

Optimasi Tanah Napa sebagai Adsorben Ion Logam Kromium (IV)

Mawardi¹, Rahmi Khairun Nisa²

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp. 0751 7057420

¹ mawardianwar@yahoo.com, ²an_nisa.thatha@ymail.com

Abstract — A study concerning the determination of the optimum conditions for the adsorption of chromium (VI) by tanah napa adsorbent from Aripan, Solok. Tanah napa containing high silica and alumina are 63.20% and 16.55%, levels of silica and alumina in the tanah napa almost the same levels with natural zeolite, which can be used as adsorbent. In this research studied the influence of various parameters that affect the capacity of tanah napa uptake to Cr(VI), the pH of the solution, the initial concentration of solution, adsorbent particle size, heating temperature adsorbent and eluent flow rate. The results of this study indicate that the optimum pH is 4, the optimum initial concentration of 250 mg/L, while the particle size and adsorbent optimum heating temperature is 850 μ m and 125°C, and the optimum flow rate is 20 drops/min. Using the Langmuir adsorption isotherm equation obtained maximum absorption capacity of the tanah napa to Cr(VI) that is equal to 0.911 mg/g.

Keywords — adsorpsi, tanah napa, Cr(VI)

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat yaitu dengan meningkatnya pendapatan masyarakat, tetapi di sisi lain dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dengan dihasilkannya buangan industri yang mengandung zat-zat kimia berbahaya. Di antara bahan kimia buangan industri yang berbahaya adalah logam berat.

Pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat merupakan pencemaran yang disoroti oleh masyarakat. Hal ini karena dalam konsentrasi yang kecil saja (ppm), logam berat dapat menghasilkan tingkat keracunan yang tinggi pada makhluk hidup. Selain itu logam berat juga dapat terakumulasi dalam rantai makanan.

Di alam terdapat element-elemen logam berat yang merupakan polutan utama yang berbahaya, salah satunya adalah logam krom bervalensi VI. Kromium (Cr) adalah logam yang mendapat perhatian khusus karena sifatnya yang toksik terhadap manusia. Di Indonesia, logam Cr(VI) termasuk dalam kategori limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (limbah B3). Senyawa Cr(VI) termasuk senyawa logam yang paling banyak digunakan dalam industri karena kemampuan oksidasinya yang kuat dan menghasilkan warna yang tahan lama. Tetapi jika senyawa Cr(VI) terbuang ke lingkungan dan masuk ke dalam tubuh makhluk hidup maka akan menimbulkan efek yang sangat berbahaya karena Cr(VI) bersifat karsinogenik.

Dalam larutan air, kromium membentuk 3 jenis ion, yaitu: Kation kromium (II) (Cr^{2+}), kation kromium (III) (Cr^{3+}), dan anion kromium (VI) dalam bentuk ion kromat (CrO_4^{2-}) dan ion dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) [1]. Limbah industri yang mengandung

krom biasanya mengandung Cr(III) dan Cr(VI) sekaligus. Diantara ion tersebut, Cr(VI) bersifat lebih beracun sedangkan Cr(III) merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah yang sangat kecil untuk proses metabolisme karbohidrat, lemak dan protein [2]. Menurut WHO batas maksimum kandungan Cr(VI) yang diperbolehkan dalam air minum adalah 0.05 mg/L [3].

Cr(III) tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap pencemaran lingkungan perairan (dalam konsentrasi kecil) tetapi Cr(VI) 100 kali lebih beracun dibandingkan Cr(III). Cr(VI) berdifusi melalui membran sel sebagai ion kromat (CrO_4^{2-}) atau bikromat (HCrO_4^-). Ion kromium tidak dapat terurai secara alami dan bisa dihilangkan melalui beberapa proses seperti pertukaran ion, adsorpsi, reduksi, pengendapan, filtrasi membran dan ekstraksi pelarut. Adsorpsi merupakan teknik yang paling efektif sangat menjanjikan untuk menghilangkan ion kromium. Beberapa jenis adsorben telah digunakan untuk mengurangi kadar ion logam di perairan seperti lempung, zeolit dan resin polimer [4].

Adsorpsi oleh zat padat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisis (fisisorpsi) dan adsorpsi kimia (kemisorpsi). Adapun fisis disebabkan oleh gaya *van der Waals*. Adsorpsi fisis umumnya terjadi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi fisis umumnya terjadi pada temperatur rendah dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang dengan mencolok. Pada adsorpsi kimia, molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan adsorben bereaksi secara kimia. Hal ini disebabkan pada adsorpsi kimia terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan. Ikatan antara adsorben dengan adsorbat dapat cukup kuat sehingga spesi aslinya tidak dapat ditemukan kembali. Adsorpsi ini bersifat irreversibel

dan diperlukan energi yang banyak untuk melepaskan kembali adsorbat (dalam proses adsorpsi). Pada umumnya, dalam adsorpsi kimia jumlah (kapasitas) adsorpsi bertambah besar dengan naiknya temperatur [5].

Jumlah zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben merupakan proses kesetimbangan, sebab laju peristiwa adsorpsi disertai dengan terjadinya desorpsi. Pada awal reaksi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibandingkan dengan peristiwa desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat. Pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi cenderung berlangsung lambat dan sebaliknya laju desorpsi cenderung meningkat. Waktu ketika laju adsorpsi adalah sama dengan laju desorpsi disebut sebagai keadaan setimbang. Pada keadaan setimbang tidak teramati perubahan secara makroskopis. Waktu tercapainya keadaan setimbang pada proses adsorpsi adalah berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Secara umum waktu tercapainya kesetimbangan adsorpsi melalui mekanisme fisika lebih cepat dibandingkan dengan melalui mekanisme kimia [6].

Proses adsorpsi dapat dilakukan antara lain dengan menggunakan karbon aktif, elektrodialisis, osmosis balik, dan padatan anorganik. Padatan anorganik yang digunakan secara umum adalah padatan yang memiliki sisi aktif pada permukaan seperti gugus silanol (-SiOH), siloksan (-Si-O-Si-), dan aluminol (- Al(OH)) [7]. Metode adsorpsi dengan padatan anorganik terutama dengan menggunakan *low cost adsorbents* seperti material lempung, limbah pertanian, gambut, dan limbah pengolahan makanan dari laut juga sangat cocok dengan kondisi negara berkembang karena lebih murah dan praktis [8].

Banyak bahan yang telah digunakan sebagai penyerap ion. Supaya dapat digunakan secara komersial, penyerap harus mempunyai karakter antara lain efisiensi penyerapan yang tinggi, berumur panjang serta mempunyai selektivitas yang tinggi [9].

Di antara material alam yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah tanah karena unsur-unsur dalam tanah, seperti Al, Fe, Si, Ca, Na, K dan Mg serta oksigen dapat bergabung membentuk fraksi mineral anorganik, seperti kuarsa (SiO₂), *orthoclase* (KAlSi₃O₈), *albite* (NaAl SiO₈) dan *Magnetit* (Fe₃O₄) [10]. Jenis tanah yang telah digunakan sebagai adsorben adalah tanah diatomae [7] [11] dan bentonit [12].

Tanah Napa merupakan merupakan material lempung berpori dan kaya akan silika dan alumina yang berperan dalam proses adsorpsi. Tanah napa memiliki kandungan silika sebanyak 63,20% dan alumina sebanyak 16,55% [13]. Kadar silika dan alumina tanah napa hampir sama dengan zeolit alam dan diperkirakan tanah napa juga memiliki struktur yang mirip dengan zeolit yaitu struktur berpori yang tersusun oleh silika dan alumina. Sehingga dimungkinkan tanah napa dapat digunakan sebagai adsorben untuk ion Cr(VI).

Penelitian ini mempelajari kondisi optimum tanah napa dalam mengadsorpsi ion Cr(VI) dengan melihat pengaruh variasi laju alir, ukuran partikel, pH awal larutan, konsentrasi awal larutan, dan pemanasan adsorben. Kemudian ion Cr(VI) yang terserap dianalisis dengan menggunakan

spektrofotometri serapan atom (SSA) dan ditentukan kapasitas adsorpsi maksimumnya terhadap ion Cr(VI) menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir.



Gambar 1. Tanah napa yang berasal dari daerah Kabupaten Solok

II. METODOLOGI

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi: gelas piala, batang pengaduk, labu ukur, gelas ukur, pipet tetes, pipet takar, pipet gondok, neraca analitik, kolom, standar dan klem, corong, botol timbang, bola hisap, cawan penguap, kertas saring, statif corong, ayakan, pH meter, *magnetic stirrer*, oven, desikator, suntik, dan Spektrofotometer Serapan Atom.

Bahan-bahan yang dibutuhkan antara lain: tanah napa, aquades, K₂CrO₄, HNO₃, NH₃, glass wool.

B. Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan tahap: 1) Mempersiapkan adsorben dan pengemasan kolom; 2) Mempelajari faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu pH larutan, konsentrasi Cr(VI) dalam larutan, ukuran partikel adsorben, suhu pemanasan adsorben, laju alir eluen. Kapasitas serapan maksimum dan afinitas penyerapan adsorben ditentukan dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir [14].

1) *Penyiapan Adsorben*

Sampel tanah napa dihancurkan dan diayak dengan ayakan ukuran partikel 833, 850, dan 1700 µm dan dikeringkan dengan oven pada suhu normal (27°C), 50, 75, 100, 125, dan 150°C masing-masing selama 3 jam, kemudian dipacking sebanyak 2 g ke dalam kolom yang di dasarnya ditempatkan glass wool. Sebelum digunakan kolom dijenuhkan dengan aquades sehingga siap kontak dengan larutan Cr(VI) dengan sistem kontinu.

2) *Perlakuan Penelitian pada Sistem Kontinu*

Disiapkan 25 ml larutan Cr(VI) dengan variasi konsentrasi awal larutan 50, 100, 150, 200 dan 250 mg/L dan variasi pH 2, 3, 4, 5 dan 6. Larutan dielusikan ke dalam kolom yang telah dipacking dengan adsorben dengan variasi laju alir 20, 30, 40, 50, dan 60 tetes/menit. Penentuan jumlah logam yang terserap dilakukan dengan mengukur konsentrasi larutan Cr(VI)

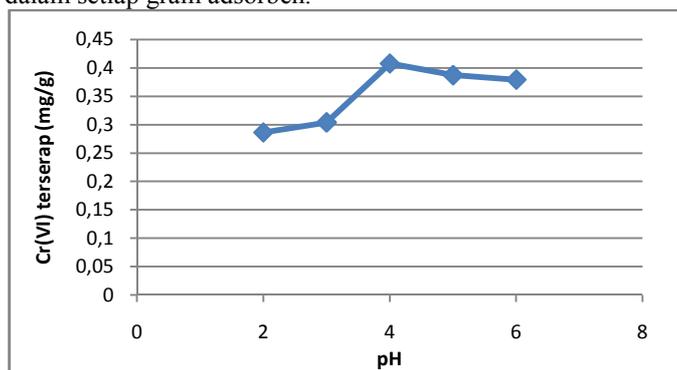
sebelum dan setelah dielusi ke dalam kolom menggunakan spektrofotometer serapan atom. Jumlah logam yang terserap tanah napa adalah selisih antara konsentrasi logam saat setimbang dengan konsentrasi logam mula-mula[15].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan kondisi optimum parameter yang mempengaruhi adsorpsi tanah napa terhadap Cr(VI) dilakukan dengan sistem kontak sistem kontinu. Parameter tersebut meliputi pH larutan, konsentrasi awal larutan, ukuran partikel adsorben, suhu pemanasan adsorben, dan laju alir eluen. Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum digunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir.

A. Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah Napa

Untuk melihat pengaruh pH awal larutan terhadap adsorpsi Cr(VI) oleh tanah napa dilakukan dengan memvariasikan pH larutan 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan konsentrasi awal masing-masing larutan adalah 100 mg/L. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan jumlah Cr(VI) yang terserap oleh Tanah napa pada larutan dengan pH 2 adalah 0,286 mg/g, pada pH 3 Cr(VI) yang terserap adalah 0,304 mg/g, sedangkan pada pH 4, 5, dan 6 jumlah Cr(VI) yang terserap masing-masing sekitar 0,408 mg/g, 0,387 mg/g, dan 0,379 mg/g. Gambar 2 menunjukkan pengaruh pH larutan terhadap adsorpsi Cr(VI) dalam setiap gram adsorben.

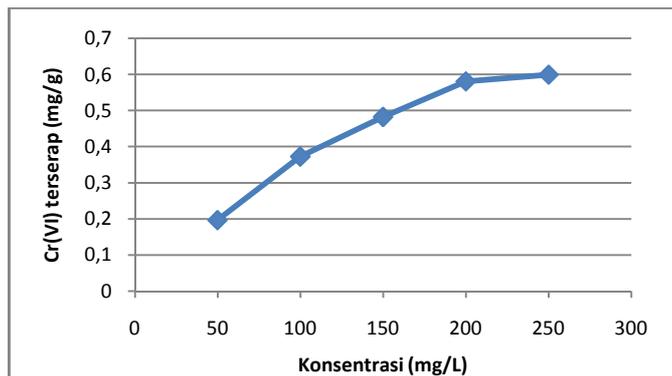


Gambar 2. Pengaruh pH Awal Larutan Cr(VI) terhadap Serapan Tanah napa (2 g Tanah napa, 25 mL larutan Cr(VI) 100 mg/L)

Terlihat bahwa daya serap tanah napa terhadap Cr(VI) cukup dipengaruhi oleh pH larutan. Serapan Cr(VI) oleh tanah napa pada pH 2 hingga pH 4 mengalami peningkatan yang cukup tajam dengan kenaikan serapan hingga 70%. Penyerapan maksimum terjadi pada pH 4 dan setelahnya terjadi penurunan yang tidak signifikan, hal ini disebabkan oleh kompetisi dengan ion OH^- pada situs aktif permukaan adsorben.

B. Pengaruh Konsentrasi larutan Awal terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah Napa

Pengaruh konsentrasi awal larutan Cr(VI) dipelajari dengan memvariasikan konsentrasi pada 50, 100, 150, 200, dan 250 mg/L. Hasil kajian adsorpsi tanah napa pada berbagai konsentrasi larutan Cr(VI) terlihat pada gambar 3.



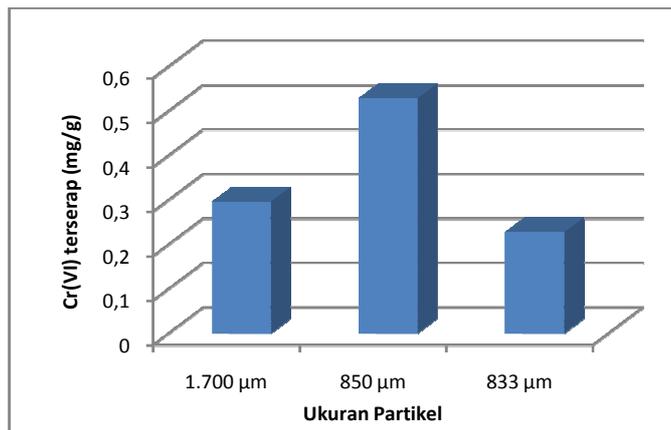
Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi Larutan Cr(VI) terhadap Daya Adsorpsi Tanah napa (2 g Tanah napa, 25 mL larutan Cr(VI))

Gambar 3 menunjukkan jumlah ion Cr(VI) yang terserap meningkat relatif tajam dengan bertambahnya konsentrasi awal Cr(VI) dalam larutan, dan mencapai maksimum pada konsentrasi 250 mg/L. Jumlah Cr(VI) yang terserap oleh tanah napa pada konsentrasi optimum adalah 0,599 mg/g. Setelah ion Cr(VI) yang terserap mencapai maksimum, maka peningkatan konsentrasi berikutnya relatif tidak lagi meningkatkan kapasitas serapan tanah napa, karena sisi aktif pada permukaan tanah napa telah jenuh oleh Cr(VI) dan telah mencapai kesetimbangan dalam sistem.

C. Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah Napa

Pengaruh ukuran partikel adsorben tanah napa dipelajari dengan memvariasikan ukuran partikel pada 833, 850, dan 1700 μm . Data penelitian menunjukkan bahwa jumlah Cr(VI) yang terserap pada adsorben dengan ukuran partikel 833 μm adalah 0,229 mg/g, sedangkan pada ukuran partikel 850 dan 1700 μm masing-masing adalah 0,529 mg/g dan 0,297 mg/g. Pengaruh ukuran partikel adsorben terhadap adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah napa ditunjukkan pada gambar 4.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa penyerapan tanah napa dengan ukuran partikel 833 μm lebih rendah dibandingkan dengan ukuran partikel 850 μm bahkan dengan ukuran partikel 1700 μm . Hal ini diduga, antara lain, karena pada sistem kontinu tanah napa dengan ukuran partikel yang lebih kecil (halus) akan memadat seperti tanah liat di dalam kolom, sehingga eluen yang dapat melewati kolom lebih sedikit dibandingkan dengan ukuran partikel tanah napa yang lebih besar, sehingga Cr(VI) yang terserap oleh adsorben tanah napa juga lebih sedikit.

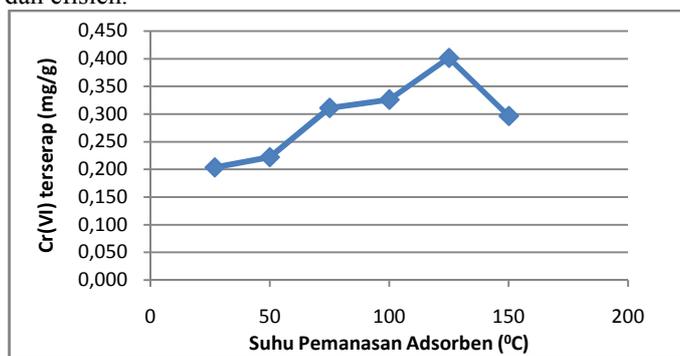


Gambar 4. Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Adsorpsi Cr(VI) (2 g Tanah napa, 25 mL larutan Cr(VI) 100 mg/L)

D. Pengaruh Suhu Pemanasan Adsorben terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah Napa

Gambar 5 menunjukkan kuantitas Cr(VI) yang terserap sebagai fungsi suhu pemanasan adsorben tanah napa.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh pemanasan adsorben tanah napa terhadap adsorpsi Cr(VI). Daya serap tanah napa meningkat dengan kenaikan suhu pemanasannya, penyerapan Cr(VI) pada adsorben dengan pemanasan 125°C mengalami peningkatan hingga 100% dari adsorben dengan tanpa pemanasan (27°C) yaitu dari 0,203 mg/g menjadi 0,401 mg/g. Hal ini disebabkan telah berkurangnya kandungan air pada adsorben, hilangnya molekul air dari permukaan adsorben menyebabkan luas permukaan adsorben dan volume pori menjadi lebih besar sehingga proses adsorpsi fisik dan kimia menjadi lebih efektif dan efisien.

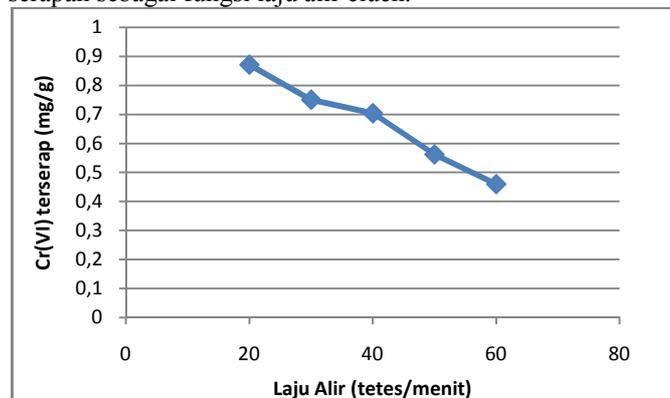


Gambar 5. Pengaruh Pemanasan Adsorben terhadap Adsorpsi Cr(VI) (2 g Tanah napa, 25 mL larutan Cr(VI) 100 mg/L)

Pemanasan adsorben tanah napa pada suhu 150°C mengalami penurunan daya serap yang cukup tajam, hal ini dimungkinkan telah terjadi dekomposisi senyawa-senyawa organik yang berkemungkinan terlibat dalam proses penyerapan yaitu dengan membentuk ikatan organologam dan interaksi elektrostatik.

E. Pengaruh Laju Alir Eluen terhadap Adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah Napa

Proses adsorpsi Cr(VI) oleh Tanah napa berlangsung relatif lambat. Gambar 6 menunjukkan kurva kapasitas serapan sebagai fungsi laju alir eluen.



Gambar 6. Pengaruh Laju Alir Eluen terhadap Adsorpsi Cr(VI) (2 g Tanah napa, 25 mL larutan Cr(VI) 100 mg/L)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lambat laju alir maka semakin banyak Cr(VI) yang terserap karena waktu kontak antara adsorben tanah napa dengan larutan semakin lama sehingga proses adsorpsi berlangsung semakin sempurna. Hal ini sesuai dengan teori, semakin lama waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat maka semakin banyak adsorbat yang terserap. Perubahan jumlah penyerapan tanah napa terhadap Cr(VI) pada beberapa variasi laju alir terlihat sangat jelas. Pada laju alir 20 tetes/menit jumlah penyerapannya adalah 0,871 mg/g.

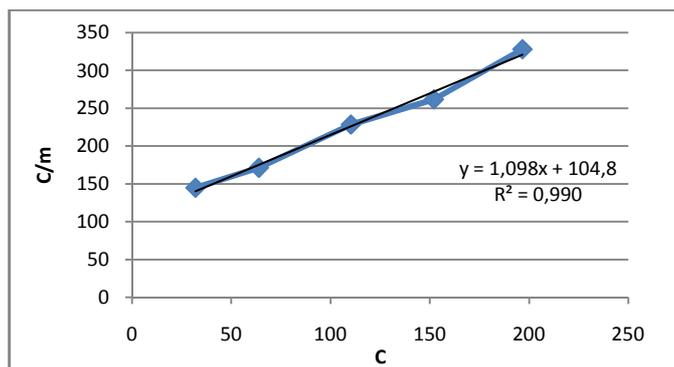
F. Penentuan Kapasitas Serapan Maksimum Cr(VI) oleh Tanah Napa

Dengan menggunakan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir maka dapat ditentukan kapasitas serapan maksimum tanah napa terhadap Cr(VI).

$$\frac{C}{m} = \frac{1}{bK} + \frac{1}{b}C$$

dimana C adalah konsentrasi kesetimbangan, m adalah jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g), b adalah kapasitas serapan maksimum (mg/g) dan K adalah tetapan kesetimbangan (afinitas serapan) Langmuir. Bila data yang diperoleh memenuhi persamaan Langmuir, maka plot C/m terhadap C akan menghasilkan garis lurus [16] seperti pada gambar 7.

Disimpulkan bahwa adsorpsi Cr(VI) oleh tanah napa memenuhi persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dengan koefisien korelasi (R²) mendekati 1, yang berarti bahwa adsorpsi Cr(VI) oleh tanah napa berlangsung secara kimia, sehingga kapasitas serapan maksimum (b) dan konstanta afinitas serapan (K) dapat ditentukan dengan slope 1/b dan intersep 1/bK. Nilai K, dan b yang diperoleh untuk ion Cr(VI) berturut-turut adalah 0,011 dan 0,911 mg/g.



Gambar 7. Kurva Linearitas Langmuir Adsorpsi Ion Logam Kromium (VI) oleh Tanah napa Murni

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah napa terbukti dapat digunakan sebagai adsorben Cr(VI).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi optimum tanah napa sebagai adsorben ion Cr(VI) adalah pada pH 4, konsentrasi awal larutan optimum 250 mg/L, ukuran partikel dan suhu pemanasan adsorben pada 850 μm dan 125°C, serta laju alir optimum 20 tetes/menit.
2. Data hasil penelitian sesuai dengan kurva isotherm adsorpsi Langmuir, sehingga konstanta afinitas serapan dan kapasitas serapan maksimumnya yaitu berturut-turut 0,011 dan 0,911 mg/g.

REFERENSI

- [1] Svehla. 1985. *Vogel: Buku Teks Analisa Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. (Terjemahan oleh Setiono L., Pudjaatmaka A.H), Edisi Kelima. Jakarta: PT. Kalman MediaPustaka.
- [2] Silva, Bruna. 2008. Zeolites as Supports for The Biorecovery of Hexavalent and Trivalent Chromium. *Journal Elsevier/ Microporous and Mesoporous Materials* No. 116, hal: 555–560.
- [3] WHO. 1988. *IPCS (International Programme on Chemical Safety)*. Geneva.
- [4] Gandhi, Muniyappan Rajiv, dkk. 2010. Adsorption Mechanism of Hexavalent Chromium removal using Amberlite IRA 743 resin. *Ion Exchange Letters* 3 (2010) 25-35.
- [5] Adamson, A. W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*. Fifth edition. New York : John Wiley and Sons, Inc.

- [6] Sukarta, Nyoman. 2008. *Adsorpsi Ion Cr³⁺ Oleh Serbuk Gergaji Kayu Albizia (Albizzia Falcata): Studi Pengembangan Bahan Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat*
- [7] Sriyanti. 2003. Pengaruh Pemanasan Tanah Diatome Terhadap Kemampuan Adsorpsi Cd (II) Dalam Pelarut Air. *JSKA*.Vol.VI.No.3.
- [8] Nurmasari. 2010. Immobilization Of Humic Acid On Chitosan Using Protected Cross-Linking Reaction Method And Its Application As Sorbent For Pb(II), Cd(II), And Cr(III). *Indo. Journal Chem.*, 8 (2), 177 – 183.
- [9] Kaavessina, Mujtahid. 2005. Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Chitin Secara Batch. *Jurnal Ekuilibrium* Vol. 4, No. 1, hal: 36 – 44.
- [10] Bachtiar, Damanik M, MB, EH Fauzi, Sarifuddin, & H Hanum. (2010). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Medan : USU Press.
- [11] Sulastrri. 2008. Pengaruh Berbagai Asam Terhadap Daya Adsorpsi Ion Kromium(III) Dan Kromium (VI) Pada Tanah Diatomae. *Jurnal Penelitian Sainstek*, Vol. 13, No. 1, hal: 77-94.
- [12] Futralan. 2011. Nickel Removal From Aqueous Solution In Fixed Bed Using Chitosan-Coated Bentonite. *Journal Sustain. Environ Research*, 21(6), hal: 361-367.
- [13] Mawardi. 2012. Karakteristik Uji Blaine Konsistensi Normal dan Waktu Pengikatan Semen yang Menggunakan Tanah Napa sebagai Bahan Aditif. *Jurnal Periodic* Vol 1 No 1.
- [14] Mawardi. 2011. Kajian Biosorpsi Kation Tembaga (II) dan Seng (II) oleh Biomassa Alga Hijau Spirogyra subsalsa sebagai Biosorben. *Jurnal Biota* Vol 16 No.2 : 269-277.
- [15] Mawardi. 2008. Kajian Biosorpsi Kation Timbal (II) oleh Biomassa Alga Hijau Spirogyra subsalsa. *Jurnal Ilmiah SAINSTEK* Vol X No.2.
- [16] Ocsik, J. 1994. *Adsorption*. New York: John Wiley and Sons, Inc.