kapasitas tersebut meningkat dari 13,46 mg/g menjadi 17,02 mg/g pada kenaikan suhu dari 60 ke 70 °C. Adapun nilai  $1/n$  berada di atas nol yang berarti bahwa adsorpsi bersifat kooperatif dengan energi aktivasi sebesar 403,43 KJ/mol yang merupakan reaksi khemisorpsi.

**Kata kunci :** Tempurung kelapa hibrida, asap cair, adsorpsi, arang aktif, fenol, isotherm adsorpsi

## ABSTRACT

The adsorption of liquid smoke phenol of hybrid coconut shell on activated carbon was evaluated at various temperature (30-70 °C) and phenol concentration to determine the adsorption capacity and adsorption interaction. The data were evaluated using Langmuir and Freundlich adsorption models. The results showed that the activated carbon adsorption capacity increased with an increase in liquid smoke concentration from 0.025 to 1.0 % but it declined due to an increase in the adsorption temperature from 30 to 70 °C. The affinity of phenol onto activated carbon was higher in the high liquid smoke concentration comparing with low concentration. Adsorption capacity decreased when the phenol equilibrium concentration ( $C_e$ ) was 342.78 mg/L, in which it decreased from 32.67 mg/g to 13.02 mg/g. Phenol adsorption onto activated carbon was best fitted to the Freundlich isotherm model than Langmuir isotherm model. The phenol adsorption capacity of activated carbon at equilibrium concentration ( $K_F$ ) has decreased from 12.05 mg/g to 9.66 mg/g when the adsorption temperature increased from 30 to 50 °C. The adsorption capacity increased from 13.46 mg/g to 17.02 mg/g at an increase in the temperature from 60 to 70 °C. The value  $1/n$  was above zero, which means that the adsorption interaction was cooperative with the activation energy of 403.43 KJ/mol. In summary, the adsorption was chemisorption.

**Keywords:** Hybrid coconut shell, liquid smoke, activated carbon, adsorption, phenol, adsorption isotherm, equilibrium

## PENDAHULUAN

Asap cair memiliki banyak manfaat antara lain sebagai biopreservatif, antioksidan dan perisa pada berbagai produk asapan. Visciano dkk. (2008) mengemukakan bahwa pengasapan pada berbagai produk merupakan metode pengawetan yang memberikan citarasa dan warna khas pada produk tersebut serta meningkatkan daya simpannya. Akan tetapi selain memiliki peran penting, asap cair juga mengandung senyawa PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbons*) yang beberapa diantaranya bersifat karsinogenik di mana implikasinya terhadap kanker payudara, paru-paru dan kolon telah dibuktikan pada hewan percobaan.

Fenol merupakan salah satu senyawa organik dominan yang terkandung di dalam asap cair disamping dua senyawa dominan lainnya yakni asam dan karbonil. Fenol di dalam asap cair berperan sebagai antioksidan dan perisa pada produk pangan asap. Balasundram dkk. (2006) mengemukakan bahwa fenol merupakan salah satu antioksidan alami yang potensial di dalam pangan. Selanjutnya Serot dkk. (2004) menyatakan bahwa selain perannya sebagai antioksidan alami, fenol berperan pula sebagai perisa di dalam produk pangan asap. Meskipun demikian, penggunaan fenol sebagai antioksidan dan sebagai perisa makanan harus dibatasi karena dapat berpengaruh negatif bagi kesehatan tubuh misalnya sebagai prooksidan atau menyebabkan aroma asap cair menjadi sangat kuat sehingga sulit diterima oleh konsumen (Cardinal dkk., 2006; Paixão dkk., 2007; Visciano dkk., 2008). Maga (1988) mengemukakan bahwa asap cair komersial yang diizinkan mengandung fenol 1250 – 2500 mg/L.

Sebagai perisa makanan, asap cair harus mampu memberikan aroma khas asap di dalam produk sebagaimana halnya produk yang dihasilkan dari pengasapan alami. Menurut Diban dkk. (2007) bahwa untuk mendapatkan aroma dari suatu senyawa kompleks dapat dilakukan antara lain melalui proses distilasi uap, pengusiran dengan udara terhadap bau yang tidak diinginkan, pemisahan dengan membran dan adsorpsi. Masing-masing metode tersebut mempunyai kekurangan, misalnya proses distilasi uap dapat merusak aroma namun adsorpsi dibatasi oleh penggunaan jenis pelarut yang aman bagi kesehatan. Pemilihan metode alternatif tersebut didasarkan pada kemampuannya dalam memperbaiki kualitas aroma serta jumlah biaya yang diperlukan.

Salah satu upaya pemisahan senyawa aktif yang mengkontribusi aroma dari senyawa kompleksnya adalah adsorpsi (Diban dkk., 2007). Adsorpsi merupakan proses pemisahan suatu zat (adsorbat) dengan menggunakan adsorben, baik melalui proses elusi maupun tanpa elusi. Proses elusi dilakukan apabila senyawa yang diinginkan teradsorpsi di dalam adsorben dan sebaliknya proses elusi tidak diperlukan apabila senyawa yang tidak diinginkan teradsorpsi.

Arang aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang penggunaannya sangat populer hingga saat ini karena memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi (Chandra dkk., 2007; Tan dkk., 2008). Selanjutnya dikemukakan pula bahwa kapasitas adsorpsi yang tinggi pada arang aktif dipengaruhi oleh luas permukaan, struktur pori internal, karakteristik permukaan dan gugus fungsi pada permukaan pori serta metode preparasi dan prekursor yang digunakan (Chandra dkk., 2007; Michailof dkk., 2008).

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi arang aktif terhadap fenol dari asap cair tempurung kelapa hibrida melalui studi kesetimbangan adsorpsi. Penelitian ini merupakan dasar untuk menentukan kondisi adsorpsi yang sesuai dalam mengurangi jumlah fenol yang merupakan kontributor aroma kuat di dalam asap cair sehingga diperoleh aroma ringan. Perubahan kemampuan biopreservatif produk tersebut akan dikaji pada penelitian lanjutan.

## METODE PENELITIAN

### Arang Aktif

Arang aktif yang digunakan di dalam penelitian ini dibeli dari toko bahan kimia dengan ukuran partikel 5 mm, selanjutnya ukuran tersebut dikecilkan dengan menggunakan alat pengecil ukuran (*ball mill*) hingga diperoleh ukuran partikel 0,417-0,625 mm. Adapun sifat fisik dan kimiawi arang aktif yang digunakan sebagai adsorben adalah : mengandung 4,64 % kadar air, 35,46 % kadar zat menguap, 1,48 % kadar abu, 58,42 % kadar karbon terikat, 4,03 % daya serap terhadap volatil (benzena) dan kisaran pH 2,15-2,24.

### Tempurung Kelapa Hibrida

Tempurung kelapa yang digunakan di dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa varietas hibrida dengan umur panen 2 bulan setelah pembungaan, diperoleh dari PT Pagilaran kecamatan Segayung, kabupaten Batang, Jawa Tengah.

### Produksi Asap Cair

Sebanyak 3 kg tempurung kelapa dimasukkan ke dalam reaktor pirolisa yang dilengkapi dengan rangkaian kondensasi dan kondensor pendingin. Reaktor tersebut berbentuk silinder dengan tinggi 40 cm dan diameter 20 cm serta dilengkapi dengan 2 buah termokopel yang dihubungkan dengan *read out meter*. Pemanas listrik berbentuk selubung reaktor dengan kapasitas 3 kWatt. Pipa penyalur asap berdiameter 2,5 cm dan panjang sekitar 150 cm, sedang pipa penyalur asap sisa diameternya 1,5 cm. Kolom pendingin memiliki diameter 20 cm dan tinggi 100 cm termasuk tipe *double pipe heat exchanger* dengan air dialirkan pada sisi pipa luar. Sebagai penampung asap cair kasar digunakan botol kaca standar ukuran 1000 ml.

Pirolisis berlangsung selama 90 menit pada suhu 400 °C dan berakhir setelah tidak ada asap cair yang menetes ke dalam penampung sehingga total waktu yang diperlukan kurang lebih 2 jam.

**Adsorpsi Asap Cair**

Asap cair hasil pirolisis diendapkan selama 24 jam dengan cara presipitasi untuk memisahkan asap cair kasar dari senyawa tar, kemudian dilakukan sentrifugasi 4000 rpm selama 20 menit agar diperoleh supernatan (asap cair kasar) yang bebas tar. Selanjutnya adsorpsi asap cair kasar dilakukan berdasarkan studi kesetimbangan adsorpsi arang aktif terhadap senyawa fenolik yang terkandung di dalam asap cair. Adapun caranya adalah: sebanyak 1 % arang aktif (b/v) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL yang telah berisi 25 mL asap cair kasar hasil pirolisis dengan konsentrasi 0,025-1,0 %. Seluruh erlenmeyer yang telah berisi sampel dimasukkan ke dalam *water bath shaker* pada suhu 30-70 °C selama 5 jam dengan kecepatan kocok 120 rpm. Pengambilan sampel untuk analisis total fenol (Senter dkk., 1989) dilakukan dengan menggunakan *disposable syringe* setelah proses adsorpsi mencapai 5 jam. Seluruh sampel hasil adsorpsi dipisahkan dari arang aktif yang masih terikut bersama sampel dengan cara sentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Adapun analisis total fenol sebelum adsorpsi dan pada saat equilibrium dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601. Jumlah fenol yang diserap pada keadaan setimbang dihitung melalui persamaan (1):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{W} \dots\dots\dots (1)$$

Data kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh selanjutnya dipaparkan sebagai isotherm adsorpsi kemudian dianalisa menggunakan persamaan Langmuir (2) dan Freundlich (3) termasuk energi aktivasi pada kedua model tersebut juga dihitung. Bentuk persamaan masing-masing model adalah :

1. Persamaan isotherm Langmuir (2):

$$q_e = q_o \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \dots\dots\dots (2)$$

2. Persamaan isotherm Freundlich (3):

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots (3)$$

3. Energi aktivasi

Energi aktivasi ( $E_a$ ) dapat dihitung melalui persamaan van't Hoff (4) yang berhubungan dengan konstanta  $K_L$  terhadap suhu pada equilibrium Langmuir :

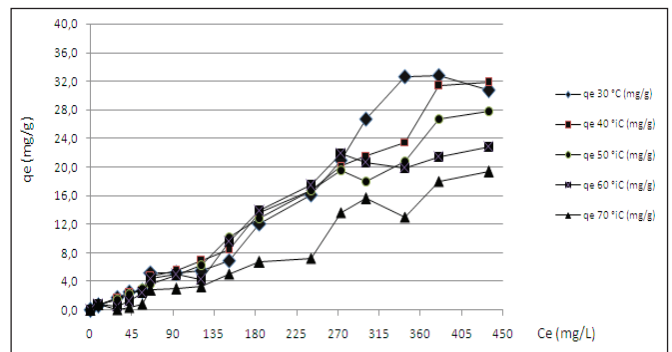
$$K_L = K_a \exp\left[\frac{-E_a}{RT}\right] \dots\dots\dots (4)$$

Adapun nomenklatur yang digunakan :

- $C_0$  = Konsentrasi fenol awal (mg/L)
- $C_e$  = Konsentrasi fenol pada saat equilibrium (mg/L)
- $V_e$  = Volume awal asap cair (L)
- $W$  = Jumlah arang aktif (g)
- $q_0$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
- $q_e$  = Kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol pada saat equilibrium (mg/g)
- $K_L$  = Konstanta kesetimbangan Langmuir (L/mg)
- $K_f$  = Konstanta adsorpsi Freundlich (mg/g)
- $n$  = Heterogenitas sistem adsorpsi Freundlich
- $K_a$  = Koefisien kesetimbangan adsorpsi
- $R$  = Konstanta gas (8,314 J/mol °K)
- $T$  = Suhu (°K)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil isotherm adsorpsi arang aktif terhadap fenol dari asap cair tempurung kelapa hibrida dari konsentrasi 0,025 sampai 1,0 % pada suhu dari 30 sampai 70 °C disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol pada berbagai konsentrasi asap cair dan suhu (30-70 °C)

Isotherm adsorpsi mengindikasikan distribusi molekul fenol yang teradsorpsi di antara fase cair (asap cair) dan fase padat (adsorben arang aktif) ketika adsorpsi mencapai keadaan setimbang serta menggambarkan interaksi antara *solute* dan adsorben sebagai dasar untuk mengoptimalkan penggunaan adsorben (Aber dkk., 2009; Tan dkk., 2008).

Gambar 1 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi asap cair. Hal ini kemungkinan disebabkan afinitas arang aktif terhadap fenol lebih tinggi pada konsentrasi asap cair tinggi dibanding dengan konsentrasi asap cair rendah. Peningkatan afinitas adsorpsi disebabkan kooperatif interaksi antara molekul-molekul fenol dengan arang aktif pada konsentrasi fenol tinggi. Akan tetapi, kapasitas adsorpsi men-

galami penurunan akibat peningkatan suhu dari 30 °C menjadi 70 °C. Penurunan kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada konsentrasi fenol setimbang ( $C_e$ ) 342,78 mg/L. Kapasitas adsorpsi menurun dari 32,67 mg/g menjadi 13,02 mg/g atau sebesar 60,15%. Hal ini berarti bahwa interaksi antara molekul dan arang aktif selama proses adsorpsi berlangsung dipengaruhi oleh suhu atau merupakan reaksi eksotermis. Penurunan kapasitas adsorpsi oleh pengaruh kenaikan suhu juga dilaporkan oleh Chandra dkk. (2007) pada adsorpsi metilen biru yang menggunakan arang aktif dari cangkang durian, dan Tan dkk. (2008) pada adsorpsi zat warna dengan menggunakan arang aktif dari sabut kelapa. Hal ini disebabkan peningkatan suhu menyebabkan ikatan fisik antara senyawa organik dan sisi aktif adsorben menjadi lemah, namun kelarutan senyawa organik tersebut semakin meningkat akibat kekuatan interaksi antara senyawa yang terlarut dengan pelarutnya lebih kuat dibanding kekuatan interaksi antara senyawa yang terlarut (*solute*) dengan adsorben. Oleh karenanya senyawa terlarut tersebut menjadi lebih sulit teradsorp.

Tan dkk. (2008) mengemukakan bahwa untuk berlangsungnya proses adsorpsi maka molekul yang akan diserap mula-mula harus berada di dalam lapisan penyerapan (*boundary layer*) kemudian berdifusi dari *boundary layer* ke permukaan adsorben dan akhirnya berdifusi ke struktur pori adsorben. Oleh karenanya, pengadukan atau pengocokan selama adsorpsi penting dilakukan antara lain dengan menggunakan *water bath shaker*.

Data isotherm kesetimbangan adsorpsi selanjutnya dianalisa menggunakan model isotherm Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dan model interaksi antara fenol dan arang aktif. Hasil *fitting data* untuk model isotherm Langmuir dan Freundlich disajikan pada Tabel 1.

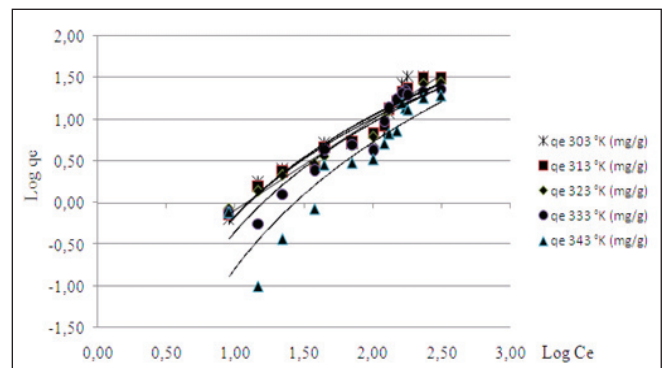
Tabel 1. Model isotherm Langmuir dan Freundlich selama adsorpsi fenol pada arang aktif

Isotherm	Suhu Larutan (°K)	Parameter		R <sup>2</sup>
		q <sub>0</sub> (mg/g)	K <sub>L</sub> (L/mg)	
Langmuir	303	111,111	0,009	0,586
	313	100,000	0,010	0,565
	323	76,923	0,013	0,550
	333	66,667	0,015	0,556
	343	47,619	0,021	0,593
Freundlich		K <sub>f</sub> (mg/g)	1/n	R <sup>2</sup>
	303	12,050	1,08	0,913
	313	11,350	1,05	0,982
	323	9,661	0,99	0,967
	333	13,459	1,13	0,885
	343	17,022	1,23	0,758

Tabel 1 menunjukkan bahwa adsorpsi arang aktif terhadap fenol yang terkandung di dalam asap cair konsentrasinya 0,025-1,0 % pada suhu 30-70 °C mengikuti pola isotherm Freundlich dengan kisaran koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) 0,758 – 0,982, yang berarti lebih sesuai dengan pola tersebut dibanding pola isotherm Langmuir yang mempunyai kisaran koefisien korelasi lebih rendah yakni 0,550-0,593. Hal ini diduga karena asap cair merupakan senyawa kompleks yang tidak hanya mengandung fenol tetapi juga terdapat senyawa lain termasuk karbonil dan asam yang masing-masing jumlahnya tiga kali lebih besar dibanding jumlah fenol.

Ayar dkk. (2008) mengemukakan bahwa persamaan Freundlich bersifat empiris sehingga sangat sesuai bila digunakan untuk data eksperimental di mana bidang adsorpsi pada permukaan adsorben bersifat heterogen dengan sisi pengikatan yang tidak identik dan tidak spesifik sebagaimana halnya pada model Langmuir.

Hasil penelitian (Tabel 1) menunjukkan bahwa konstanta Freundlich (K<sub>f</sub>) yang merupakan kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol pada konsentrasi setimbang mengalami penurunan dari 12,05 mg/g menjadi 9,66 mg/g pada suhu adsorpsi 30-50 °C, selanjutnya kapasitas tersebut meningkat dari 13,46 mg/g menjadi 17,02 mg/g pada suhu 60-70 °C. Peningkatan kapasitas tersebut diduga adanya senyawa fenol hasil degradasi yang teradsorp akibat peningkatan suhu selama 5 jam adsorpsi berlangsung. Menurut Chen dkk. (2001), bahwa formasi senyawa fenolik dapat terjadi akibat degradasi thermal melalui peningkatan suhu. Meskipun suhu adsorpsi yang digunakan di dalam penelitian ini maksimal hanya 70 °C namun selama waktu 5 jam proses adsorpsi memungkinkan terbentuknya produk degradasi thermal dari senyawa-senyawa yang terdispersi di dalam asap cair termasuk fenol. Data pada Tabel 1 juga sejalan dengan kurva kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap berbagai konsentrasi fenol setimbang pada suhu 30-70 °C (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva isotherm Freundlich selama adsorpsi fenol dari asap cair oleh arang aktif pada suhu 30-70 °C

Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas adsorpsi arang aktif terjadi pada suhu 60-70 °C khususnya

pada konsentrasi fenol setimbang (Log Ce) di dalam asap cair berada di atas log 2,0. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi fenol dari asap cair oleh arang aktif pada kondisi tersebut merupakan reaksi eksotermis.

Nilai  $1/n$  pada persamaan Freundlich merupakan *slope* yang menunjukkan kesesuaian adsorpsi terhadap suhu selama proses berlangsung, dengan kisaran nilai 0 – 1 yang dihitung melalui intensitas adsorpsi permukaan *multilayer* yang bersifat heterogen (Haghseresht dan Lu, 1998). Hasil penelitian ini (Tabel 1) menunjukkan bahwa nilai  $1/n$  berkisar 0,99 - 1,23. Menurut Fytianos dkk. (2000) bahwa apabila nilai  $1/n$  semakin mendekati nol maka permukaan bidang adsorpsi semakin heterogen dan sebaliknya apabila nilai  $1/n$  berada di atas nol menunjukkan adsorpsi yang bersifat kooperatif.

Energi aktivasi adsorpsi isotherm Freundlich yang diperoleh di dalam penelitian ini sebesar 403,43 KJ/mol. Ozcan dkk. (2006) mengemukakan bahwa energi aktivasi adsorpsi yang berkisar 5-40 KJ/mol menunjukkan mekanisme fisisorpsi, sebaliknya adsorpsi yang mempunyai energi aktivasi berkisar 40-800 KJ/mol menunjukkan mekanisme khemisorpsi. Berdasarkan pernyataan tersebut maka adsorpsi senyawa fenol oleh arang aktif di dalam penelitian ini berlangsung secara khemisorpsi.

## KESIMPULAN

Penurunan konsentrasi fenol dari asap cair tempurung kelapa hibrida dapat dilakukan melalui adsorpsi dengan menggunakan arang aktif. Hal ini terbukti dengan meningkatnya kapasitas adsorpsi arang aktif pada berbagai konsentrasi fenol di dalam asap cair tempurung kelapa hibrida terutama pada suhu 30 °C. Peningkatan suhu menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi arang aktif terhadap fenol.

Kesetimbangan adsorpsi arang aktif terhadap fenol yang terkandung di dalam asap cair tempurung kelapa hibrida menunjukkan bahwa isotherm Freundlich lebih sesuai untuk kondisi penelitian ini dibanding dengan isotherm Langmuir. Energi aktivasi isotherm Freundlich menunjukkan bahwa adsorpsi berlangsung secara khemisorpsi dengan kapasitas adsorpsi setimbang pada permukaan *multilayer* berkisar 9,66-17,02 mg/g pada suhu 30-70 °C.

## DAFTAR PUSTAKA

Aber, S., Khataee, A., Sheydaei, M. (2009). Optimization of activated carbon fiber preparation from kenaf using K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> as chemical activator for adsorption of phenolic compounds. *Bioresource Technology* **100** : 6586-6591.

- Ayar, A., Gürsal, S., Gürten A. A., Gezici, O. (2008). On the removal of some phenolic compounds from aqueous solutions by using a sporopollenin-based ligand-exchange fixed bed-Isotherm analysis. *Desalination* **219** : 160-170.
- Balasundram, N., Sundram, K. dan Samman, S. (2006). Analytical, nutritional and clinical methods. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence and potential uses. *Food Chemistry* **99** : 191-203.
- Cardinal, M., Cornet, J., Sérot, T dan Baron, R. (2006). Effects of the smoking process on odour characteristics of smoked herring (*Clupea harengus*) and relationships with phenolic compound content. *Food Chemistry* **96**: 137-146.
- Chandra, T.C., Mirna, M.M., Sudaryanto, Y., Ismadji, S. (2007). Adsorption of basic dye onto activated carbon prepared from durian shell : Studies of adsorption equilibrium and kinetics. *Chemical Engineering Journal*. **127** : 121-129.
- Chen, C.A., Pakdel H. dan Roy, C. (2001). Production of monomeric phenols by thermochemical conversion of biomass : A Review. *Bioresource Technology* **79** : 277-299.
- Diban, N., Ruiz, G., Urtiaga, A., Ortiz, I. (2007). Granular activated carbon for the recovery of the main pear aroma compound : Viability and kinetic modelling of ethyl-2-,4-decadienoate adsorption. *Journal of Food Engineering* **78** : 1259-1366.
- Fytianos, K., Voudrias, E., Kokkalis, E. (2000). Sorption-desorption behavior of 2,4-dichlorophenol by marine sediments. *Chemosphere* **40** : 3-6.
- Haghseresht, G. L. (1998). Adsorption characteristics of phenolic compounds onto coal-reject-derived adsorbents. *Energy Fuels* **12** : 1100-1107.
- Maga, J.A. (1988). *Smoke in Food Processing*. Boca Raton, FL. CRC Press.
- Michailof, C., Stavropoulos, G.G., Panayiotou, C. (2008). Enhanced adsorption of phenolic compounds, commonly encountered in olive mill wastewaters, on olive husk derived activated carbons. *Bioresource Technology* **99** : 6400-6408.
- Ozcan, A., Oncu, E.M., Ozcan, A.S. (2006). Adsorption of acid blue 193 from aqueous solutions onto DEDMA-sepiolite. *Journal of Hazardous Materials* **129** : 244-253.
- Paixão, N., Perestrelo, R., Marques, J.C., Cãmara, J.S. (2007). Relationship between antioxidant capacity and total phenolic content of red, rosé and white wines. *Food Chemistry* **105** : 204-214.
- Senter, S.D., Robertson, J.A. dan Meredith, F.I. (1989). Phenolic compound of the mesocarp of cresthaven peaches

- during storage and ripening. *Journal of Food Science* **54** : 1259-1268.
- Sérot, T., Baron, R., Knockaert C. dan Vallet, J.L. (2004). Effect of smoking processes on the contents of 10 major phenolic compounds in smoke fillets of herring (*Cuplea harengus*). *Food Chemistry* **85** : 111-120.
- Tan, L.A.W., Ahmad, A.L., Hameed, B.H. (2008). Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk : Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Hazardous Materials* **154** : 337-346.
- Visciano, P., Perugini, M., Conte, F., Amorena, M. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by traditional flue gas smoking and by liquid smoke flavourings. *Food and Chemical Technology* **46** : 1409-1413.