

Adsorpsi Ion Kadmium Menggunakan Silika Xerogel Berbasis Abu Bagasse

Isma Rahayu¹, Nazriati^{1*}, Fauziatul Fajaroh¹, & Adrian Nur²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

²Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret, Indonesia

Corresponding author: nazriati.fmipa@um.ac.id

Article history

Received: 27 September 2019

Received in revised form:

23 Oktober 2019

Accepted: 26 November 2019

DOI:

10.17977/um0260v3i12019p010

Kata-kata kunci:

silika xerogel,

adsorpsi,

ion kadmium

Abstrak

Adsorben yang digunakan untuk adsorpsi ion Cd merupakan silika xerogel. Sumber silika yang digunakan abu bagasse yang berasal dari limbah padat industri gula. Silika xerogel disintesis dengan metode sol gel pada pH 5. Silika xerogel selanjutnya diaplikasikan untuk mengadsorpsi ion Cd dengan variasi waktu kontak, pH, konsentrasi awal ion Cd, dan suhu. pH optimum untuk adsorpsi ion Cd diperoleh pada pH 7 menggunakan 0,01 g silika xerogel dan waktu kontak 60 menit. Isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir ($R^2 = 0,997$) dan kinetika adsorpsi sesuai dengan model pseudo-second order ($R^2 = 0,998$).

Abstract

Silica xerogel which was derived from bagasse ash originated from the solid waste of sugar cane industry was used as Cd ion adsorbent. This silica xerogel was synthesized using the sol-gel method on pH 5 and was applied to adsorb Cd ion in various contact time, pH, initial Cd ion concentration and temperature. It was found out that the optimum pH for Cd ion adsorption was at pH 7 using 0.01 g of silica xerogel within 60 minutes of contact time. The adsorption isotherm follows the Langmuir isotherm model ($R^2 = 0.997$) and adsorption kinetics followed the pseudo-second-order model ($R^2 = 0.998$).

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia akibat kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi berdampak positif dan negatif bagi masyarakat. Dampak positif yaitu terbukanya lapangan pekerjaan, sedangkan dampak negatif yaitu peningkatan jumlah limbah industri. Pencemaran limbah logam berat yang berasal dari industri cat, tekstil, baterai dan plastik salah satunya kadmium. Pengendapan kadmium dalam tubuh manusia dapat menyebabkan kerusakan pada ginjal, hati dan tulang. Kasus pencemaran limbah logam kadmium terjadi di Pantai Utara Pulau Jawa dimana ikan tongkol mengandung kadmium 0,156 mg/kg (Hananingtyas, 2017). Kasus keracunan kadmium yang sangat parah pernah terjadi di Jepang yang menimbulkan penyakit itai-itai (*itai-*

itai disease). Jumlah pasien yang menderita penyakit ini antara tahun 1910 dan 2007 diperkirakan sekitar 400 orang (Kaji, 2012).

Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran logam kadmium di antaranya penukaran ion dengan resin, pengendapan, filtrasi, dan adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat pada permukaan adsorben. Metode adsorpsi dipilih untuk mengatasi pencemaran logam kadmium karena prosesnya mudah dan biaya yang murah. Adsorben yang dapat digunakan dalam proses adsorpsi adalah karbon aktif dan silika *xerogel*. Karbon aktif memiliki kelemahan yaitu proses regenerasi susah dan harganya mahal, sehingga dipilih silika *xerogel* sebagai adsorben.

Silika *xerogel* dapat diproduksi dari senyawa alkoksida yaitu *tetraethylortosilicate* (TEOS) dan *tetramethoxysilane* (TMOS) (Dorcheh, 2008) namun senyawa ini bersifat racun, harganya mahal dan membutuhkan alkohol sebagai pelarut pada tahap hidrolisisnya. Hal tersebut mendorong peneliti untuk mencari sumber silika *xerogel* yang lebih ramah lingkungan, mempunyai luas permukaan yang tinggi dan murah. Produksi silika gel dari limbah pertanian telah banyak dilaporkan seperti abu sekam padi (Hadiwidodo, 2016), tongkol jagung (Onkoronkwo, dkk., 2013), dan abu *bagasse* (Affandi, dkk., 2009). Penelitian Affandi, dkk. (2009) melaporkan bahwa kandungan silika yang terdapat pada abu *bagasse* sebanyak 50,36%. Abu *bagasse* merupakan abu ampas tebu yang berasal dari proses pembakaran ampas tebu pada produksi gula. Silika *biogenic* pada abu *bagasse* adalah silika amorf yang kelarutannya kecil pada pH dibawah 10 dan larut dengan baik pada pH diatas 10 (Nazriati, 2016). Sifat ini dapat digunakan untuk ekstraksi silika dari abu *bagasse*.

Sintesis silika *xerogel* dilakukan menggunakan metode sol gel pada pH 5 karena pada penelitian Nazriati (2016) sintesis silika *xerogel* pada pH 5 diperoleh silika *xerogel* dengan luas permukaan terbesar yaitu 490,115 m²/g. Silika *xerogel* merupakan material berpori yang memiliki gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) pada permukaan yang dapat digunakan sebagai adsorben ion logam kadmium (II). Ion logam berat kadmium yang bermuatan positif akan terserap pada sisi polar silika *xerogel*. Kemampuan penyerapan adsorben diuji dengan berbagai kondisi yaitu variasi waktu kontak, konsentrasi, pH dan suhu untuk mengetahui kapasitas adsorpsi silika *xerogel*. Pada penelitian dipelajari model isoterm, besaran termodinamika (ΔG° , ΔH° dan ΔS°) dan kinetika adsorpsi.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu Abu *Bagasse* dari PG PT Rajawali I, Unit PG. Kregbet Baru II Malang, NaOH (*p.a.*, Merck), NH₃ (*aq.*, Merck), HCl 37% (*p.a.*, Merck) dan Cd(NO₃)₂.4H₂O (*p.a.*, Merck). Kertas saring (Whatman No. 40), resin penukar kation, indikator universal (Merck), aqua demineralisasi (Hydrobatt).

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu peralatan gelas kimia, neraca analitik (DURASCALE DAB-200), pompa *vacuum*, oven (Memmert), *magnetic stirrer* (CIMAREC), FT-IR (Shimadzu IR-Prestige 21, dan AAS (Shimadzu AA-6800)

Prosedur

Sintesis Silika Xerogel sebagai Adsorben Ion Cd

a. Ekstraksi Silika dari Abu Bagasse

Abu *bagasse* dioven pada suhu 105 °C selama 4-5 jam. 10 gram abu *bagasse* kering dicampur dengan 60 mL NaOH 2M diaduk dengan *magnetic stirrer* sambil dididihkan selama 1 jam. Larutan disaring menggunakan kertas saring Whatmann No. 40 dengan bantuan pompa *vacuum*. Filtrat yang terbentuk merupakan natrium silikat.

b. Preparasi Asam Silikat

Natrium silikat sebanyak 10 mL dicampurkan dengan 30 mL resin penukar kation dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga mencapai pH 2. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya merupakan asam silikat.

c. Sintesis Silika Xerogel

Asam silikat yang terbentuk ditambahkan NH₄OH 1M sampai pH 5. Sol dibiarkan hingga membentuk gel kemudian di *aging* pada suhu kamar selama 18 jam. Selanjutnya gel dicuci menggunakan air demineralisasi hingga pH 7. Gel dioven pada suhu 80°C selama 24 jam.

Adsorpsi Ion Cd menggunakan Silika Xerogel

a. Variasi Waktu Kontak

Larutan Cd²⁺ 10 mg/L sebanyak 25 mL dan 0,01 gram silika *xerogel* diaduk menggunakan *shaker* kecepatan 150 rpm dengan variasi waktu (10-180 menit). Selanjutnya, larutan disentrifuse selama 20 menit dengan kecepatan 1500 rpm. Sentrifugat dianalisis menggunakan AAS.

b. Variasi Konsentrasi

Larutan Cd²⁺ 25 mL dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 mg/L ditambahkan silika *xerogel* dan diaduk menggunakan *shaker* kecepatan 150 rpm selama waktu kontak optimum yang dihasilkan pada variasi waktu kontak. Larutan disentrifuse selama 20 menit dengan kecepatan 1500 rpm. Sentrifugat dianalisis menggunakan AAS.

c. Variasi pH

Larutan Cd²⁺ 25 mL dengan konsentrasi 10 mg/L divariasikan pH 5, 6, 7, dan 8 dengan NH₄OH 1M dan HCl (aq) 1M. Silika xerogel ditambahkan sebanyak 0,01 gram dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama waktu kontak optimum. Larutan disentrifuse selama 20 menit dengan kecepatan 1500 rpm. Sentrifugat dianalisis menggunakan AAS.

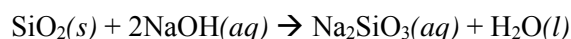
d. Variasi Suhu

Larutan Cd²⁺ konsentrasi 10, 15, dan 20 mg/L sebanyak 25 mL dan 0,01 gram silika *xerogel* diaduk menggunakan *shaker* kecepatan 150 rpm. selama waktu kontak optimum dengan variasi suhu 35 °C, 45 °C dan 55 °C. Larutan disentrifuse selama 20 menit dengan kecepatan 1500 rpm. Sentrifugat dianalisis menggunakan AAS.

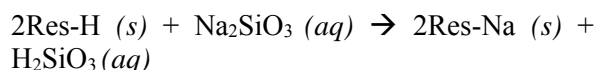
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Silika Xerogel sebagai Adsorben ion Cd

Abu *bagasse* diekstraksi silika menggunakan NaOH 2M dengan pemanasan dan pengadukan konstan selama 60 menit. Filtrat hasil ekstraksi berwarna coklat disebut natrium silikat yang memiliki pH 13. Reaksi yang terjadi pada proses ekstraksi silika yaitu sebagai berikut.



Natrium silikat selanjutnya dilewatkan resin penukar kation dengan perbandingan 1:3. Pada saat natrium silikat dilewatkan resin terjadi pertukaran antara Na⁺ dari natrium silikat dan H⁺ dari resin sehingga dihasilkan asam silikat dengan pH 2 (sama dengan pH awal resin). Reaksi yang terjadi pada proses penukar kation adalah sebagai berikut.



Penambahan NH₄OH hingga terbentuk asam silikat pH 5 bertujuan menghasilkan silika dengan luas permukaan besar. Proses selanjutnya yaitu pembentukan gel yang disebut tahap *gelling*. Pada tahap *gelling* terjadi reaksi kondensasi monomer asam silikat yang disertai dengan polimerisasi.

Gel selanjutnya *diaging* selama 18 jam pada suhu 27°C untuk memperkuat jaringan silika yang terbentuk. Gel dicuci menggunakan air demineralisasi untuk menghilangkan pengotor

seperti ion H⁺ dan Na⁺. Gel yang terbentuk dikeringkan pada suhu 80°C selama 24 jam. Silika *xerogel* hasil sintesis berupa padatan berwarna putih. Hasil karakterisasi menunjukkan serapan pada panjang gelombang 3226-3600 cm⁻¹ yang mengidentifikasikan gugus fungsi silanol (Si-OH) dan serapan pada panjang gelombang 1000-1250 cm⁻¹ mengidentifikasikan gugus siloksan (Si-O-Si). Gugus fungsi silanol dan siloksan merupakan gugus fungsi khas silika *xerogel*

Adsorpsi Cd²⁺ menggunakan Silika Xerogel

Adsorpsi Cd²⁺ dilakukan dengan beberapa variasi yaitu variasi waktu kontak, konsentrasi, pH dan suhu. Setelah proses adsorpsi sisa Cd²⁺ dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Konsentrasi Cd²⁺ setelah adsorpsi (C_{akhir}) dapat diketahui menggunakan kurva standar. Kurva standar yang digunakan diperoleh dari hasil pengukuran larutan standar Cd²⁺ menggunakan AAS dan diperoleh regresi linear (R²) sebesar 0,9999 yang memenuhi nilai linearitas kurva standar yaitu > 0,995 atau mendekati 1. Persamaan garis lurus pada kurva standar tersebut yaitu y = 0,21557x + 0,0036. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi sisa setelah proses adsorpsi. Persentase penyerapan Cd²⁺ oleh silika *xerogel* dapat ditentukan setelah mengetahui konsentrasi sisa Cd²⁺. Persentase penyerapan Cd²⁺ oleh adsorben dapat ditentukan menggunakan rumus.

$$\text{Persen Adsorpsi} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \quad 1)$$

Model isoterm, kinetika adsorpsi dan besaran-besaran termodinamika dapat ditentukan menggunakan kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi silika *xerogel* terhadap Cd²⁺ dapat ditentukan dengan rumus.

$$q_e = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{m} \times v \quad 2)$$

dengan:

- q_e = kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)
- C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)
- v = volume larutan Cd²⁺ (L)
- m = massa silika *xerogel* yang digunakan (gram)

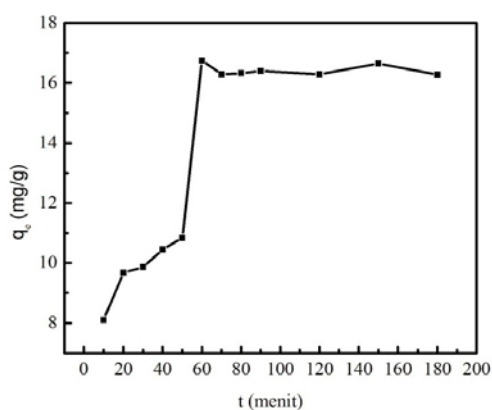
Pengaruh variasi waktu kontak pada proses adsorpsi Cd²⁺

Variasi waktu digunakan untuk menentukan waktu kontak optimum dengan variasi waktu 10,

20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120, 150 dan 180 menit. Kapasitas adsorpsi meningkat hingga waktu kontak 60 menit dan konstan setelah 60 menit hal ini dikarenakan permukaan sisi aktif adsorben sudah mulai jenuh. Waktu kontak optimum terjadi pada waktu kontak 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 16,745 mg/g. Waktu kontak ini digunakan untuk waktu kontak pada proses adsorpsi selanjutnya. Kurva hubungan kapasitas adsorpsi dan waktu kontak ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengaruh variasi konsentrasi pada proses adsorpsi Cd²⁺

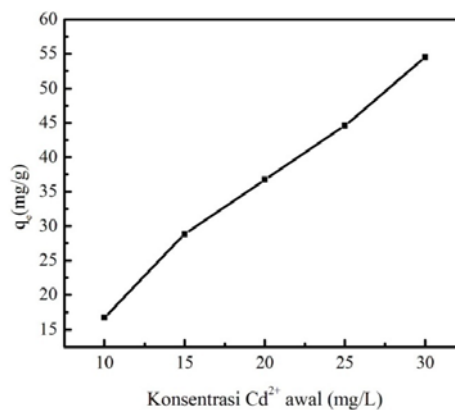
Proses adsorpsi Cd²⁺ dengan variasi konsentrasi dilakukan menggunakan 25 mL larutan Cd²⁺ dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 mg/L. Silika xerogel yang digunakan sebanyak 0,01 gram dengan waktu adsorpsi selama 60 menit. Kenaikan konsentrasi Cd²⁺ awal yang ditambahkan dapat meningkatkan konsentrasi Cd²⁺ yang teradsorpsi dan kapasitas adsorpsi. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi Cd²⁺ maka semakin banyak pula Cd²⁺ dalam larutan sehingga tumbukan antara Cd²⁺ dengan permukaan adsorben semakin besar. Tumbukan yang semakin besar akan menyebabkan kemungkinan penyerapan Cd²⁺ ke pada permukaan adsorben semakin besar. Konsentrasi Cd²⁺ yang terserap meningkat sebanding dengan kapasitas adsorpsi Cd²⁺. Kapasitas adsorpsi setimbang meningkat dari 16,745 mg/g sampai 54,523 mg/g. Kurva hubungan konsentrasi awal Cd²⁺ dengan kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.



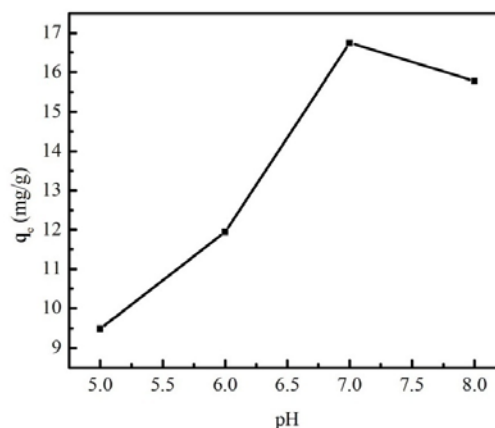
Gambar 1. Pengaruh Variasi Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi

Pengaruh variasi pH pada proses adsorpsi Cd²⁺

Kemampuan silika xerogel dalam proses adsorpsi dipengaruhi oleh derajat keasaman atau pH. Tujuan adsorpsi pada variasi pH yaitu untuk mengetahui pH optimum penyerapan Cd²⁺ oleh silika xerogel. pH optimum penyerapan Cd²⁺ berada pada pH 7 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 16,745 mg/g. Gambar 3. menunjukkan pengaruh pH pada proses adsorpsi Cd²⁺.



Gambar 2. Hubungan Konsentrasi Awal Cd²⁺ yang Ditambahkan (mg/L) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi (mg/g) Silika Xerogel.

Gambar 3 menunjukkan terjadinya kenaikan kapasitas adsorpsi dari pH 5 hingga pH 7 dan mengalami penurunan setelahnya. Efek pH terhadap kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh spesies kadmium dalam suatu larutan. Spesies kadmium dalam bentuk larutan yaitu sebagai Cd²⁺, Cd(OH)⁺, Cd(OH)₄²⁻, Cd(OH)₃⁻ dan Cd(OH)₂ (s). Hal tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi larutan dan pH larutan (Singh & Singh, 2015).

Pada pH rendah konsentrasi H⁺ tinggi sehingga larutan berpotensi bermuatan positif. Kondisi tersebut akan menyebabkan terjadinya

persaingan antara Cd^{2+} dengan H^+ untuk terikat pada sisi aktif adsorben. Kompetisi Cd^{2+} dan H^+ akan berkurang pada peningkatan pH, sehingga kapasitas adsorpsi dapat mengalami peningkatan. Setelah pH 7 kapasitas adsorpsinya menurun akibat dari terbentuknya kadmium hidroksida.

Pengaruh variasi suhu pada proses adsorpsi Cd^{2+}

Pengaruh variasi suhu pada proses adsorpsi digunakan untuk menentukan besaran-besaran termodinamika. Pada adsorpsi Cd^{2+} menggunakan silika *xerogel* kenaikan suhu menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi. Hal ini menunjukan proses adsorpsi Cd^{2+} menggunakan silika *xerogel* berlangsung adsorpsi fisik dan maksimum pada suhu rendah. Pengaruh suhu terhadap Cd^{2+} yang teradsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi ditunjukkan Gambar 4.

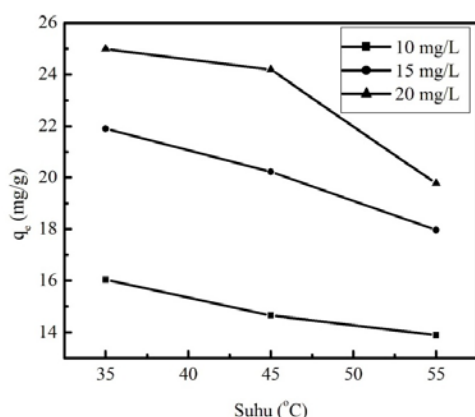
Penentuan Kinetika Adsorpsi, Isoterm Adsorpsi dan Besaran Termodinamika

Kinetika adsorpsi yang dipelajari yaitu *Pseudo-First Order* dan *Pseudo-Second Order*. Kinetika adsorpsi *Pseudo-First Order* dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut (Lagergren, 1898).

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{log } q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$

Kinetika adsorpsi *Pseudo-Second Order* ditentukan dengan persamaan berikut.

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



Gambar 4. Pengaruh Suhu terhadap Kapasitas Adsorpsi

Pada Tabel 1. nilai regresi linear (R^2) dari kinetika adsorpsi *Pseudo-Second Order* memiliki nilai yang lebih mendekati 1 dibandingkan dengan *Pseudo-First Order*, sehingga data proses adsorpsi Cd^{2+} dengan baik menggunakan kinetika *Pseudo-Second Order*. Hal ini juga didukung dengan nilai q_{cal} pada kinetika *Pseudo-Second Order* yang lebih mendekati kapasitas adsorpsi eksperimen dibandingkan kinetika *Pseudo-First Order*.

Tabel 1. Perbandingan Parameter-parameter pada Kinetika Adsorpsi

	<i>Pseudo-First Order</i>	<i>Pseudo-Second Order</i>
R^2	0,917	0,998
K	0,0069 min ⁻¹	0,0181g/mg.min
q_e	16.745	16.745
q_{cal}	8,974 mg/g	11,765 mg/g

Model isoterm yang dipelajari pada penelitian ini adalah isoterm Langmuir dan Freundlich. Model isoterm Langmuir menjelaskan bahwa proses adsorpsi adsorbat membentuk lapisan *monolayer* adsorbat pada permukaan adsorben. Isoterm Langmuir dapat dipelajari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b_t} + \frac{C_e}{Q_0}$$

Model isoterm Freundlich dapat menjelaskan lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben terjadi pada beberapa lapisan (*multilayer*). Isoterm Freundlich dapat dipelajari menggunakan persamaan berikut.

$$\text{log } q_e = \text{log } K_f + \frac{1}{n} \text{log } C_e$$

Parameter-parameter pada isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dibandingkan. Perbandingan parameter-parameter di lakukan untuk menentukan model isoterm yang lebih menjelaskan proses adsorpsi Cd^{2+} menggunakan silika *xerogel*. Data parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Parameter Isoterm Langmuir dan Freundlich

Suhu	Isoterm Langmuir		
	R^2	Q_0 (mg/g)	b_L (L/mg)
35 °C	0,994	37,037	0,27
45 °C	0,997	43,478	0,127
55 °C	0,997	27,027	0,090

Suhu	Isoterm Freundlich		
	R ²	n	K _f
35 °C	0,967	2,801	8,128
45 °C	0,990	1,808	6,606
55 °C	0,966	2,288	9,332

Berdasarkan Tabel 2. dapat ditunjukkan perbandingan parameter pada isoterm Langmuir dan Freundlich. Nilai regresi linear (R²) pada isoterm Langmuir lebih mendekati 1 dibandingkan pada isoterm Freundlich, sehingga model isoterm pada adsorpsi Cd²⁺ menggunakan silika *xerogel* mengikuti model isoterm Langmuir. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi bersifat *monolayer*. Pada permukaan adsorben silika *xerogel* bersifat homogen, dimana semua permukaan adsorben memiliki daya adsorpsi yang sama.

Studi termodinamika merupakan studi yang mempelajari perpindahan panas/kalor pada suatu proses adsorpsi. Studi adsorpsi dilakukan pada variasi suhu dengan konsentrasi tetap. Besaran termodinamika yang ditentukan yaitu energi bebas Gibbs (ΔG°), entalpi (ΔH°), dan entropi (ΔS°). Energi bebas Gibbs menentukan kespontanan suatu reaksi. Perubahan kalor yang terjadi pada tekanan tetap disebut entalpi (ΔH°). Nilai entropi (ΔS°) menunjukkan ukuran langsung dari ketidakteraturan pada suatu sistem. Energi bebas Gibbs ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$K_c = \frac{C_a}{C_e}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c$$

Dimana T adalah suhu (K) dan R adalah tetapan gas ideal (8,314 J/mol K). Nilai ΔG° pada setiap suhu disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Energi Bebas Gibbs ΔG° pada setiap Suhu

T(K)	ΔG° (kJ/mol)
308	-2,246
318	-2,049
328	-1,778

Penentuan besaran termodinamika yang lain yaitu ΔH° dan ΔS° ditentukan menggunakan

kurva van't Hoff dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\ln K_c = \frac{-\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat dialurkan kurva hubungan 1/T dan ln Kc sehingga menghasilkan persamaan garis lurus yaitu y = 1135x-2,80 dengan nilai R² sebesar 0,994. Persamaan garis yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan ΔH° dan ΔS°. Nilai ΔG°, ΔH° dan ΔS° disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Besaran Termodinamika Adsorpsi

T(K)	ΔG (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/Kmol)
308	-2.246	-9,346	-23,312
318	-2.045		
328	-1.778		

Berdasarkan Tabel 4. dapat diketahui nilai ΔG° bernilai negatif dan penurunan suhu menyebabkan nilai ΔG° semakin negatif. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara spontan tanpa memerlukan energi lain dari luar. Nilai ΔG° meningkat dengan peningkatan suhu. Nilai ΔH° negatif dapat menunjukkan bahwa proses adsorpsi Cd²⁺ menggunakan silika *xerogel* terjadi secara eksotermik. Nilai ΔS° negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi Cd²⁺ mengalami penurunan derajat ketidakteraturan permukaan padat-cair pada proses adsorpsi. Penurunan derajat ketidakteraturan menyebabkan molekul Cd²⁺ yang terserap pada permukaan adsorben semakin teratur (Kubilay, dkk., 2007).

KESIMPULAN

Kapasitas adsorpsi maksimum silika *xerogel* terhadap Cd²⁺ dengan konsentrasi 10 mg/L pada waktu kontak 60 menit sebesar 16,745 mg/g dan optimum pada pH 7. Adsorpsi Cd²⁺ menggunakan silika *xerogel* mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai R² 0,997 dan kinetika adsorpsi *Pseudo-Second Order* dengan (R²) yaitu 0,998. Adsorpsi Cd²⁺ oleh silika *xerogel* memiliki nilai ΔH° = -9,346 kJ/mol, ΔG° = -2,246 kJ/mol (35 °C), -2,045 kJ/mol (45 °C), -1,778 kJ/mol (55 °C) dan ΔS° = -23,312 J/K mol.

DAFTAR RUJUKAN

Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., & Balgis, R. 2009. A Facile Method for

the Production of High Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *J. Adv. Power Tech*, 20, 468-472. DOI: 10.1016/j.ap.2009.03.008.

- Dorcheh, A.S., Abbasi, M.H. 2008. Silica Aerogel; Synthesis, Properties and Characterization. *Journal of Materials Processing Technology*. 199:10-26. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.10.060
- Hadiwidodo, M. 2008. Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Logam Cu. *Teknik*, 29(1), 55-63. DOI: [10.14710/teknik.v29i1.1912](https://doi.org/10.14710/teknik.v29i1.1912).
- Hananingtyas, I. 2017. Studi Pencemaran Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada Ikan Tongkol (*Euthynnus sp.*) di Pantai Utara Jawa. *BIOTROPIC The Journal of Tropical Biology*, 1(2), 41-50. DOI: [10.29080/biotropic.2017.1.2.41-50](https://doi.org/10.29080/biotropic.2017.1.2.41-50).
- Ho, Y.S & McKay. 1999. Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry*, 34, 451-465. DOI: 10.1016/s0032-9592(98)00112-5.
- Kaji, M. 2012. Role of Experts and Public Participation in Pollution Control: The Case of Itai-itai Disease in Japan. *Ethics Sci Environ Polit* 12, 99–111. DOI: 10.3354/esepp00126
- Kubilay, S., Gurkan, R., Savran, A., & Sahan, T. 2007. Removal of Cu(II), Zn(II) and Co(II) Ions from Aqueous Solutions by Adsorption onto Natural Bentonite. *Adsorption*, 13, 41-51. DOI: 10.1007/s10450-007-9003-y.
- Lagergren, S. 1898. About the Theory of so-called Adsorption of Soluble Substances. *Kungliga Svenska Vetenskap-sakademiens Handlingar*, 24(4), 1-39.
- Nazriati, Raga, B.C.D.S., & Fajaroh, F. 2016. Efek pH terhadap *Gelling Time* dan Karakteristik Silika Xerogel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya (SNKP)* 27 November, Malang: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Malang.
- Okoronkwo, E.A., Imoisili, P.E., & Olusunle, S.O.O. 2013. Extraction and Characterization of Amorphous Silica from Corn Cob Ash by Sol-Gel Method. *Chemistry and Materials Research*, 3(4), 68-72.
- Singh, V & Singh, S.K. 2015. Cadmium (II) removal from aqueous solution using guar gum-silica nanocomposite. *Adv. Mater. Lett*, 6(7), 607-615. DOI: 10.5185/amlett.2015.5873.