

KESETIMBANGAN ADSORPSI KADMIUM (Cd) DENGAN ADSORBEN ABU SEKAM PADI

Desi Heltina

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Panam Pekanbaru Riau
Telp. (0761) 566937, email : desiheltina@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sumber Kadmium di perairan berasal dari limbah pertambangan timah dan seng. Kadmium berbahaya jika terakumulasi dalam tubuh melebihi ambang batasnya, untuk itu perlu dilakukan penjerapan kadmium dengan adsorpsi menggunakan salah satu adsorben yaitu abu sekam padi. Penelitian ini bertujuan mendapatkan kapasitas jerap maksimum dan model kesetimbangan adsorpsi. Penelitian diawali dengan pengaktifan sekam padi menjadi abu sekam padi dengan pemanasan dan penambahan Asam Nitrat 0,1N. Abu sekam padi sebanyak 1 gr dikontakkan dengan 500 ml larutan kadmium dengan konsentrasi awal tertentu di dalam reaktor batch berpengaduk pada suhu tertentu sampai mencapai waktu kesetimbangan. Sampel diambil tiap waktu dan dianalisa dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Kemudian diperoleh kurva kesetimbangan isotherm adsorpsi. Percobaan dilakukan dengan berbagai variabel konsentrasi awal larutan kadmium (C_0) 20, 40 60, 80 dan 100 ppm, dan suhu adsorpsi yaitu suhu kamar (27°), 40°C dan 50°C . Dari percobaan didapatkan waktu kesetimbangan adsorpsi tercapai selama 3 jam. Data kesetimbangan menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung optimal pada suhu 27°C dengan persen penjerapan 82,55%. Mekanisme adsorpsi yang terjadi mengikuti model isotherm Freundlich dengan panas adsorpsi $3,487 \text{ kkal/mol}^\circ\text{K}$.

Kata kunci: Abu Sekam Padi; Adsorpsi; Kadmium; Kesetimbangan

1. Pendahuluan

Pencemaran oleh logam berat terjadi pada banyak limbah cair industri. Salah satu logam berat yang dapat mencemari air adalah kadmium. Sumber kadmium yang masuk ke perairan dapat berasal dari limbah pertambangan timah dan seng, air bilasan dari *electroplating* (penyepuh/pelapisan logam), dll. Kadmium dapat menyebabkan pengaruh negatif atau bersifat toksik terhadap organisme air dan manusia pada batas konsentrasi tertentu. Logam kadmium juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak kerusakan indera penciuman (Darmono, 1995). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001, standar baku air terhadap logam berat kadmium adalah 0,01 mg/l.

Salah satu hal yang dapat dilakukan dalam pengendalian dampak lingkungan akibat pencemaran logam kadmium ini adalah dengan pengambilan logam kadmium dalam air limbah menggunakan proses adsorpsi. Teknologi ini potensial untuk digunakan karena disamping alatnya sederhana, juga mudah dilakukan.

Penelitian adsorpsi kadmium dengan adsorben sekam padi telah dilakukan Ong dkk. (2007). Menurut Ong sekam padi mengandung silika yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai adsorben. Ong dkk. melaporkan sekam padi yang telah diaktifkan dengan HNO_3 mampu menjerap logam kadmium lebih baik dari pada sekam padi mentah. Pengaktifan sekam padi dengan HNO_3 bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor dan membuka pori-pori pada sekam padi sehingga dapat menjerap logam lebih banyak. Chandrasekhar dkk. (2006) juga telah melakukan penelitian untuk memproduksi abu sekam padi dengan silika yang berkualitas baik. Sekam padi diaktivasi dengan HCl 0,1 N, kemudian dibakar dengan menggunakan *furnace* sehingga menghasilkan abu sekam padi teraktivasi. Maka pada penelitian ini, sekam padi yang digunakan akan diaktivasi dengan menggunakan HNO_3 (Ong dkk., 2007) kemudian dibakar dengan menggunakan *furnace*, sehingga menghasilkan abu sekam padi teraktivasi yang digunakan sebagai adsorben kadmium. Pengaktifan sekam padi dengan asam terlebih dahulu mampu menghasilkan abu sekam padi dengan kualitas yang baik, yaitu abu sekam padi dengan warna putih dan reaktifitas yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan waktu kesetimbangan adsorpsi, mempelajari kemampuan abu sekam padi dalam mengurangi konsentrasi logam berat kadmium pada air limbah serta menentukan model kesetimbangan adsorpsi.

2. Tinjauan Pustaka

Sekam padi merupakan lapisan keras yang terdiri dari dua belahan yang disebut *palea* dan *lemma* (bagian yang lebih lebar) yang saling bertautan. Sel-sel sekam yang telah masak mengandung lignin dan silika dalam konsentrasi tinggi. Kandungan silika diperkirakan berada dalam lapisan luar (De Datta, 1981) sehingga permukaannya keras dan sulit menyerap air, mempertahankan kelembaban, serta memerlukan waktu yang lama untuk mendekomposisinya (Houston, 1972).

Abu sekam padi dengan fasa non-kristal (amorf) diperoleh dengan suhu pembakaran dibawah 700°C, dan umumnya mempunyai kadar silika yang tinggi. Ketika pembakaran sekam padi dilakukan dengan suhu yang tidak dikendalikan, abu yang dihasilkan umumnya berbentuk kristal. Jadi, dengan pembakaran sekam padi dengan pengendalian suhu, abu sekam padi dengan reaktivitas yang tinggi dapat diperoleh (Della dkk., 2002).

Kandungan silika (SiO₂) yang tinggi dalam abu sekam padi mengindikasikan potensi besar yang dimiliki abu sekam padi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben. Silika abu sekam padi memiliki gugus fungsi OH (gugus hidroksil) yang menunjukkan ikatan Si-OH (Pandiangnan dkk., 2008), yang dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat.

Kesetimbangan adsorpsi terjadi bila larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul adsorbat berpindah dari fasa cair ke adsorben, sampai tidak terjadi lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di larutan (C_e) maupun di adsorben (Q_e), atau kecepatan adsorpsi dengan desorpsinya telah sama.

a. Model Isoterm Freundlich

Model isoterm Freundlich menggunakan asumsi sebagai berikut:

- Adsorben mempunyai permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda.
- Tidak adanya peristiwa adsorpsi kimia.

Isoterm Freundlich dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (1)$$

b. Model Isoterm Langmuir

Irving Langmuir adalah seorang ilmuwan Amerika yang mengembangkan model isoterm adsorpsi gas pada padatan. Asumsi yang dipakai adalah:

- Adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya.
- Tidak ada interaksi antara molekul- molekul yang terserap.
- Semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama.
- Hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

Isotherm Langmuir dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_e = \frac{Q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

c. Model Isotherm BET (Brunauer, Emmett, and Teller)

Isotherm ini berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang homogen. Perbedaan isotherm ini dengan Langmuir adalah BET berasumsi bahwa molekul-molekul adsorbat bisa membentuk lebih dari satu lapisan adsorbat di permukaannya.

Isotherm BET dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_e = \frac{Q_0 K_{BET} \frac{C_e}{C_o}}{\left(1 - \frac{C_e}{C_o}\right) \left[1 + (K_{BET} - 1) \frac{C_e}{C_o}\right]} \quad (3)$$

Panas Adsorpsi

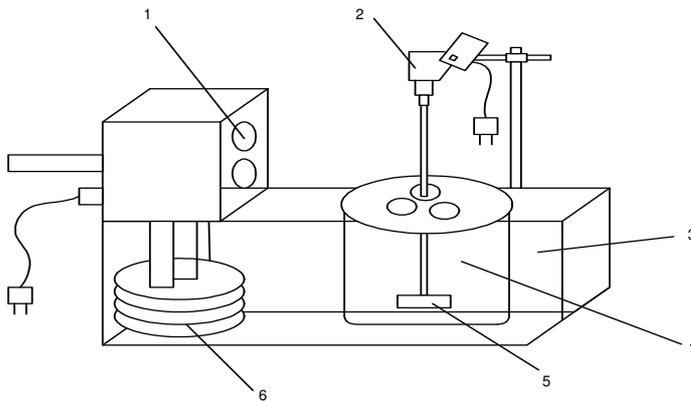
Untuk persamaan Langmuir, panas adsorpsi (ΔH) berhubungan dengan konstanta kesetimbangan (K_L), yang dinyatakan dengan persamaan 4 (Suzuki, 1989)

$$K_L = K_0 \exp\left(\frac{-\Delta H}{RT}\right) \quad (4)$$

3. Metodologi

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadmium nitrat ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), sekam padi yang diperoleh dari Kecamatan Air Tiris, Kabupaten Kampar, Asam Nitrat (HNO_3) konsentrasi 0,1 N dan aquadest.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serangkaian peralatan adsorpsi seperti yang ditampilkan pada Gambar 1, thermometer, oven, furnace, dan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).



Keterangan:

1. Pengatur suhu
2. Motor pengaduk
3. Waterbath
4. Beaker glass
5. Pengaduk
6. Elemen pemanas

Gambar 1. Rangkaian Peralatan Adsorpsi

Penelitian diawali dengan pengaktifan sekam padi menjadi abu sekam padi dengan pemanasan dan penambahan Asam Nitrat 0,1N (Ong dkk., 2007). Abu sekam padi sebanyak 1 gr dikontakkan dengan 500 ml larutan kadmium dengan konsentrasi awal tertentu di dalam reaktor batch berpengaduk pada suhu tertentu sampai mencapai waktu kesetimbangan. Sampel diambil tiap waktu dan dianalisa dengan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Kemudian diperoleh kurva kesetimbangan isoterm adsorpsi. Percobaan dilakukan dengan berbagai variabel konsentrasi awal larutan kadmium (C_0) 20, 40 60, 80 dan 100 ppm, dan suhu adsorpsi yaitu suhu kamar (27°), 40°C dan 50°C .

4. Hasil dan Pembahasan

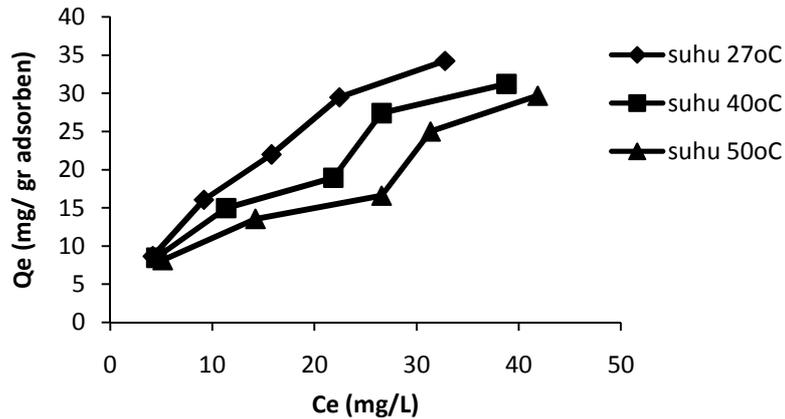
Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kesetimbangan adsorpsi logam kadmium dengan abu sekam padi tercapai pada waktu 3 jam dengan persen penjerapan rata-rata adalah 82,55%.

Tabel 1. Persen Penjerapan Kadmium

Waktu (jam)	Konsentrasi Kadmium Setelah Penjerapan (mg/L)	Persen Penjerapan (%)
0,5	6,164	74,16
1	5,052	78,82
1,5	4,752	80,08
2	4,386	81,61
3	4,172	82,51
4	4,169	82,52
5	4,167	82,53
6	4,139	82,65

Dari gambar 2 dapat dilihat semakin besar konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan, maka kemampuan jerap adsorben semakin meningkat, sampai tercapai

kapasitas jerap adsorben maksimum. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi tinggi, tumbukan antara adsorben dan adsorbat meningkat. Dalam hal ini juga dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu adsorpsi, kemampuan jerap adsorben semakin menurun, ini dikarenakan mobilitas dari ion-ion kadmium bertambah dengan meningkatnya suhu, sehingga adsorbat cenderung meninggalkan adsorben.

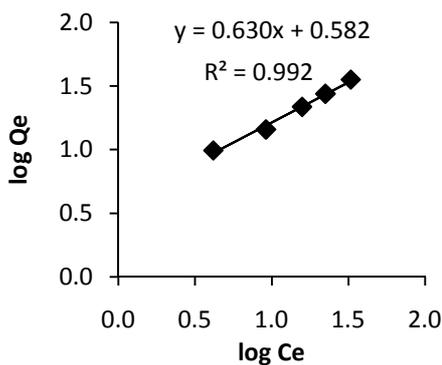


Gambar 2 Hubungan Konsentrasi Kadmium pada Keadaan Setimbang (C_e) dengan Kemampuan Adsorben (Q_e) pada Variasi Suhu

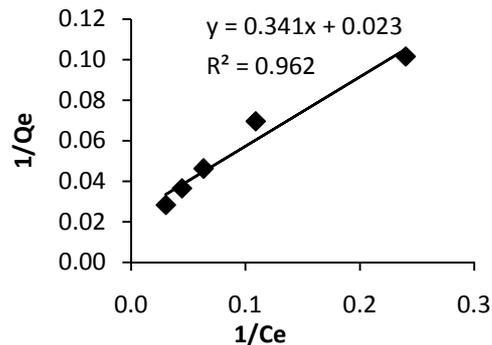
Pengujian Model Kesetimbangan Adsorpsi

1. Pengujian Model Kesetimbangan Pada Suhu 27°C

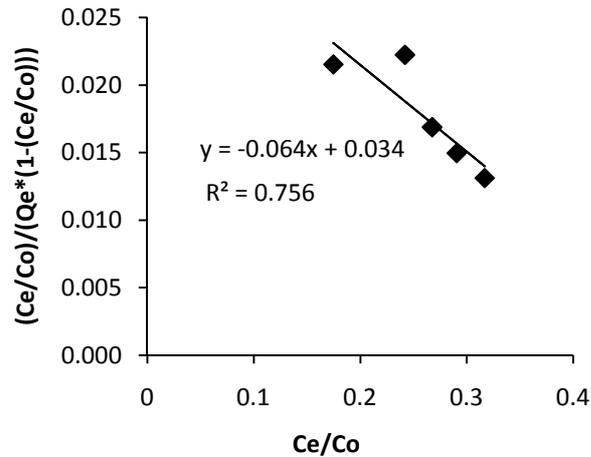
Pengujian model kesetimbangan Freundlich, Langmuir dan BET pada suhu 27°C ditampilkan pada gambar 3 sampai gambar 5.



Gambar 3 Pengujian Model Freundlich



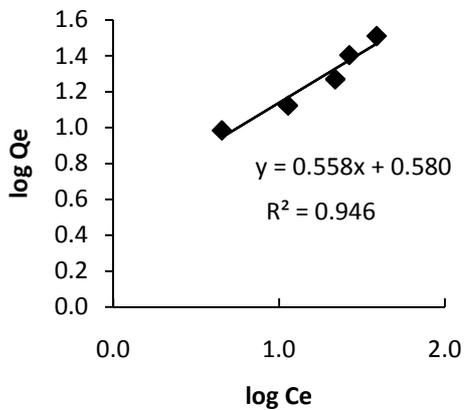
Gambar 4 Pengujian Model Langmuir



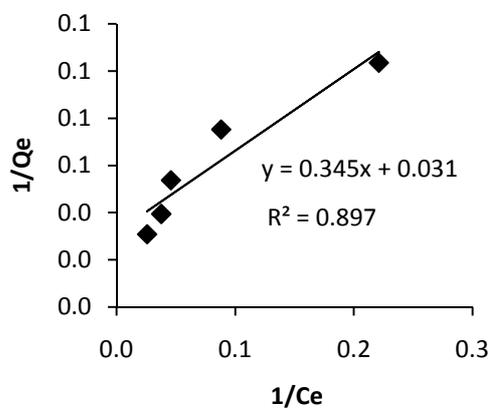
Gambar 5 Pengujian Model BET pada Suhu 27°C

2. Pengujian Model Kesetimbangan Pada Suhu 40°C

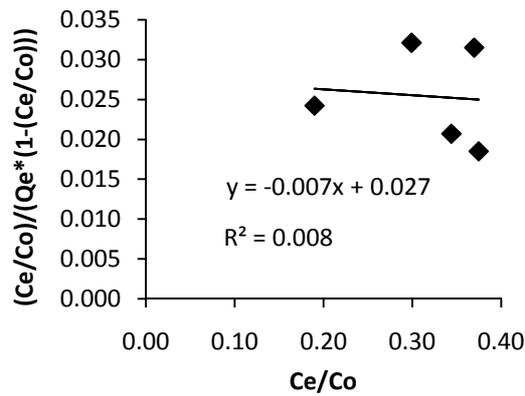
Pengujian model kesetimbangan Freundlich, Langmuir dan BET pada suhu 40°C ditampilkan pada gambar 6 sampai gambar 8.



Gambar 6 Pengujian Model Freundlich



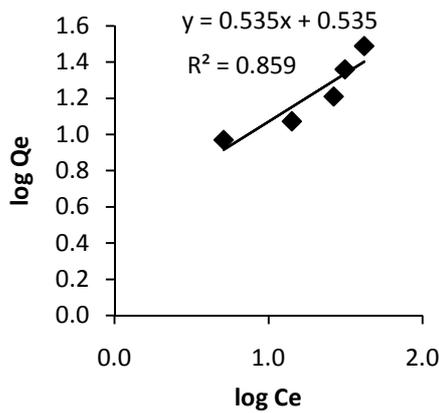
Gambar 7 Pengujian Model Langmuir



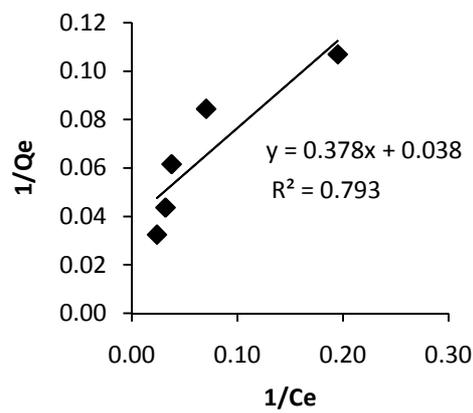
Gambar 8 Pengujian Model BET

3. Pengujian Model Kesetimbangan Pada Suhu 50°C

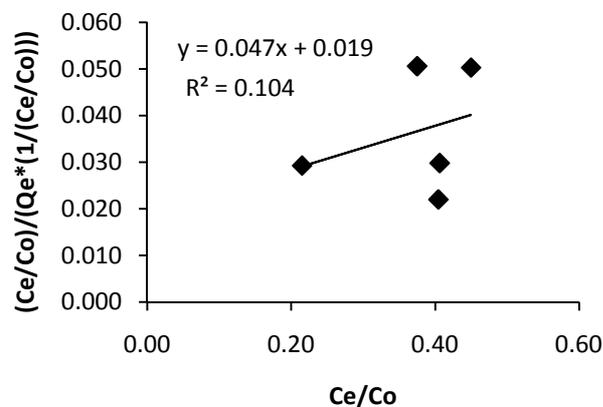
Pengujian model kesetimbangan Freundlich, Langmuir dan BET pada suhu 50°C ditampilkan pada gambar 9 sampai gambar 11.



Gambar 9 Pengujian Model Freundlich



Gambar 10 Pengujian Model Langmuir



Gambar 11 Pengujian Model BET

Dari gambar 3 sampai gambar 11 dapat dilihat bahwa adsorpsi kadmium oleh abu sekam paling baik terjadi pada suhu 27°C mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai R^2 0,992. Hal ini menunjukkan adsorpsi kadmium oleh abu sekam padi berlangsung baik secara fisika yaitu melalui pori-pori. Adanya unsur alkali pada abu sekam padi yaitu Na dan K juga dapat menyebabkan pertukaran logam Cd dengan alkali.

Tabel 2 Parameter Kesetimbangan Berbagai Model Adsorpsi

Suhu	Isoterm Freundlich		Isoterm Langmuir		Isoterm BET	
	K_F	N	K_L	Q_o	K_{BET}	Q_o
27°C	3,819	1,587	0,067	43,478	-0,882	-33,333
40°C	3,802	1,792	0,090	32,358	0,741	50
50°C	3,428	1,869	0,101	26,316	3,474	15,152

Panas Adsorpsi

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 4 diperoleh nilai panas adsorpsi 3,487 kkal/mol^oK, kita dapat mengetahui bahwa adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika, karena panas adsorpsinya dibawah 10 kkal.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Abu sekam padi dapat digunakan sebagai adsorben dalam penjerapan kadmium dalam air limbah dengan persen penjerapan rata-rata 82,55% pada konsentrasi 23,850 mg/L dengan waktu kesetimbangan tercapai selama 3 jam
2. Mekanisme adsorpsi kadmium oleh abu sekam padi adalah model isoterm Freundlich yang mewakili adsorpsi fisika dengan panas adsorpsi 3,487 kkal/mol^oK.

Daftar Pustaka

1. Chandrasekhar, S., Pramada, Temperature and Heating Rate On The Optical Properties and Reactivity of Rice Husk Ash, *J. Material Science* 41, 7926-7933.P.N., dan Majeed, J., 2006, Effect of Calcination
2. Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistim Biologi Mahluk Hidup*, Universitas Indonesia Pers, Jakarta.
3. De Datta, S., 1981, *Principles and Practices of Rice Production*, John Wiley and Sons, New York.

4. Della, V.P., Kuhn, I., dan Hotza, D., 2002, *Rice Husk Ash as An Alternate Source for Active Silica Production*, *Mat. Lett.*, 57, 818 – 821.
5. Houston, D.F., 1972, *Rice, Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists. Inc., Minnesota.
6. Ong, S.A., Seng, S.E., and Lim, P.E., 2007, Kinetics of Adsorption of Cu (II) and Cd (II) from Aqueous Solution on Rice Husk and Modified Rice Husk, *Electronic Journal of Environment, Agricultural and Food Chemistry*, 1764-1777.
7. Pandaingan, K.D., Suka, I.G., Rilyanti, M., Widiarto, S., Anggraini, D., Arief, S., dan Jamarun, N., 2008, Karakteristik Keasaman Katalis Berbasis Silika Sekam Padi yang Diperoleh dengan Teknik Sol-Gel, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung*, 342-356.
8. Suzuki, M., 1989, *Adsorption Engineering*, Kodansha Ltd. dan Elsevier Science, Japan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Leny Budianty serta pihak-pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan, dan terima kasih juga diucapkan kepada Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasikan sehingga makalah ini dapat diseminarkan.

Daftar Notasi

Q_e : jumlah adsorbat yang terserap/berat adsorben pada saat kesetimbangan (mg adsorbat/g adsorben)

Q_0 : kapasitas penjerapan maksimum (mg adsorbat/g adsorben)

C_e : konsentrasi adsorbat dalam larutan pada saat kesetimbangan (mg/l)

C_0 : konsentrasi awal adsorbat (mg/l)

K_F, K_L, K_{BET} : konstanta Freundlich, Konstanta Langmuir, Konstanta BET

n : faktor heterogenitas