



Kinetika Adsorpsi Nikel (II) dalam Larutan *Aqueous* dengan Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa

Ardelita Adiningtyas* dan Panut Mulyono

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

*Alamat korespondensi: ardelitaadiningtyas@gmail.com

ABSTRACT

The adsorption kinetics of nickel (II) in aqueous solution with activated carbon from coconut shell was studied by measuring the nickel concentration in the solution (C) as a function of time (t). The parameters studied in this study were adsorption temperature (T), particle diameter of activated carbon (d), and mass ratio of activated carbon to aqueous solution (r). It was found that the adsorption rate increased with the increase of the adsorption temperature and the mass ratio of activated carbon to aqueous solution. On the contrary, it was found that the rate of adsorption decreased with increasing the particle diameter of the activated carbon. The empirical rate expression for the adsorption of nickel (II) in aqueous solution with activated carbon from coconut shell has been determined as:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[1.1872 \exp\left(-\frac{1062.2864}{RT}\right) d^{-0.0478} r^{0.2899}] t^{0.1}$$

with the relative mean error of 7.49%. The equation is valid for the range of T from 323 K to 363 K, d from 3360 μm to 297 μm , r of 0.5 to 0.6667, and for adsorption system in erlenmeyer agitated by using shaker bath.

Keywords: *adsorption kinetic, nickel (II), activated carbon, coconut shell*

ABSTRAK

Kinetika adsorpsi larutan nikel (II) dalam air dengan karbon aktif tempurung kelapa dianalisis dengan mengukur konsentrasi nikel pada larutan sebagai fungsi waktu. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu adsorpsi (T), diameter partikel karbon aktif tempurung kelapa (d), dan rasio massa karbon aktif tempurung kelapa dengan larutan nikel (II) dalam air (r). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju adsorpsi meningkat dengan bertambahnya suhu adsorpsi dan rasio massa karbon aktif tempurung kelapa dengan larutan. Sedangkan, laju adsorpsi menurun dengan bertambahnya ukuran diameter partikel karbon aktif tempurung kelapa. Dari hasil penelitian, persamaan empiris laju adsorpsi nikel (II) dalam larutan dengan karbon aktif arang tempurung kelapa dinyatakan sebagai berikut:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[1.1872 \exp\left(-\frac{1062.2864}{RT}\right) d^{-0.0478} r^{0.2899}] t^{0.1}$$

dengan kesalahan relatif sebesar 7,49%. Persamaan berlaku untuk kisaran suhu 323 K hingga 363 K, diameter karbon aktif tempurung kelapa kisaran 3360 μm hingga 297 μm , rasio massa karbon aktif

tempurung kelapa dengan larutan *aqueous* kisaran 0,5 hingga 0,6667, dan untuk sistem adsorpsi menggunakan Erlenmeyer dengan pengadukan menggunakan *shaker bath*.

Kata kunci: kinetika adsorpsi, nikel (II), karbon aktif, tempurung kelapa

1. Pendahuluan

Teknologi industri yang berkembang pesat merupakan salah satu potensi penyebab pencemaran air. Berbagai upaya meminimalisir bahaya polutan dilakukan untuk mengurangi efek berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Akumulasi logam berat yang terus meningkat pada perairan menjadi perhatian bagi berbagai pihak karena sifatnya yang beracun saat terkontaminasi dengan air. Logam berat dinyatakan sebagai polutan yang sangat toksik dan berbahaya karena sifatnya yang sukar terurai. Sifat inilah yang menyebabkan logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh makhluk hidup sehingga dapat menyebabkan keracunan secara akut dan kronis bahkan dapat menyebabkan kematian. Nikel (Ni) termasuk logam berat yang berbahaya. Nikel umumnya digunakan dalam pelapisan logam. Konsentrasinya dalam air limbah industri bervariasi antara 6-12 mg/L, sedangkan batas aman konsentrasi nikel dalam air ialah 1 mg/L (Miaratiska dan Azizah, 2015). Hal ini berarti bahwa konsentrasi nikel dalam air limbah di atas batas aman dan dapat menyebabkan masalah pencemaran air yang sangat serius bagi lingkungan.

Metode adsorpsi dengan karbon aktif merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah terkontaminasi logam berat (Thomas dan Crittenden, 1988). Namun, karbon aktif yang tersedia di pasaran masih dianggap mahal. Para peneliti telah menganalisis karbon aktif alternatif yang relatif murah dengan daya adsorpsi yang relatif sama dengan karbon aktif yang ada di pasaran.

Salah satu alternatif bahan untuk karbon aktif ini salah satunya adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan bahan yang baik dijadikan karbon aktif karena mengandung silikat (SiO_2) yang cukup tinggi, lignin (29,4%),

hemiselulosa (27,7%), selulosa (26,6%), air (8,0%), abu (0,6%) dan komponen ekstraktif (4,2%). Seluruh senyawa tersebut termasuk dalam senyawa hidrokarbon (Prananta, 2009). Selain itu karbon aktif yang dihasilkan dari arang tempurung kelapa memiliki mikropori yang banyak, luas permukaan besar, dan daya adsorpsi yang cukup tinggi (Gilar dkk., 2013).

Perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika atau kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi disebut aktivasi karbon. Aktivasi dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Aktivasi secara fisika dapat didefinisikan sebagai proses memperluas pori dari arang aktif dengan bantuan panas, uap dan gas CO_2 , sedangkan aktivasi secara kimia merupakan aktivasi dengan pemakaian bahan kimia yang disebut aktivator. Aktivator yang sering digunakan antara lain hidroksida logam alkali, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl_2 , serta senyawa asam seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 .

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, ukuran butir penjerap, dan rasio massa zat penjerap terhadap massa larutan. Faktor-faktor tersebut mempengaruhi kecepatan perpindahan massa partikel zat terjerap dari larutan ke permukaan zat penjerap. Persamaan matematis yang digunakan pada penelitian ini untuk menganalisis mekanisme adsorpsi nikel (II) ke permukaan arang tempurung kelapa adalah persamaan yang diajukan oleh Chen dkk. (2003) dan Lee dan Lin (2004). Asumsi yang diambil untuk menghubungkan antara konsentrasi adsorbat sebagai fungsi waktu dapat didekati dengan Persamaan (1).

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

dengan C = konsentrasi (g/L), C_0 = konsentrasi mula-mula (g/L), t = waktu (menit), serta k dan n merupakan konstanta-konstanta yang ditentukan dari data eksperimen $C(t)$.

Berdasar penelitian Lee dan Lin (2004), untuk menentukan orde optimum pada persamaan ditentukan dengan tebakan nilai n yang memiliki nilai R^2 mendekati satu. Pada penelitian ini diperoleh $n = 0,1$, sehingga menghasilkan persamaan dengan hubungan kecepatan adsorpsi sebagai fungsi waktu sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (2).

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt^{0.1} \quad (2)$$

Penentuan nilai-nilai konstanta kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh faktor-faktor adsorpsi. Secara umum, hubungan antara kecepatan adsorpsi, suhu, ukuran adsorben, dan rasio massa adsorben dibanding massa larutan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3) (Chen dkk., 2003).

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[k_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) d^{n_1} r^{n_2}] t^{0.1} \quad (3)$$

Nilai-nilai yang perlu ditentukan berdasar hasil percobaan adalah k_0 , n_1 , n_2 , dan ΔE . Penentuan nilai-nilai tersebut dilakukan dengan metode grafis. Untuk penentuan nilai besaran-besaran tersebut, maka Persamaan (3) diubah bentuk menjadi Persamaan (4) (Mulyono dan Wibisono, 2007; Mulyono dan Kusuma, 2010).

$$\ln \frac{C_0}{C} = [k_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) d^{n_1} r^{n_2}] t^{0.1} \quad (4)$$

Kemudian Persamaan (4) dilinearisasi menjadi Persamaan (5) (Mulyono dan Wibisono, 2007; Mulyono dan Kusuma, 2010).

$$\ln\left(\ln \frac{C_0}{C}\right) = \ln k_0 + \left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) + n_1 \ln d + n_2 \ln r + 0.1 \ln t \quad (5)$$

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konstanta persamaan empiris laju kinetika adsorpsi nikel (II) di larutannya dalam air dengan karbon aktif arang tempurung kelapa dan mengetahui hubungan antara diameter butir karbon aktif, suhu, dan rasio massa karbon aktif dibanding massa larutan pada proses adsorpsi.

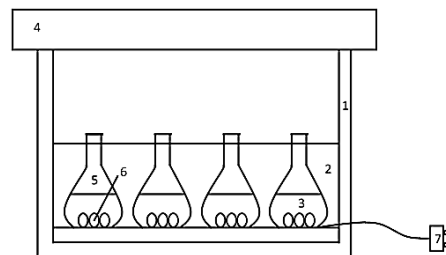
2. Metode Penelitian

2.1. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah nikel sulfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) p.a., asam sulfat (H_2SO_4) teknis, dan arang tempurung kelapa yang diperoleh dari Pasar Depok, Semarang.

2.2. Alat penelitian

Rangkaian alat penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.



Keterangan:

1. Shaker bath
2. Air
3. Larutan $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
4. Tutup
5. Erlenmeyer
6. Karbon aktif

Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

2.3. Cara penelitian

2.3.1. Pembuatan Larutan Ni (II) dalam air

Sebanyak 1 gram $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL lalu diencerkan hingga tanda batas kemudian digojog hingga homogen. Diperoleh larutan Ni (II) dalam air dengan konsentrasi 1000 ppm.

2.3.2. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa

Sebanyak 50 gram arang tempurung kelapa direndam dalam 200 mL H_2SO_4 4M selama 10 jam. Kemudian ditiriskan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam.

2.3.3. Preparasi Arang Tempurung Kelapa

Arang tempurung kelapa yang sudah diaktivasi kemudian dihancurkan dan diayak menjadi ukuran 6 mesh ($3360 \mu\text{m}$), 25 mesh ($707 \mu\text{m}$), dan 50 mesh ($297 \mu\text{m}$).

2.3.4 Proses Adsorpsi

a. Variasi Suhu Operasi

Sebanyak 50 mL larutan NiSO_4 1000 ppm diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 500 mL hingga tanda batas dan digojog sampai homogen dan diperoleh larutan NiSO_4 100 ppm. Larutan NiSO_4 100 ppm dimasukkan ke dalam 3 buah Erlenmeyer 250 mL sebanyak 100 mL. Karbon aktif arang tempurung kelapa 25 mesh ($707 \mu\text{m}$), sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer, lalu dimasukkan ke dalam *shaker bath* yang diset pada suhu 323 K, 343 K, dan 363 K. *Shaker bath* mulai dihidupkan dan dilakukan penggojogan selama 60 menit. Sampel diambil untuk dianalisis kadar Ni sisa setiap 10 menit dan disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan butiran karbon aktif yang terikut saat pengambilan sampel.

b. Variasi Ukuran Butir Karbon Aktif

Larutan NiSO_4 100 ppm dimasukkan ke dalam 3 buah Erlenmeyer 250 mL masing-masing 100 mL. Karbon aktif arang tempurung kelapa 6 mesh ($3360 \mu\text{m}$), 25 mesh ($707 \mu\text{m}$), dan 50 mesh ($297 \mu\text{m}$) dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer sebanyak 5 gram, setelah itu dimasukkan ke dalam *shaker bath* yang telah diset pada suhu 323 K. *Shaker bath* mulai dihidupkan dan dilakukan penggojogan selama 60 menit. Sampel diambil untuk dianalisis kadar Ni sisa setiap 10 menit dan disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan butiran karbon aktif yang terikut saat pengambilan sampel.

c. Variasi Rasio Massa Karbon Aktif per Massa Larutan

Larutan NiSO_4 100 ppm dimasukkan ke dalam 3 buah Erlenmeyer 250 mL masing-masing sebanyak 100 mL. Karbon aktif 25 mesh ($707 \mu\text{m}$) dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer sebanyak 10 gram, 15 gram, dan 20 gram, lalu dimasukkan dalam *shaker bath* yang telah diset pada suhu 323 K. *Shaker bath* mulai dihidupkan dan dilakukan penggojogan selama 60 menit. Sampel diambil untuk dianalisis kadar Ni sisa setiap 10 menit dan disaring terlebih

dahulu untuk menghilangkan butiran karbon aktif yang terikut saat pengambilan sampel.

2.3.5 Analisis Hasil Adsorpsi

Konsentrasi sisa logam nikel pada larutan hasil adsorpsi dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh data hubungan antara rasio konsentrasi sisa nikel dalam larutan terhadap konsentrasi awal nikel (C/C_0) dengan waktu (t) pada berbagai diameter karbon aktif (d), suhu operasi (T), dan rasio massa karbon aktif per massa larutan (r). Hasil percobaan untuk masing-masing variabel adalah sebagai berikut:

3.1 Variasi Suhu Operasi

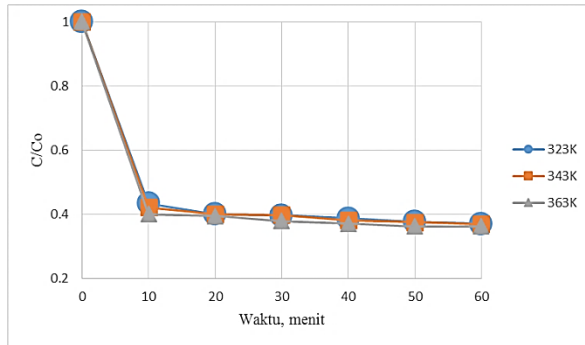
Variasi suhu operasi dilakukan dengan mengubah-ubah suhu *shaker bath* (323 K, 343 K, dan 363 K) dengan parameter massa karbon aktif 5 gram, ukuran butir karbon aktif 25 mesh ($707 \mu\text{m}$) dan rasio massa karbon aktif terhadap massa larutan 0,3333 dijaga tetap. Data hasil percobaan untuk variasi suhu operasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Hubungan antara konsentrasi nikel (II) sisa pada larutan terhadap konsentrasi awal nikel (II) (C/C_0) dengan waktu (t) pada berbagai suhu operasi

Waktu (menit)	Suhu (K)		
	Konsentrasi nikel sisa terhadap konsentrasi nikel mula-mula (C/C_0)		
	323	343	363
0	1	1	1
10	0,4344	0,4222	0,4005
20	0,4009	0,4005	0,3951
30	0,3966	0,3978	0,3707
40	0,3878	0,3815	0,3707
50	0,3765	0,3761	0,3626
60	0,3712	0,3701	0,3626

Pada Gambar 2 terlihat bahwa rasio konsentrasi sisa nikel (II) dalam larutan semakin kecil selama proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak nikel (II) yang terjerap oleh karbon aktif seiring dengan bertambahnya waktu. Data percobaan juga menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu

operasi, maka semakin sedikit jumlah nikel (II) yang tersisa dalam larutan. Hal ini disebabkan karena pergerakan molekul nikel semakin aktif dengan naiknya suhu sehingga semakin cepat menyentuh sisi permukaan arang penjerap.



Gambar 2. Konsentrasi nikel (II) sisa terhadap konsentrasi nikel (II) mula-mula sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai suhu operasi

Untuk variasi suhu dengan parameter lain dibuat tetap, maka Persamaan (5) diubah menjadi Persamaan (6).

$$\ln \left(\ln \frac{C_0}{C} \right) = A + \left(-\frac{\Delta E}{RT} \right) \quad (6)$$

Dengan $A = \ln k_o + n_1 \ln d + n_2 \ln r + 0.1 \ln t$. Kemudian dari Persamaan (6) diperoleh slope $\left(-\frac{\Delta E}{R} \right)$, dengan nilai $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$, maka dapat diperoleh nilai $-\Delta E = -1062,286 \text{ J/mol}$.

3.2 Variasi Ukuran Butir Karbon Aktif

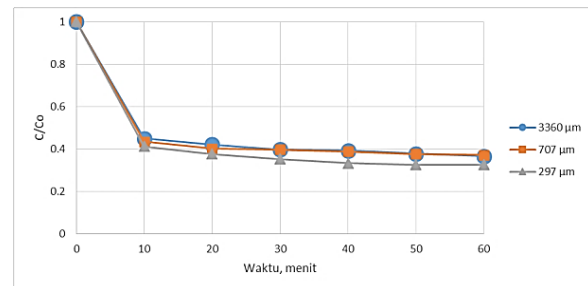
Variasi ukuran butir karbon aktif dilakukan dengan mengubah-ubah ukuran butir karbon aktif yang digunakan ($3360 \mu\text{m}$, $707 \mu\text{m}$, dan $297 \mu\text{m}$) dengan parameter massa karbon aktif 5 gram, suhu operasi 323 K dan rasio massa karbon aktif terhadap massa larutan 0,3333 dijaga tetap. Data hasil percobaan untuk variasi ukuran butir karbon aktif ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Terlihat bahwa rasio konsentrasi sisa nikel (II) dalam larutan semakin kecil selama proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak nikel (II) yang terjerap oleh karbon aktif seiring dengan bertambahnya waktu. Data percobaan juga menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran butir karbon aktif, maka semakin sedikit jumlah nikel yang tersisa dalam larutan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil

ukuran butir karbon aktif, maka laju adsorpsi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir karbon aktif, luas bidang kontak atau luas bidang jerapnya menjadi lebih besar sehingga lebih banyak nikel yang dapat terjerap.

Tabel 2. Hubungan antara konsentrasi nikel (II) sisa pada larutan terhadap konsentrasi awal nikel (II) (C/C_0) dengan waktu (t) pada berbagai ukuran butir karbon aktif

Waktu (menit)	Ukuran butir karbon aktif		
	Konsentrasi nikel sisa terhadap konsentrasi nikel mula-mula (C/C_0)		
	3660 μm	707 μm	297 μm
0	1	1	1
10	0,4493	0,4344	0,4113
20	0,4205	0,4009	0,3761
30	0,3974	0,3966	0,3517
40	0,3924	0,3866	0,3327
50	0,378	0,3765	0,3246
60	0,3653	0,3712	0,3246



Gambar 3. Konsentrasi nikel (II) sisa terhadap konsentrasi nikel (II) mula-mula sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai ukuran butir karbon aktif

Untuk variasi ukuran butir karbon aktif dengan parameter lain dibuat tetap, maka Persamaan (5) diubah menjadi Persamaan (7).

$$\ln \left(\ln \frac{C_0}{C} \right) = B + n_1 \ln d \quad (7)$$

Dengan $B = \ln k_o + \left(-\frac{\Delta E}{RT} \right) + n_2 \ln r + 0.1 \ln t$. Kemudian dari Persamaan (7) diperoleh slope $n_1 = -0,0478$.

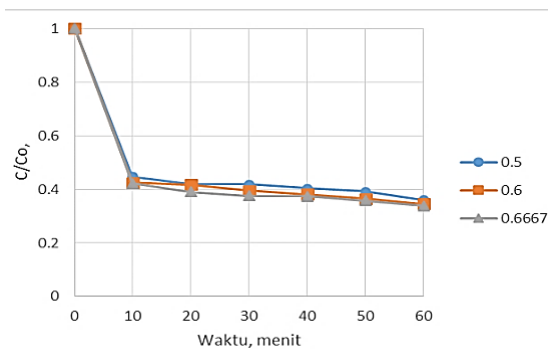
3.3 Variasi Rasio Massa Karbon Aktif per Massa Larutan

Variasi rasio massa karbon aktif per massa larutan dilakukan dengan mengubah-ubah massa karbon aktif arang tempurung kelapa yang digunakan (10 gram, 15 gram, dan 20 gram)

dengan parameter suhu operasi 323 K dan ukuran butir karbon aktif 25 mesh (707 μm) dijaga tetap. Data hasil percobaan untuk variasi rasio massa karbon aktif per massa larutan ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Hubungan antara konsentrasi nikel (II) sisa pada larutan terhadap konsentrasi awal nikel (II) (C/C_0) dengan waktu (t) pada berbagai rasio massa karbon aktif per massa larutan

Waktu (menit)	Rasio massa karbon aktif terhadap massa larutan		
	Konsentrasi nikel sisa terhadap konsentrasi nikel mula-mula (C/C_0)		
	0,5	0,6	0,6667
0	1	1	1
10	0,4466	0,4249	0,4222
20	0,4195	0,4168	0,3897
30	0,4195	0,3951	0,3761
40	0,4032	0,3815	0,3734
50	0,3924	0,3653	0,3571
60	0,3598	0,3463	0,3382



Gambar 4. Konsentrasi nikel (II) sisa terhadap konsentrasi nikel (II) mula-mula sebagai fungsi waktu (t) pada berbagai rasio massa karbon aktif per massa larutan

Pada Gambar 4 terlihat bahwa rasio konsentrasi sisa nikel (II) dalam larutan semakin kecil selama proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak nikel (II) yang terjerap oleh karbon aktif seiring dengan bertambahnya waktu. Data percobaan juga menunjukkan bahwa semakin besar rasio karbon aktif per massa larutan, maka semakin sedikit jumlah nikel (II) yang tersisa dalam larutan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar rasio massa karbon aktif per massa larutan, maka laju adsorpsi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin besar rasio massa karbon aktif per massa larutan, maka luas bidang kontak (luas bidang penjerapan) antara adsorben dan adsorbat menjadi lebih besar.

Untuk variasi rasio massa karbon aktif terhadap rasio massa larutan dengan parameter lain dibuat tetap, maka Persamaan (5) diubah menjadi Persamaan (8).

$$\ln \left(\ln \frac{C_0}{C} \right) = C + n_2 \ln r \tag{8}$$

Dengan $B = \ln k_0 + \left(-\frac{\Delta E}{RT} \right) + n_1 \ln d + 0.1 \ln t$. Kemudian dari persamaan (8) diperoleh slope $n_2 = 0,2899$.

Karena nilai ΔE , n_1 , n_2 telah diketahui maka nilai k_0 dapat dihitung. Diperoleh nilai $k_0 = 1,1872$. Dengan demikian persamaan empiris laju kinetika adsorpsi dinyatakan dalam Persamaan (9).

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[1.1872 \exp \left(-\frac{1062.2864}{RT} \right) d^{-0.0478} r^{0.2899}] t^{0.1} \tag{9}$$

dengan kesalahan relatif sebesar 7,49%.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

a. Persamaan empiris laju adsorpsi nikel (II) dalam larutannya di air dengan karbon aktif arang tempurung kelapa berdasarkan metode grafis dapat dinyatakan sebagai

$$\ln \frac{C}{C_0} = -[1.1872 \exp \left(-\frac{1062.2864}{RT} \right) d^{-0.0478} r^{0.2899}] t^{0.1}$$

dengan kesalahan relatif sebesar 7,49%. Persamaan empiris ini berlaku untuk kisaran suhu 323 K hingga 363 K, diameter karbon aktif tempurung kelapa dengan kisaran 3360 μm hingga 297 μm, rasio massa karbon aktif tempurung kelapa dengan larutan nikel (II) di air dengan kisaran 0,5 hingga 0,6667, dan untuk sistem adsorpsi menggunakan Erlenmeyer dengan agitasi menggunakan *shaker bath*.

b. Laju adsorpsi nikel (II) dengan karbon aktif arang tempurung kelapa akan meningkat dengan meningkatnya suhu operasi (T) dan rasio massa karbon aktif terhadap massa larutan (r), dan akan menurun dengan semakin besarnya ukuran butir karbon aktif (d).

Daftar Pustaka

- Chen, Chu-Yuan, and Chun-I Lin, 2003, Kinetics of Adsorption of β -Carotene from soy Oil with Activated Rice Hull Ash, *J. Chem. Eng. Japan*, 36 (3), 265–270.
- Lee, C.H. and Chun-I Lin, 2004, Kinetics of Adsorption of Phospholipids from Hydrated and Alkali-Refined Soy Oil Using Regenerated Clay, *J. Chem. Eng. Japan*, 37 (6), 764–771.
- Miaratiska, N. dan R. Azizah, R., 2015, Hubungan Paparan Nikel dengan Gangguan Kesehatan Kulit pada Pekerja Industri Rumah Tangga Pelapisan Logam di Kabupaten Sidoarjo, Universitas Airlangga.
- Mulyono, P. dan Wibisono, 2007, Kinetika Adsorpsi Amoniak dalam Air dengan Karbon Aktif, *Media Teknik*, 2, XXIX, Edisi Mei, 36-42.
- Mulyono, P. Dan Kusuma, W.M., 2010, Kinetika Adsorpsi Phenol dalam Air dengan Arang Tempurung Kelapa, *Forum Teknik*, 33 (2), 103-110.
- Thomas, W.J. and Crittenden, B.D., 1998, *Adsorption Technology and Design*, Butterworth-Hienemann, Oxford.