

PEMANFAATAN LIMBAH LUMPUR PROSES ACTIVATED SLUDGE INDUSTRI KARET REMAH SEBAGAI ADSORBEN

(UTILIZATION CRUMB RUBBER INDUSTRY WASTE ACTIVATED SLUDGE AS ADSORBENT)

Salmariza. Sy

Baristand Industri Padang
Jl Raya LIK No 23 Ulu Gadut. Padang
rizasalma@yahoo.com

ABSTRAK

Pengolahan air limbah industri karet remah dengan sistem activated sludge menghasilkan limbah berupa lumpur padat yang membutuhkan penanganan tersendiri. Namun selama ini lumpur tersebut hanya dibuang ke TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Penelitian Pemanfaatan Limbah lumpur proses activated sludge industri karet remah sebagai adsorben bertujuan untuk memanfaatkan limbah lumpur tersebut guna meminimalisir logam Cr yang ada dalam air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah lumpur proses *activated sludge* industri karet remah dapat dijadikan adsorben dengan daya serap yang tinggi, bahkan sampai 100% dalam menyerap logam Cr yang terdapat dalam air limbah analisa COD laboratorium pada adsorben yang dipirolisis dengan dosis 10 gr. Hal ini memungkinkan bahwa hasil penelitian ini dapat diterapkan pada industri atau laboratorium yang air limbahnya mengandung logam berat Cr. Proses penyerapannya lebih mengikuti model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir.

Kata kunci: Limbah lumpur proses *activated sludge*, industri karet remah, Adsorben, logam Cr, kesetimbangan adsorpsi

ABSTRACT

Activated sludge treatment system for crumb rubber Industrial waste water produced another waste as Waste activated sludge that requires separate treatment. But so far the only sludge disposed to landfill (Final Disposal). Utilization Crumb Rubber Industry Waste Activated Sludge As Adsorbent aims to minimize Cr metals present in waste water. The results reveal that the Crumb Rubber Industry Waste Activated Sludge can be used as an adsorbent with high absorption, even up to 100% Cr contained in the COD analysis laboratory waste water at the pyrolysis adsorbent with dose of 10gr. It is possible that the results of this study can be applied to industry or laboratory waste water containing Cr heavy metals. Adsorption process more closely follow the Langmuir adsorption equilibrium model.

Keyword: Waste activated sludge, crumb rubber Industry, Adsorbent, Cr, adsorption equilibrium

BAB I. PENDAHULUAN

Teknologi ramah lingkungan merupakan suatu persyaratan wajib dalam pengembangan industri. Limbah industri yang ada harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga limbah harus diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu pengolahan air limbah secara biologis yang paling umum digunakan adalah proses *activated sludge*. Namun sistem ini juga menghasilkan limbah berupa lumpur padat (*Waste Activated Sludge/WAS*) yang harus dipisahkan dari proses pengolahan limbah.

WAS memiliki komponen utama yang sama dengan lumpur aktif yaitu berupa

mikroorganisme. Bakteri, jamur, protozoa, dan rotifera merupakan komponen biologis, atau massa biologis dalam lumpur aktif (Anonim, 2011). Menurut Gadd (1990), Mikroorganisme seperti, khamir, jamur, bakteri dan alga secara efisien dapat menyerap logam-logam berat dan radionuklida dari lingkungan eksternalnya.

Secara umum, terdapat dua jenis penyerapan logam berat oleh mikroorganisme, yaitu penyerapan logam yang tidak bergantung pada metabolisme (*metabolism-independent*) dan penyerapan logam yang bergantung pada metabolisme (*metabolism-dependent*), (Hughes dan Poole 1990; Gadd, 1990). Proses penyerapan logam yang tidak bergantung

pada metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan eksternal lain. Penyerapan terjadi melalui mekanisme kimia dan fisika, misalnya pertukaran ion, pembentukan kompleks, dan adsorpsi. Proses ini secara keseluruhan disebut biosorpsi (Gadd dan White, 1993; Gadd, 1992; Hancock, 1996a). Proses biosorpsi ini berlangsung cepat dan terjadi baik pada mikroorganisme hidup maupun mati (Gadd, 1990; Hancock, 1996b).

Penelitian penggunaan mikroorganisme sebagai bioadsorben untuk logam berat telah banyak dilakukan. Diantaranya adalah biosorben dari cyanobakteria dan mikroalga, dari beberapa spesies bakteri, fungi, yeast dan filamentus bakteri (Prakasham, *et al.* 1999). Begitu juga biosorben dari *Penicillium*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus niger* dan *Mucor rouxii* (Anayurt, 2009) dan dari *Spirogyra subsalsa*, *Sargassum crasifolium*, *Saccharomyces cerevisiae* (Mawardi, 2008, 2009) dimana potensi mereka telah diuji dalam mereduksi logam berat didalam larutan dan kemungkinan besar dapat diterapkan untuk mengolah air limbah dan masing-masing mikroorganisme tersebut mempunyai kelebihan sendiri-sendiri dalam mengadsorb logam yang berbeda (Prakasham, *et al.* 1999). Sedangkan penelitian adsorpsi dengan WAS baru sedikit yang dilaporkan, salah satunya adalah dengan *clarified sludge* dari industri baja untuk logam Cr (VI) (Bhattacharya, 2008).

Penelitian pemanfaatan limbah padat berupa lumpur sisa sistem lumpur aktif (WAS) IPAL industri Karet remah sebagai adsorben belum pernah dilakukan. Padahal limbah ini mengandung berbagai jenis mikroorganisme pengurai limbah organik. Diasumsikan bahwa kemungkinan besar gugus fungsional dalam dinding selnya belum menyerap zat kimia atau logam berbahaya, sehingga dapat lebih efektif untuk pengikat logam dalam larutan atau limbah dimana penyiapannya dapat dilakukan melalui proses pirolisis. Disamping itu limbah ini belum dimanfaatkan dan telah menjadi permasalahan bagi 6 industri Karet remah di

kota Padang (Sumatera Barat) dimana dalam sebulan masing-masing industri memerlukan *cost* tambahan untuk pengiriman ± 32 Ton lumpur WAS sebagai limbah ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah padat sisa lumpur aktif industri karet remah sebagai adsorben pengolahan limbah cair yang mengandung logam seperti air limbah sisa analisa COD dari laboratorium. Tersedianya adsorben dari limbah lumpur aktif industri karet remah diharapkan akan menjadi salah satu alternative *low cost* adsorben yang ramah lingkungan yang berorientasi pada peningkatan nilai tambah limbah dan dapat membantu industri karet remah dalam mengurangi biaya pengelolaan limbah lumpurnya.

BAB II. METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah limbah padat sisa lumpur aktif (WAS) dari industri karet remah, agen aktivasi (NaOH), larutan stok logam (Cr), air Limbah sisa analisa COD dari laboratorium lingkungan dan air suling.

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan penjemuran, lumpang penghalus, ayakan (*sieve* 40, 60, 80 dan 100 mesh), *furnace*, *shaker*, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) alat gelas untuk pereparasi sampel dan analisa.

Metode

Limbah padat proses *activated sludge* (WAS) diambil dari pabrik karet remah yang ada di Kota Padang. Sampel dikeringkan dengan sinar matahari. Kemudian yang telah kering dipanaskan dalam *muffle Furnace Thermolyne* 6000 pada suhu 600 °C selama ± 2 jam sampai terbentuk char/arang. Char kemudian diaktivasi dengan agen aktivasi (NaOH) dengan cara direndam dalam larutan aktivasi dengan

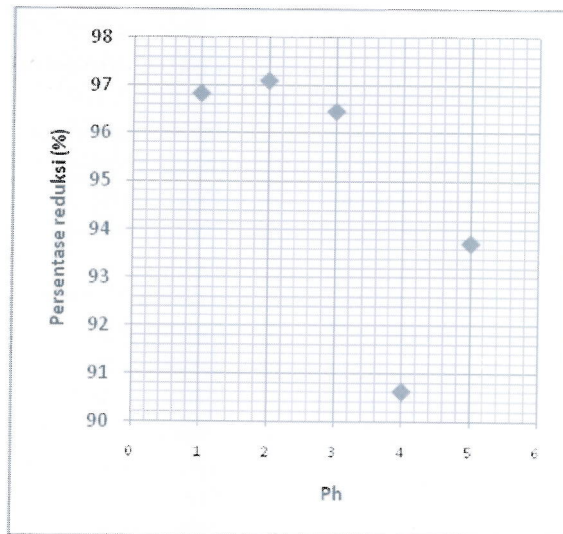
konsentrasi 5% dan 10%, selama 1 hari. Char disaring dengan kertas saring.

Whatman 40 dan dibilas sampai bersih (ditandai dengan larutan hasil cucian netral). Kemudian dikeringkan kembali dan diayak menggunakan *test siever* merek Retsch 5657 Haan W. Germany (No 40 dan 80 mesh). Semua adsorben disimpan pada temperatur ruang. Untuk perlakuan tanpa pirolisis dan tidak diaktivasi, langsung diayak dengan ayakan bertingkat menggunakan *test siever* merek Retsch 5657 Haan W. Germany no 40, 60, 80, dan 100 mesh dan digunakan sebagai adsorben. Metoda adsorpsi dilakukan dengan cara memasukkan adsorben dengan dosis 1,2,3,4,5 dan 10 gr kedalam erlenmeyer 250 yang berisi 50 ml air limbah (limbah sisa analisa COD konsentrasi *low* dan *high* dan larutan stok Cr dengan konsentrasi 10 dan 30 ppm), kemudian digoyang dengan *Adjustable Reciprocating Orbital Shaker* (AROS) 160 dengan kecepatan 100-110 rpm selama 15 dan 30 menit). Kemudian sampel disaring dengan kertas saring whatman 40. Logam Cr dalam substrat dibaca dengan menggunakan AAS. Untuk mencari perlakuan pH optimum digunakan NaOH dan HCl untuk mengatur pH. Model kesetimbangan adsorpsi adsorben dari limbah lumpur sistem *activated sludge* ditentukan dari data yang diperoleh.

BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pH

Parameter pH telah diidentifikasi sebagai salah satu parameter yang paling penting yang efektif pada proses penyerapan logam. Hal ini terkait secara langsung dengan kemampuan bersaingnya ion hidrogen dengan ion logam pada sisi aktif permukaan biosorbent (Anayurt *et al.* 2009). Penyerapan Cr sebagai fungsi dari konsentrasi ion hidrogen diperiksa pada rentang pH 2-6 ditampilkan di Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh pH terhadap adsorpsi logam Cr oleh adsorben dari Limbah lumpur proses *activated sludge* Industri Karet remah

Dari Gambar 1. terlihat bahwa pH mempengaruhi adsorpsi logam Cr oleh adsorben dari limbah padat sisa lumpur aktif industri karet remah. Semakin tinggi pH semakin rendah persentase adsorpsi. pH maksimum untuk adsorpsi logam Cr didapatkan pada pH 2 dan 3.

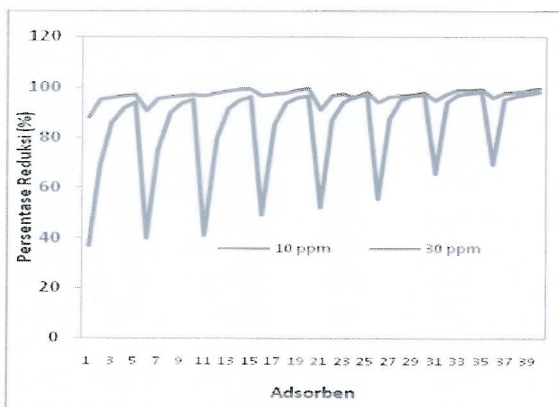
Sesuai Aydin and Aksoy (2009) menyatakan bahwa ketika pH di wilayah asam, sebaiknya di bawah pH 3, maka reduksi mencapai lebih dari 90% dan itu tidak tergantung dengan konsentrasi awal dan dosis adsorben. Cr (VI) terutama dalam larutan dibawah pH 4 berbentuk senyawa HCrO_4^- . Karena kelompok amino dari adsorben yang terprotonasi pada pH ini, maka terjadi interaksi elektrostatis antara adsorben dan ion HCrO_4^- mengakibatkan reduksi kromium tinggi.

Aydin and Aksoy (2009) menyatakan sebelumnya juga telah diteliti oleh (Hamadi *et al.* (2001), Karthiyekean *et al.* (2005), Qin *et al.* (2003), dan Sari dan Tuzen (2008) yang juga mendapatkan reduksi Cr(VI) berturut-turut, 95, 81, 96 dan 85%, dengan kondisi pH yang sama untuk berbagai adsorben.

Pengaruh Konsentrasi Logam

Konsentrasi logam juga mempengaruhi persentase reduksi logam Cr dalam larutan stok. Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa secara keseluruhan konsentrasi logam 10 ppm menghasilkan persentase yang lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi 30 ppm.

Sesuai Bhattacharya, (2008) bahwa efisiensi reduksi Cr (VI) dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam awal. Penurunan persentase reduksi sejalan dengan meningkatnya konsentrasi. Pada saat ion logam/rasio adsorben rendah, adsorpsi ion logam melibatkan energi permukaan yang tinggi. Pada saat terjadi peningkatan ion logam/rasio adsorben meningkat, energi permukaan yang tinggi tadi menjadi jenuh sehingga adsorpsi dimulai pada energi permukaan yang lebih rendah dan mengakibatkan penurunan efisiensi adsorpsi.

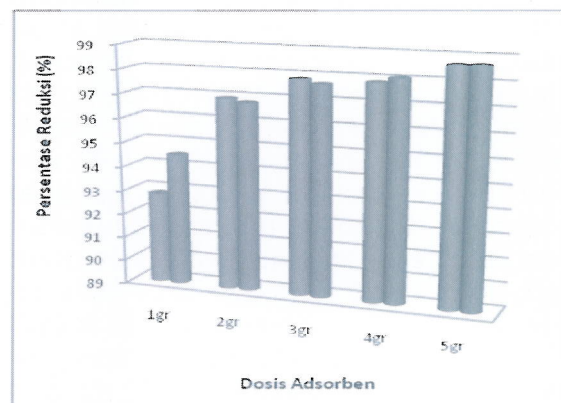


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi logam Cr terhadap persentase reduksi adsorpsi logam Cr oleh adsorben dari Limbah lumpur proses activated sludge Industri Karet remah

Pengaruh Dosis Adsorben

Dosis mempengaruhi persentase reduksi logam Cr, dalam larutan stok, (Gambar 3.) dimana semakin banyak dosis adsorben, semakin tinggi persentase reduksi. Persentase reduksi logam Cr dalam larutan stok meningkat dari 94,5% menjadi 98,69% sejalan dengan peningkatan dosis adsorben dari 1gr menjadi 5gr. Sesuai Bhattacharya, (2008) bahwa dalam setiap

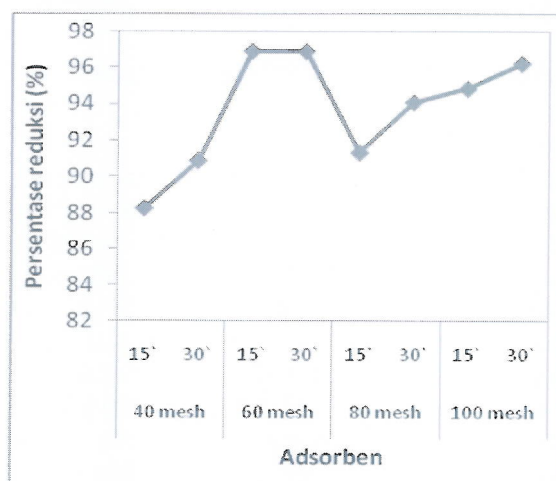
kasus peningkatan dosis adsorben menghasilkan peningkatan dalam persentase reduksi Cr(VI). Dengan meningkatnya dosis adsorben maka luas permukaan adsorpsi lebih banyak tersedia sehingga terjadi peningkatan bidang aktif pada adsorben.



Gambar 3. Pengaruh perlakuan dosis adsorben dari Limbah lumpur proses activated sludge Industri karet remah terhadap adsorpsi logam Cr

Pengaruh Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi persentase adsorpsi. Semakin lama waktu kontak, maka semakin tinggi persentase adsorpsi.



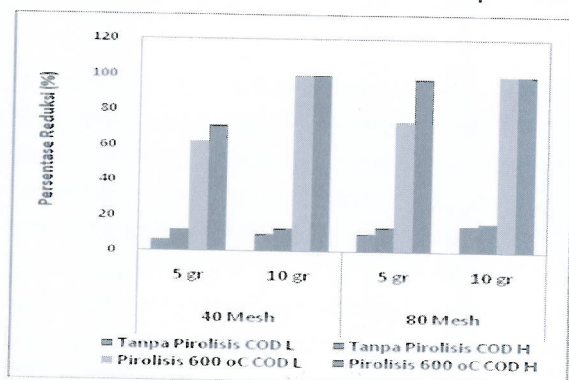
Gambar 4. Pengaruh waktu kontak terhadap persentase reduksi adsorpsi logam Cr oleh adsorben dari Limbah lumpur proses activated sludge Industri Karet remah

Dari Gambar 4 terlihat bahwa waktu kontak 30 menit memberikan persentase reduksi lebih tinggi dari pada waktu kontak 15 menit pada adsorpsi logam Cr. Dalam penelitian ini hanya menggunakan 2 variasi waktu kontak yaitu 15 dan 30 menit. Dalam peristiwa adsorpsi, ada kemungkinan adsorben akan jenuh, karena semua sisi aktifnya telah terisi oleh ion logam yang teradsorpsi, sehingga kemungkinan pada waktu kontak tertentu diperkirakan persentase reduksi akan konstan atau penyerapan maksimum. Sesuai Bhattacharya, (2008) bahwa penyerapan logam Cr oleh adsorben dari *clarified sludge* meningkat sejalan dengan pertambahan waktu kontak hingga mencapai optimum pada waktu kontak 2 jam.

Pengaruh Proses Pirolisis

Pada Gambar 5 terlihat bahwa proses pirolisis mempengaruhi persentase reduksi logam Cr, dalam air limbah analisa COD laboratorium, dimana adsorben yang di pirolisis 600°C memberikan persentase reduksi yang tertinggi. Persentase reduksi logam Cr mencapai 100% pada adsorben yang di pirolisis dengan dosis 10 gr baik pada ukuran partikel 40 mesh maupun 80 mesh.

Proses pirolisis merupakan salah satu tahapan dalam pembuatan arang aktif dimana bertujuan untuk memperluas



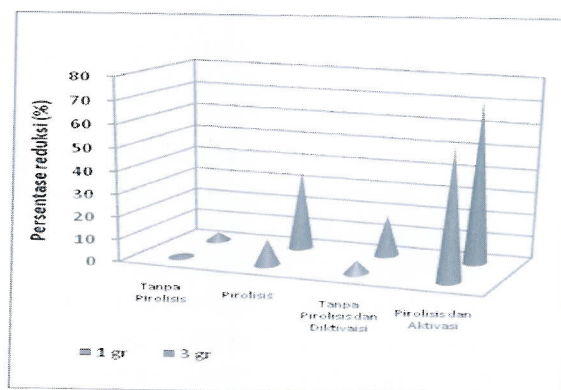
Gambar 5. Pengaruh perlakuan pirolisis dari Limbah lumpur proses activated sludge Industri Karet remah terhadap adsorpsi logam Cr dalam air limbah analisa COD laboratorium.

permukaan pori sehingga mempunyai kemampuan lebih besar dalam penyerapan logam dalam larutan. Proses ini merupakan proses dekomposisi thermal pada suhu 600–1100 °C. Selama proses ini, unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen dibebaskan dalam bentuk gas (Do, (1998) dalam Danarto dan Samun (2008).

Pengaruh Proses Aktivasi

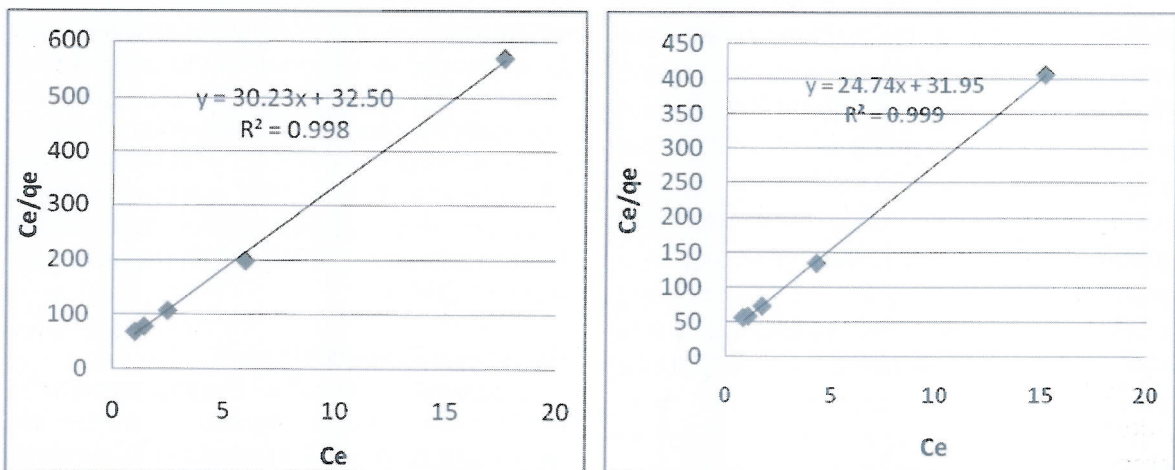
Proses aktivasi mempengaruhi persentase reduksi logam Cr dalam air limbah analisa COD laboratorium, dimana adsorben yang diaktivasi dengan NaOH 10%, memberikan persentase reduksi yang lebih tinggi dari adsorben tanpa aktivasi. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa penggabungan perlakuan pirolisis dengan diaktivasi dapat memberikan persentase reduksi tertinggi. Sesuai Kateren, (1987) dalam Suhendra dan Gunawan (2010) bahwa aktivasi karbon bertujuan untuk memperbesar luas permukaan arang dengan membuka pori-pori yang tertutup tar, hidrokarbon, dan zat-zat organik lainnya, sehingga memperbesar kapasitas adsorpsi. Beberapa bahan kimia yang dapat digunakan sebagai zat pengaktif

seperti: HNO_3 , H_3PO_4 , CN , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$, NaOH , KOH , Na_2SO_4 , SO_2 , ZnCl_2 , Na_2CO_3 , dan uap air pada suhu tinggi.

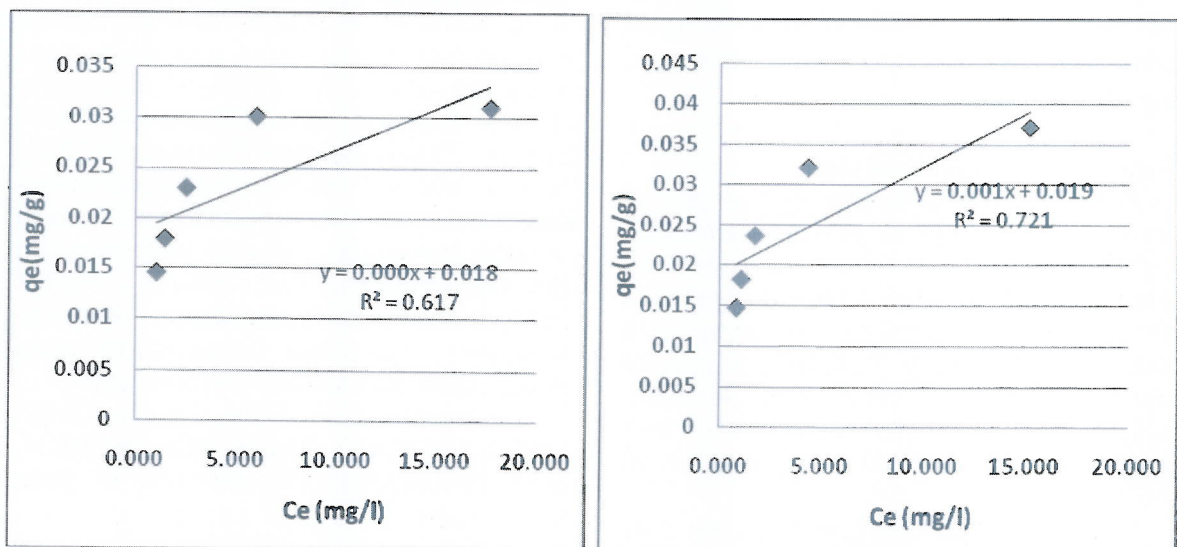


Gambar 6. Pengaruh perlakuan aktivasi adsorben dari Limbah lumpur proses activated sludge Industri Karet remah dengan NaOH 10% terhadap adsorpsi logam Cr dalam air limbah analisa COD laboratorium

Model Keseimbangan Adsorpsi



Gambar 7. Isotherm Langmuir pada adsorpsi logam Cr dengan adsorben dari Limbah lumpur proses *activated sludge* Industri Karet remah



Gambar 8. Isotherm Freundlich pada adsorpsi logam Cr dengan adsorben dari Limbah lumpur proses *activated sludge* Industri Karet remah

Model kesetimbangan yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah model isotherm Langmuir dan Freundlich. Model isotherm Langmuir mengasumsikan bahwa monolayer adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben memiliki spesifik area (situs) yang terbatas, dimana sekali situs adsorpsi ditempati, maka adsorpsi lebih lanjut tidak dapat terjadi pada area tersebut. Secara teoritis, apabila kejenuhan tercapai maka penerapan lebih lanjut tidak dapat terjadi lagi. Sedangkan model isotherm Freundlich mengasumsikan bahwa rasio

jumlah zat yang teradsorpsi ke massa adsorben tertentu dengan konsentrasi zat terlarut id dalam larutan adalah tidak konstan pada konsentrasi yang berbeda. Model empiris isotherm Freundlich menekankan pada heterogenitas permukaan dan distribusi eksponensial situs aktif dan energinya. Isotherm ini tidak memprediksi setiap kejenuhan sorben oleh sorbat, sehingga cakupan permukaan tak terbatas. Secara matematis diperkirakan bahwa terjadi adsorpsi secara multilayer di permukaan (Saeeda A. et al 2009).

Data dasar yang diperlukan untuk pemodelan isoterm adsorpsi adalah konsentrasi kesetimbangan ion logam (C_e) dari berbagai konsentrasi awal (C_0) dalam larutan dan jumlah logam yang diserap per unit (q_e) massa adsorben pada setiap nilai C_e . Dari data yang didapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi pada kesetimbangan (C_e) versus C_e/q_e (Saeeda A. et al 2009).

Dari Gambar 7 dan 8 terlihat bahwa grafik yang diperoleh adalah grafik linear dengan persamaan $Y=A+BX$ dengan koefisien korelasi (R^2) 0,998 dan 0,999 untuk model isoterm Langmuir dan 0,617 dan 0,721 untuk model isoterm Freundlich berturut-turut pada waktu 15 menit dan waktu 30 menit.

Dari Gambar 7 dan 8 juga dapat dilihat perbandingan nilai koefisien korelasi (R^2) dari persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Dari nilai R^2 tersebut dapat diketahui model persamaan kesetimbangan mana yang dapat mewakili reaksi pada penelitian ini. Nilai R^2 dari model Langmuir lebih mendekati 1 dibanding dengan model Freundlich. Hal ini menunjukkan bahwa data-data yang diperoleh lebih mengikuti model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dari pada Freundlich (Shafey, 2007), atau dapat dikatakan bahwa model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dapat mewakili reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi logam Cr dengan adsorben dari limbah lumpur proses *activated sludge* industri karet remah dimana proses penjerapan terjadi hanya pada permukaan dan membentuk satu lapisan (monolayer).

Potensi Penggunaan Adsorben Untuk Limbah Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi yang merupakan salah satu industri yang didorong perkembangannya sebagai penghasil devisa non migas (KLH, 2002). Di seluruh Indonesia terdapat $\pm$ 67 industri penyamakan kulit skala besar dan menengah dan sekitar 240 industri rumah tangga. Dalam produksinya, industri ini

memerlukan tambahan bahan kimia terutama krom dan menggunakan air yang relatif banyak, dimana untuk memproses 1 kilo kulit mentah dibutuhkan 30-75 liter air dengan beban pencemar Cr hingga 6254,29 mg/l (Sunaryo dkk (1993) dalam KLH, 2002). Sedangkan dalam air limbah proses penyamakan yang dikeluarkan mengandung krom 0,007-20,55 (KLH, 2002).

Melihat banyaknya jumlah industri dan kandungan logam Cr dalam industri penyamakan kulit serta melihat efektifitas adsorben dari Limbah lumpur proses *activated sludge* Industri Karet remah terhadap penjerapan logam Cr, maka diperkirakan adsorben ini sangat berpotensi digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan air limbah industri penyamakan kulit.

BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa limbah lumpur proses *activated sludge* industri karet remah dapat dijadikan adsorben. Adsorben yang dihasilkan mempunyai daya serap yang tinggi, bahkan sampai 100% dalam menyerap logam Cr yang terdapat dalam air limbah analisa COD laboratorium pada adsorben yang dipirolisis dengan dosis 10 gr. Hal ini memungkinkan bahwa hasil penelitian ini dapat diterapkan pada industri terutama industri penyamakan kulit atau laboratorium yang air limbahnya mengandung logam berat Cr. Proses penjerapannya lebih mengikuti model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir.

Saran

Disarankan untuk melanjutkan penelitian skala kilo pada air limbah industri penyamakan kulit guna melihat efektifitas adsorben dalam menyerap logam Cr yang ada dalam air limbah industri penyamakan kulit tersebut secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA.

- Anayurt R.A., Sari A., Tuzen M. 2009. Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on biosorption of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solution by macrofungus (*Lactarius scrobicularis*) biomass. *Chem Eng Journal*. **151**. 255-261.
- Anonim. 2011. Microorganisms And Their Role In The Activated-Sludge Process <http://www.college.ucla.edu/>
- Aydin. Y.A and , Aksoy. N.D. 2009. Adsorption of chromium on chitosan: Optimization, kinetics and Thermodynamics. *Chemical Eng Journal* **151**. 188-194
- Bhattacharya A.K., Naiya T.K., Mandal S.N., Das S.K. 2008. Adsorption, kinetic and equilibrium studies on removal of Cr (VI) from aqueous solution using different low-cost adsorbents. *Chem Eng Journal*. **137**. 529-541.
- Danarto YC dan Samun T. 2008. pengaruh aktivasi karbon dari sekam padi pada proses adsorpsi logam Cr(VI) *Ekulilibrium* Vol. 7 No. 1. **13-16**
- Gadd G. M., 1990. Biosorption, *Chemistry & Industry*, 13, 421-426.
- Gadd G.M. 1992. Microbial Control of Heavy Metal Pollution, in Fry J. C., Gadd G. M., Herbert R. A., Jones R. W. and Watson-Craik. I. A. (eds), *Microbial Control of Pollution, Society for General Microbiology Symposium*, **48**, 59-88, Cambridge University Press, UK.
- Gadd G. M. and White C. 1993. Microbial Treatment of Metal Pollution a Working Biotechnology, *Tibtech*, **11**, 353-359.
- Hancock J.C. 1996a. Bioremediation of Heavy Metal Pollution Possibilities and Practicalities, the Current Position, in *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996.
- Hancock, J. C., 1996b, Mechanisms of Passive Sorption of Heavy Metal by Biomass and Biological Products, in *Symposium and Workshop on Heavy Metal Bioaccumulation*, IUC Biotechnology Gadjah Mada University, Yogyakarta, September 18-20, 1996
- Hughes M. N. and Poole R. K. 1990. *Metals and Microorganism*, Chapman and Hall, London
- KLH. 2012. *Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit*. Buku Panduan. Kementrian Lingkungan Hidup. Jakarta
- Mawardi. 2008. E. Munaf, S. Kosela, Widayanti Wibowo, Kajian Biosorpsi Kation Timbal(II) Oleh Biomassa Alga Hijau *Spirogyra subsalsa*, Sainstek Vol X No. 02, Maret 2008 (Akreditasi Nomor 55/Dikti/Kep/2005, ISSN 1410-8070)
- Prakasham R.S., Merrie J.S., Sheela R., Saswathi N., Ramakrishna S.V. 1999. Biosorption of Chromium VI by Free and Immobilized *Rhizopus arrhizus*. *Environmental Pollution*. **104**. 421-427
- Saeeda A., Iqbal M, Hölla W. H. 2009. Kinetics, equilibrium and mechanism of Cd²⁺ removal from aqueous solution by mungbean husk. *Journal of Hazardous Materials*. **1467-1475**
- Shafey.E.E. 2007. Sorption of Cd(II) and Se(IV) from aqueous solution using modified rice husk. *Journal of Hazardous Materials* **546-555**
- Suhendra D dan Gunawan E.R. 2010. Pembuatan arang aktif dari batang jagung menggunakan aktivator asam sulfat dan penggunaannya pada penyerapan ion tembaga (II) *Makara, Sains*, Vol. 14, NO. 1, 22-26