

PEMANFAATAN LUMPUR LIMBAH CAIR INDUSTRI *CRUMB RUBBER* SEBAGAI ADSORBEN ION Cr(VI) YANG DIAKTIVASI DENGAN KOH

Mardiati¹, Salmariza Sy², Mawardir³

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

¹dy.mardiati@gmail.com, ²rizasalma@gmail.com, ³mawardianwar@yahoo.com

Abstract - Wastewater treatment with activated sludge method creates other waste in sludge form that becomes new problem for the crumb rubber industry. It is necessary to find a solution for their utilization. Research on utilization of sludge of crumb rubber industry as an adsorbent of ion Cr (VI), which is activated by KOH has been carried out with variations treatment of adsorbent from fresh sludge and from the sludge that carbonized and activated with KOH. The results revealed that the sludge contain high silica and alumina which is 49.02% and 16.498% respectively, that mean it can be used as an adsorbent. The optimum adsorbent pH of activated sludge was pH1 and pH2 for fresh sludge. The optimum contact time obtained at 120 minutes and the optimum concentration of Cr (VI) for each adsorbent was 70 mg / L. the maximum absorption capacity for Cr (VI) adsorption by Langmuir equation by activated sludge adsorbent is at 2.232 mg / g fresh sludge and adsorbent for 2,075 mg / g.

Keywords - *adsorpsi, lumpur industri crumb rubber, Cr(VI), SSA, Adsorpsi Langmuir*

I. PENDAHULUAN

Karet alam (*Havea sp*) merupakan salah satu hasil perkebunan terkemuka di Indonesia. Karet banyak dibudidayakan sebagai tanaman perkebunan yang dibutuhkan untuk bahan industri. Industri pengolahan karet menghasilkan hasil samping berupa limbah padat, cair dan gas selain dari produk yang diinginkan. Limbah yang menjadi masalah di pabrik biasanya berupa limbah cair. Limbah cair industri karet mengandung senyawa organik antara lain dalam bentuk senyawa karbon, nitrogen, air cucian lateks, protein, lipid, karoten dan lain-lain^[1]. Agar limbah cair pengolahan karet tidak membahayakan lingkungan saat dibuang ke badan air, maka limbah cair harus diolah terlebih dahulu.

Pengolahan limbah cair umumnya menggunakan metode biologi dengan memanfaatkan mikroorganisme. Metode ini dikenal dengan proses lumpur aktif. Proses lumpur aktif adalah proses pengolahan limbah cair dengan menggunakan endapan lumpur yang mengandung mikroorganisme dalam keadaan aerob pada tangki aerasi^[2]. Mikroorganisme di dalam sistem akan terus bertambah, maka agar konsentrasinya tetap sesuai dengan desain, dilakukan pembuangan secara berkala dari bak sedimentasi sehingga menyisakan limbah padat berupa lumpur. Selanjutnya limbah lumpur tersebut disaring dan dikeringkan untuk dibuang ke tempat pembuangan akhir.

Saat ini belum ada pemanfaatan lebih lanjut dari limbah

lumpur tersebut, seperti yang terjadi pada industri *crumb rubber* PT Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang. Limbah lumpur hanya dikumpulkan lalu dibuang ke tempat pembuangan akhir. Pembuangan limbah lumpur tentu saja dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan memerlukan biaya tambahan bagi perusahaan dalam hal pengiriman limbah dari pabrik ke tempat pembuangan^[3]. Berdasarkan uji pendahuluan terhadap komposisi kimia dari limbah lumpur industri *crumb rubber* PT Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang dengan menggunakan Instrument *x-ray fluorescence* spektrofotometer di laboratorium kimia Universitas Negeri Padang diperoleh bahwa, komponen utama dari limbah lumpur adalah silika, limestone, alumina, hermatit dan beberapa oksida logam.

Tanah liat (Kowalska et al., 1994 dan Newton et al., 1995), lumpur (Lopez et al., 1997 dan Dimitrova, 1996), zeolit (Barrer, 1978), alumina (Jacob dan Marten, 1987), silika (Jacob dan Marten, 1987), dan lain-lain dapat digunakan sebagai adsorben ion logam^[4]. Maka salah satu alternatif dalam memanfaatkan limbah lumpur industri *crumb rubber* yaitu memanfaatkan limbah lumpur menjadi adsorben ion logam berat yang ada pada limbah cair. Salah satu limbah cair yang berbahaya adalah limbah logam berat Cr(VI) yang biasanya berasal dari industri pelapisan logam (*electroplating*), industri cat/pigmen dan analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) di laboratorium yang menggunakan metoda spektrofotometri^[5]. Limbah Cr(VI) banyak dipelajari karena sifat racunnya yang sangat toksik dan karsinogenik. Kromium heksavalen memiliki sifat yang lebih toksik dibandingkan dengan bentuk trivalennya. Kromium heksavalen dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal,

Corresponding Author :

Mawardir, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Padang State University, Padang, West Sumatera, Indonesia



mawardianwar@yahoo.com

pendarahan di dalam tubuh, kerusakan saluran pernafasan dan kanker paru-paru. Efek yang sangat berbahaya dari kromium heksavalen menyebabkan pemerintah memasukkan kromium heksavalen dalam kriteria nilai baku mutu air. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001, air hanya boleh mengandung kromium heksavalen maksimum 0.05 ppm.

Pemanfaatan limbah lumpur industri *crumb rubber* sebagai adsorben ion logam telah dilakukan oleh Salmariza, dkk dengan menggunakan aktivator NaOH. Lumpur yang diproses dengan karbonisasi dan aktivasi memiliki daya serap lebih baik dibandingkan dengan lumpur yang tidak dikarbonisasi dan diaktivasi^[3]. Pada penelitian ini dipelajari kemampuan limbah lumpur industri *crumb rubber* PT Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang sebagai adsorben. Maka untuk meningkatkan daya serap dari lumpur dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Aktivator yang digunakan pada penelitian ini yaitu KOH. Beberapa jenis senyawa kimia yang sering digunakan sebagai aktivator adalah $ZnCl_2$, KOH, H_2SO_4 dll. Masing-masing jenis aktivator memberikan pengaruh yang berbeda terhadap luas permukaan yang dihasilkan^[6].

Selanjutnya dilakukan pengujian serapan adsorben terhadap ion logam Cr(VI). Agar proses adsorpsi terhadap logam Cr(VI) maksimal, maka perlu dilakukan pengujian kondisi optimum dari beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, diantaranya : pH, waktu kontak dan konsentrasi awal ion Cr (VI). Besarnya serapan oleh adsorben terhadap ion logam Cr(VI) dilakukan pengukuran dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom(SSA).

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah peralatan gelas (*pyrex*), neraca analitik, *muffle Furnace Thermoline-6000*, desikator, oven, ayakan *test siever* merek *Retsch 5657 Haan W. Germany* no 60 dan 80 mess, *shaker* merek *Adjustable Reciprocating Orbital Shaker (AROS)-160TM*, magnetic stirrer, pH meter dan Spektrofotometer Serapan atom (SSA) merek *AAS GBC 932 AA*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat proses *activated sludge* dari sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dari PT. Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang, KOH, HCl, $AgNO_3$, HNO_3 , NH_4OH , $K_2Cr_2O_7$, aquades, aluminium foil dan kertas saring Whatman 42.

B. Preparasi Sampel

Limbah padat sisa pengolahan air limbah diambil dari pabrik *crumb rubber* (PT. Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang). Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu $110^\circ C$ selama 24 jam. Kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan *test siever* no 60 mess dan tertahan pada 80 mess dan siap digunakan sebagai adsorben segar. Kemudian ditimbang sebanyak 200 gram dan dilakukan karbonisasi dalam *muffle Furnace Thermoline 6000* pada suhu $600^\circ C$

selama 1 jam sampai terbentuk arang. Dinginkan furnace dan keluarkan sampel. Selanjutnya diaktivasi secara kimia dengan larutan KOH 2N dengan perlakuan pengadukan dengan *magnetic stirrer* pada suhu $85^\circ C$ selama 7 jam. Lalu dibilas dengan larutan HCl 1.2 M dan aquades sampai pH netral dan bebas dari Cl. Untuk memastikan adsorben bebas dari Cl ditambahkan $AgNO_3$ 1M pada filtrat sampai tidak terdapat endapan putih. Adsorben bebas klorida selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu $105^\circ C$ selama 24 jam. Lalu didinginkan di dalam desikator selama 30 menit. Selanjutnya sampel siap digunakan sebagai adsorben^[7].

C. Analisa Kandungan Logam

Penentuan serapan adsorben terhadap konsentrasi logam Cr(VI), dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) merek *AAS GBC 932 AA*, dengan bahan bakar udara-asetilen pada panjang gelombang 357, 9 nm dan 428.9 nm. Jumlah ion yang terserap oleh adsorben adalah selisih antara konsentrasi ion saat setimbang (dalam filtrat) dengan konsentrasi ion sebenarnya. Jumlah logam yang terserap dinyatakan sebagai berat (mg) logam yang terserap per berat (g) adsorben yang digunakan^[8].

D. Perlakuan Penelitian dengan Sistem Batch

1. Penentuan pH Optimum

Ditimbang adsorben sebanyak 1 gram. Lalu ditambahkan 50 mL larutan ion logam dengan konsentrasi 10 mg/L dan pH = 1, 2, 3, 4 dan 5. Kemudian dishaker selama 30 menit dengan kecepatan putaran 180 rpm. Setelah itu disaring dan filtrat yang dihasilkan ditampung dan diukur dengan SSA.

2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Ditimbang adsorben sebanyak 1 gram. Lalu ditambahkan 50 mL larutan ion logam dengan konsentrasi 10 mg/L dan pH optimum (a). Kemudian dishaker dengan variasi waktu kontak yaitu : 30, 60, 120 dan 180 menit dengan kecepatan putaran 180 rpm. Setelah itu disaring dan filtrat yang dihasilkan ditampung dan diukur dengan SSA.

3. Penentuan Konsentrasi Optimum Ion Cr(VI)

Ditimbang adsorben sebanyak 1 gram. Lalu ditambahkan 50 mL larutan ion logam Cr(VI) dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 dan 90 mg/L dengan pH optimum (a). Kemudian dishaker selama waktu kontak optimum yang diperoleh pada langkah (b) dengan kecepatan putaran 180 rpm. Setelah itu disaring dan filtrat yang dihasilkan ditampung dan diukur dengan SSA.

E. Teknik Analisa Data

Konsentrasi masing-masing logam saat setimbang dan konsentrasi mula-mula ditentukan secara Spektrofotometri Serapan Atom. Banyaknya ion Cr (VI) yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$W = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W_a} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- W = jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)
- C₀ = konsentrasi Cr(VI) awal (mg/L)
- C_e = konsentrasi Cr(VI) akhir (mg/L)
- W_a = berat adsorben (gram)
- V = Volume larutan (L)^[9].

Jumlah serapan maksimum adsorben ditentukan dengan persamaan Isoterm Adsorpsi Langmuir yang dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{C}{Q} = \frac{1}{Q_m b} + \frac{1}{Q_m} C \dots \dots \dots (2)$$

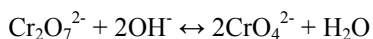
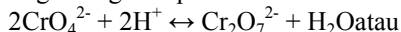
Dimana :

- c = konsentrasi kesetimbangan
 - m = jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)
 - b = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)
 - K = tetapan kesetimbangan (afinitas serapan).
- Bila data yang diperoleh memenuhi persamaan tersebut di atas, maka plot C/m terhadap C akan menghasilkan garis lurus dengan slope 1/b dan intersep 1/bK^[10].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh pH Awal Larutan

Derajat keasaman (pH) merupakan faktor utama yang mempengaruhi adsorpsi logam dalam larutan, karena akan berpengaruh pada muatan situs aktif adsorben dan spesies logam yang ada dalam larutan^[11]. Svehla menjelaskan bahwa Cr(VI) dalam larutan berupa anion kromat dan dikromat tergantung dari pH larutan.



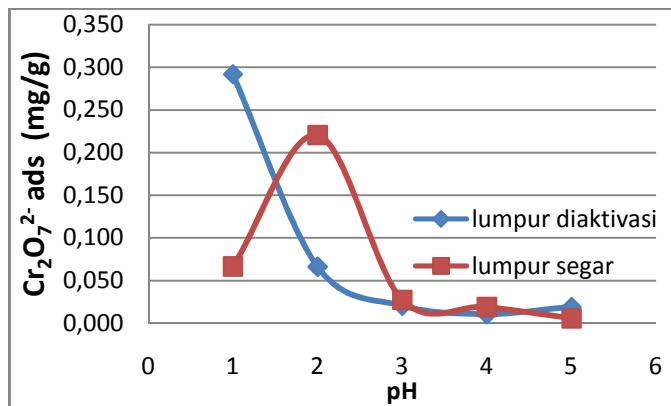
Reaksi ini juga ditulis sebagai:



Pengaruh pH awal larutan terhadap adsorpsi Cr(VI) dilakukan dengan memvariasikan pH awal larutan yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 dengan konsentrasi masing-masing larutan adalah 10 mg/L. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa serapan Cr(VI) optimum oleh adsorben lumpur diaktivasi terjadi pada pH 1 dengan serapan sebesar 0.291 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 77.13 %. Sedangkan untuk adsorben lumpur segar serapan optimum Cr(VI) terjadi pada pH 2 dengan serapan sebesar 0.22 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 78.28 %. Pengaruh pH terhadap jumlah krom yang teradsorpsi disajikan dalam Gambar 1. Hal ini terjadi karena pada pH sangat asam permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H⁺ sehingga dapat menyerap adsorbat dalam keadaan anion kromat dan dikromat.

Pengaruh pH terhadap daya serap adsorben berhubungan dengan protonasi atau deprotonasi permukaan sisi aktif dari

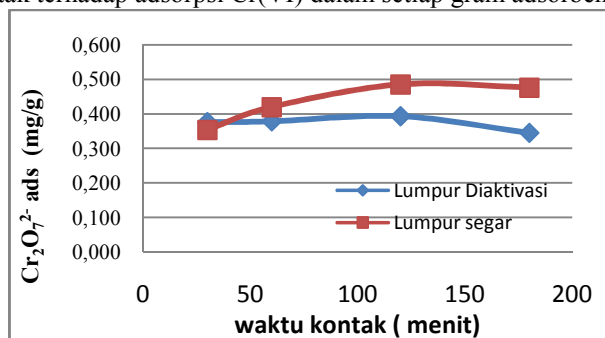
adsorben^[13]. Disamping itu, pada pH asam spesies logam yang paling dominan adalah HCrO₄⁻ dan Cr₂O₇²⁻ yang memungkinkan serapan lebih tinggi akibat gaya elektrostatis antara bagian positif dari permukaan adsorben dan bagian negatif dari anion HCrO₄⁻ dan Cr₂O₇²⁻^[14].



Gambar 1. Grafik pengaruh pH awal larutan Cr(VI) terhadap serapan adsorben (1 g adsorben, 50 mL larutan Cr(VI) 10 mg/L)

B. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Pengaruh waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat dilakukan dengan melakukan variasi shaker yaitu 30; 60; 120 dan 180 menit. Dari penelitian yang telah dilakukan terjadi peningkatan serapan dari 30 menit ke 120 menit. Waktu kontak optimum untuk adsorben lumpur diaktivasi dengan adsorbat Cr(VI) yaitu pada 120 menit dengan serapan sebesar 0.393 mg/g dan efisiensi penyerapan sebesar 81.58 %. Sedangkan waktu kontak optimum adsorben lumpur segar dengan adsorbat Cr(VI) juga pada 120 menit dengan serapan sebesar 0.485 mg/g dan efisiensi penyerapan 99.81 %. Hal ini sesuai dengan teori dimana waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik, namun pada kondisi tertentu akan stabil karena sudah jenuh sehingga terjadi proses kesetimbangan. Gambar 2 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Cr(VI) dalam setiap gram adsorben.



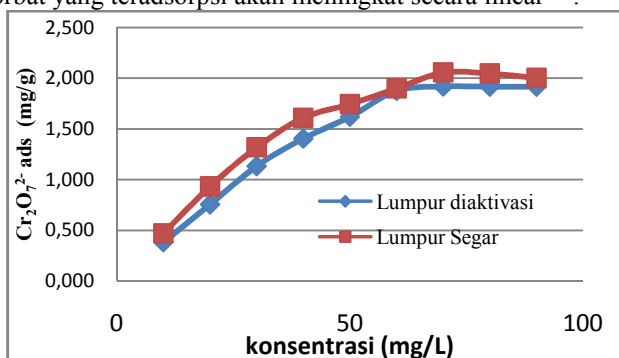
Gambar 2. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap serapan adsorben (1 g adsorben, 50 mL larutan Cr(VI) 10 mg/L)

Semakin lama waktu kontak semakin banyak logam yang terserap karena semakin banyak kesempatan partikel adsorben untuk bersinggungan dengan logam. Tetapi apabila adsorbennya telah jenuh waktu kontak tidak lagi

berpengaruh^[11]. Pada waktu kontak 180 menit terjadi penurunan kapasitas serapan. Hal ini terjadi karena waktu kontak yang terlalu lama menyebabkan terjadinya peristiwa desorpsi adsorbat dari permukaan adsorben disebabkan karena permukaan adsorben telah jenuh. Pada awal reaksi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibandingkan dengan peristiwa desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat, namun pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi cenderung berlangsung lambat dan sebaliknya laju desorpsi cenderung meningkat^[10].

C. Penentuan Konsentrasi Optimum

Pengaruh konsentrasi terhadap jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi oleh adsorben dipelajari dengan memvariasikan konsentrasi larutan Cr(VI) yaitu 10; 20; 30; 40; 50, 60, 70, 80 dan 90 mg/L. Hasil kajian adsorpsi disajikan pada Gambar 3. Adsorpsi Cr(VI) oleh adsorben menunjukkan peningkatan jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi jika konsentrasi Cr(VI) dinaikkan dan mencapai optimum pada konsentrasi 70 mg/L. Hal ini terjadi karena situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben belum jenuh dengan zat teradsorpsi. Selanjutnya jika situs aktif pada permukaan adsorben telah jenuh oleh zat teradsorpsi peningkatan konsentrasi Cr(VI) tidak lagi meningkatkan adsorpsi Cr(VI). Jika situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben belum jenuh oleh zat adsorbat, maka dengan memperbesar konsentrasi adsorbat, jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan meningkat secara linear^[11].



Gambar 3. Grafik pengaruh konsentrasi Cr (VI) terhadap serapan adsorben

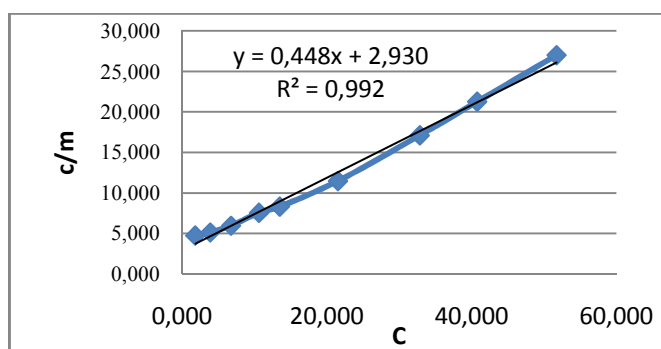
Pada konsentrasi rendah yaitu 10 mg/L efisiensi penyerapan adsorben lumpur diaktivasi mencapai 80.78% dengan serapan sebesar 0.383 mg/g dan mencapai kondisi optimum pada konsentrasi 70 mg/L dengan serapan sebesar 1.919 mg/g dan efisiensi penyerapan 53.89 %. Sedangkan untuk adsorben lumpur segar pada konsentrasi rendah yaitu 10 mg/L serapan terhadap Cr(VI) sebesar 0.471 mg/g dan efisiensi penyerapan mencapai 99.25%. Serapan optimum terjadi pada konsentrasi 70 mg/L dengan serapan sebesar 2.057 mg/g dan efisiensi penyerapan hanya 57.77 %. Keadaan ini sesuai dengan penelitian Nurhasni yang mengatakan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi ion logam efisiensi penyerapan semakin berkurang, dikarenakan kemampuan menyerap adsorben terhadap ion logam sudah maksimum. Penurunan efisiensi penyerapan pada konsentrasi tinggi terjadi karena jumlah ion logam dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel adsorben yang tersedia sehingga

adsorben akan mencapai titik jenuh dan efisiensi penyerapan akan berkurang^[13].

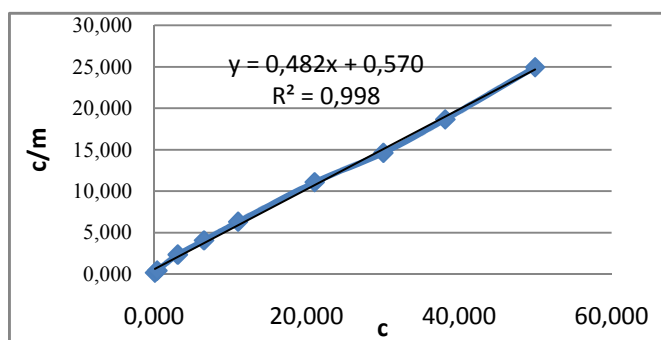
Kemampuan serapan pada lumpur segar terjadi karena adanya kandungan silika dan alumina sebanyak 49.02 % dan 16.49 % yang berperan sebagai sisi aktif adsorben. Saat dilakukan pemanasan pada suhu 600 °C pada adsorben lumpur diaktivasi, terjadi penguraian senyawa organik yang ditunjukkan dengan kehilangan massa yang disebabkan karena pengaruh campuran didalam bahan yang bersifat volatil. Sedangkan pada silika dan alumina yang terkandung didalam bahan tidak ikut menguap karena titik lebur dari silika dan alumina berada diatas suhu 600 °C. yaitu 1414°C untuk silika dan 660.32°C untuk alumina^[15]. Silika adalah salah satu bahan anorganik yang memiliki kelebihan sifat stabil terhadap pengaruh mekanik, temperatur dan kondisi keasaman. Proses pemanasan bertujuan untuk mengaktifkan ikatan Si dengan O membentuk SiO₂^[16]. Penambahan aktivator KOH bertujuan untuk memperbesar pori permukaan pada adsorben dengan membersihkan tar yang menutupi pori adsorben.

D. Penentuan Kapasitas Serapan Maksimum Terhadap Cr(VI)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tetapan ketimbangan (afinitas serapan) tertinggi yaitu pada adsorben lumpur segar sebesar 0.846 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 2.075 mg/g . Hal ini terjadi karena adanya silika dan alumina yang berperan pada sisi aktif adsorben. Sedangkan pada adsorben lumpur diaktivasi afinitas serapannya hanya 0.1529 dan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 2.232 mg/g. Berikut Gambar Isotherm Langmuir dari adsorben lumpur diaktivasi dan adsorben lumpur segar pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Grafik Isotherm Adsorpsi Langmuir Adsorben Lumpur diaktivasi



Gambar 5. Grafik Isotherm Adsorpsi Langmuir Adsorben Lumpur Segar.

Adsorpsi isotherm Langmuir merupakan model adsorpsi yang sangat sering digunakan untuk menunjukkan hubungan antara aktivitas adsorben dengan jumlah zat yang teradsorpsi pada temperatur konstan. Langmuir menjabarkan teori adsorpsinya bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah situs aktif tertentu yang proporsional dengan luas permukaan. Pada situs aktif tersebut hanya dapat mengadsorpsi satu molekul. Ikatan antara adsorben dan zat yang teradsorpsi dapat terjadi secara fisik atau kimia. Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk menjaga terjadinya perpindahan molekul yang telah teradsorpsi sepanjang permukaan adsorben^[11].

Adsorpsi Cr(VI) oleh Adsorben lumpur diaktivasi dan adsorben lumpur segar memenuhi persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dengan koefisien korelasi (R^2) masing-masing yaitu 0.992 dan 0.998, sehingga konstanta afinitas serapan (K) dan kapasitas serapan maksimum (b) dapat ditentukan dengan slope $1/b$ dan intersep $1/bK$.

IV. KESIMPULAN

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

1. Komposisi kimia dari limbah lumpur industri *crumb rubber* PT. Kilang Lima Gunung Lubuk Begalung Padang yaitu silika, limestone, alumina, hermatit dan beberapa oksida logam sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben
2. Kondisi serapan maksimum adsorben lumpur diaktivasi terhadap Cr (VI) terjadi pada pH 1 dan adsorben lumpur segar terjadi pada pH 2 dengan waktu kontak 120 menit dan konsentrasi larutan optimum masing-masing adsorben 70 mg/L.
3. Data hasil penelitian sesuai dengan kurva Langmuir yaitu jika diplot C/m sebagai fungsi C maka didapatkan kurva linear sehingga konstanta afinitas serapan dan kapasitas serapan maksimumnya adsorben dapat diketahui dengan menggunakan persamaan isotherm adsorpsi Langmuir yaitu 0.1529 dan 2.232 mg/g untuk lumpur diaktivasi dan 0.846 dan 2.075 mg/g untuk adsorben lumpur segar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widihati, Ida Ayu Gede., dkk. 2012. *Studi Kinetika adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium Menggunakan Arang Batang Pisang*. Jurnal Kimia 6(1) : 8-16.
- [2] Muslimin, Lucia. W. 1996. *Mikrobiologi Lingkungan*. Jakarta : PT. Raja Grafindo Persada.
- [3] Salmariza, Sy, dkk. 2011. *Pemanfaatan Limbah Padat Sisa Lumpur diaktivasi Industri Crumb Rubber Sebagai Adsorben Pengolahan Limbah*. Padang: Departemen Industri - Balai Riset dan Standarisasi Industri.
- [4] Marlina. 2000. *Pemanfaatan Lumpur Semen Sebagai Adsorben ion Logam*. Tesis Pascasarjana Kimia Universitas Andalas Padang.
- [5] Slamet, dkk. 2003. *Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) dengan Fotokatalis TiO_2* . Journal Makara, teknologi, vol. 7 no 1.
- [6] N. Yalçın, V. Sevinç, 2000. *Studies of the Surface Area and Porosity of Activated Carbons Prepared from Rice Husks*. Turkey :Sakarya University, Art and ColeSciences Faculty, Chemistry Department, Serdivan, Sakarya.
- [7] Pradhan, Subhashree. 2011. *Production and Characterization of activated Carbon Produced From a Suitable Industrial Sludge*. India : Department of Chemical Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- [8] Mawardi. 2011. *Pemanfaatan Biomassa Alga Hijau Terimmobilisasi Sebagai Biosorben Logam Berat Dalam Limbah Cair dan Perbandingan Unjuk Kerja dengan Resin Penukar Kation Komersial*. Padang : UNP.
- [9] Khosravan, dkk. 2011. *Adsorption of Cd(II) by Dried Activated Sludge*. Iranian Journal of Chemical Engineering. Vol 8 no 2 (Spring), IChE.
- [10] Nisa, Rahmi Khairun. 2013. *Optimasi Tanah Napa Sebagai Adsorben Ion Cr(VI)*. Skripsi Sarjana Kimia Universitas Negeri Padang.
- [11] Wiraman, Teguh. 2011. *Adsorpsi Krom (VI) Oleh Arang aktif Termodifikasi dari Tempurung Jarak Pagar (Jatropha Curcas. L)*. Jurnal Mulawarman Scientific, vol. 10, No 1.
- [12] Svehla. 1985. *Vogel: Buku Teks Analisa Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. (Terjemahan oleh Setiono L., Pudjaatmaka A.H), Edisi Kelima. Jakarta: PT. Kalman MediaPustaka.
- [13] Nurhasni, dkk. 2010. *Serapan Ion Logam Cd dan Cr dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi*. Journal Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [14] Widihati, Ida Ayu Gede., dkk. 2012. *Studi Kinetika adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium Menggunakan Arang Batang Pisang*. Jurnal Kimia 6(1) : 8-16.
- [15] Wikipedia.org/wiki/Silika dan Alumina, diakses tanggal 24 Juli 2013.
- [16] Rusmawati, dkk. 2007. *Studi Pengaruh Temperatur Sintering Sekam Padi sebagai Bahan Pembuatan Membran Silika Berpori*. Tugas Akhir S1 Jurusan Fisika FMIPA UNDIP.