

Kinetika Adsorpsi Phenol Dalam Air Dengan Arang Tempurung Kelapa

Panut Mulyono dan Wisnu Madha Kusuma

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
 Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
 Tel. (0274) 6492171, Fax. (0274) 6492170, E-mail: pmulyono@chemeng.ugm.ac.id

Abstract

Phenol is a hazardous chemical which usually contained in the wastewater from some industries, such as oil refineries, coal processing, and plastics. Phenol is dangerous substance to a microorganism although in low concentration in wastewater. According to the United State Environmental Protection Agency, the maximum concentration of phenol in wastewater is 1 ppm. This requirement is lower than the concentration of phenol in normal wastewater discharged from industries that is 100 to 1000 ppm. One of the most efficient practical method to remove phenol in waste water is adsorption. Many adsorbent can be used to adsorp phenol from waste water. In this study, coconut shell charcoal is used as the adsorbent. The adsorption kinetics of phenol in aqueous solution was studied by measuring the concentration of remaining phenol in the solution as a function of time (t) with the parameters of operation temperature (T), particle diameter of coconut shell charcoal (d), and mass ratio of coconut shell charcoal to the solution (r). The adsorption rate was found to be increased as the operation temperature and mass ratio increase, but it was decreased as the particle diameter increase. The empirical rate expression for the adsorption of phenol in aqueous solution with coconut shell charcoal has been determined as:

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[1,4832 \exp \left(\frac{-2497,83}{RT} \right) d^{-0,438} r^{0,1313} \right] t^{1/2}$$

with the relative mean error of 30.74%. C in this equation is the phenol concentration at time t, C₀ is the concentration at t = 0, and R is the gas constant (8.314 J/mol/K). This equation is valid for the ranges of T of 303 to 333 K, d of 767 to 1879 μm, and r of 0.0476 to 0.1666, and for the adsorption of phenol in aqueous solution with coconut shell charcoal in erlenmeyer agitated by using shaker bath.

Keywords: *Adsorption Kinetics, Phenol, Aqueous Solution, Coconut Shell Charcoal.*

1. Pendahuluan

Dari kegiatan produksinya, beberapa industri menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa phenol dengan kadar jauh di atas ambang batasnya. Senyawa phenol merupakan senyawa beracun yang dalam kadar rendah sudah dapat membunuh organisme. Kadar phenol dalam limbah cair dari industri pengilangan minyak, pengolahan batu bara, dan industri plastik pada umumnya sekitar 100 – 1000 ppm, sedangkan batasan kadar phenol pada limbah yang boleh dibuang ke lingkungan maksimum 1 ppm. Oleh

karena itu diperlukan cara pemungutan phenol dari limbah cair yang efektif dan efisien.

Pemungutan phenol dari larutan phenol-air sangat sulit dilakukan karena daya larut phenol dalam air cukup tinggi (kira-kira 10% berat). Cara konvensional untuk pemungutan phenol dari larutan phenol-air adalah oksidasi biologis. Namun cara ini tidak efektif karena lambatnya proses yang terjadi. Cara lain untuk pemungutan phenol dari larutan phenol-air sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, di antaranya adalah oksidasi kimiawi menggunakan ozon atau ozon dikombinasi dengan radiasi sinar UV (Takahashi,

1990; Shanbhag dkk., 1995), adsorpsi (Lizhong dkk., 1996; Denizli dkk., 2001; Al-Asheh dkk., 2003) dan ekstraksi dengan menggunakan solvent (Watson dkk., 1988; Dobre dkk., 1999). Oksidasi kimiawi dengan ozon atau ozon yang dikombinasi dengan radiasi sinar UV tidak memberikan hasil yang optimum karena rendahnya kelarutan ozon dalam air. Lagi pula pembangkitan ozon memerlukan biaya yang mahal. Adsorpsi merupakan cara yang mudah untuk pemungutan polutan dari limbah cair. Namun demikian, jika jumlah limbah yang harus ditangani sangat banyak, maka cara adsorpsi menjadi kurang efisien.

Beberapa contoh adsorben (zat penjerap) yang dapat digunakan pada proses adsorpsi adalah karbon aktif, silika dan alumina, zeolit, arang tulang, dan oksida-oksida logam (Suzuki, 1990). Karbon aktif adalah zat penjerap yang dibuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara, kayu, tempurung kelapa, dll. Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan cara oksidasi parsial terhadap bahan tersebut di atas pada suhu di bawah 700°C untuk memperoleh arang. Selama proses oksidasi parsial ini, zat-zat volatil dan zat dengan berat molekul rendah dibuang. Pengaktifan arang dilakukan dengan mengaliri *steam* atau CO₂ pada suhu 800-900°C. Dalam proses aktivasi ini terbentuklah mikroporus. Produk karbon aktif yang diperoleh pada umumnya kurang dari 50% dari bahan bakunya, bahkan kadang-kadang kurang dari 10% (Suzuki, 1990).

Untuk pemakaian komersial, karbon aktif pada umumnya berada dalam dua bentuk utama, yaitu *powdered activated carbon* (PAC) dan *granular activated carbon* (GAC). Penggunaan PAC dan GAC terutama adalah untuk penghilangan warna pada industri makanan (misalnya pabrik gula), penghilangan zat-zat organik, penghilangan bau dan polutan konsentrasi rendah pada air minum, dan pada penanganan limbah cair (Suzuki, 1990). Pada penanganan limbah cair, kebanyakan digunakan GAC dengan ukuran partikel 8 x 30 dan 12 x 40 mesh (Corbitt, 1990).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari kinetika adsorpsi phenol dengan menggunakan arang tempurung kelapa. Parameter yang diteliti adalah suhu operasi, ukuran diameter arang tempurung kelapa, serta rasio massa karbon aktif dengan larutan phenol yang akan dijerap,

sehingga dapat dirumuskan persamaan yang menghubungkan laju adsorpsi dengan parameter-parameter tersebut.

2. Fundamental

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan perpindahan massa partikel zat terjerap dari larutan ke permukaan zat penjerap antara lain adalah suhu operasi, ukuran butir zat penjerap, dan perbandingan massa zat penjerap terhadap massa larutan. Pada penelitian ini, persamaan matematis yang digunakan untuk menganalisis mekanisme adsorpsi phenol ke permukaan karbon aktif adalah persamaan yang diajukan oleh Chen dkk. (2003) dan Lee dan Lin (2004). Pada kedua sumber pustaka tersebut di atas, asumsi yang diambil pada penurunan persamaan matematis untuk menghubungkan antara konsentrasi adsorbat sebagai fungsi waktu mengikuti *power law rate equation* untuk kinetika reaksi kimia sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = -k'C^n \quad (1)$$

Pengintegralan Persamaan (1) menghasilkan Persamaan (2) untuk $n=1$ atau Persamaan (3) untuk $n \neq 1$.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k't \quad (2)$$

$$C^{1-n} - C_0^{1-n} = (n-1)k't \quad (3)$$

Di samping Persamaan-persamaan (2) dan (3), tipe rumus kecepatan adsorpsi yang dinyatakan dengan Persamaan (4) dapat digunakan untuk menginterpretasikan data adsorpsi.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt^n \quad (4)$$

Dari penelitian adsorpsi zat warna dan β -carotene dari *edible oil* menggunakan *clay*, diperoleh nilai $n=1/2$. Jadi, akhirnya diperoleh persamaan berikut.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt^{1/2} \quad (5)$$

Persamaan (5) menunjukkan kecepatan adsorpsi sebagai fungsi waktu.

Kecepatan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh suhu operasi, ukuran butir zat penjerap, dan rasio berat zat penjerap/berat larutan. Faktor-faktor

tersebut memiliki peranan besar dalam penentuan nilai konstanta kecepatan adsorpsi. Secara teoritis, diketahui bahwa kecepatan adsorpsi meningkat dengan kenaikan nilai rasio massa zat penjerap/massa larutan, namun kecepatan adsorpsi akan turun dengan naiknya ukuran butiran zat penjerap. Kenaikan suhu operasi pada dasarnya meningkatkan laju adsorpsi. Akan tetapi, mengeset suhu operasi yang tinggi berarti pemborosan dalam penggunaan energi. Kerugian lain yang ada dengan suhu operasi tinggi adalah menguapnya zat yang akan dijerap. Secara umum, hubungan antara kecepatan adsorpsi dengan suhu, ukuran zat penjerap, dan perbandingan massa zat penjerap/massa larutan dinyatakan dengan persamaan berikut (Chen dkk., 2003):

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[k_0 \exp(-\Delta E/RT)d^{n_1}r^{n_2}] t^{1/2} \quad (6)$$

Pada Persamaan (6), nilai-nilai yang perlu ditentukan berdasarkan hasil percobaan adalah n_1 , n_2 , k_0 , dan ΔE . Untuk penentuan nilai-nilai tersebut, maka harus dilakukan pengukuran kecepatan adsorpsi yang dinyatakan dengan perbandingan antara konsentrasi *adsorbate* setiap saat (sebagai fungsi waktu) terhadap konsentrasi *adsorbate* mula-mula pada suhu operasi, ukuran butir zat penjerap, dan rasio massa zat penjerap/massa larutan. Pada penelitian ini, penentuan nilai-nilai n_1 , n_2 , k_0 , dan ΔE dilakukan dengan cara grafis. Untuk keperluan penentuan nilai besaran-besaran tersebut, maka Persamaan (6) diubah bentuknya menjadi:

$$\ln \frac{C_0}{C} = [k_0 \exp(-\Delta E/RT)d^{n_1}r^{n_2}] t^{1/2} \quad (7)$$

Kemudian Persamaan (7) dilinierisasi dengan cara mengambil logaritma dari kedua ruasnya sehingga menjadi:

$$\ln \left(\ln \frac{C_0}{C} \right) = \ln k_0 + \left(\frac{-\Delta E}{RT} \right) + n_1 \ln d + n_2 \ln r + \frac{1}{2} \ln t \quad (8)$$

Pada percobaan laboratorium diperoleh nilai-nilai C , C_0 , T , d , r , dan t . Dengan demikian, nilai-nilai $\ln C_0/C$, $1/T$, $\ln d$, $\ln r$, dan $\ln t$ untuk setiap percobaan dapat ditentukan.

3. Metodologi

Bahan

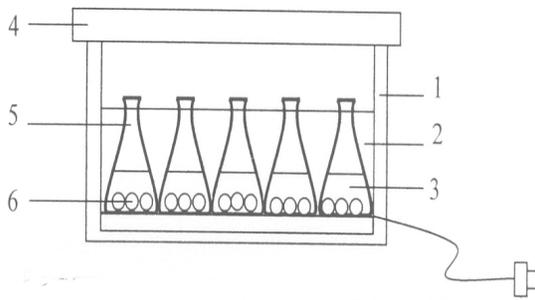
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan phenol, arang tempurung kelapa, dan akuades. Phenol didapat dari Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM, arang tempurung kelapa dan akuades diperoleh dari Toko Kimia General Labora Yogyakarta. Larutan phenol dengan konsentrasi 100 ppm yang digunakan dalam percobaan ini dibuat dengan cara mengencerkan larutan standar phenol 1000 ppm menggunakan akuades. Pada penelitian ini, arang tempurung kelapa digunakan secara langsung tanpa dilakukan pengaktifan sebelumnya. Uji keaktifan arang tempurung kelapa yang digunakan dilakukan dengan mengukur bilangan iodium dan diperoleh nilai bilangan iodine sebesar 76. Sebagai pembanding, daya serap terhadap iodium dari karbon aktif komersial produk Merck adalah 999,1 mg/g (Yuliusman dan Prabowo, 2010). Ukuran butir arang tempurung kelapa yang digunakan dikelompokkan menjadi empat tipe berdasarkan ukurannya, yaitu Tipe 1 dengan ukuran -8+12 mesh (1.879,5 μ m), Tipe 2 dengan ukuran -12+16 mesh (1.194 μ m), Tipe 3 dengan ukuran -16+20 mesh (912 μ m), dan Tipe 4 dengan ukuran -20+24 mesh (767 μ m).

Alat

Alat yang digunakan adalah labu ukur, erlenmeyer, *shaker bath*, pipet ukur, dan pipet hisap. Susunan alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Prosedur Pelaksanaan

Pertama-tama disiapkan larutan phenol 100 ppm dengan cara mengencerkan larutan standar 1000 ppm sebanyak 10 kali dengan menggunakan akuades. Kemudian larutan phenol tersebut dituangkan ke dalam erlenmeyer 250 mL sebanyak 100 mL. Ke dalam larutan ini dimasukkan sejumlah arang tempurung kelapa dengan ukuran tertentu. Setelah itu, erlenmeyer dimasukkan ke dalam *shaker bath* dan diset pada suhu tertentu dan dilakukan penggojogan. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan pipet ukur 10 mL setiap 5 menit selama setengah jam. Setelah sampel diambil, kemudian sampel disaring terlebih



1. *Shaker bath*
2. Air sebagai medium pengatur suhu
3. Larutan phenol
4. Tutup
5. Labu erlenmeyer
6. Arang tempurung kelapa

Gambar 1. Susunan alat penelitian.

dahulu untuk menghilangkan butiran arang tempurung kelapa yang terikut saat pengambilan sampel. Kadar phenol tersisa dalam sampel lalu dianalisis menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 500 nm.

Pada penelitian ini rasio massa arang tempurung kelapa/larutan diubah-ubah dengan mengubah massa arang tempurung kelapa 5, 10, 15, dan 20 gram. Penggojogan dilakukan pada suhu 30, 40, 50, dan 60°C. Ukuran butir arang tempurung kelapa divariasikan dengan Tipe 1, Tipe 2, Tipe 3, dan Tipe 4.

Analisis Hasil

Dalam penelitian ini, hasil yang dianalisis adalah konsentrasi phenol tersisa dalam larutan (C) sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai suhu (T), ukuran butir (d), dan rasio massa arang tempurung kelapa dengan larutan (r). Data tersebut lalu digunakan untuk mengevaluasi konstanta-konstanta k_o , ΔE , n_1 , dan n_2 pada Persamaan (6) dengan cara grafis.

4. Hasil dan Pembahasan

Variasi Suhu Operasi

Percobaan dengan variasi suhu operasi dilakukan dengan cara mengubah-ubah suhu air pada *shaker bath* dengan variabel lain yaitu massa arang tempurung kelapa, ukuran butir zat penjerap, serta perbandingan massa karbon aktif dengan massa larutan phenol diset pada nilai yang tetap masing-masing 5 gram, $-8+12$ mesh, dan 0,0476.

Data hasil percobaan untuk variasi suhu operasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Pada Tabel 1 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa selama proses adsorpsi berlangsung, rasio konsentrasi sisa phenol dalam larutan terhadap konsentrasi awal semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa phenol yang dijerap semakin banyak seiring dengan bertambahnya waktu. Data percobaan juga menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu operasi (dalam waktu operasi yang sama), rasio konsentrasi phenol sisa dalam larutan terhadap konsentrasi awal semakin rendah, atau dengan kata lain, phenol yang terjerap semakin banyak. Hal ini disebabkan makin aktifnya pergerakan molekul-molekul phenol dengan naiknya suhu operasi, sehingga lebih cepat menyentuh permukaan arang penjerap. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa laju adsorpsi semakin naik dengan semakin bertambahnya suhu operasi. Hasil analisis data menunjukkan laju adsorpsi mengalami kenaikan dengan bertambahnya suhu, tetapi kapasitas jerapnya pada kondisi setimbang tidak menunjukkan kecenderungan yang sama. Secara umum, kapasitas jerap pada saat setimbang mengalami penurunan seiring dengan naiknya suhu operasi, karena molekul-molekul adsorbat pada suhu yang lebih tinggi memiliki mobilitas yang lebih tinggi, sehingga lebih sulit diikat oleh permukaan zat penjerap.

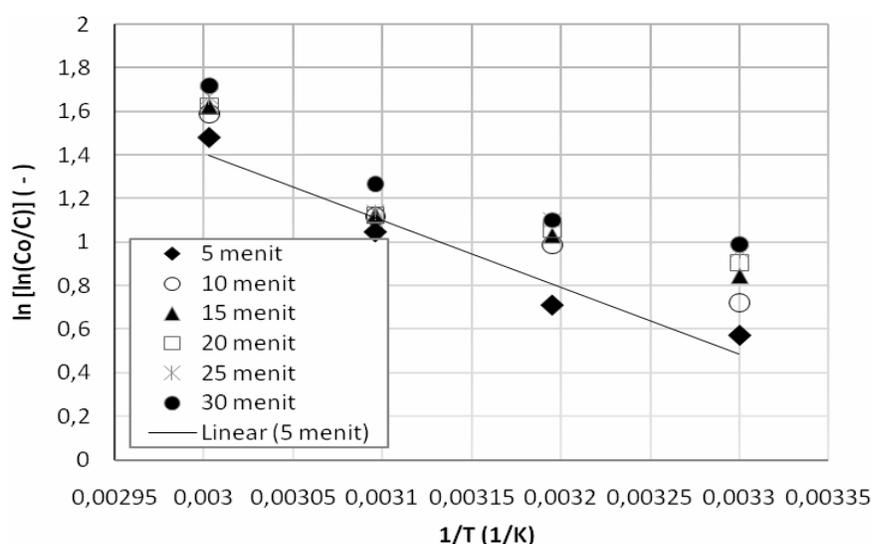
Variasi Ukuran Butir

Variasi ukuran butir dilakukan dengan mengubah-ubah tipe arang sesuai ukuran dengan variabel lain yaitu suhu operasi, massa arang tempurung kelapa, serta perbandingan massa arang tempurung kelapa dengan massa larutan phenol dijaga tetap masing-masing pada nilai 30°C, 5 gram, dan 0,0476.

Data hasil percobaan untuk variasi ukuran butir dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3. Pada Tabel 2 dan Gambar 3 ditunjukkan bahwa semakin kecil diameter butir yang digunakan (dalam waktu operasi yang sama), rasio konsentrasi phenol sisa terhadap konsentrasi awal phenol dalam larutan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah phenol yang terjerap semakin banyak, atau dapat dikatakan laju adsorpsi naik seiring makin kecilnya ukuran butir adsorben yang digunakan. Hal ini dikarenakan semakin kecil

Tabel 1. Data hasil percobaan variasi suhu pada berbagai waktu.

Suhu [K]	C/C ₀ [-]						
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit
303	1	0,31863	0,127205	0,097565	0,083980	0,07287	0,067925
313	1	0,27911	0,067925	0,060515	0,055575	0,04940	0,001235
323	1	0,05805	0,046930	0,045695	0,045695	0,04446	0,040755
333	1	0,01235	0,007410	0,006175	0,006175	0,00494	0,001235

**Gambar 2.** Nilai logaritma perbandingan konsentrasi phenol awal terhadap konsentrasi phenol sisa sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai suhu operasi (T).

ukuran butir adsorben yang digunakan untuk berat yang sama, luas kontak (luas bidang jerap) antara adsorben dengan zat yang akan dijerap menjadi semakin besar dibandingkan ukuran butir yang lebih besar dengan berat adsorben yang sama.

Variasi Rasio Massa Arang Tempurung Kelapa terhadap Massa Larutan

Percobaan variasi rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan dilakukan dengan cara mengubah-ubah jumlah arang tempurung kelapa yang digunakan dengan variabel lain yaitu suhu operasi, ukuran butir, dan volume larutan dijaga tetap masing-masing pada 30°C, -8+12 mesh (1.879,5 μm), dan 100 mL. Hasil percobaan untuk rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4. Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar rasio massa

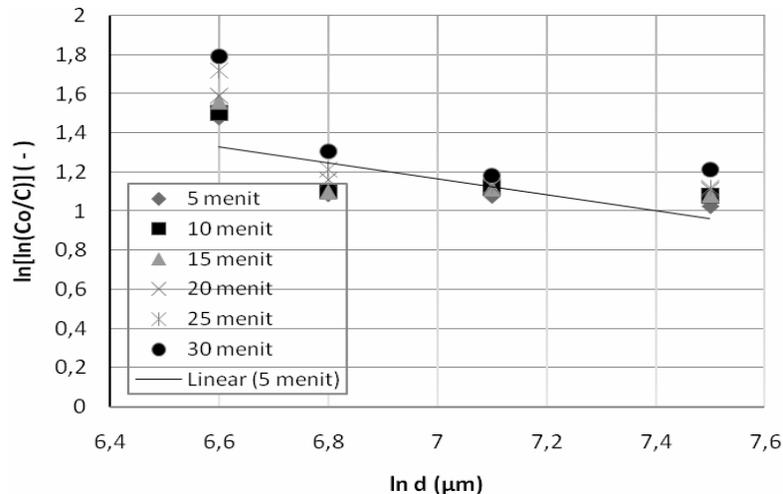
arang tempurung kelapa terhadap massa larutan, semakin kecil rasio antara konsentrasi phenol tersisa pada larutan terhadap konsentrasi awal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak phenol yang terjerap dalam waktu operasi yang sama. Dari keadaan ini, dapat dipahami bahwa laju adsorpsi meningkat seiring dengan naiknya rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan. Hal ini dikarenakan semakin besar rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan, maka semakin besar pula luas kontak (luas bidang penjerapan) antara adsorben dengan adsorbat sehingga phenol yang terjerap semakin banyak.

Perhitungan Nilai-nilai konstanta k_0 , ΔE , n_1 , dan n_2

Untuk variasi suhu (variabel lain dibuat tetap) Persamaan (8) menjadi:

Tabel 2. Data hasil percobaan variasi ukuran butir arang tempurung kelapa pada berbagai waktu.

Ukuran Butir [μm]	C/C_0 [-]						
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit
1.879,5	1	0,05434	0,05187	0,05064	0,048165	0,04693	0,03458
1.194	1	0,05311	0,04693	0,04693	0,045695	0,04570	0,03829
912	1	0,05187	0,04940	0,04940	0,040755	0,03458	0,03088
767	1	0,01112	0,00988	0,00741	0,006175	0,00247	0,00124

**Gambar 3.** Nilai logaritma perbandingan konsentrasi phenol awal terhadap konsentrasi phenol sisa sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai ukuran butir (d).

$$\ln\left(\ln\frac{C_0}{C}\right) = A + \left(\frac{-\Delta E}{RT}\right) \quad (10)$$

Dengan $A = \ln k_0 + n_1 \ln d + n_2 \ln r + \frac{1}{2} \ln t$ yang merupakan variabel tetap nilainya. Lalu dibuat grafik $\ln[\ln(C_0/C)]$ vs $1/T$ sehingga didapat grafik dengan *slope* $(-\Delta E/R)$. Dengan nilai R yang telah ditentukan, maka nilai $-\Delta E$ dapat diketahui. Dari Gambar 2, didapat 6 *slope* karena terdapat 6 variasi waktu. Pada Gambar 2, hanya diberikan contoh linierisasi untuk data pada waktu 5 menit. *Slope* ini kemudian diambil reratanya dan hasilnya adalah $-2497,83$. Dengan demikian nilai $-\Delta E = -20.766,9$ J/mol.

Untuk variasi ukuran butir (variabel lain dibuat tetap) persamaan menjadi:

$$\ln\left(\ln\frac{C_0}{C}\right) = B + n_1 \ln d \quad (11)$$

Dengan $B = \ln k_0 + \left(\frac{-\Delta E}{RT}\right) + n_2 \ln r + \frac{1}{2} \ln t$ yang merupakan variabel yang tetap nilainya. Lalu dibuat grafik antara $\ln[\ln(C_0/C)]$ vs $\ln d$ sehingga didapat grafik dengan *slope* n_1 . *Slope* rerata yang diperoleh dari Gambar 3, adalah $-0,438$. Sehingga nilai $n_1 = -0,438$.

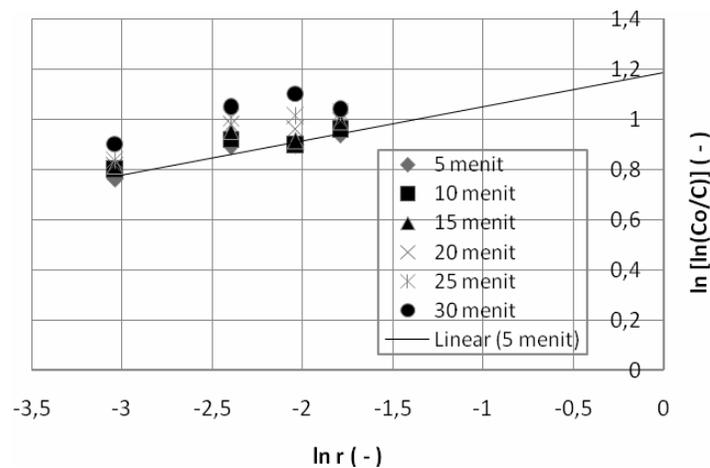
Untuk variasi rasio massa adsorben dengan massa larutan (variabel lain dibuat tetap) persamaan menjadi:

$$\ln\left(\ln\frac{C_0}{C}\right) = c + n_2 \ln r \quad (12)$$

Dengan $c = \ln k_0 + \left(\frac{-\Delta E}{RT}\right) + n_1 \ln d + \frac{1}{2} \ln t$ yang merupakan variabel dengan nilai tetap. Lalu dibuat grafik $\ln[\ln(C_0/C)]$ vs $\ln r$ sehingga didapat grafik dengan *slope* n_2 . Dari Gambar 4 diperoleh *slope* rerata $0,1313$. Sehingga nilai $n_2 = 0,1313$.

Tabel 3. Data hasil percobaan variasi rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan pada berbagai waktu.

Rasio [-]	C/C ₀ [-]						
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit
0,0476	1	0,11733	0,10868	0,10498	0,10374	0,10004	0,08522
0,0909	1	0,08769	0,08151	0,07534	0,07040	0,06544	0,05805
0,1304	1	0,08645	0,08645	0,08275	0,07410	0,06422	0,04940
0,1667	1	0,07781	0,07410	0,06795	0,06669	0,06175	0,05928



Gambar 4. Nilai logaritma perbandingan konsentrasi phenol awal terhadap konsentrasi phenol sisa sebagai fungsi waktu (*t*) pada berbagai rasio massa arang tempurung kelapa terhadap massa larutan (*r*).

Untuk mencari nilai *k_o*, suhu operasi, ukuran butir, serta rasio antara massa adsorben dengan massa larutan dibuat pada nilai tertentu lalu dimasukkan ke Persamaan (6). Karena nilai konstanta Δ*E*, *n*₁, *n*₂ telah diketahui, maka nilai *k_o* dapat dihitung. Nilai *k_o* dari hasil perhitungan adalah 1,4832. Jadi persamaan kinetiknya adalah:

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[1,4832 \exp \left(\frac{-2497,83}{RT} \right) d^{-0,438} r^{0,1313} \right] t^{1/2} \dots(13)$$

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Laju adsorpsi phenol dengan arang tempurung kelapa naik dengan naiknya suhu operasi (*T*) dan rasio massa arang tempurung kelapa terhadap larutan (*r*), tetapi laju adsorpsi turun dengan naiknya diameter butir arang tempurung kelapa (*d*) yang digunakan untuk massa yang sama.

Persamaan kinetika untuk adsorpsi phenol menggunakan arang tempurung kelapa yang diperoleh dengan cara grafis adalah sebagai berikut:

$$\ln \frac{C}{C_0} = - \left[23,24 \exp \left(\frac{-2497,83}{RT} \right) d^{-0,438} r^{0,1313} \right] t^{1/2}$$

dengan kesalahan relatif rerata sebesar 30,74%. Persamaan tersebut berlaku untuk suhu 303 – 333 K, diameter butir 767 – 1.879,5 μm, dan rasio massa arang tempurung kelapa dengan massa larutan 0,0476 – 0,1666.

Daftar Notasi

- C* = konsentrasi phenol pada *t* = *t*, ppm
- C₀* = konsentrasi phenol pada *t* = 0, ppm
- k* = konstanta laju adsorpsi, detik⁻¹
- k_o* = faktor frekuensi, m⁻ⁿ.detik^{-0,5}
- n* = order reaksi, -
- d* = diameter butir rerata, μm
- r* = rasio massa arang tempurung kelapa dengan massa larutan, -

n_1 = eksponen dari variabel d
 n_2 = eksponen dari variabel r
 ΔE = energi aktivasi, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$
 R = tetapan gas ideal, $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 T = suhu, K
 t = waktu, detik

Daftar Pustaka

- Al-Asheh, S., Banat, F., and Abu-Aitah, L., 2003, "Adsorption of Phenol Using Different Types of Activated Bentonites," *Sep. Pur. Technol.*, 33, 1-10.
- Chen, C.Y., Lin, C.I., and Chen, H.K., 2003, *Kinetics of Adsorption of β -Carotene from Soy Oil with Activated Rice Hull Ash*, *J. Chem. Eng. Japan*, 36(3), 265-270.
- Corbitt, R.A., 1990, *Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Denizli, A., Ozkan, G., and Ucar, M., 2001, "Removal of Chlorophenols from Aquatic Systems with Dye-affinity Microbeads", *Sep. Pur. Technol.*, 24, 255-262.
- Dobre, T., Guzun Stoica, A., and Floarca, O., 1999, "Reactive Extraction of Phenols Using Sulfonic Acids Salts of Trioctylamine," *Chem Eng. Sci.*, 54, 1559-1563.
- Lee, C.H. and Lin, C.I., 2004, Kinetics of Adsorption of Phospholipids from Hydrated and Alkali-Refined Soy Oil using Regenerated Clay, *J. Chem. Eng. Japan*, 37(6), 764-771.
- Lizhong, Z., Jianying, Z., Yimin, L., Xueyou, S., and Wenbin, Q., 1996, "Organobentonites as Adsorbents for Some Organic Pollutants and Its Application in Wastewater Treatment," *J. Environmental Sci.*, 8, 378-383.
- Shanbhag, P.V., Guha, A.K., and Sirkar, K.K., 1995, "Ozonation of Several Organic Compounds Having Low Molecular Weight under Ultraviolet Irradiation," *J. Hazard. Mat.*, 41, 95-104.
- Suzuki, M., 1990, *Adsorption Engineering*, Elsevier, Tokyo.
- Takahashi, N., 1990, "Single-phase Membrane Ozonation of Hazardous Organic Compounds in Aqueous Stream," *Ozone Sci. Eng.*, 12, 1-18.
- Watson, E.K., Rickelton, W.A., Robertson, A.J., and Brown, T.J., 1988, "A Liquid Phosphine Oxide: Solvent Extraction of Phenol, Acetic Acid and Ethanol," *Solv. Extr. Ion Exch.*, 6, 207-220.
- Yuliusman and Prabowo, A.L., 2010, "Preparasi Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Logam Pb", Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010, Bandung.