

Penurunan Kadar Kromium Total (Cr) pada Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Sistem Kombinasi Adsorpsi Metode Kolom dan Fitoremediasi

Removal of Total Chromium (Cr) in Tannery Wastewater Using Combination System of Column Method Adsorption and Phytoremediation

Indah Pupitasari,
Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta
Email : indahp.enviro@gmail.com

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan oleh Kromium Total (Cr) disebabkan oleh limbah dari berbagai macam industri, salah satunya yaitu limbah industri penyamakan kulit. Kombinasi metode adsorpsi dan fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan eceng gondong (Eichhornia crassipes) merupakan cara yang efektif untuk menghilangkan ion logam berat di dalam air karena dengan biaya yang rendah dan metode yang sederhana. Kulit salak berpotensi digunakan sebagai adsorben karena banyak oleh-oleh menggunakan salak. Serbuk kulit salak dienkapsulasi menggunakan Alginate gel agar kemampuan adsorpsi semakin optimal. Penelitian ini diawali dengan metode batch. Variasi yang digunakan adalah variasi massa, variasi pH dan variasi waktu. Studi menunjukkan keadaan optimal adsorben dalam mengurangi kadar Krom total pada limbah cair penyamakan kulit yaitu, massa optimum 400 mg, pH optimum 5 dan waktu kontak optimum yaitu 120 menit. Konsentrasi Kromium Total awal adalah 0,74 mg/L, setelah dilakukan adsorpsi kolom selama 14 hari menjadi 0,32 mg/L dengan efisiensi adsorpsi 56,39%, dan setelah dilakukan metode kombinasi adsorpsi dan fitoremediasi nilai Kromium Total selama 14 hari yaitu 0,14 mg/L dengan efisiensi metode kombinasi 81,16%. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem kombinasi adsorpsi kolom dengan kulit salak dan fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok memiliki kemampuan yang optimum dalam menyerap logam Krom Total pada limbah cair penyamakan kulit.

Kata Kunci : Limbah Cair Penyamakan Kulit, Adsorpsi, Fitoremediasi, Kombinasi Pengolahan, Kulit Salak, Eceng Gondok, Kromium Total

ABSTRACT

Environmental pollution by Total Chromium (Cr) caused by waste from various industries, one of them is the waste from leather factory. The combination method of adsorption and phytoremediation with water hyacinth (Eichhornia crassipes) plant is the most effective way to remove heavy metal ions in the water because there are so many souvenirs with raw material from salacca. Salacca peels powder encapsulated by Alginate gel that adsorption ability more optimal. Adsorption experiment does by the batch method. The variation that used is mass variation, pH variation, and contact time variation. Studies show the optimal state of the adsorbent in reducing total chromium content in the tannery liquid waste, the optimum mass is 400 mg, optimum pH 5 and the optimum contact time is 120 minute. The early concentration of Total Chromium (Cr) is 0,74 mg/L, after do the adsorption column in 14 days become 0,32 mg/L, and after do the combination method adsorption and phytoremediation in 14 days the value of Total Chromium is 0,14 mg/L. This experiment shows that the combination system of adsorption column with salacca peels and phytoremediation with hyacinth plant has an optimum ability that adsorbs metal of Total Chromium in tannery liquid waste.

.Keywords : Tannery Wastewater, Adsorption, Phytoremediation, Combinaton Treatment, Salacca Peels, Water Hyacinth, Total Chromium

1. Pendahuluan

Limbah cair industri penyamakan kulit merupakan salah satu masalah utama pada industri penyamakan kulit karena menghasilkan bahan organik dan kromium. Hal yang menyebabkan limbah cair industri penyamakan kulit paling luas dampaknya yaitu pada proses pengerjaannya yang menggunakan air dalam jumlah banyak dan menghasilkan limbah yang dibuang langsung ke sungai, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan dapat menimbulkan kematian biota perairan ataupun makhluk hidup lainnya. Limbah industri penyamakan kulit merupakan masalah yang cukup serius diantara limbah pencemar industri lainnya, karena terdapat campuran yang kompleks dengan komposisi yang sulit diketahui secara tepat (Jost, 1990).

Metode adsorpsi merupakan cara konvensional tetapi paling efektif untuk mengurangi ion logam kromium terutama Cr^{+6} (Dewi dan Ridwan, 2012). Salah satu contoh limbah yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah limbah pertanian. Menurut penelitian Johnson (2008) beberapa limbah pertanian dapat dijadikan alternatif adsorben seperti kulit apel, kulit kacang tanah, tempurung kelapa, dan kulit singkong yang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi logam berat. Hasil penelitian Hasrianti (2012) menunjukkan bahwa kulit singkong dapat menurunkan kadar konsentrasi ion Cr^{6+} sebanyak 12,82 mg/g. Kemudian pada, biji asam yang dijadikan karbon aktif untuk mengadsorb Cr(VI) dan menunjukkan penurunan konsentrasi dengan nilai efisiensi removal yaitu 21,71 (Sulistiowati dan Ita, 2012). Pada hasil penelitian tersebut, menunjukkan bahwa limbah pertanian yang mengandung selulosa dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dan dapat menurunkan jumlah timbunan limbah pertanian sehingga dapat meningkatkan nilai harga industri pertanian.

Kulit salak merupakan limbah dari buah salak yang belum dimanfaatkan dari konsumsi masyarakat dan industri pengolahan buah salak. Untuk meningkatkan nilai ekonomisnya kulit salak dimanfaatkan sebagai adsorben krom total (Cr). Modifikasi kulit salak sehingga dapat mengadsorpsi krom dari limbah penyamakan kulit melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi pada dasarnya dipengaruhi oleh waktu kontak, konsentrasi awal adsorbat, dan pH. hingga mencapai kondisi optimum kemudian pada waktu tertentu daya adsorpsi akan

turun (Odeh et.al., 2015). Kondisi optimum proses adsorpsi yang diperoleh akan diaplikasikan pada limbah penyamakan kulit. Untuk menghasilkan output yang lebih maksimal maka, dalam pengolahan air limbah penyamakan kulit penggunaan metode adsorpsi secara kolom dikombinasikan dengan metode fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk memindahkan, menghilangkan, menghancurkan atau menstabilkan bahan pencemar berupa senyawa organik atau anorganik. Keunggulan dari penggunaan metode ini adalah murah, ramah lingkungan dan efisien (Hardyanti, 2007). Salah satu tanaman yang berpotensi menjadi fitoremediator logam berat dalam pengolahan limbah adalah eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Eceng gondok memiliki tingkat kemampuan menyerap zat pencemar yang tinggi daripada tumbuhan lainnya (Syafi'i, 2007). Perbedaan penelitian ini dengan yang sebelumnya yaitu menggunakan sistem batch untuk menentukan massa optimum, pH optimum dan waktu optimum. Selain itu juga, mengkombinasikan metode adsorpsi kolom dan fitoremediasi untuk meningkatkan efisiensi removal logam Kromium Total (Cr) pada limbah cair penyamakan kulit.

2. Metode Penelitian

2.1 Preparasi Adsorben

Preparasi adsorben kulit salak dimulai dari mencuci kulit salak dengan air mengalir hingga bersih setelah itu dikeringkan. Kulit salak dibilas dengan aquades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Kulit salak kering kemudian dihancurkan hingga halus dan diayak sampai lolos 50 mesh (Wijayanti, 2016). Metode enkapsulasi adsorben kulit salak menggunakan alginate gel dilakukan dengan mencampurkan larutan Alginate Gel 3% dengan serbuk kulit salak yang lolos pada 50 mesh, pada perbandingan 2 gr serbuk : 30 ml larutan sodium alginate 3% (Siswoyo, 2014). Campuran ditetaskan kedalam larutan Kalsium klorida (CaCl₂) 10% dan didiamkan selama 30 menit sebelum dibilas dengan air suling (Permana, 2014). Butiran yang terbentuk kemudian dioven selama 2 jam pada suhu 80oC (Zulistia, 2016).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair penyamakan kulit dari Pabrik Kulit Fajar Makmur, Bantul, D.I. Yogyakarta. Kulit Salak, Eceng Gondok, *Sodium Alginate* (Sigma Aldrich), kalsium diklorida dihidrat (CaCl₂.H₂O) Merck.

2.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik adsorben seperti bentuk permukaan dan gugus fungsi dari adsorben yang akan diuji. Pada penelitian ini karakterisasi adsorben dilakukan dengan menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui gambaran bentuk permukaan dan Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi molekul dari material kulit salak.

2.3 Proses Adsorpsi Batch

Dalam penentuan kondisi optimum dilakukan sebelum teknik enkapsulasi. Tujuannya, untuk mengetahui daya serap adsorben pada kondisi yang optimal. Variabel yang digunakan sebagai faktor penentu berupa variasi massa adsorben, variasi pH adsorben dan variasi waktu pengadukan. Untuk mengetahui kemampuan optimum massa dalam menurunkan konsentrasi Kromium Total (Cr) 50 sampai dengan 400 mg massa adsorben dicampur ke dalam 100 mL limbah cair dilakukan pengadukan dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam. Keterlibatan pH pada proses adsorpsi dilakukan dengan Variasi pH yang diantaranya pH 3, 5, 7, 9, dan 11. Penkondisian variasi pH dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 0,1 N dan Larutan NaOH 0,1 N. Kemudian, pengaruh waktu kontak dari 15 sampai 120 menit digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi Kromium Total (Cr).

2.4 Pengujian Adsorpsi Metode Kolom dan Fitoremediasi

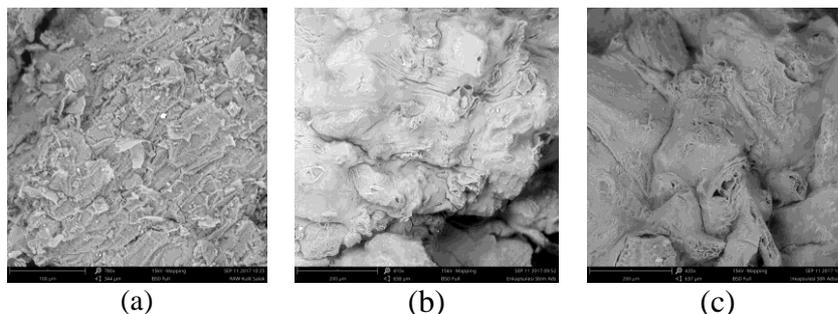
Sebelum dilakukan pengujian adsorpsi metode kolom dan fitoremediasi hal yang dilakukan adalah aklimatisasi tanaman eceng gondok selama 1 minggu, dan dipilih jenis tanaman dengan kondisi yang paling baik dan sehat (Rukmi, 2013). Volume limbah cair penyamakan kulit sebesar 35 L dialirkan pada reaktor kolom dengan massa 40 gr. Massa yang digunakan pada reaktor kolom merupakan hasil pengujian massa optimum yang didapat melalui proses batch dengan volume limbah asli yang digunakan. Limbah cair dipompa dalam kolom adsorpsi dengan sekali pengaliran.

Hasil dari limbah yang dioleh oleh rektor kolom akan dilanjutkan dalam proses fitoremediasi selama 14 hari. Dilakukan analisa sampel setiap hari untuk dapat lebih mengetahui perbandingan penurunan yang signifikan pada konsentrasi setiap harinya dan 14 hari merupakan waktu kontak pada sistem pengolahan secara alamiah (natural treatment) yang umum digunakan (Siswoyo, *et.al.*, 2009). Efluen dari proses fitoremediasi dibandingkan dengan efluen adsorpsi kolom.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Adsorben

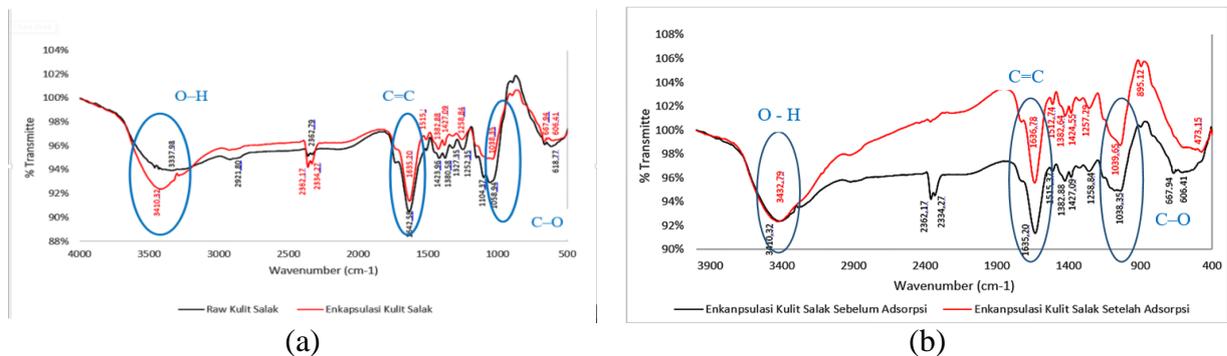
SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah suatu metode yang dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan adsorben secara jelas. Hasil analisis SEM dilakukan terhadap serbuk kulit salak, serbuk kulit salak yang terenkapsulasi *alginate gel* dan serbuk kulit salak yang terenkapsulasi *alginate gel* setelah melalui proses adsorpsi dengan perbesaran 1000x. Pada Gambar 1 menunjukkan terdapat struktur yang beraturan dan pori-pori kecil, yang merupakan struktur selulosa kulit salak. Pada serbuk kulit salak yang terenkapsulasi memiliki struktur yang granular dan pori-pori lebih besar.



Gambar 1 Hasil Uji SEM pada Adsorben (a) Raw Kulit Salak, (b) Kulit Salak Terenkapsulasi, (c) Kulit Salak Terenkapsulasi Setelah Adsorpsi

Hasil pengujian FTIR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan hasil FTIR sebelum dan setelah enkapsulasi. Dari hasil FTIR sebelum dan sesudah adsorpsi terlihat adanya peningkatan intensitas serapan pada gugus $-OH$ setelah mengalami proses adsorpsi. Peningkatan Perbedaan spektrum tersebut disebabkan karena adanya interaksi antar molekul pada

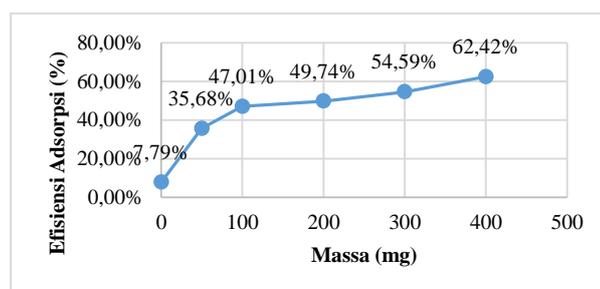
saat proses adsorpsi. Adanya gugus fungsi O-H menunjukkan gugus hidroksil yang memiliki muatan negatif dan dapat melakukan pengikatan terhadap Chromium yang memiliki gugus positif.



Gambar 2 (a) Hasil FTIR pada *Raw* Kulit Salak dan Kulit Salak Terenkapsulasi (b) Hasil FTIR pada Kulit Salak Terenkapsulasi Sebelum dan Setelah Adsorpsi

3.2 Pengujian Variasi Massa Adsorben

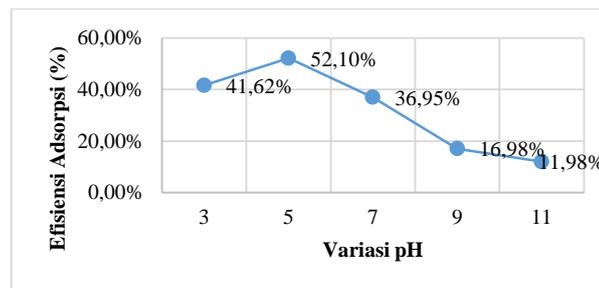
Pengujian variasi massa dilakukan guna untuk mengetahui dosis yang optimum pada pemberian adsorben agar proses adsorpsi bisa dilakukan secara optimal. Variasi massa adsorben kulit salak terenkapsulasi yang digunakan adalah 50 sampai 400 mg. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, dari grafik tersebut menunjukkan hubungan antara penambahan massa adsorben terhadap presentase removal Kromium adalah berbanding lurus. Hal ini dikarenakan, semakin bertambah berat adsorben yang digunakan, maka nilai efisiensi adsorpsinya terhadap ion semakin tinggi. Bertambahnya berat adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan karbon aktif sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat ion logam bertambah dan efisiensi adsorpsinya pun meningkat (Nurafriyanti, dkk. 2017). Efisiensi removal tertinggi pada percobaan ini yaitu 62,42% dengan massa adsorben adalah 400 gr.



Gambar 3 Grafik Hubungan Penambahan Massa Adsorben Terhadap Presentase Removal Kromium Total (Cr)

3.3 Pengujian Variasi pH Adsorben

Pengujian pH merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi penyerapan polutan oleh adsorben. Berdasarkan percobaan, tingkat efisiensi removal tertinggi yaitu 52,1% pada nilai pH 5. Nilai pH pada kondisi asam lebih optimal dalam penyerapan logam Kromium Total daripada kondisi basa, dikarenakan pada pH tinggi, konsentrasi ion OH⁻ dalam larutan meningkat sehingga permukaan sel perlahan menjadi bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan kekuatan untuk mengikat ion-ion Cr menjadi semakin kecil dan mengurangi kemampuan adsorpsi. Pada pH tinggi juga terjadi presipitasi Cr menjadi Cr(OH)₂ yang mengurangi kelarutan ion Cr pada larutan yang mengakibatkan berkurangnya jumlah ion Cr yang dapat diserap oleh permukaan sel. (Utama, dkk., 2016)

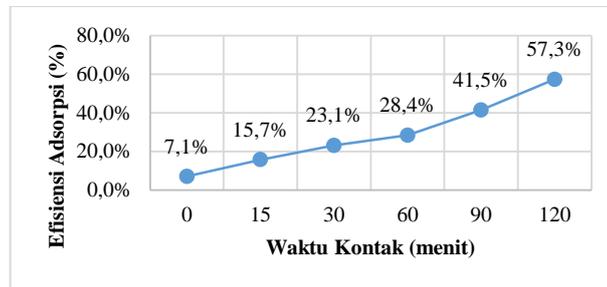


Gambar 4 Grafik Hubungan nilai pH Terhadap Presentase Removal Kromium Total (Cr)

3.4 Pengujian Variasi Waktu Adsorben

Waktu kontak sangat berperan dalam mencapai kesetimbangan adsorpsi. Adsorpsi ion dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontakannya semakin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih banyak (Hasrianti, 2012). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap kemampuan penyerapan adsorben kulit salak terenkapsulasi terhadap limbah cair penyamakan kulit. Dilakukan pemberian massa adsorben dan kondisi pH dengan menggunakan dosis dan kondisi yang optimum. Variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 15 sampai 120 menit. menunjukkan bahwa jumlah Kromium yang teradsorpsi oleh adsorben semakin meningkat berbanding lurus dengan

waktu. Pada awal waktu interaksi sampai menit ke 120, jumlah konsentrasi Kromium Total yang teradsorpsi terus meningkat hingga mencapai nilai prosentasi penyerapan 57,3%.

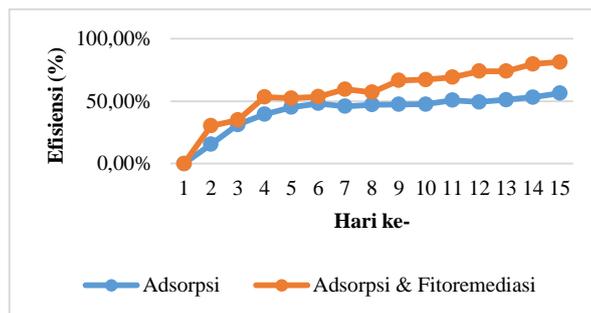


Gambar 5 Grafik Hubungan Penambahan Waktu Kontak Terhadap Presentase Removal Kromium Total (Cr)

3.5 Kombinasi Proses Adsorpsi Kolom dan Fitoremediasi

Penelitian dengan menggunakan kombinasi proses adsorpsi metode kolom dan fitoremediasi merupakan inti utama pada penelitian ini. Sebelum menerapkan perlakuan ini, maka dilakukan pengujian untuk konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit. Berdasarkan hasil pengujian nilai konsentrasi awal limbah cair penyamakan kulit pada percobaan awal fitoremediasi, parameter Kromium Total (Cr) sebesar 0,74 mg/L. Jika konsentrasi tersebut dibandingkan dengan Baku Mutu Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 dengan ambang batas 0,6 mg/L, maka limbah tersebut harus diolah terlebih dahulu agar dapat dilepaskan ke badan lingkungan.

Reaktor yang dioperasikan pada pengujian ini dengan menggunakan metode kombinasi, yaitu pengolahan secara adsorpsi dan fitoremediasi. Metode kombinasi dilakukan guna untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal dalam penurunan kadar Krom Total (Cr) pada limbah penyamakan kulit. Langkah ini dilakukan setelah diketahui kondisi optimum adsorpsi pada pengujian secara *batch*. Berikut pada Gambar 6 menampilkan grafik efisiensi *removal* pada Kromium Total (Cr) dengan pengolahan di bak fitoremediasi selama 14 hari.



Gambar 6 Efisiensi Removal Proses Adsorpsi serta Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fitoremediasi pada Parameter Kromium Total (Cr)

Penelitian ini dilakukan selama 14 hari dengan pengambilan sampel setiap hari. Hal ini guna untuk meningkatkan tingkat ketelitian dalam mengetahui penurunan kadar logam berat tersebut. Konsentrasi Kromium Total (Cr) sebelum pengolahan adalah 0,74 mg/L, kemudian diolah menggunakan metode kolom adsorpsi yang memiliki tingkat penurunan efisiensi tertinggi yaitu 56,39 % dengan nilai konsentrasi sebesar 0,32 mg/L pada hari ke-14. Selanjutnya penurunan secara drastis saat metode kombinasi adsorpsi fitoremediasi diterapkan dengan menggunakan tanaman eceng gondok, terjadi penurunan efisiensi tertinggi sebesar 81,16% pada hari ke-14 dengan nilai konsentrasi 0,14 mg/L.

Konsentrasi logam berat Kromium Total (Cr) mengalami penurunan dikarenakan kemampuan mengikat logam Kromium oleh tanaman eceng gondok pada bagian akar serabut yang lebat dan daun. Penyerapan Kromium pada eceng gondok terjadinya pada proses yang dinamakan rhizofiltrasi. Rizhofiltrasi merupakan suatu proses dimana terjadi pengendapan zat kontaminan seperti logam berat oleh akar (Agustina, 2006).



Gambar 7 Perbandingan Influen, Kontrol, dan Efluen dari Limbah dengan Penerapan Kombinasi Adsorpsi dan Fitoremediasi

Berdasarkan output dari pengolahan yang dilakukan maka dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit yang dibagi menjadi 2 yaitu proses penyamakan menggunakan krom dan proses penyamakan menggunakan daun-daunan. Hasil output parameter Kromium Total (Cr) pada penelitian ini adalah 0,14 mg/L dengan nilai baku mutu kegiatan industri penyamakan kulit yang sudah ditetapkan pada konsentrasi akhir sebesar 0,6 mg/L untuk proses penyamakan menggunakan krom dan 0,1 mg/L untuk proses penyamakan menggunakan daun-daunan. Secara fisik *output* hasil olahan dengan kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi menghasilkan air yang lebih jernih dibandingkan air limbah sebelum diolah dan pada bak kontrol dari adsorpsi kolom. Perbandingan warna air limbah sebelum dan sesudah diolah dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan perbandingan tersebut maka, nilai Kromium Total (Cr) pada pengolahan kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi sudah memenuhi baku mutu. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi cukup efektif dalam menurunkan logam Kromium.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dibahas sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Konsentrasi awal parameter Kromium Total (Cr) pada limbah cair penyamakan kulit adalah antara 0,34 mg/L sampai dengan 1,74 mg/L.
- 2) Kombinasi adsorpsi kolom dan fitoremediasi selama 14 hari terbukti efisien dalam menurunkan kadar Kromium Total (Cr) pada limbah cair penyamakan kulit dengan persentase removal 81,16%.
- 3) Perbandingan konsentrasi Kromium Total (Cr) hasil kombinasi pengolahan adsorpsi kolom dan fitoremediasi adalah 0,14 mg/L dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Penyamakan Kulit ialah sudah memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, N., 2006, **Fitoremediasi Logam Berat Khrom (Cr) oleh Tanaman Air Kiapu (Pistia stratiotes)**, Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Dewi, S.H. dan Ridwan, R., 2012, **Sintetis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen**, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 13, No. 2, Hal: 136-140.
- Hardyanti, N., dan Suparni S.R., 2007, **Fitoremediasi Fosfat dengan Pemanfaatan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Kecil Laundry**, *Jurnal Presipitasi*, Vol. 2, No. 1, Hal: 28-33.
- Hasrianti, 2012, **Adsorpsi Ion Cd²⁺ dan Cr⁶⁺ pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong**, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Hassanuddin, Makassar.
- Jost.P.D.T., 1990, **Solid Waste Generated By Ranning Industry, Handling and Management**, BBKPP, Yogyakarta.
- Nurafriyanti, Nopi Stiyati P. dan Isna Syauqiah, 2017, **Pengaruh Variasi pH dan Berat Adsorben dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh**, *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 3, No. 1, Hal: 56-65.
- Odeh, L., Imad O, M. Khamis, M. Khatib, M. Qurie, Z. Shakhser, & M. Qutob, 2015, **Hexavalent Chromium Removal and Reduction to Cr(III) by Polystyrene Tris(2-aminoethyl)amine**, *American Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 6, No. 1, Hal: 26-37.
- Permana, R.A., 2014, **Uji Kinerja Adsorben Alginate Gel Manik dengan Penambahan Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar Kromium Heksavalen Sintetis dengan Sistem Batch**, Skripsi, Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Rukmi, D.P., Ellyke dan Rahayu S.P., 2013, **Efektivitas Eceng Gondok (Echornia crassiper) dalam Menurunkan Kadar Detergen, BOD, dan COD pada Air Limbah Laundry**, *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2013*, Universitas Jember, Jember.
- Siswoyo, E., Kasam, dan Widyanti, D., 2009, **Penurunan Logam Berat Timbal (Pb) pada Limbah Cair Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan Menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (Eichhornia crassiper)**, *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Vol. 1, No 1, Hal: 68-76.
- Sulistiowati dan Ita U., 2012, **Pemanfaatan Karbon Aktif Biji Asam (Tamarindus indica L) untuk Penurunan Kadar Cr(VI) Menggunakan Metode Batch**, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 1, No. 1, Hal: 1-4.

- Syafi'i, I.A., 2007, **Fitoremediasi Logam Khrom (Cr) pada Limbah Penyamakan Kulit dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia crassipes (Mart.) Solms**, Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Utama, S., Hans K. dan Arenst A., 2016, **Adsorpsi Ion Logam Kromium (Cr (VI)) Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak**, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Hal: 1-10.
- Wijayanti, 2016, **Modifikasi Kulit Salak sebagai Adsorben Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit**, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Zulistia, 2016, **Kinerja Metode Enkapsulasi Agar dan Alginate Gel Terhadap Lumpur Hasil Pengolahan Air PDAM Tirta Binangun Yogyakarta sebagai Adsorben Zat Warna Methylene Blue**, Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.