



## Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben: Kajian Kinetika dan Isotherm Adsorpsi Limbah Cair Tapioka

### Mesoporous MCM-41 as Adsorbent: Studies Kinetics and Adsorption Isotherms of Tapioca Liquid Waste

Darmansyah<sup>1\*</sup>, Simparmin br. G.<sup>1</sup>, Lisa Ardiana<sup>1</sup>, Hens Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Industri Proses – TIRBR, BPPT, Jakarta, Indonesia

\*E-mail: darmansyah82@gmail.com

#### Abstrak

Telah dilakukan penelitian penggunaan material aluminasilikat MCM-41 sebagai adsorben limbah cair tapioka. Dalam penelitian ini dipelajari permodelan isothermal dan kinetika adsorpsi dari material MCM-41 pada proses adsorpsi limbah cair tapioka. Isothermal Langmuir dan Freundlich digunakan sebagai permodelan isothermal data penelitian. Dari data penelitian yang diperoleh pada konsentrasi COD sebesar 416-784 mg/l, proses adsorpsi limbah cair tapioka oleh MCM-41 sesuai dengan pendekatan isothermal Langmuir. Kapasitas maksimum adsorpsi MCM-41 diperoleh dari pendekatan Langmuir adalah sebesar 15,92 mg/g. Model kinetika pseudo-orde pertama dan pseudo-orde kedua digunakan untuk analisis kinetika adsorpsi pada data penelitian. Model kinetik pseudo-orde pertama yang sesuai dengan proses adsorpsi limbah cair tapioka dengan laju penyerapan adalah  $7,48 \times 10^{-2}$  dan  $7,37 \times 10^{-2}$  g/(min-mg) untuk konsentrasi awal secara berturut-turut adalah 608 dan 784 mg/L.

Kata kunci: adsorpsi, kinetika adsorpsi, MCM-41, tapioka, limbah cair

#### Abstract

Aluminasilicate material MCM - 41 was studied as an adsorbent for tapioca wastewater. The adsorption isotherm modeling and adsorption kinetics of MCM - 41 to the liquid waste of tapioca was investigated. Langmuir and Freundlich isotherm were applied to describe the experimental data. Equilibrium data fitted well to the Langmuir model for COD concentration range 416 - 784 mg/L. The maximum adsorption capacity of the MCM-41 obtained from the Langmuir model was 15.92 mg/g. The pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic model were employed to describe the kinetic data. The experimental data fitted well to the pseudo-first-order kinetic model with constant rates  $7.48 \times 10^{-2}$  and  $7.37 \times 10^{-2}$  g/(min-mg) for initial concentrations 608 and 784 mg/L, respectively.

Keywords: adsorption, kinetic adsorption, MCM-41, tapioca, wastewater

## 1. Pendahuluan

Provinsi Lampung adalah salah satu daerah penghasil tepung tapioka terbesar di Indonesia (Darmansyah dkk., 2016) dan (BPS, 2014). Beberapa industri tapioka yang ada mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan gerak roda perekonomian di provinsi Lampung khususnya di Kabupaten Lampung Utara, Lampung Tengah dan Lampung Timur (Dinas Perindustrian, 2014). Namun dengan adanya industri tapioka ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar ditempat industri tapioka tersebut berada.

Dampak negatif yang ada pada daerah industri tersebut salah satunya adalah limbah cair yang mencemari badan air sehingga kualitas air menurun karena terjadi

proses penguraian bahan organik yang terkandung di dalam limbah cair tapioka.

Bahan organik akan dipecah menjadi senyawa sulfida dan senyawa fosfor yang menimbulkan bau busuk. Selain itu juga dihasilkan gas beracun berupa metana, amoniak, dan karbondioksida yang dapat mengganggu kehidupan akuatik (Rety Setiawaty dkk, 2012). Untuk menghindari timbulnya bau busuk dan terpaparnya gas beracun ke lingkungan, maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah cair tapioka dibuang ke lingkungan. Sedangkan untuk limbah yang telah terbuang ke lingkungan harus diturunkan kandungan bahan organik sampai pada ambang batas yang aman bagi kesehatan manusia dan biota lainnya (KLH, 2013).

Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan bahan organik yaitu dengan proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses fisik atau kimia dimana senyawa berakumulasi di permukaan (*interface*) antar dua fase. *Interface* merupakan suatu lapisan yang homogen antara dua permukaan yang saling berkontak. Substansi yang diserap disebut adsorbat sedangkan material yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben (Dominik Horinek dkk, 2009).

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi antara lain:

1. Luas permukaan adsorben yang besar, sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi.
2. Memiliki aktifitas terhadap adsorbat.
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik.
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

Berdasarkan karakteristik adsorben tersebut maka pada penelitian ini digunakan adsorben mesopori MCM-41 untuk proses adsorpsi bahan organik limbah cair tapioka. Mesopori MCM-41 memiliki pori berbentuk batang yang tersusun dalam kemasan heksagonal berdimensi-1 dengan ukuran pori yang seragam, dan luas permukaan spesifik maupun volume pori yang besar (R. S. Araujo dkk, 2007). Sifat mesopori MCM-41 dapat memberikan akses kepada molekul berukuran relatif besar dan memberikan kemudahan terjadinya difusi, hal ini tidak dimiliki oleh bahan mikropori seperti zeolit (Simparkin, 2009).

Proses adsorpsi pada permukaan padatan adsorben terjadi karena adanya interaksi elektrostatis, pertukaran ion, interaksi ion-dipol, koordinasi permukaan kation, ikatan hidrogen, dan interaksi hidrofobik (Qingdong Qin, 2007). Adsorpsi yang dilakukan material MCM-41 terhadap limbah cair tapioka ini bertujuan untuk mengurangi nilai COD yang dimiliki oleh limbah tersebut. Dimana semakin tinggi nilai COD menunjukkan bahwa kandungan bahan organik di dalam limbah cair tinggi.

Bahan organik yang terdapat dalam limbah cair ini terdiri dari karbohidrat dalam bentuk pati, lemak, dan protein. Bahan organik ini sebagian besar bersifat non-polar, sehingga dapat diadsorpsi oleh MCM-41 yang bersifat hidrofobik, material MCM-41 yang digunakan adalah memiliki rasio Si/Al 60 mol/mol. Material MCM-41 mampu mengadsorpsi bahan organik yang bersifat non-polar. Berkurangnya bahan organik yang bersifat non-polar maka akan mengurangi nilai COD limbah cair

tapioka. Adsorpsi ini terjadi karena adanya interaksi hidrofobik antara material MCM-41 dengan bahan organik yang bersifat non-polar.

Dari penelitian terdahulu juga telah dilakukan aplikasi material MCM-41 yang bersifat hidrofobik terhadap nitrobenzen yang bersifat hidrofobik, dimana adsorpsi MCM-41 terhadap nitrobenzen terjadi secara cepat, dan model isotermal Langmuir sesuai dengan proses adsorpsi nitrobenzen. Kapasitas maksimum penyerapan nitrobenzen oleh adsorben MCM-41 menurun dari mula-mula 3,705  $\mu$ .mol/g menjadi 1,841  $\mu$ .mol/g dengan meningkatnya suhu dari 278 K ke 308 K pada pH 5,8 (Qingdong Qin, 2007).

Isotermal adsorpsi menunjukkan konsentrasi yang bergantung pada kesetimbangan distribusi ion-ion logam antara larutan dan fase padat pada suhu tetap. Untuk mendapatkan data kesetimbangan, konsentrasi awal dibuat bervariasi sedangkan massa adsorben dalam tiap sampel tetap. Untuk menguji hubungan data antara adsorben dan konsentrasi larutan pada kesetimbangan digunakan model isotermal adsorpsi yaitu model isotermal Langmuir dan Freundlich (Nomanbhay dan Palanisamy, 2005).

Model adsorpsi isotermal ini digunakan untuk menentukan proses adsorpsi adsorben terhadap adsorbat serta mengetahui besarnya kapasitas maksimum adsorben terhadap adsorbat. Dimana model isotermal Langmuir merupakan suatu proses adsorpsi satu lapis (*monolayer*) artinya jumlah situs aktif yang ada dalam adsorben mengadsorpsi adsorbat dengan jumlah yang sama sedangkan isoterm Freundlich menggambarkan suatu proses adsorpsi multilayer sehingga lebih berinteraksi secara fisisorpsi (Ahda, 2013). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pemodelan isotermal adsorpsi serta kinetika adsorpsi MCM-41 terhadap limbah cair tapioka serta besarnya kapasitas maksimum MCM-41 pada proses adsorpsi.

## 2. Metodologi

### 2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah labu erlenmeyer 250 ml, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, gelas ukur, neraca analitik, pipet tetes, gelas beaker, buret, oven, kertas saring, dan pH meter.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminasilkat MCM-41, air limbah

tapioka dengan nilai COD 416 - 784 mg/l, HNO<sub>3</sub>, natrium thiosulfat 0,05 N, larutan kanji 2%, KMnO<sub>4</sub> 0,1 N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M, dan larutan KI 10%.

## 2.2. Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi MCM-41 terhadap limbah dilakukan pada labu erlenmeyer ukuran 250 ml, temperatur 25°C dengan pengadukan pada 600 rpm selama 100 menit. Adsorben aluminasilikat MCM-41 sebanyak 1 gram dicampur dengan 100 ml air limbah tapioka dengan variasi nilai COD awal yaitu 416 mg/l, 480 mg/l, 512 mg/l, 576 mg/l, 608 mg/l, dan 784 mg/l dengan pH awal 3 dilakukan dengan variasi waktu 0 menit, 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, 70 menit, 80 menit, 90 menit. Kemudian dilakukan pemisahan campuran antara limbah cair tapioka dan MCM-41 dengan menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dan cairan. Setelah itu limbah cair diasamkan dengan menambahkan 2% HNO<sub>3</sub> untuk menurunkan pH sampai dibawah 3.

## 2.3. Analisa COD

Limbah cair dianalisis untuk mengetahui kandungan COD di dalamnya dengan menggunakan metode titrasi. Metode titrasi dilakukan dengan memasukkan 50 ml larutan sampel ke dalam labu erlenmeyer 250 ml, ditambahkan 5 ml KMnO<sub>4</sub> 0,1 N dan dipanaskan selama satu jam dalam oven. Kemudian didinginkan selama 10 menit, lalu ditambahkan larutan KI 10% dan 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M. Setelah itu, dititrasi dengan larutan thiosulfat 0,05 N sampai warna kuning, lalu ditambahkan 1 - 2 ml indikator kanji sampai timbul warna biru dan kemudian titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Metode analisis ini dilakukan pada limbah cair sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Perhitungan kadar COD ditentukan dengan persamaan 1.

$$\text{COD} = \frac{(V_b - V_s) \times N_{\text{thio}} \times M_{r,O_2} \times 1000}{V_{s0}} \quad (1)$$

Dimana:

- V<sub>s0</sub> = volume natrium thiosulfat pada titrasi sampel awal (limbah cair sebelum adsorpsi, ml)
- V<sub>s</sub> = volume natrium thiosulfat pada titrasi sampel (limbah cair setelah adsorpsi, ml)
- V<sub>b</sub> = volume natrium thiosulfat pada titrasi blanko (limbah cair sebelum adsorpsi, ml)
- N<sub>thio</sub> = normalitas natrium thiosulfat (0,05N)

Mr O<sub>2</sub> = Massa relatif O<sub>2</sub> (32 gram/mol)  
Metode-metode yang digunakan antara lain adalah:

## 2.4. Isotermal Langmuir

Isotermal Langmuir mengasumsikan adsorpsi lapisan tunggal pada permukaan yang mengandung sejumlah tertentu pusat adsorpsi dengan energi-energi adsorpsi yang seragam tanpa perpindahan adsorbat pada bidang permukaan (Nix, 2001). Bentuk linear dari persamaan isotermal Langmuir ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

C<sub>e</sub> adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/l), q<sub>e</sub> adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g), q<sub>m</sub> adalah kapasitas adsorpsi maksimal dan b adalah konstanta Langmuir.

## 2.5. Isotermal Freundlich

Isotermal Freundlich ini digunakan pada energi permukaan yang heterogen dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Bentuk linear dari isoterm Freundlich ditunjukkan oleh persamaan 3.

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln K_f \quad (3)$$

C<sub>e</sub> adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/l), q<sub>e</sub> adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g), K<sub>f</sub> merupakan konstanta Freundlich (Namasivayam, 2001). Pada ke dua persamaan model isotermal, terdapat C<sub>e</sub> dimana C<sub>e</sub> diperoleh dari data penelitian yaitu besarnya konsentrasi COD yang tetap terhadap perubahan waktu. Sedangkan q<sub>e</sub> dihitung dengan persamaan 4.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W} \quad (4)$$

Dimana:

- C<sub>e</sub> = konsentrasi kesetimbangan (mg/liter)
- C<sub>0</sub> = konsentrasi awal (mg/liter)
- V = volume sampel (0,1 liter)
- W = berat adsorben (1 gram)

Model kinetika yang dipilih untuk kajian sistem adsorpsi limbah cair tapioka material aluminasilikat MCM-41 ini diantaranya pseudo orde-pertama, pseudo orde-kedua, berdasarkan pada kapasitas adsorpsi dengan laju penyerapan.

**2.6. Model kinetika pseudo orde-pertama**

Persamaan kinetik orde-pertama pseudo dinyatakan seperti pada persamaan 5.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \tag{5}$$

integrasi pada kondisi t = 0 - t dan qt = 0 - qt, maka persamaan menjadi:

$$\ln\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = K_1 t \tag{6}$$

Dan bentuk linearnya adalah:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t \tag{7}$$

Dengan  $q_e$  dan  $q_t$  adalah jumlah adsorbat yang terserap pada waktu kesetimbangan dan waktu t (mg/g),  $k_1$  tetapan laju pseudo orde-pertama ( $\text{min}^{-1}$ ) proses adsorpsi. Nilai  $q_e$  dan  $k_1$  didapat dari plot  $\ln(q_e - q_t)$  versus t, dengan  $k_1$  slope dan  $q_e$  intercept (Gupta and Bhattacharyya, 2005; Al-Degs dkk., 2006; Crini dkk., 2007; Gupta and Babu, 2009; Naiya dkk., 2009).

**2.7. Model kinetika pseudo orde-kedua**

Model kinetika orde-kedua dinyatakan seperti persamaan 8.

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \tag{8}$$

Pada batas t = 0 - t dan  $q_t = 0 - q_t$ , maka bentuk linear dari integrasinya ditulis seperti persamaan 9.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \tag{9}$$

Parameter  $q_e$  (mg/g) dan  $k_2$  (g/mg.min) dihitung dari plot  $t/q_t$  versus t, dengan  $h = k_2 q_e^2$  (mg/g.min) adalah laju serapan awal pada  $t \rightarrow 0$  (Crini dkk., 2007; Mane dkk., 2007; Anirudhan and Radhakrishnan, 2008; Gupta and Bhattacharyya, 2005; Gupta and Babu, 2009).

**3. Hasil dan Pembahasan**

Untuk menentukan isothermal adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dilakukan percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi awal dari COD limbah cair tapioca.

**3.1. Kapasitas Adsorpsi**

Hasil penelitian adsorpsi selama 90 menit dengan perbandingan adsorben sebesar 1% terhadap limbah cair tapioka diperlihatkan

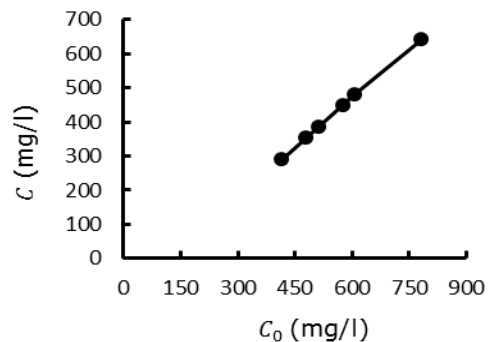
pada Tabel 1. Adsorpsi ini dengan variasi konsentrasi COD awal dilakukan dengan MCM-41 pada rasio Si/Al 60 mol/mol. Dapat disimpulkan bahwa jumlah konsentrasi COD berkurang seiring bertambahnya waktu kontak pada rentang waktu kontak dari 0 - 70 menit. Kemudian pada rentang waktu kontak antara 70 - 90 menit jumlah konsentrasi COD tidak mengalami perubahan.

Hubungan konsentrasi awal COD terhadap konsentrasi kesetimbangannya diperlihatkan pada Gambar 1. Dapat terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi awal, maka semakin tinggi konsentrasi kesetimbangan COD. Hal ini terjadi karena pada konsentrasi adsorbat tinggi, jarak antar partikel menjadi semakin dekat sehingga adsorbat yang diserap akan semakin banyak. Hal ini ditandai dengan kapasitas penyerapan yang tinggi. Dimana konsentrasi kesetimbangan COD adalah konsentrasi COD pada proses adsorpsi yang sudah tidak mengalami perubahan terhadap waktu.

**Tabel 1.** Hasil penelitian adsorpsi COD selama 90 menit

Waktu	COD <sub>1</sub>	COD <sub>2</sub>	COD <sub>3</sub>	COD <sub>4</sub>	COD <sub>5</sub>	COD <sub>6</sub>
0	784	608	576	512	480	416
10	736	560	560	512	464	400
20	720	560	560	496	432	352
30	704	528	528	480	400	352
40	688	528	528	480	400	336
50	672	512	512	448	384	320
60	672	496	496	448	368	304
70	640	480	448	384	352	288
80	640	480	448	384	352	288
90	640	480	448	384	352	288

Waktu : waktu adsorpsi (menit)  
 COD<sub>1,2,3,4,5,6</sub> : COD awal (mg/l)



**Gambar 1.** Hubungan konsentrasi awal terhadap konsentrasi kesetimbangan

**3.2. Isothermal adsorpsi**

Adsorpsi isothermal yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioka didapatkan dengan menghitung nilai  $q_e$  dari persamaan 3. Selanjutnya hasil perhitungan untuk semua kondisi penelitian ditabulasikan pada

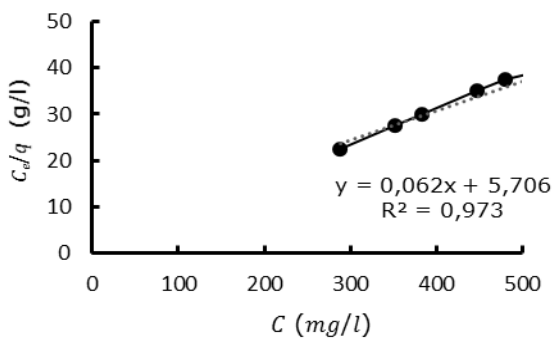
Tabel 2. Lebih detail, pada Tabel 2 juga ditampilkan data hasil penelitian untuk parameter  $C_0$  dan  $C_e$ . Berdasarkan data pada Tabel 2, dibuat kurva untuk mengetahui kapasitas maksimum adsorpsi dan isothermal adsorpsi yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioca. Kurva dibuat dengan memplotkan hubungan antara  $C_e/q_e$  dan  $C_e$  untuk isothermal Langmuir, dan  $\ln C_e$  dan  $\ln q_e$  untuk isothermal Freundlich.

**Tabel 2.** Jumlah konsentrasi kesetimbangan adsorbat

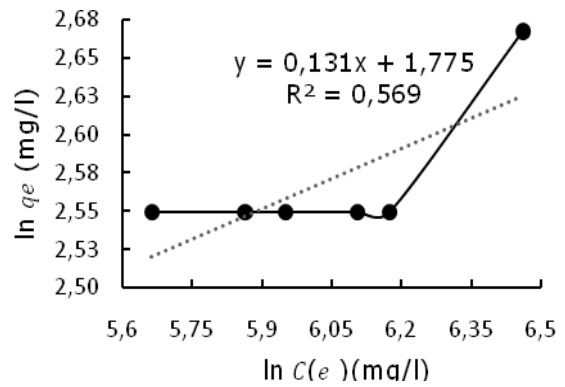
$C_0$	$C_e$	$Q_e$	$C_e/q_e$	$\ln C_e$	$\ln q_e$
416	288	12,8	22,5	5,66	2,54
480	352	12,8	27,5	5,86	2,54
512	384	12,8	30,0	5,95	2,54
576	448	12,8	35,0	6,2	2,54
608	480	12,8	37,5	6,17	2,54
784	640	14,4	44,4	6,46	2,66

Persamaan isotherm Freundlich merupakan sebuah persamaan eksponensial. Oleh karena itu dalam persamaan Freundlich ini,  $K$  dan  $1/n$  adalah konstanta Freundlich yang menyatakan tingkat adsorpsi dan faktor heterogenitas. Sehingga isotherm Freundlich ini digunakan untuk menggambarkan sistem yang heterogen. Untuk nilai  $1/n > 1$ , menunjukkan bahwa kejenuhan tidak tercapai, sebaliknya, pada kebanyakan sistem adsorpsi di mana  $1/n < 1$ ,  $1/n \rightarrow 0$ , adsorben sudah jenuh dengan molekul adsorbat ketika energi adsorpsi menurun terhadap kerapatan permukaan.

Gambar 2 merupakan grafik hasil hubungan  $C_e/q_e$  dan  $C_e$ . Dari hasil plotting data penelitian ini didapat persamaan berupa persamaan linier  $y = 0,062x + 5,706$  dengan nilai  $R^2 = 0,973$  ini menunjukkan bahwa pada grafik hasil hubungan antara  $C_e/q_e$  dan  $C_e$  merupakan permodelan dari isothermal Langmuir. Kurva hubungan  $\ln C_e$  dan  $\ln q_e$  untuk isothermal Freundlich diperlihatkan pada Gambar 3. Dimana hasil plotting data penelitian menghasilkan persamaan linier, yaitu  $y = 0,131x + 1,775$  dengan nilai  $R^2 = 0,569$ .



**Gambar 2.** Isotherm Lagmuir



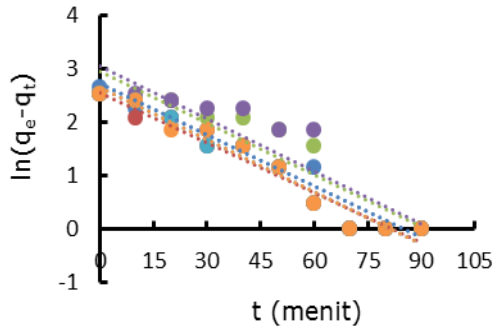
**Gambar 3.** Isotherm Freundlich

Dari Gambar 2 dan 3 didapatkan nilai yang terangkum dalam Tabel 3. Dari Tabel 3, terlihat bahwa nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang tertinggi terdapat pada isothermal Langmuir, hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi limbah cair tapioca oleh MCM-41 memiliki pendekatan isotherm Langmuir dengan kapasitas maksimum penyerapan 15,923 mg/g. Dari penelitian terdahulu penyerapan COD dengan menggunakan *fly ash* batubara memiliki kapasitas maksimum penyerapan adalah sebesar 13,6 mg/g (Afrinata, 2010). Sehingga penyerapan COD dengan menggunakan MCM-41 sebagai adsorben lebih ini baik dibandingkan dengan menggunakan *fly ash* batubara.

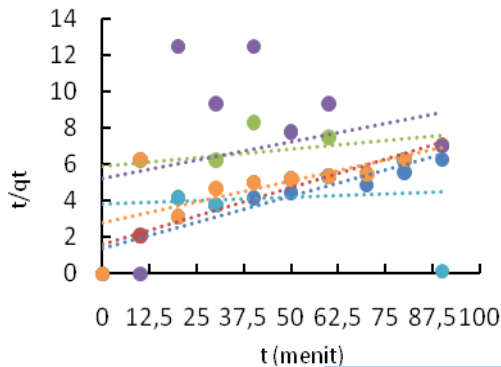
Kinetika adsorpsi dengan permodelan pseudo orde-pertama, dilakukan dengan memplotkan  $\ln(q_e - q_t)$  versus  $t$  ditunjukkan pada Gambar 4. Bentuk linear dari grafik ini memberikan tetapan laju  $k_1$ ,  $q_e$  dan  $R^2$  seperti dalam Tabel 3. Sedangkan untuk pseudo orde-kedua dilakukan dengan memplotkan  $t/q_t$  versus  $t$  dari persamaan 9 yang ditunjukkan pada Gambar 5. Bentuk linear dari grafik ini memberikan tetapan laju  $k_2$  dan  $q_e$ .

**Tabel 3.** Parameter Isothermal adsorpsi limbah cair tapioka

Isotherm Langmuir	
$R^2$	0,973
$q_m$ (mg/g)	15,923
$b$ (l/mg)	0,01101
Isotherm Freundlich	
$R^2$	0,569
$K_f$ (mg/g)	5,902
$1/n$	0,1315



**Gambar 4.** Grafik model kinetika pseudo orde-pertama adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41



**Gambar 5.** Grafik model kinetika pseudo orde-kedua adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41

Pada Gambar 5 terlihat bahwa laju  $k_2$  dan  $q_e$  tidak linear dengan nilai  $R^2$  yang rendah. Terutama pengujian yang dilakukan pada COD<sub>6</sub> yang hanya memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0,0105. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan dengan adsorpsi pseudo orde-kedua tidak sesuai dalam penelitian ini. Dari hasil perhitungan didapat nilai COD<sub>1</sub> – COD<sub>6</sub> berturut-turut adalah 0,877; 0,848; 0,0349; 0,0789; 0,4155; dan 0,0105.

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) tertinggi pada permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde-pertama. Nilai  $q_e$  perhitungan lebih mendekati dengan nilai  $q_e$  yang dihasilkan pada penelitian dibandingkan oleh permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde-kedua. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi yang dilakukan pada penelitian sesuai dengan permodelan kinetika adsorpsi pseudo orde-pertama. Proses adsorpsi yang terjadi antara MCM-41 dengan limbah cair tapioka terjadi secara kemisorpsi, ini ditunjukkan dengan model isoterm Langmuir dengan adsorpsi pseudo orde-pertama.

**Tabel 4.** Nilai parameter model kinetika adsorpsi COD limbah cair tapioka oleh MCM-41

<i>Pseudo-first orde kinetic model</i>			
	COD <sub>1</sub>	COD <sub>2</sub>	COD <sub>3</sub>
$R^2$	0,947	0,952	0,844
$K_1$	0,0737	0,0721	0,0748
$q_e$ (cal)	15,08	12,182	18,17
$q_e$ (exp)	14,4	12,8	12,8
<i>Pseudo-second order kinetic model</i>			
	COD <sub>4</sub>	COD <sub>5</sub>	COD <sub>6</sub>
$R^2$	0,807	0,959	0,9551
$K_1$	0,0753	0,0748	0,0736
$q_e$ (cal)	20,08	13,46	13,46
$q_e$ (exp)	12,8	12,8	12,8
<i>Pseudo-second order kinetic model</i>			
	COD <sub>1</sub>	COD <sub>2</sub>	COD <sub>3</sub>
$R^2$	0,877	0,848	0,0349
$K_2$	1,0927	0,6528	0,000407
$q_e$ (cal)	4,006	4,93	359,423
$q_e$ (exp)	14,4	12,8	12,8
	COD <sub>4</sub>	COD <sub>5</sub>	COD <sub>6</sub>
$R^2$	0,0789	0,4155	0,0105
$K_2$	0,000749	0,08842	0,0641
$q_e$ (cal)	181,073	15,66	44,70
$q_e$ (exp)	12,8	12,8	12,8

#### 4. Kesimpulan

Proses adsorpsi limbah cair tapioka oleh material MCM-41 dipengaruhi oleh waktu kontak, konsentrasi awal COD. Dimana semakin tinggi konsentrasi awal COD maka semakin tinggi pula konsentrasi keseimbangan COD. Waktu kontak optimum pada proses adsorpsi terjadi pada menit ke 70, hal ini terlihat pada jumlah konsentrasi COD yang tetap. Adsorpsi limbah cair tapioka oleh MCM-41 memiliki permodelan isotermal Langmuir dengan kapasitas maksimum penyerapan 15,923 mg/g, kinetika adsorpsi pseudo orde-pertama yang sesuai dengan adsorpsi limbah cair tapioka.

#### Daftar Pustaka

Afrinata, R., Fitria, D., Sari, P. R. (2010) Pemanfaatan fly ash batubara sebagai adsorben dalam penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dari limbah cair domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Hotel Inna Muara, Padang), *Jurnal Teknik Unand*, 1(33), Universitas Andalas, Padang.

Ahda, Mustofa (2013) Sintesis silika MCM-41 dan uji kapasitas adsorpsi terhadap metilen biru, *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, 3(1), 1 - 8, UGM: Yogyakarta.

Al-Degs, Y.S., El-Barghouthina, M.I., Issa, A.A., Khraishebb, M.A., and Walker, G.M. (2006) Sorption of Zn(II), Pb(II), and Co(II) using natural adsorbents:

- Equilibrium and Kinetic Studies, *Water Research*, 40, 2645 - 2658.
- Anirudhan, T.S., Radhakrishnan, P.G. (2008) Thermodynamics and kinetic adsorption of Cu(II) from aqueous solution onto a new cation exchanger derived from tamarind fruit shell, *Journal Chemical Thermodynamics*, 40, 702 - 709.
- Badan Pusat Statistik (BPS) (2014) Jakarta.
- Bhattacharyya, K.G., Gupta, S.S. (2008) Influence of Acid activation on Adsorption of Ni(II) and Cu(II) on Kaolinite and Montmorillonite: Kinetic and Thermodynamic Study, *Chemical Engineering Journal*, 136, 1 - 13.
- Crini, G., Peindy, H.N., Gimbert, F., and Robert, C. (2007) Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption using cyclodextrin-based adsorbent: kinetic and equilibrium studies, *Separation and Purification Technology*, 53, 97 - 110.
- Darmansyah, Hens Saputra, Simparmin, Br. G., Lisa Ardiana (2016) Synthesis and characterization of MCM-41 from coal fly ash for tapioca wastewater treatment, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7).
- Dinas Perindustrian Provinsi Lampung. (2014).
- Dominik Horinek, Alexander Herz, Lubos Vrbka, Felix Sedlmeier, Shavkat I. Mamatkulov, Roland R. Netz (2009) Specific ion adsorption at the air/water interface: The role of hydrophobic solvation, *Chemical Physics Letters*, 479 (2009), 173-183.
- Gupta, S.S., Bhattacharyya, K.G. (2005) Interaction of metal ions with clays: A case study with Pb(II), *Applied Clay Science*, 30, 199 - 208.
- Gupta, S.S., Babu, B.V. (2009) Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solution using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies, *Chemical Engineering Journal*, 150, 352 - 365.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2013) Jakarta.
- Mane, V.S., Mall, I.D., Srivasta, V.C. (2007) Kinetic equilibrium isotherm studies for adsorptive removal of brilliant green dye from aqueous solution by rice husk ash, *Journal of Environmental Management*, 84, 390 - 400.
- Naiya, T.K., Clowdhury, P., Bhattacharya, A.K., Das, S.K. (2009) Sawdust and neem bark as low cost natural biosorbent for adsorptive removal of Zn(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal*, 148, 86 - 79.
- Namasivayam, C. (2001) Uptake of dyes by a promising locally available agriculture solid waste: Coir Pith, *Waste Management*, 21, 381 - 387.
- Nomanbhay, S. M., Palanisamy, K. (2005) Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal, *Electronic Journal of Biotechnology*, 8, 43 - 53.
- Qingdong Qin. (2007) Adsorption of nitrobenzene from aqueous solution by MCM-41, *Journal of colloid and interface science*. 315, 80 - 86.
- Rety Setyawaty, Tjandra Setiadi, Keiko Katayama-Hirayama, Hidehiro Kaneko, Kimiyaki Hirayama (2012) Polyhydroxyalkanoate (PHA) production from tapioca industrial wastewater treatment: Influence of operating conditions on PHA content, *Sustain. Environment. Res.*, 22(2), 123-127.
- R.S. Araujo, F.S. Costa, D.A.S. Maia, H.B. Santana, C.L. Cavalcante Jr. (2007) Synthesis and characterization of Al- and Ti-MCM-41 materials: Application to oxidation of anthracene, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(1), 135-141.
- Simparmin Br. Ginting (2009) Analisis kinetika pertukaran ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dan H<sup>+</sup> pada zeolit alam Lampung dengan *Shrinking Core Model*, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(4), 197-204.