



SINTESIS KARBON MESOPORI, CMK-1 DAN POTENSI ADSORPSINYA ATAS SURFAKTAN DI PERAIRAN

Paulina Taba, Yusafir Hala, dan Nashriah
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin
Kampus Tamalanrea Makassar 90245 Telp./Faks. (0411) 586498 Email : kimiauh@indosat.net.id

ABSTRACT

Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) on mesoporous carbon, CMK-1 with a variation of the contact time, the concentration of SDBS and a variation of pH has been conducted. The concentration of SDBS before and after adsorption was determined by a UV spectrophotometer. Freundlich and Langmuir models were used to study the adsorption capacity of SDBS by CMK-1. The Results showed that the optimum contact time was 4 hours. To know the adsorption capacity of SDBS on CMK-1, adsorption of SDBS at various concentrations and various pH were conducted at optimum contact time. From the results, it was clear that the adsorption capacity at pH of 7 > pH of 4 > at pH of 10 and adsorption followed isotherm Freundlich.

Keywords : mesoporous, carbon, adsorption, capacity

PENDAHULUAN

Surfaktan adalah senyawa organik yang digunakan dalam berbagai aktivitas rumah tangga, industri, komersil dan pertanian, sekaligus dapat mengkontaminasi air. Salah satu jenis surfaktan yang digunakan dalam formulasi deterjen adalah natrium dodekil benzena sulfonat (SDBS). Pengurangan senyawa ini dari air buangan umumnya dilakukan dengan biodegradasi yang prosesnya relatif lama, \pm 15 hari (Hindaka dalam Fachini, 2002). Sisa buangan dari surfaktan ini bersifat resisten dalam berbagai media, sehingga dapat merugikan karena sifat stabilitas yang mantap sebagai *nonbiodegradable* yang merendahkan tegangan permukaan, tegangan antar permukaan, maupun tegangan dalam air itu sendiri. Selain itu dapat merangsang mengapungnya zat padat yang membentuk busa dan dapat membunuh bakteri-bakteri yang berguna maupun mikroorganisme yang lain (Ryadi, 1984).

Pengolahan limbah secara fisika yang digunakan untuk menghilangkan SDBS adalah adsorpsi, karena prosedurnya mudah dan dapat menggunakan adsorben yang bermacam-macam (Tamai, 1999). Karbon aktif merupakan adsorben yang efektif dan sangat umum digunakan karena mempunyai luas permukaan yang tinggi. Pada penggunaan karbon aktif, sifat adsorpsi dan kapasitas adsorben memegang peranan penting. Kapasitas adsorpsi karbon aktif bergantung pada karakteristik pori seperti luas permukaan spesifik, ukuran pori, dan distribusinya.

Karbon aktif mempunyai keterbatasan dalam mengadsorpsi molekul-molekul besar karena karbon aktif mempunyai ukuran pori mikro (Avom, 1997; Otowa, 1997), sehingga karbon mesopori merupakan zat yang berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben molekul-molekul besar.

Karbon mesopori, CMK-1 merupakan zat dengan ukuran meso dan pertama kali disintesis oleh Ryoo dkk pada tahun 1999 (Ryoo, 1999). Sejak pembuatannya, penelitian terhadap CMK-1 banyak diarahkan pada karakterisasi. Penggunaan CMK-1 sebagai adsorben untuk senyawa-senyawa dalam fase gas (air, benzena) telah dilakukan. Selain memiliki luas permukaan dan ukuran pori yang besar, CMK-1 bersifat stabil terhadap panas sampai suhu 573 K dan stabil dalam air dingin dan air mendidih (Taba, P 2001).

Dalam penelitian ini dipelajari kemampuan CMK-1 dalam mengadsorpsi SDBS dalam larutan, antara lain dengan menentukan waktu kontak optimum adsorpsi SDBS oleh CMK-1, model isothermal adsorpsi, dan mempelajari pengaruh pH terhadap adsorpsi SDBS oleh CMK-1. Hasil yang diperoleh diharapkan mampu memberikan kontribusi yang berharga terhadap ilmu pengetahuan dan informasi tentang kemampuan daya serap CMK-1 terhadap SDBS dalam larutan, yang pada gilirannya dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pengolahan air buangan yang terkontaminasi oleh molekul-molekul besar, seperti SDBS.

BAHAN DAN ALAT

Alat-alat yang digunakan antara lain alat gelas yang umum digunakan, tanur yang didesain di Workshop University of New South Wales Australia. Pengatur suhu (BTC-9090), oven Sybron Tipe 19200, magnetik stirrer Fisher, tabung kuarsa, cawan porselen dan pompa vakum (XX 5522050 S/N 0294), neraca (Chyo BJ-180), membran dengan ukuran 1,2 μm (Pall Corporation, Michigan 48103-9019) dan Spektrofotometer UV (UV-1601 Shimadzu).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain koloid silika (Ludox HS40, merupakan campuran 39,5 % SiO_2 , 0,4 % berat Na_2O dan 60,1 % berat H_2O , Du Pont). Setil trimetil ammonium bromida (CTAB, Sigma Aldrich), Triton X-114 (Sigma Aldrich), larutan NaOH 1 M yang dibuat dari NaOH p.a dalam akuades. Larutan sukrosa I, dibuat dengan mencampurkan 1,25 g sukrosa dengan 0,07 g asam sulfat pekat, dan 3,0 g air, sedangkan larutan sukrosa II, dibuat dengan mencampurkan 0,75 g sukrosa dengan 0,02 g asam sulfat pekat, dan 2,8 g air. Asam asetat 30 % diperoleh dengan mengencerkan asam asetat glacial, (Merck), sedangkan larutan HCl 0,1 M dibuat dengan mengencerkan HCl 37 % dalam etanol 50 % (v/v). Larutan NaOH 2,5 % b/v dibuat dari NaOH p.a dalam etanol 50 % (v/v). Larutan buffer pH 4, 7, dan pH 10, serta Akuades dan akuabides dari lokal Makassar. Etanol absolut (Merck), NaCl (Merck), SDBS (Sigma Aldrich).

Sintesis MCM-48

Sintesis MCM-48 mengadopsi metode Ryoo (Ryoo, 1999), 14,3 g larutan Ludox HS₄₀ dicampurkan dengan 45,25 g larutan NaOH 1 M. Campuran dipanaskan sambil diaduk selama 2 jam pada suhu 353 K. Campuran surfaktan dibuat dengan melarutkan 6,12 g CTAB dan 1,34 g Triton X-114 secara bersamaan dalam 83,47 g akuabides sambil dipanaskan.

Setelah larutan Sodium tetrasilikat dan larutan surfaktan dingin, keduanya dicampurkan dengan cepat dalam botol polipropilena. Botol langsung ditutup dan dikocok dengan kuat. Campuran gel yang dihasilkan dipanaskan di bawah kondisi statis pada 100 °C selama 24 jam. Pada tahap ini, mesofase surfaktan-silika terbentuk. Untuk menghindari pemisahan dari mesofase pada tahap awal pemanasan, botol yang berisi campuran sekali-sekali dikocok. Campuran reaksi kemudian didinginkan pada suhu kamar, dan ditambahkan asam asetat 30 % (b/b) ke dalam campuran untuk mengatur pH sampai 10. Setelah pH mencapai 10, campuran dipanaskan lagi pada 100 °C selama 24 jam dan didinginkan pada suhu kamar. Sebanyak 2,95 g NaCl ditambahkan ke

dalam campuran, lalu dipanaskan pada 100 °C selama 24 jam. MCM-48 yang terbentuk, lalu disaring, dicuci dengan akuabides, dan dikeringkan pada 120 °C dalam oven.

Surfaktan dihilangkan dari produk berwarna putih melalui pencucian dengan HCl 0,1 M. Sebanyak 1 g MCM-48 dicuci dengan 25 mL HCl 0,1 M sambil diaduk selama 30 menit pada suhu kamar. Pencucian diulangi sekali lagi kemudian campuran disaring. Endapan dicuci dengan air suling dan dikeringkan pada 105 °C.

Sintesis CMK-1

Sebanyak 1 g MCM-48 di campur dengan larutan sukrosa I dalam sebuah cawan porselen. Campuran dipanaskan dalam oven pada suhu 100 °C selama 1 jam dan dinaikkan secara perlahan-lahan hingga suhu 200 °C dan dipertahankan pada suhu itu selama 30 menit. Sukrosa terdekomposisi sebagian pada tahap ini. Setelah pemanasan pada 200 °C hasil yang diperoleh dicampurkan lagi dengan larutan sukrosa II. Selanjutnya campuran dikeringkan dalam oven dengan kondisi yang sama seperti sebelumnya. Setelah pemanasan dalam oven, serbuk dipanaskan dalam tanur pada suhu 700 °C selama 3 jam dengan aliran gas nitrogen murni. Komposit silika-karbon dicuci dengan larutan NaOH 2,5 % untuk melarutkan kerangka silika (1 g silika-karbon dicampur dengan 60 mL larutan NaOH 2,5 %) dan direfluks selama 1,5 jam. Setelah itu campuran disaring dan prosedur refluks diulangi. Karbon mesopori yang diperoleh kemudian disaring, dicuci dengan larutan etanol 50% sampai pH filtrat mencapai 7, lalu dikeringkan.

Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Larutan SDBS dengan konsentrasi $4,5 \times 10^{-4}$ M disiapkan, lalu ke dalam 100 mL larutan tersebut ditambahkan 100 mg CMK-1. Campuran dikocok dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 jam. Kemudian disaring dengan menggunakan membran 1,2 μm . Filtrat dianalisis dengan Spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum.

Perhitungan konsentrasi SDBS yang diadsorpsi per tiap waktu dihitung menggunakan persamaan (1), di mana konsentrasi teradsorpsi, C_{ads} , konsentrasi awal, C_{awal} , dan konsentrasi akhir, C_{akhir} . Banyaknya SDBS yang teradsorpsi (mg per gram adsorben CMK-1) ditentukan dengan menggunakan persamaan (2), di mana W adalah jumlah SDBS yang teradsorpsi (mg/g), C_0 adalah konsentrasi SDBS sebelum adsorpsi (ppm), C_e adalah Konsentrasi SDBS setelah

adsorpsi (ppm), V = Volume larutan SDBS (L), dan W_a adalah jumlah adsorben (g).

$$C_{ads} = C_{awal} - C_{akhir} \quad (1)$$

$$W = \frac{(C_0 - C_e) V}{W_a} \quad (2)$$

Penentuan Model Isotermal Adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Larutan SDBS dengan konsentrasi berturut-turut $1,5 \times 10^{-4}$; $4,5 \times 10^{-4}$; 9×10^{-4} ; $1,35 \times 10^{-3}$ dan $1,8 \times 10^{-3}$ M disiapkan. Ke dalam tiap-tiap 100 mL larutan SDBS tersebut ditambahkan 100 mg CMK-1. Tiap-tiap campuran dikocok dengan magnetik stirrer selama waktu optimum adsorpsi SDBS pada karbon mesopori dan disaring dengan menggunakan membran 1,2 μ m. Filtrat dianalisis dengan Spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum.

Model isotermal adsorpsi dipelajari dari persamaan Freundlich (persamaan 3), atau Langmuir (persamaan 4).

$$[\log (x/m) = \log K + 1/n (\log C)] \quad (3)$$

$$(C_e/q_e = 1/Q_0 b + C_e/Q_0) \quad (4)$$

Dengan mengalurkan $\log (x/m)$ terhadap $\log C$ untuk persamaan 3, nilai kapasitas adsorpsi, K , diperoleh dari *interspt* atau C_e/Q_e terhadap C_e untuk persamaan (4), nilai Q_0 yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi. diperoleh dari *slope*.

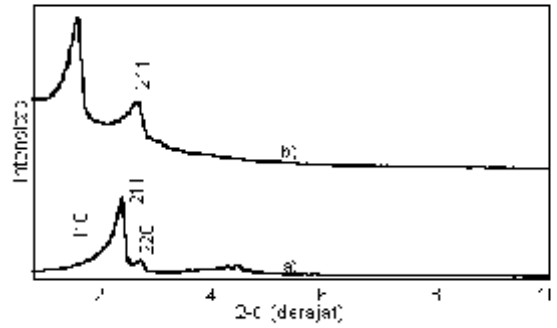
Pengaruh pH terhadap Adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Larutan SDBS dengan konsentrasi berturut-turut $4,5 \times 10^{-4}$; 9×10^{-4} ; $1,35 \times 10^{-3}$ dan $1,8 \times 10^{-3}$ M pada pH 4 disiapkan. Ke dalam 100 mL masing-masing larutan tersebut ditambahkan 100 mg CMK-1. Tiap-tiap campuran dikocok dengan magnetik stirrer selama waktu optimum. Tiap-tiap campuran disaring dengan menggunakan membran 1,2 μ m. Filtrat dianalisis dengan Spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum. Percobaan diulangi dengan variasi pH 7 dan 10.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi MCM-48 dan CMK-1

Karakterisasi untuk MCM-48 dan CMK-1 merupakan difraksi sinar-X dengan pola difraksi seperti terekam dalam Gambar 1.

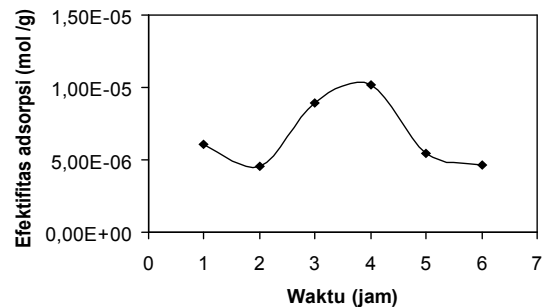


Gambar 1. Pola Difraksi dari a) MCM-48 dan b) CMK-1

Pada Gambar 1 tampak bahwa terdapat perubahan sistematis transformasi struktur dari MCM-48 menjadi CMK-1. Pola XRD MCM-48 (Gambar 1a) dikelompokkan ke dalam group ruang $Ia3d$ (kubik). Pada penghilangan kerangka silika, puncak baru yang berhubungan dengan refleksi 110 terbentuk (Gambar 1b). Refleksi 110 sebenarnya terlarang untuk $Ia3d$. Hasil ini menunjukkan bahwa ada transformasi sistematis menjadi struktur teratur baru yang mengizinkan refleksi 110. Menurut Ryoo (1999) struktur yang baru ini masuk ke dalam group $I4_132$ (kubik). Informasi lain yang dapat dilihat pada pola difraksi CMK-1 adalah bahwa puncak-puncak pada daerah 2 - $teta$ lebih besar dari 10° yang teramati pada MCM-48 tidak terlihat pada CMK-1. Ini menunjukkan bahwa secara atomik kerangka karbonnya tidak teratur.

Penentuan Waktu Optimum Adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Penentuan waktu adsorpsi dilakukan dengan analisis filtrat yang diperoleh. Hasil analisisnya ditunjukkan Gambar 2.



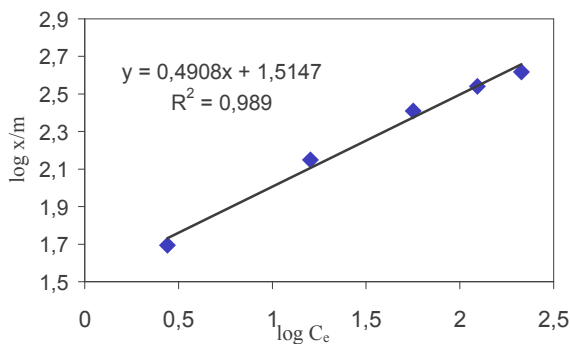
Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Efektifitas Adsorpsi Terhadap Waktu

Tampak bahwa adsorpsi SDBS meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu yang digunakan pada proses kontak antara adsorben dan zat terlarut. Pada waktu pengocokan 2, 3, dan 4 jam diperoleh efektifitas adsorpsi yang cenderung meningkat, berturut sebesar $6,028 \times 10^{-6}$; $4,516 \times 10^{-6}$; $8,952 \times 10^{-6}$ mol/g. Tetapi setelah 5 dan 6 jam jumlah yang teradsorpsi cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena semua pusat aktif yang terdapat pada permukaan adsorben telah jenuh. Berdasarkan konsep adsorpsi, bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorben dan zat terlarut, maka akan semakin banyak zat terlarut yang teradsorpsi. Tetapi jumlah zat terlarut yang diadsorpsi akan mencapai nilai batas pada waktu tertentu, di mana adsorben tidak mampu lagi mengadsorpsi karena terjadi kejenuhan pada permukaan yaitu permukaan karbon mesoporitelah tertutupi oleh lapisan SDBS yang teradsorpsi sempurna. Akibatnya, adsorpsi pada permukaan cenderung mencapai batas maksimum, sehingga pengocokan selama 4 jam merupakan waktu di mana adsorpsi SDBS mencapai batas maksimum.

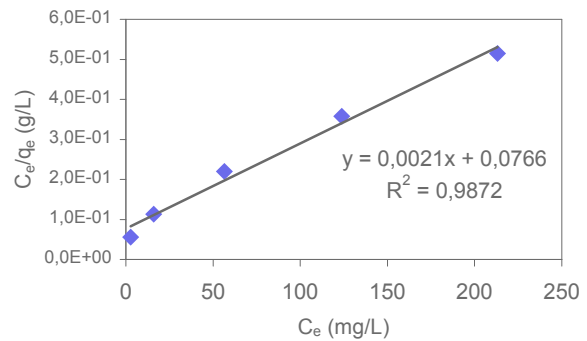
Penentuan kapasitas adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1. Data tersebut menunjukkan banyaknya SDBS yang teradsorpsi pada tiap-tiap konsentrasi di mana banyaknya zat yang teradsorpsi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Tetapi jika adsorben sudah menjadi jenuh, maka konsentrasi larutan tidak lagi berpengaruh terhadap proses adsorpsi.

Isotermal adsorpsi SDBS oleh CMK-1 yang menggunakan persamaan Freundlich dan Langmuir ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3.
Isotermal Freundlich untuk Adsorpsi
SDBS oleh CMK-1



Gambar 4.
Isotermal Langmuir Untuk Adsorpsi
SDBS oleh CMK-1

Kurva pada Gambar 3 dan 4 tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi SDBS pada karbon mesopori merupakan persamaan garis lurus baik pada persamaan Freundlich maupun Langmuir. Dari Gambar 3 diperoleh $R^2 = 0,989$ untuk persamaan Freundlich dan $R^2 = 0,9872$ untuk persamaan Langmuir pada Gambar 4. Dengan membandingkan nilai kuadrat terkecil (R^2) dari kedua persamaan tersebut, maka nilai R^2 yang paling besar atau mendekati satu merupakan kurva yang paling sesuai. Dari kedua kurva tersebut terlihat nilai R^2 terbesar adalah pada kurva persamaan Freundlich. Dari kurva persamaan Freundlich (Gambar 3) menggunakan persamaan (3), ditentukan kapasitas adsorpsi (K) dan intensitas adsorpsi (n), masing-masing sebesar 32,71 dan 2,038.

Pengaruh pH terhadap adsorpsi SDBS oleh CMK-1

Data yang diperoleh (Tabel 1, 2 dan 3), menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin banyak pula zat terlarut yang teradsorpsi. Dan dari data tersebut dibuat kurva isotermal adsorpsi yaitu kurva isotermal Freundlich dan isotermal Langmuir.

Tabel 1.
Hasil Penentuan Kapasitas Adsorpsi SDBS oleh CMK-1

C_0 $\times 10^{-4}$ M	C_0 ppm	A	Pengenceran (fp)	C_e $\times 10^{-6}$ M	C_e Ppm	Efektifitas adsorpsi, mg/g (x/m dan q_e) *	log C_e	log x/m	C_e/q_e
1,5	52,2735	0,064	-	7,923	2,761	50	0,441	1,695	560
4,5	156,82	0,44	-	45,83	15,97	140	1,203	2,149	11
9	313,64	0,307	5	162,1	56,489	260	1,752	2,410	22
13,5	470,46	0,338	10	355,4	123,869	350	2,093	2,539	36
18	627,28	0,592	10	611,5	213,099	410	2,329	2,617	51

Tabel 2.
Hasil penentuan kapasitas adsorpsi SDBS oleh CMK-1 terhadap pengaruh pH 4

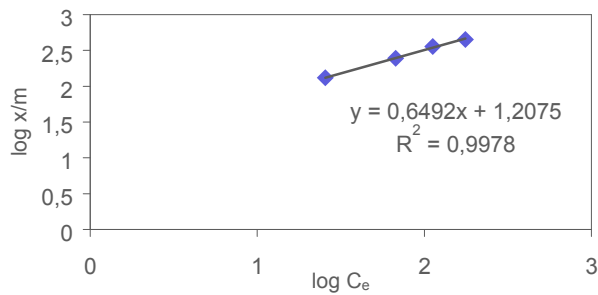
C_0 $\times 10^{-4}$ M	C_0 ppm	A	Pengenceran (fp)	C_e $\times 10^{-5}$ M	C_e ppm	Efektifitas adsorpsi, mg/g (x/m dan q_e) *	log C_e	log x/m	C_e/q_e
4,5	156,82	0,058	10	7,319	25,504	131,316	1,407	2,118	0,194
9	313,64	0,368	5	19,28	67,204	246,437	1,827	2,392	0,273
13,5	470,46	0,625	5	32,24	112,35	358,116	2,051	2,554	0,314
18	627,28	0,486	10	50,46	175,861	451,4210	2,245	2,655	0,389

Tabel 3.
Hasil Penentuan Kapasitas Adsorpsi SDBS oleh CMK-1 Terhadap Pengaruh pH 10

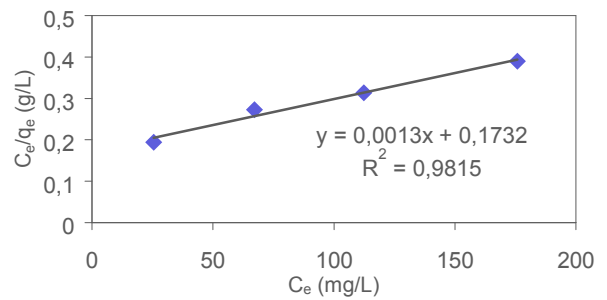
C_0 $\times 10^{-4}$ M	C_0 ppm	A	Pengenceran (fp)	C_e $\times 10^{-6}$ M	C_e Ppm	Efektifitas adsorpsi, mg/g (x/m dan q_e) *	log C_e	log x/m	C_e/q_e
4,5	156,82	0,068	10	8,327	29,017	127,803	1,463	2,107	0,227
9	313,64	0,114	10	12,96	45,177	268,464	1,655	2,429	0,168
13,5	470,46	0,221	10	23,75	82,766	387,695	1,9179	2,588	0,214
18	627,28	0,349	10	36,65	127,733	499,549	2,106	2,699	0,2557

* Efektifitas adsorpsi = $(C_0 - C_e) \times 100 / 1000 \times 1 / 0,1$ (C_0 dan C_e dalam satuan ppm)

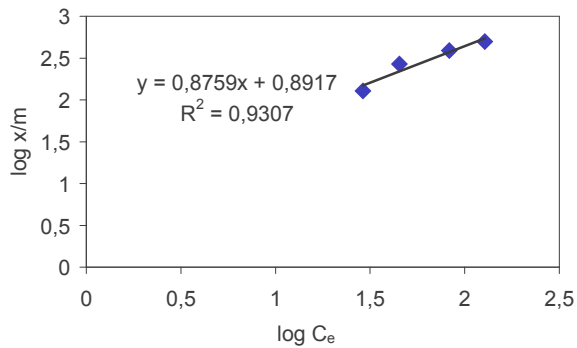
Efektifitas adsorpsi = x / m untuk isoterma Freundlich dan q_e untuk isoterma Langmuir



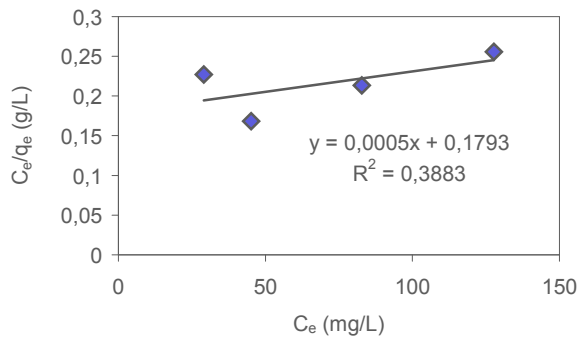
Gambar 5.
Isoterma Freundlich adsorpsi SDBS oleh CMK-1 pada pH 4



Gambar 6.
Isoterma Langmuir adsorpsi SDBS oleh CMK-1 pada pH 4



Gambar 7.
Isotermal Freundlich adsorpsi SDBS oleh CMK-1 pada pH 10



Gambar 8.
Isotermal Langmuir Adsorpsi SDBS oleh CMK-1 pada pH 10

Pada pH 4 dan 10, proses adsorpsi SDBS pada karbon mesopori juga merupakan persamaan garis lurus baik pada persamaan Freundlich maupun Langmuir. Untuk pH 4 didapatkan nilai $R^2 = 0,9978$ pada persamaan Freundlich dan $R^2 = 0,9815$ pada persamaan Langmuir (terlihat pada Gambar 5 dan 6). Dengan membandingkan kedua nilai R^2 tersebut

diperoleh nilai R^2 paling besar pada persamaan Freundlich. Sehingga dari persamaan tersebut diperoleh kapasitas adsorpsi (K) dan intensitas adsorpsi (n) berturut-turut adalah 16,125 dan 1,540. Sedangkan untuk pH 10 nilai $R^2 = 0,9307$ pada persamaan Freundlich dan $R^2 = 0,3883$ pada persamaan Langmuir (Gambar 7 dan 8). Dari kedua nilai R^2 tersebut diperoleh R^2 paling besar dari kurva isotermal Freundlich. Dari persamaan Freundlich diperoleh K dan n yaitu 7,793 dan 1,142. Dengan membandingkan nilai K dan n dari ketiga variasi pH tersebut maka SDBS paling bagus teradsorpsi pada pH 7, di mana nilai kapasitas adsorpsi (K) yang diperoleh paling besar yaitu 32,71. Hal ini disebabkan karena SDBS paling mudah larut dalam air dan mencapai kestabilan yang tinggi dibandingkan pada suasana asam dan basa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Waktu optimum adsorpsi karbon mesopori (CMK-1) terhadap SDBS adalah 4 jam, dan adsorpsi CMK-1 terhadap SDBS lebih sesuai dengan persamaan isotermal Freundlich dibandingkan Langmuir, di mana nilai R^2 yang paling besar atau mendekati satu diperoleh dari persamaan Freundlich

SDBS lebih banyak teradsorpsi oleh CMK-1 pada pH 7 di mana nilai kapasitas adsorpsi (K) yang diperoleh paling besar berdasarkan isotermal Freundlich yaitu 32,71.

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan surfaktan yang lain, seperti surfaktan kationik dan non ionik dengan menggunakan CMK-1.

DAFTAR PUSTAKA

- Avom, J., Mbadcam, J. K., Noubactep, C., and Germain, P., 1997. *Adsorption of Methylene Blue From an Aqueous Solution on to Activated Carbons from Palm-tree Cobs*. *Carbon*, **35**. 365.
- Fachini, A. and Joekes, I., 2002. *Interaction of Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate with Chrysotile Fibres. Adsorption or Catalysis ?*. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, **201** (1–3). 151 – 160.

- Otowa, T., Nojima, Y., and Miyazaki, T., 1997. ***Development of KOH Activated High Surface Area Carbon and Its Application to Drinking Water Purification.*** *Carbon*, **35**. 1315–1319.
- Ryadi, S., Dr. SKM., 1984. ***Pencemaran Air.*** Karya Anda. Surabaya. 77-78.
- Ryoo, R., Joo, S. H., Kim, J. M., 1999. ***Synthesis of Highly Ordered Carbon Molecular Sieves Via Template-Mediated Structural.*** *J. Phys. Chem. B*, **103**. 7743-7746.
- Ryoo, R., Joo, S. H., Kruk, M., and Jaroniec, M., 2001. ***Ordered Mesoporous Carbon.*** *Adv. Mater.*, **13**. 677-681.
- Taba, P., 2001. ***Mesoporous Solids as Adsorbents.*** PhD Thesis, The University of New South Wales. Australia.
- Tamai, H., Yoshida, T., Sasaki, M., and Yasuda, H., 1999. ***Dye Adsorption on Mesoporous Activated Carbon Fiber Obtained from Pitch Containing Natrium Complex.*** *Carbon*, **37**. 938 – 989.