

ADSORPSI ION KADMIUM (Cd^{2+}) MENGGUNAKAN ADSORBEN DARI AMPAS TEH DENGAN METODE KOLOM

THE ADSORPTION OF CADMIUM IONS (Cd^{2+}) USING ADSORBENT FROM TEA WASTE BY COLUMN METHOD

Savitri Nur Bahriana, Bohari Yusuf*, Teguh Wirawan

Program Studi S1 Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman
Jalan Barong Tongkok No.4 Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

*Corresponding Author: bohari@unmul.ac.id

Diterbitkan: 01 Maret 2023

ABSTRAK

Adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) menggunakan adsorben dari ampas teh dengan metode kolom telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan ampas teh sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion kadmium. Preparasi ampas teh dilakukan dengan dicuci dengan air panas hingga filtrat tidak berwarna, kemudian ampas teh yang sudah kering digerus dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Pada penelitian ini proses adsorpsi menggunakan metode *batch* dan kolom. Penentuan konsentrasi ion logam kadmium dikomplekskan dengan ditizon dan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Kondisi optimum adsorpsi ion logam kadmium menggunakan adsorben ampas teh dengan metode *batch* adalah pada waktu kontak 10 menit, pH 10 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 157,1282 mg/g. Proses adsorpsi dengan metode kolom optimum pada laju alir 4,70 mL/menit dan kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh sebesar 68,8817 mg/g. Proses adsorpsi ion logam kadmium mengikuti jenis isoterm Langmuir.

Kata Kunci: *Adsorpsi, Ampas Teh, Kadmium, Metode Kolom*

ABSTRACT

The adsorption of cadmium ions (Cd^{2+}) using adsorbent from tea waste by column method has been carried out. The purpose of this study is to utilize tea waste as an adsorbent to adsorb cadmium ions. The preparation tea waste was washed with hot water until the filtrate is colorless, then the dried tea waste was crushed and sieved using a 60 mesh sieve. In this study, the adsorption process used the batch method and column method. Determination of metal ions concentration of cadmium complexed with dithizone and measured with UV-Vis spectrophotometer at 518 nm. The optimum conditions of cadmium metal adsorption using adsorbent from tea waste by batch method at 10-minute contact time, pH 10, and the maximum adsorption capacity of 157.1282 mg/g. The adsorption process with optimum column method at 4.10 mL/minute flow rate and the maximum adsorption capacity of 68.8817 mg/g. The cadmium metal ions adsorption process follows the Langmuir isotherm type.

Keywords: *Adsorption, Tea Waste, Cadmium, Column Method.*

PENDAHULUAN

Perkembangan bidang industri yang cukup pesat menyebabkan dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh limbah industri yang mengandung zat-zat kimia yang berbahaya. Salah satu contoh zat-zat kimia yang berbahaya yaitu logam berat. Kadmium merupakan salah satu logam berat yang tidak lepas dari proses industri. Jumlah logam kadmium setiap tahunnya yang

digunakan pada proses industri melebihi batas yang telah ditentukan, sehingga mengakibatkan jumlah limbah kadmium yang dibuang ke lingkungan juga semakin meningkat [1].

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengurangi pencemaran logam kadmium (Cd) diantaranya yaitu: pengendapan, filtrasi, pertukaran ion dan adsorpsi. Metode Adsorpsi sering digunakan karena memiliki kelebihan

yaitu konsep yang sederhana, efisien dan juga ekonomis. Adsorben memiliki peranan yang paling penting pada proses adsorpsi [2]. Adsorpsi merupakan suatu proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi dan gaya tarik-menarik permukaan. Masing-masing permukaan memiliki sifat yang berbeda, hal ini dipengaruhi pada susunan dalam molekul-molekul zat [3].

Adsorben alami sering digunakan karena lebih ekonomis dan efektif. Biomaterial telah banyak dimanfaatkan sebagai adsorben diantaranya yaitu kulit hazelnut [4], tandan buah palem [5], tongkol jagung [6], biji kopi, serbuk gergaji, pakis pohon, kitosan [7] dan ampas teh [8]. Ampas teh mampu mengadsorpsi logam berat hal ini karena pada gugus fungsional dinding sel ampas teh terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, tanin dan protein struktural [9].

Adsorpsi dapat dilakukan secara *batch* ataupun kolom. Sistem *batch* mempunyai kelemahan yaitu perlu adanya tahap pemisahan antara adsorben dengan sampel [10]. Adapun kelebihan sistem kolom yaitu memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan dengan sistem *batch*, sehingga lebih cocok pada pengaplikasian dalam skala besar [11].

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah ampas teh sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam kadmium (Cd) dengan menggunakan metode kolom. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh logam kadmium (Cd) dengan memanfaatkan limbah ampas teh.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas kimia, Labu Erlenmeyer, neraca analitik, oven, spatula, batang pengaduk, corong kaca, labu ukur, *magnetic stirrer*, pipet volume, pipet ukur, ayakan 60 mesh, pH meter, corong pisah, mortar dan alu, statif, klem, *bulb*, *stopwatch*, kolom dengan panjang 7 cm dan diameter 1,2 cm, desikator dan spektrofotometer UV-Vis Genesys seri 10S.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini

yaitu ampas teh, aquades, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, padatan ditizon, kloroform, NaOH, HNO_3 , tissue, kertas saring, kertas *whatman* dan aluminium foil.

PROSEDUR PENELITIAN

Pembuatan Adsorben Ampas Teh

Ampas teh yang telah dikumpulkan dari rumah makan di Samarinda kemudian dicuci dengan air panas hingga filtrat tidak berwarna. Ampas teh dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 2 jam. Ampas teh dikeluarkan dari oven dan dimasukkan ke dalam desikator selama 2 jam. Ampas teh dihaluskan dengan menggunakan mortar dan alu dan diayak dengan menggunakan ayakan 60 mesh.

Adsorpsi Terhadap Ion Kadmium (Cd^{2+})

Penentuan Waktu Optimum

Sebanyak 0,25 gram adsorben ampas teh dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 50 mL yang berisi 20 mL larutan kadmium 25 ppm. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit. Filtrat dipisahkan dari campuran dengan menggunakan penyaringan. Filtrat tersebut ditambahkan larutan NaOH 1% tetes per tetes hingga pH 9. Larutan tersebut ditambahkan 5 mL larutan ditizon 0,0015% lalu diaduk perlahan hingga didapatkan kompleks berwarna merah muda. Fase organik tersebut dipipet sebanyak 5 mL dan dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Langkah tersebut diulangi pada waktu kontak 10, 15 dan 30 menit.

Penentuan pH Optimum

Sebanyak 0,25 gram adsorben ampas teh dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 50 mL yang berisi 20 mL larutan kadmium 25 ppm yang telah diatur pH 3. Pengaturan pH larutan dilakukan dengan cara menambahkan larutan NaOH 1% atau HNO_3 0,1 M. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit. Filtrat dipisahkan dari campuran dengan menggunakan penyaringan. Filtrat tersebut ditambahkan larutan NaOH 1% atau HNO_3 0,1 M tetes per tetes hingga pH 9. Larutan tersebut ditambahkan 5 mL larutan ditizon 0,0015% lalu diaduk perlahan hingga didapatkan kompleks berwarna merah muda. Fase organik tersebut dipipet sebanyak 5 mL dan dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Langkah

tersebut diulangi pada pH 4, 5, 7, 8, 10 dan 11.

Variasi Konsentrasi

Sebanyak 0,1 gram adsorben ampas teh dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 50 mL yang berisi 20 mL larutan kadmium dengan konsentrasi 25 ppm, yang telah diatur pH larutan pada pH 10. Campuran tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit.. Filtrat dipisahkan dari campuran dengan menggunakan penyaringan. Filtrat tersebut ditambahkan larutan HNO₃ 0,1 M tetes per tetes hingga pH 9. Larutan tersebut ditambahkan 5 mL larutan ditizon 0,0015% lalu diaduk perlahan hingga didapatkan kompleks berwarna merah muda. Fase organik tersebut dipipet sebanyak 5 mL dan dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Langkah tersebut diulangi pada konsentrasi 100, 150, 200, 300, 400, 500 dan 600 ppm.

Adsorpsi Ion Kadmium (Cd²⁺) dengan Metode Kolom

Variasi Laju Alir

Sebanyak 0,1 gram adsorben ampas teh dimasukkan ke dalam kolom kemudian kolom tersebut dialiri 20 mL larutan kadmium 25 ppm dengan laju alir 0,20 L/menit, yang telah diatur pH larutan pada pH 10. Larutan yang telah melalui kolom ditampung dalam labu Erlenmeyer. Larutan tersebut ditambahkan larutan HNO₃ 0,1 M tetes per tetes hingga pH 9, lalu ditambahkan sebanyak 5 mL larutan ditizon 0,0015 % dan diaduk secara perlahan hingga diperoleh kompleks berwarna merah muda yang stabil. Fase organik warna merah muda dipipet sebanyak 5 mL dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Langkah tersebut diulangi untuk variasi laju alir 0,30; 0,70; 2,50; 4,70; 6,20 dan 8,10 mL/menit.

Variasi Konsentrasi

Sebanyak 0,1 gram adsorben ampas teh dimasukkan ke dalam kolom kemudian kolom tersebut dialiri 20 mL larutan kadmium dengan konsentrasi 25 ppm, yang telah diatur pH larutan pada pH 10 dan laju alir 4,7 mL/menit. Larutan yang telah melalui kolom ditampung dengan menggunakan labu Erlenmeyer. Larutan tersebut ditambahkan larutan HNO₃ 0,1 M tetes per tetes hingga pH 9, lalu ditambahkan sebanyak 5 mL

larutan ditizon 0,0015 % dan diaduk secara perlahan hingga diperoleh kompleks berwarna merah muda yang stabil. Fase organik warna merah muda dipipet sebanyak 5 mL dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 518 nm. Langkah tersebut diulangi untuk variasi konsentrasi 100, 150, 200, 300, 400, 500 dan 600 nm.

Analisis Data

Penentuan isoterm didapatkan dengan cara membuat grafik perbandingan antara 1/Qa dengan 1/Ca dan grafik antara log Qa dengan log Ca kemudian dilihat nilai regresi yang mendekati nilai 1.

Isoterm Langmuir

$$\frac{1}{Q_a} = \frac{1}{Q_m \times K_{ads}} \left(\frac{1}{Ca} \right) + \frac{1}{Q_m}$$

Dibuat grafik dengan sumbu y 1/Qa vs sumbu x 1/Ca yang dibuat dengan *slope* 1/Qm dan intersep 1/Qm + K_{ads}

Keterangan :

- Q_a =Jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)
- Q_m =Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
- Ca =Konsentrasi akhir (mg/L)
- K_{ads} =Konstanta adsorpsi Langmuir (mg/g)

Isoterm Freundlich

$$\text{Log } Q_a = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } Ca$$

Dibuat grafik dengan sumbu y log Qa vs sumbu x log Ca dengan *slope* 1/n dan intersep log K_f

Keterangan :

- Q_a = Jumlah adsorbat teradsorpsi (mg/g)
- Ca = Konsentrasi akhir (mg/L)
- K_f = Konstanta Freundlich (mg/g)
- n = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

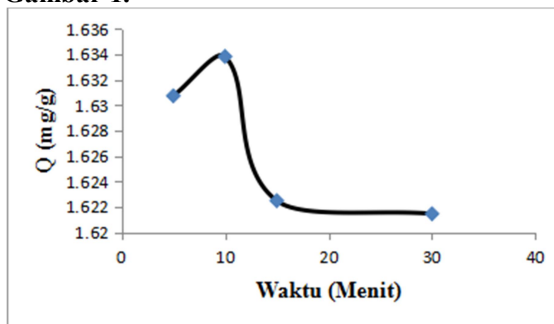
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Adsorpsi terhadap Ion Kadmium (Cd²⁺)

Penentuan Waktu Kontak Optimum dengan Metode *Batch*

Pada penelitian ini dilakukan penentuan waktu kontak optimum yang bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu kontak yang dibutuhkan ampas teh dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd²⁺). Berikut grafik pengaruh waktu kontak terhadap jumlah kadmium yang teradsorpsi pada ampas teh ditunjukkan pada

Gambar 1.



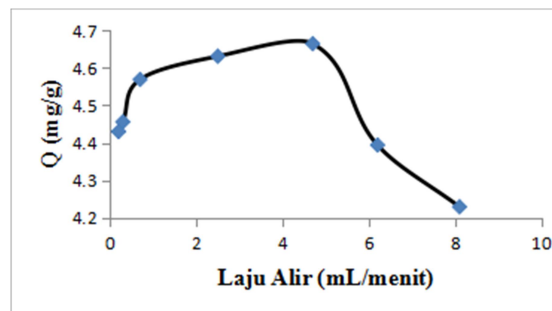
Gambar 1. Pengaruh variasi waktu kontak terhadap adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 1.** waktu kontak optimum yang diperoleh dari adsorben ampas teh dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) terjadi pada waktu kontak 10 menit dengan jumlah kadmium teradsorpsi (Q) sebesar 1,6338 mg/g. Hal ini sesuai dengan penelitian Maulana dan Nashrianto [12], dimana pada waktu kontak yang rendah, tingkat efisiensi adsorpsi lebih rendah karena belum optimalnya proses adsorpsi, hal ini dikarenakan waktu kontak antara adsorben ampas teh masih kurang dengan adsorbatnya. Seiring berjalannya waktu tingkat efisiensi adsorpsi terus menurun dikarenakan adsorben mengalami kejenuhan dan juga adsorbat yang telah terserap sebelumnya mengalami pelepasan.

Penentuan Laju Alir Optimum dengan Metode Kolom

Pada penelitian ini dilakukan penentuan laju alir optimum yang bertujuan untuk mengetahui laju alir yang dibutuhkan ampas teh dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}). Berikut grafik pengaruh laju alir terhadap jumlah kadmium yang teradsorpsi pada ampas teh ditunjukkan pada **Gambar 2.**

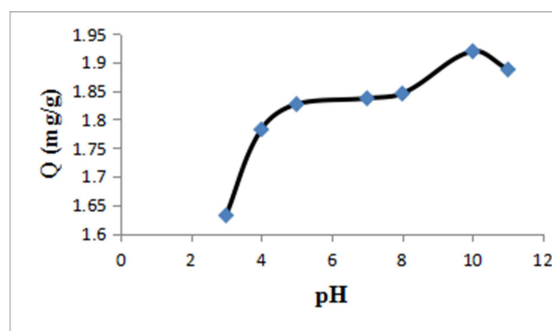
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 2.** laju alir optimum yang diperoleh dari adsorben ampas teh dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) terjadi pada laju alir 4,70 mL dengan jumlah kadmium teradsorpsi (Q) sebesar 4,6644 mg/g. Menurut Sylvia dkk [10], semakin kecil laju alir maka semakin banyak ion logam yang akan terserap. Kondisi ini disebabkan karena pada laju alir yang semakin kecil maka waktu kontak antara ion-ion yang terdapat dalam suatu larutan semakin lama sehingga ion-ion yang teradsorpsi semakin banyak.



Gambar 2. Pengaruh variasi laju alir terhadap jumlah ion kadmium (Cd^{2+}) teradsorpsi oleh ampas teh

Penentuan pH Optimum

Pada penelitian ini dilakukan uji adsorpsi dengan variasi pH yang bertujuan untuk mengetahui pH optimum dari ion kadmium (Cd^{2+}) yang teradsorpsi menggunakan ampas teh. Berikut grafik pengaruh pH terhadap jumlah kadmium yang teradsorpsi pada ampas teh yang ditunjukkan pada **Gambar 3.**



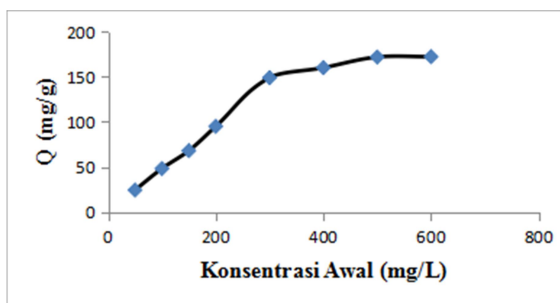
Gambar 3. Pengaruh variasi pH terhadap adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh.

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 3.** pH optimum yang diperoleh dari adsorben ampas teh dalam mengadsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) terjadi pada pH 10 dengan jumlah kadmium teradsorpsi (Q) sebesar 1,9192 mg/g. Berdasarkan data tersebut kenaikan pH menyebabkan adanya ion OH^- , sehingga permukaan adsorben cenderung bersifat negatif dan menyebabkan gaya elektrostatis yang terjadi antara adsorben dengan ion logam, dengan meningkatnya pH maka tidak terdapat persaingan antara ion H^+ dengan ion logam menjadi berkurang karena situs aktif pada permukaan adsorben menjadi lebih bermuatan negatif [13]. Pada pH rendah (asam) akan menyebabkan terjadinya pengikatan logam oleh adsorben akan

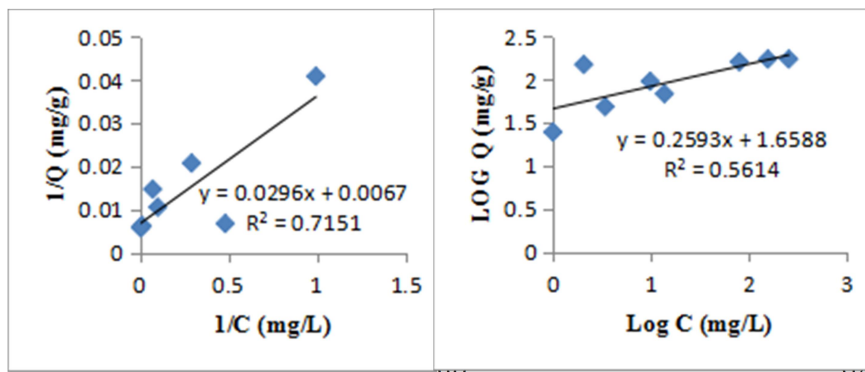
relatif kecil atau menurunnya tingkat efisiensi adsorpsinya, hal ini dikarenakan jumlah proton (H^+) yang melimpah [14] dan pada pH netral akan menyebabkan terjadinya pengikatan ion logam dengan gugus aktif menjadi semakin besar [15].

Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Kadmium (Cd^{2+}) dengan Metode Batch

Pada penelitian ini dilakukan uji adsorpsi dengan variasi konsentrasi awal yang bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi ion kadmium (Cd^{2+}) yang teradsorpsi menggunakan ampas teh. Berikut grafik pengaruh konsentrasi awal terhadap jumlah kadmium yang teradsorpsi pada ampas teh ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Pengaruh variasi konsentrasi awal terhadap kapasitas adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh.



Gambar 6. Kurva Isoterm Langmuir (a) dan Freundlich (b) adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh

Dari **Gambar 6**, menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi kadmium oleh ampas teh diperoleh hasil yaitu pada isoterm Langmuir memiliki R^2 sebesar 0,7151 dan Freundlich memiliki R^2 sebesar 0,5614. Adsorpsi kadmium oleh ampas teh mengikuti model isoterm Langmuir dimana hal ini dapat dilihat dengan nilai R^2 sebesar 0,7151. Isoterm adsorpsi Langmuir menunjukkan bahwa ion teradsorpsi sebagai lapisan tunggal pada permukaan dan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 4**, menunjukkan bahwa peningkatan adsorpsi oleh ampas teh yaitu pada variasi konsentrasi 600 mg/L dengan jumlah kadmium teradsorpsi (Q) sebesar 68,8917 mg/g. Menurut Gusti dan Wuntu [6], semakin besar konsentrasi maka jumlah ion logam yang teradsorpsi pada ampas teh akan semakin meningkat. Proses adsorpsi pada ampas teh akan terus terjadi hingga permukaan adsorben ampas teh mengalami kejenuhan maka proses penyerapan dengan logam berat akan berhenti. Permukaan adsorben yang telah mengalami kejenuhan pada proses adsorpsi akan melepaskan molekul-molekul logam kadmium yang telah berinteraksi dan menyebabkan daya serap akan menurun [16]. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum kadmium oleh ampas teh sebesar 157,1282 mg/g.

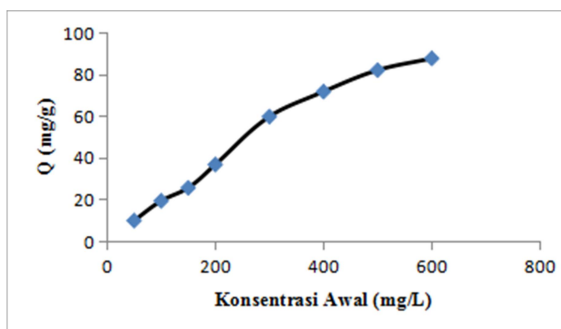
Pada penentuan kapasitas adsorpsi maksimum ampas teh digunakan data dalam bentuk mg/g yaitu jumlah ion teradsorpsi. Dari data tersebut digunakan untuk mengetahui jenis isoterm. Isoterm adsorpsi yang digunakan yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich. Berikut data isoterm pada adsorpsi kadmium oleh ampas teh dapat dilihat pada **Gambar 6**.

adsorpsi maksimum terjadi ketika permukaan sepenuhnya tertutup [17].

Penentuan Kapasitas Adsorpsi Ion Kadmium (Cd^{2+}) dengan Metode Kolom

Pada penelitian ini dilakukan uji adsorpsi dengan variasi konsentrasi awal dengan metode kolom yang bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi ion kadmium (Cd^{2+}) yang teradsorpsi menggunakan ampas teh. Berikut grafik pengaruh

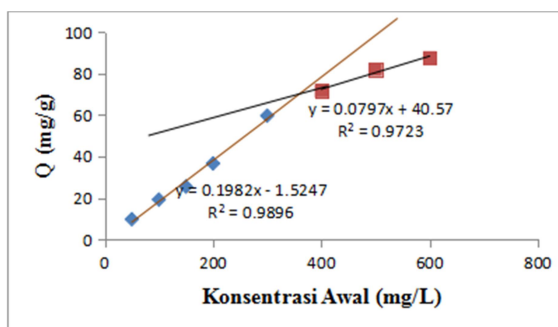
konsentrasi awal terhadap jumlah kadmium yang teradsorpsi pada ampas teh ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Pengaruh variasi konsentrasi awal terhadap kapasitas adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh dengan metode kolom

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada **Gambar 7**, menunjukkan bahwa peningkatan adsorpsi oleh ampas teh yaitu pada variasi konsentrasi 600 mg/L dengan jumlah ion kadmium (Cd^{2+}) teradsorpsi (Q) sebesar 87,6082 mg/g. Kapasitas tersebut akan terus meningkat dimana hal ini disebabkan pada permukaan ampas teh belum jenuh sehingga menyebabkan ampas teh masih mampu untuk menyerap molekul-molekul kadmium dan jika permukaan ampas teh mencapai titik jenuh maka ampas teh akan melepaskan molekul-molekul kadmium yang telah diserap sehingga daya adsorpsi akan menurun [18].

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum ion kadmium (Cd^{2+}) oleh ampas teh digunakan data perpotongan antara konsentrasi awal (mg/L) dengan Q (mg/g) dan ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Kurva Perpotongan Adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) oleh Ampas Teh dengan Metode Kolom

Berdasarkan data di atas pada titik perpotongan konsentrasi 50-300 mg/L diperoleh nilai $y = 0,1982x - 1,5247$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9896 dan pada konsentrasi 400-600 mg/L diperoleh nilai $y = 0,0797x + 40,57$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9723 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 68,8817 mg/g.

KESIMPULAN

Hasil kondisi optimum yang diperoleh ampas teh terhadap adsorpsi ion kadmium (Cd^{2+}) dengan menggunakan sistem *batch* yaitu terjadi pada waktu kontak 10 menit, pH 10 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 157,1282 mg/g dan dengan menggunakan metode kolom yaitu terjadi pada laju alir 4,70 mL/menit dan kapasitas adsorpsi maksimum 68,8817 mg/g. Proses adsorpsi ion logam kadmium mengikuti jenis isoterm Langmuir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mardhia D., dan Abdullah V. 2018. Studi Analisis Kualitas Air Sungai Brangbiji Sumbawa Besar. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(2), 182-189.
- [2] Mohamad E. 2013. Pengaruh Variasi Waktu Kontak Tanaman Duri terhadap Adsorpsi Logam Berat Kadmium (Cd), *Jurnal Entropi*, 8(1), 562-571.
- [3] Asip F., Mardhiah R., dan Husna. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch, *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 22-26.
- [4] Cimono G., Passerini A dan Toscazo G. 2000. Removal of Toxic Cations and Cr(VI) from Aqueous Solution by Hazelnut Shell, *Water Res.* 34 : 2955-2962.
- [5] Nasser M M., Ewida K T., Ebrahiem E E., Magdy Y H., dan Mheaedi M M. 2004. Adsorption of Iron and Manganese Ions Using Low-cost Material as Adsorbents. *Adsorp.Sci, Technol.* 22 : 25-37.
- [6] Gusti D R., dan Wuntu A. 2010. Adsorpsi Ion Tembaga(II) Menggunakan Ampas Daun Teh Sebagai Adsorben, *Chemistry Progress.* 3(2), 61-64.
- [7] Azouaou., Sadaoui Z., Djaafri A., dan Mokaddem H. 2010. Adsorption of Cadmium From Aqueous Solution Onto

- Untreated Coffe Grounds: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics, *Journal of Hazardous Materials*. 184: 126-134.
- [8] Hossain M A., Kumita M Y., Michigami dan Mori S. 2005. Kinetics of Cr(VI) Adsorption on Used Black Tea Leaves, *Journal of Chemical Engineering of Japan*. 38: 402- 408.
- [9] Retnowati. 2015. “Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Limbah Cair Industri Tekstil”. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor.
- [10] Sylvia N., Meriatna., Hakim L., Fitriani., dan Fahmi A. 2017. Kinerja Kolom Adsorpsi Pada Penjerapan Timbal (Pb^{2+}) dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit, *Jurnal Integrasi Proses*. 6(4), 185-190.
- [11] Irma K N., Wahyuni N., dan Zahara T A. 2015. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dengan Metode Kolom, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. 4(1), 24-28.
- [12] Maulana, I A., dan Nashrianto H., 2017. Pemanfaatan Ampas Teh Sebagai Adsorben Ion Kalsium (Ca^{2+}) dan Ion Magnesium (Mg^{2+}) dalam Air Sadah. *Jurnal Universitas Pakuan Bogor*. 1-7
- [13] Yang, X., dan Cui X. 2013. Adsorption Characteristics of Pb (II) on Alkali Treated Tea Residu. *Journal Elsevier*. 1-10.
- [14] Taty, V C., Faudet H., Porte C., dan Delacrix A. 2003. Removal of Cd (II) and Pb (II) Ions From Aqueous Solution by Adsorption onto Swadust of Pinus sylvestris. *Journal Hazard Emater*. 121-142.
- [15] Cordero, B., Loidero P., Herrero R., dan Vicente. 2004. Biosorption of Cadmium by Fucus spiralis. *Journal Environ Chem*. 180-187.
- [16] Naihi, H B. 2020. Adsorption of Copper (II) from Aqueous Solution Using Tea (*Camellia sinensis*) Leaf Waste. *Material Science Forum*. Vol.997, 113-120.
- [17] Muhajjaln, R G., Agawijaya, I., Santoso, B., dan Suryadi, J. 2021. Perbandinga Efektivitas Ampas Teh Hitam dan Ampas Teh Hijau sebagai Adsorben Ion Logam Cr (VI). *Journal of Chemistry*. 101-109.
- [18] Azhari, M R., Saleh, C., dan Yusuf, B. 2017. Pemanfaatan Serbuk Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Teraktivasi dengan Sistem Kantong Celup Sebagai Adsorben Penjerap Ion Logam Kadmium (Cd). *Jurnal Atomik*. 2(2), 197-203.