

Teknologi Pengolahan Kandungan Kromium dalam Limbah Penyamakan Kulit Menggunakan Proses Adsorpsi: *Review*

Maryudi, Aster Rahayu*, Refah Syauqi, Muhammad Kresna Islami

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Kampus 4, Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Yogyakarta 55191, Indonesia

*E-mail: aster.rahayu@che.uad.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi pada industri-industri saat ini adalah pengolahan limbah yang tidak sempurna. Salah satu jenis industri yang memerlukan perhatian serta pengolahannya adalah limbah yang mengandung kromium seperti pada industri penyamakan kulit. Limbah penyamakan kulit masih menyisihkan logam-logam berbahaya dalam limbahnya seperti logam berat kromium (Cr). Kromium yang digunakan untuk menghasilkan olahan kulit yang lebih halus. Sekitar 30-40% kromium akan terbawa dalam limbah cair penyamakan. Tingginya kadar kromium yang tersisa dan terbawa dalam limbah dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis terhadap lingkungan bahkan juga sangat berbahaya terhadap makhluk hidup. Salah satu penanganannya adalah dengan menggunakan metode adsorpsi yang dimana merupakan salah satu metode alternatif dengan berbagai keuntungan yang ada. Biaya penanganan yang relatif murah, proses yang sederhana, dan kemungkinan dapat didaur ulang merupakan beberapa keuntungan dari proses adsorpsi. Selain itu, proses adsorpsi dapat dimaksimalkan dengan menggunakan adsorben yang memiliki spesifikasi potensi tertentu terhadap penyerapan kromium. Artikel ini me-review perbandingan metode adsorpsi *batch* dan kontinyu pada proses pengolahan kandungan kromium dalam limbah penyamakan kulit.

Kata kunci: air limbah, adsorpsi *batch*, adsorpsi kontinyu, kromium (Cr), adsorben.

ABSTRACT

The waste management issue is one of the biggest problems in the industries recently. Every industry has a high probability of releasing toxic by-product to the environment in the form of waste. One example is in the leather tanning industry. Leather tanning waste still removes harmful metals in its waste, such as heavy metal chromium (Cr). Chromium is used to produce finer skin products. About 30-40% chromium will be carried in the tanning liquid waste. The high chromium levels remaining and carried away in the waste can cause acute and chronic toxicity to the environment and even very harmful to living things. Adsorption is one of the highly recommended methods available to overcome this problem. Relatively low handling costs, simple processes, and the possibility of being recycled are some of the adsorption process's advantages. In addition, the adsorption process can be maximized by using adsorbents that have specific potential specifications for chromium absorption. This article reviews batch and continuous adsorption methods in the processing of chromium content in tannery waste.

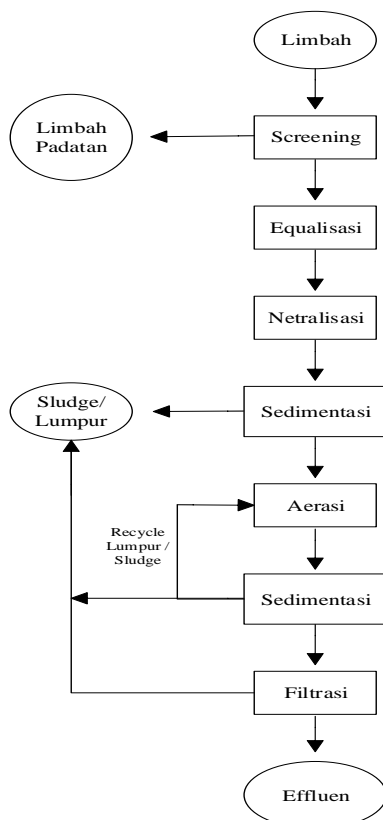
Keywords: wastewater, batch adsorption, continuous adsorption, chromium (Cr), adsorbent.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, membuat Sumber Daya Manusia (SDM) dan industri-industri pun semakin meningkat. Seperti halnya industri pakaian, makanan, minuman, obat-obatan, tekstil, elektronik, dan sebagainya. Salah satu industri yang

banyak menjadi sorotan adalah industri penyamakan kulit. Industri ini memiliki peran penting dalam kehidupan manusia karena sebagian besar barang yang digunakan pada kehidupan sehari-hari merupakan produk olahan dari kulit seperti

produksi sepatu, dompet, tas, jaket, sarung tangan kulit, dan sebagainya. Selain memberikan dampak positif, industri penyamakan kulit juga memberikan dampak negatif pada lingkungan sekitar akibat limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut karena industri kulit juga merupakan salah satu penghasil polutan terbesar di dunia [1,2]. Berbagai upaya telah dilakukan dalam pengolahan air limbah industri yang mengandung kromium tersebut. Skema proses pengolahan limbah kromium dalam limbah industri penyamakan kulit ditunjukkan pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Skema teknologi pengolahan air limbah industri yang mengandung kromium [3].

Proses pencemarannya pun dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung [4]. Hal ini terjadi disebabkan oleh tidak maksimalnya proses penyerapan bahan-bahan kimia oleh kulit pada saat proses penyamakan kulit sehingga sisa-sisa dari bahan kimia tersebut akan masuk ke dalam

limbah yang dibuang nantinya. Salah satu bahan yang berbahaya dan beracun yang tidak terserap dengan baik adalah kromium (Cr) [5].

Kromium merupakan zat yang sudah sejak lama digunakan dalam industri penyamakan kulit sebagai campuran senyawa tertentu untuk menghaluskan kulit binatang yang disamak [6]. Meskipun bermanfaat akan tetapi masalah yang paling banyak dijumpai dalam industri penyamakan kulit adalah tidak terikatnya semua kromium pada kulit.

Pada proses penyamakan kulit, kromium hanya dapat terserap sekitar 60-70% dan sisanya sekitar 30-40% merupakan kromium yang akan terbawa dalam limbah industri penyamakan [1]. Limbah yang terhitung sudah cukup besar dan sudah melebihi dari batas baku mutu lingkungan yang diberikan, oleh karena itu diperlukannya usaha untuk mengatasi limbah kromium dari industri penyamakan tersebut. Selama ini, beberapa cara telah dilakukan untuk menangani limbah cair penyamakan kulit diantaranya adalah adsorpsi [7-9], wetland [9], reagen fenton [10], filtrasi, biologi, kimia, fisika, koagulasi [11], reverse osmosis [12] dan presipitasi [9,13]. Dari sekian banyak metode yang sudah diterapkan, salah satu metode yang paling efisien dan lebih banyak memiliki keuntungan adalah metode adsorpsi. Jika ditinjau dari segi biaya, adsorpsi merupakan metode yang cukup murah, prosesnya yang sederhana, juga sangat efektif untuk menyerap logam serta tidak menimbulkan efek samping yang beracun [14]. Berbagai bahan alam atau limbah pertanian dapat dijadikan sebagai adsorben karena potensinya yang cukup baik jika dilihat dari segi efektivitas, komposisi kimia dan struktur komponen yang terkandung didalamnya serta ramah lingkungan diantaranya adalah kayu bakau (*Rhizophora Mucronata Lamck*) yang dengan mudah bisa di dapat dari limbah mangrove yang sudah ditebang untuk dijadikan area pemukiman di kota tanjung pinang ibu kota kepulauan riau [15], ataupun arang aktif tempurung kelapa yang memiliki

kandungan karbon sekitar 73-90% [5,16]. Metode adsorpsi pada pengolahan kandungan kromium dalam limbah penyamakan kulit menjadi suatu solusi dalam permasalahan tersebut. Perbandingan antara metode adsorpsi secara *batch* dan kontinyu dapat digunakan untuk mengetahui tingkat efektifitas adsorpsi logam kromium pada limbah penyamakan kulit.

2. KARAKTERISTIK LOGAM KROMIUM DALAM LIMBAH PENYAMAKAN KULIT

Kromium merupakan salah satu unsur logam yang banyak ditemukan di alam dan sering dimanfaatkan dalam kehidupan manusia. Salah satu penggunaannya adalah dalam fotografi atau pun zat warna bahkan berbagai industri juga menggunakan kromium dalam proses produksinya. Kromium terletak di golongan VI B pada tabel periodik dan memiliki nomor atom 24 dengan berat atom sebesar 51,996.

Kromium paling banyak ditemukan sebagai bahan mineral kromium dalam bentuk "*chromite*". Logam kromium memiliki bilangan oksidasi 2+, 3+ dan 6+. Kemudian pada Cr^{2+} itu akan membentuk senyawa yang sifatnya basa, lalu yang dibentuk oleh Cr^{3+} mempunyai sifat yang amporter, dan pada Cr^{6+} memiliki sifat asam yang lebih daripada yang lain [17].

Dan bilangan oksidasi +2, +3 dan +6 merupakan bilangan oksidasi yang terpenting. Karena reaksi dan senyawa kromium (Cr) yang paling banyak dan paling sering ditemukan adalah senyawa kromium dengan bilangan oksidasi +2, +3 dan +6. Bilangan oksidasi +2, +3 dan +6 merupakan suatu bilangan yang dimana ketika terbentuk dari atom-atomnya yang bersifat netral maka bilangan tersebut akan menyatakan sifat muatan spesinya [1]. Tingkatan oksidasi dari kromium ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkatan oksidasi dari kromium (Cr).

No.	Bil. Oksidasi	Contoh Senyawa	Keterangan	Ref.
1	-2	$Na_2[Cr(CO)_5]$	Jarang ditemukan	[1]
2	-1	$Na_2[Cr_2(CO)_{10}]$	Jarang ditemukan	[1]
3	0	$Cr(C_6H_6)_2$	Paling banyak jenisnya dan sebagian besar merupakan turunan dari heksa karbonil	[18]
4	+1	$K_3[Cr(CN)_5NO]$	Sebagian besar diperoleh dari oksidasi kompleks $Cr(0)$	[1]
5	+2	$CrCl_2$	Stabil dalam air	[18]
6	+3	$CrCl_3$	Bilangan oksidasi kromium yang paling stabil	[18]
7	+4	K_2CrF_6	Rentan terhadap reaksi disproporsionasi dan tidak stabil dalam air	[1]
8	+5	K_3CrO_8	Rentan terhadap reaksi disproporsionasi dan tidak stabil dalam air	[1]
9	+6	K_3CrO_4	Bilangan oksidasi kromium terpenting dan yang paling beracun	[18]

Bilangan kromium dengan bilangan oksidasi +2, +3 dan +6 dengan contoh senyawa $CrCl_2$, $CrCl_3$ dan K_3CrO_4 secara berurutan merupakan kromium yang paling sering

ditemukan di dalam limbah [1,17]. Akan tetapi, selain memiliki manfaat yang banyak, kromium juga disebut sebagai polutan umum karena kromium banyak ditemukan

di berbagai limbah industri contohnya seperti industri elektroplating, industri penyamakan kulit dan industri pembuatan pigmen [19]. Kromium yang dihasilkan dari berbagai macam industri ini adalah kromium yang bervalensi 3+ (trivalen) yang dimana kromium (III) ini dapat teroksidasi menjadi kromium (VI) yang bervalensi 6+ (heksavalen) pada saat kondisi basa [20].

Kromium (VI) dan kromium (III) dapat juga dijumpai pada lingkungan sekitar dan juga dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup contohnya seperti hewan, tanaman dan bahkan manusia. Yang dimana jika sudah masuk maka akan sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyakit yang parah [21]. Hadirnya kromium trivalen dan heksavalen dalam lingkungan adalah salah satu kasus yang sangat terkenal karena efek racunnya yang sangat berbahaya. Dan sumber utama penyebabnya adalah industri pertambangan, industri penyamakan kulit, industri semen, industri baja, industri cat, dan masih banyak industri lainnya yang menggunakan kromium dalam proses produksinya [22]. Karena keberadaan polusi kromium (Cr) di lingkungan sangat terkait dengan adanya industri-industri yang ada di sekitar lingkungan tersebut [23]. Kromium (III) dan kromium (VI) memiliki perbedaan yang terbilang cukup besar dalam sifat kimianya dan juga aktivitas biokimianya [24].

Pada umumnya kromium (III) ditemukan di lingkungan dalam jumlah yang kecil, tetapi jika sudah dalam jumlah yang besar maka akan sangat berbahaya karena bisa teroksidasi menjadi kromium (VI). Kromium (VI) yang berada di dalam perairan memiliki kelarutan yang terbilang cukup tinggi serta memiliki sifat yang karsinogenik karena dapat menyebabkan kanker paru-paru bila sudah masuk ke dalam tubuh. Oleh karena itu, kromium yang berada dalam lingkungan perairan dengan konsentrasi tertentu akan menyebabkan masalah bagi lingkungan dan juga bagi makhluk hidup [5]. Meskipun kromium heksavalen (Cr^{6+}) terdapat dalam bentuk

spesies CrO_4^{2-} dan CrO_7^{2-} dan kromium trivalen (Cr^{3+}) terdapat dalam bentuk Cr^{3+} dan CrOH_2 tetapi kromium yang lebih berbahaya adalah kromium heksavalen karena bersifat mutagenik dan karsinogenik sehingga kromium trivalen pun lebih aman dibandingkan Cr^{6+} [25]. Tetapi, meskipun Kromium III (Cr^{3+}) lebih aman dan dikenal sebagai nutrisi esensial (Nutrisi Esensial yang mencakup vitamin dan mineral seperti kalium, fosfor, kalsium, magnesium, vitamin A, Vitamin C dan Vitamin D). Selain itu juga dikenal sebagai kromium yang lebih stabil dibanding dengan Kromium VI (Cr^{6+}). Akan tetapi, semua spesies kromium (Cr) dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis bagi manusia jika dalam dosis yang tinggi [26]. Dalam *World Health Organization* (WHO), standar batas maksimum penggunaan kromium (Cr) dalam minuman adalah sebesar 0,05 mg/L [18].

3. METODE ADSORPSI SECARA BATCH

Adsorpsi secara *batch* yaitu memasukkan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah yang berisi adsorben lalu diaduk dan juga mengamati perubahan kualitasnya dalam waktu tertentu [27]. Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan metode adsorpsi secara *batch* untuk menghilangkan kandungan logam kromium dalam limbah industri penyamakan kulit yang tertera pada Tabel 2.

Pada umumnya metode adsorpsi secara *batch* menggunakan adsorben dalam bentuk *powder* atau serbuk yang telah diayak terlebih dahulu. Dalam proses penyerapan, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penyerapan kromium secara *batch* diantaranya adalah ukuran adsorben [28], waktu kontak [29] dan konsentrasi [29]. Adsorben dengan ukuran partikel berkisar antara 60-200 mesh memiliki efisiensi yang cukup tinggi dalam penyerapan logam kromium dimana 200 mesh merupakan ukuran partikel optimum dari adsorben yang digunakan [30]. Penyerapan pada kisaran

waktu kontak 1-4 jam dapat mempengaruhi nilai efisiensi penyerapan kromium [30-32], dimana kondisi optimum penyerapan kromium terjadi pada waktu kontak berkisar antara 1 jam [30,32,33]. Massa adsorben yang digunakan pada proses penyerapan berkisar antara 20-80 mg, dimana kondisi optimum penyerapan kromium yaitu

adsorben dengan massa 80 mg [30]. Pada proses penyerapan, konsentrasi awal logam akan mempengaruhi kemampuan penyerapan dari adsorben itu sendiri. Jika konsentrasi awal logam berat meningkat, maka efisiensi penyerapan akan menurun dan begitu juga sebaliknya [29].

Tabel 2. Perbandingan efisiensi penyerapan dari berbagai adsorben dengan menggunakan metode adsorpsi secara *batch*

Jenis Adsorben	Keterangan Hasil (Efisiensi Adsorpsi %)	Ref.
Teh hitam bekas (<i>used black tea leaves</i>)	50-70%	[33]
Hidrotalsit	61,94%	[34]
Arang aktif kulit durian	35-72%	[35]
Gelatin	34,48-35,80%	[36]
Ferro sulfat	78,45%	[36]
Aluminium sulfat	62,48%	[36]
Kombinasi gelatin dan aluminium sulfat	94,75%	[36]
Sekam kacang arab (<i>Cicer arietinum</i>)	99%	[37]
Kulit kopi terxhantasi	60%	[38]
Karbon aktif dari tempurung kemiri	25%	[39]
Limbah lumpur proses <i>activated sludge</i> industri karet remah	99%	[31]
Tebu	92%	[40]
Kue minyak	97%	[40]
Tongkol jagung	62%	[40]
Lumpur lapindo	97%	[32]
<i>Biocharcoal</i> dari biji salak	99,77%	[30]

Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan *biocharcoal* dari biji salak pada metode adsorpsi secara *batch* adalah adsorben yang memiliki efisiensi adsorpsi paling besar dimana memiliki efisiensi penyerapan lebih tinggi 0,77% dari limbah lumpur proses *activated sludge* industri karet remah dan sekam kacang arab (*Cicer arietinum*). Faktor yang mempengaruhi antara ketiganya adalah waktu kontak. Adsorben *biocharcoal* dari biji salak menggunakan 5 waktu kontak yaitu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dengan perbedaan waktu 30 menit dan menghasilkan efisiensi sebesar 99,77%. Sementara limbah lumpur proses *activated sludge* industri hanya menggunakan 2 waktu kontak yaitu 15 dan 30 menit dan menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 99%. Sekam kacang arab (*Cicer arietinum*) menggunakan 7 waktu kontak yaitu 15, 30,

60, 90, 120, 180, 240 dan 300 menit yang menghasilkan efisiensi adsorpsi sama yaitu sebesar 99%. Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa adsorben dari karbon aktif tempurung kemiri memiliki efisiensi adsorpsi terkecil yaitu 25%. Hal ini diakibatkan karena terjadinya penyerapan monolayer atau lapisan tunggal pada permukaan adsorben dimana peningkatan adsorpsi terjadi dengan cepat pada waktu awal dan kemudian menurun secara bertahap dan menjadi hampir konstan sebelum mencapai kesetimbangan. Selain itu, faktor pH juga mempengaruhi karena adsorpsi mengalami penurunan saat pH dinaikkan. Pengolahan dengan lumpur aktif, sekam kacang arab dan *biocharcoal* dari biji salak menunjukkan efisiensi yang tinggi sebesar $\geq 99\%$, dan bisa menjadi pilihan terbaik untuk metode adsorpsi sistem *batch*.

4. METODE ADSORPSI SECARA KONTINYU

Apabila pada metode adsorpsi sistem *batch* yang diaduk dengan variasi waktu tertentu, maka kontinyu diaduk dengan variasi laju tertentu. Metode adsorpsi secara kontinyu juga dilakukan secara kolom dan adsorben yang digunakan biasanya dalam bentuk granular atau butiran [41,42]. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi secara kontinyu yaitu variasi laju, waktu kontak dan daya larut adsorbat [42]. Variasi laju yang optimum berkisar 100-120 L/menit dan

kondisi optimum dengan efisiensi adsorpsi terbesar itu terjadi pada variasi laju 120 L/menit [43]. Pada waktu kontak yang optimum yaitu berkisar 2-4 jam [42,43]. Faktor daya adsorbat juga memberikan pengaruh pada proses penyerapan yaitu senyawa yang sedikit larut dalam air akan semakin mudah untuk diserap [42]. Beberapa penelitian tentang penghilangan kandungan logam kromium dalam limbah penyamakan kulit dengan metode adsorpsi kontinyu ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan efisiensi adsorpsi dari berbagai adsorben dengan menggunakan metode adsorpsi secara kontinyu.

Jenis Adsorben	Keterangan Hasil (Efisiensi Adsorpsi %)	Ref.
Tempurung kelapa	39,35%	[43]
<i>Fly ash</i>	86,11%	[44]
Arang aktif kulit pisang	58%	[45]
Zeolit aktivasi dan karbon aktif	99,18%	[46]
Gelatin dengan NaOH	67,42%	[47]
Gelatin dengan KOH	79,26%	[47]
Senyawa alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$	99,28%	[48]
Senyawa alkali NaOH	99,28%	[48]
Senyawa alkali NaHCO_3	98,50%	[48]

Berdasarkan Tabel 3, adsorben yang memiliki efisiensi adsorpsi terbesar adalah senyawa alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan senyawa alkali NaOH yang memiliki efisiensi adsorpsi yang sama yaitu sebesar 99,28% karena perlakuan yang diberikan sama yaitu dengan penambahan konsentrasi sedikit demi sedikit sebanyak 10% sampai dicapai pH yang diinginkan. Sementara itu, senyawa alkali NaHCO_3 hanya menghasilkan 98,50% [48]. Hal ini disebabkan karena dosis larutan NaHCO_3 yang diberikan terlalu tinggi/banyak dibandingkan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan NaOH. Kemudian tempurung kelapa merupakan adsorben yang memiliki efisiensi adsorpsi yang paling kecil yang hanya memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 39,35%. Hal ini dikarenakan pada saat proses kontinyu terdapatnya ikatan van der Waals yang mana ikatan tersebut bersifat

lemah sehingga mudah untuk terjadi desorpsi (lepas kembali). Namun dilihat dari ketersediaan dan biaya pengolahan, pengolahan limbah penyamakan kulit dengan kandungan kromium menggunakan zeolit dan arang aktif lebih bisa diterima [46].

5. KESIMPULAN

Metode adsorpsi secara *batch* maupun secara kontinyu merupakan metode adsorpsi yang dapat diterapkan dengan baik pada proses penyerapan limbah kromium dimana masing-masing memiliki keunggulan dan kekurangan. Metode adsorpsi secara *batch* merupakan metode yang lebih efektif dalam penyerapan limbah kromium dibandingkan metode kontinyu. Metode adsorpsi secara *batch* dengan menggunakan *biocharcoal*

dari biji salak sebagai adsorben dengan ukuran partikel adsorben 200 mesh, waktu kontak berkisar antara 1 jam dengan massa adsorben 80 mg serta perbandingan rasio adsorben dan adsorbat sebesar 1:3 merupakan kondisi optimum penyerapan dengan metode *batch* yang menghasilkan efisiensi penyerapan paling tinggi yaitu 99,77%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada anggota Grup Pengolahan Limbah, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Indonesia yang telah membantu dalam pengumpulan literatur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asmadi, E. Sutrisno, W. Oktiawan, Pengurangan Chrom (Cr) dalam Limbah Cair Industri Kulit pada Proses *Tannery* Menggunakan Senyawa Alkali $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Naoh dan NaHCO_3 (Studi Kasus PT. Trimulyo Kencana Mas Semarang), *Jurnal Air Indonesia*, vol. 5, hal. 41–54, 2009.
- [2] Wiharti, Riyanto, N. Fitri, Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon (C) untuk Penurunan Kadar Cr dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta, *Indonesian Journal of Chemical Research*, vol. 1, no. 1, hal. 59–66, 2014.
- [3] A. R. Desyana, Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Penyamakan Kulit Kabupaten Magetan, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017.
- [4] D. Rahardio. A. Prasetvaningsih. Konsentrasi dan Akumulasi Kromium dalam Darah dan Rambut Warga Desa Banvakan. Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Pembelajarannya. Universitas Negeri Medan, Indonesia, 12 Oktober 2018, hal 1–14.
- [5] M. Lasindrang, Adsorpsi Pencemaran Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit oleh Kitosan yang Melapisi Arang Aktif Tempurung Kelapa, *Jurnal Teknosains*, vol. 3, hal. 132–141, 2014.
- [6] N. C. Wahyulis, I. Ulfin, Harmami, Optimasi Tegangan pada Proses Elektrokoagulasi Penurunan Kadar Kromium dari Filtrat Hasil Hidrolisis Limbah Padat Penyamakan Kulit, *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, vol. 3, no. 2, hal. 2337–3520, 2014.
- [7] R. S. Murti, C. M. H. Purwanti, S. Suyatini, Adsorpsi Amonia dari Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Abu Terbang Bagas, *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 29, hal. 85–90, 2013.
- [8] E. Rohaeti, M. S. Saeni, B. W. Lav, A. Sastiono, Penyerapan Krom Limbah Cair Proses Penyamakan Kulit oleh Zeolit Alam, *Jurnal Purifikasi*, vol. 7, hal. 49–54, 2006.
- [9] S. Sutyasmi, H. B. Susanto, Penggunaan Tanaman Air (Bambu Air dan Melati Air) pada Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit untuk Menurunkan Beban Pencemar dengan Sistem Wetland dan Adsorpsi, *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 29, no. 2, hal. 69–76, 2013.
- [10] T. E. Agustina, M. Faizal, T. Aprianti, D. Teguh, A. M. Rif'at, I. G. Putra, M. R. Pravesi, U. Fitrializa, Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, vol. 13, hal. 60–69, 2018.
- [11] M. Moelyadi, Pengkajian Efektivitas Proses Koagulasi dalam Memperbaiki Kualitas Limbah Industri Penyamakan Kulit – Sukagerang, Garut, *Jurnal Teknik Hidraulik*, vol. 3, no. 2, hal. 169–182, 2012.
- [12] A. Svahril. Aplikasi Membran Osmosa Balik untuk Pengolahan Limbah Cair Logam Toksik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol. 11, no. 3, hal. 164–167, 2010.

- [13] I. Avesa, B. Yusuf, Alimuddin, Penurunan Kadar Cr^{3+} [Kromium (III)] dan TSS (Total Suspended Solid) pada Limbah Cair Laboratorium Dengan Penggunaan Metode Presipitasi, *Jurnal Kimia Mulawarman*, vol. 14, no. 1, hal. 7–12, 2016.
- [14] I. Syaunqiah, M. Amalia, H. A. Kartini, Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif, *Info Teknik*, vol. 12, no. 1, hal. 11–20, 2011.
- [15] E. Lestari, Y. S. Hadi, G. Pari, Pemanfaatan Campuran Arang Aktif Kayu Muntingia Calabura L. dan Bakteri *Escherichia Coli* pada Pengolahan Limbah Kromium Industri Elektroplating, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, vol. 37, no. 2, hal. 105–122, 2019.
- [16] J. M. P. Villegas, J. M. Rodriguez, J. F. P. Valle, M. Garcia, Changes in Commercial Wood Charcoals by Thermal Treatments, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 80, no. 2, hal. 507–514, 2007.
- [17] S. Wilbur, H. Abadin, M. Fay, D. Yu, B. Tencza, L. Ingerman, J. Klotzbach, S. James, Toxicological Profile for Chromium, U.S. Department of Health and Human Services, hal 9–23, 2012.
- [18] Heydari, Adsorption of Chromium Ions from Aqueous Solution by Carbon Adsorbent, *International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Marine Engineering*, vol. 7, no. 12, hal. 632–635, 2013.
- [19] S. Fernandes, S. A. Cavaco, M. M. Quina, L. M. Ferreira, Removal of Chromium from Electroplating Industry Effluents by Ion Exchange Resins, *Journal of Hazardous Materials*, vol 144, no. 3, hal 634–638, 2007.
- [20] S. A. Cavaco, S. Fernandes, C. M. Augusto, M. M. Quina, L. M. Ferreira, Evaluation of Chelating Ion-Exchange Resins for Separating Cr(III) from Industrial Effluents, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 169, hal. 516–523, 2009.
- [21] S. Triatmojo, D. T. H. Sihombing, S. Djojowidagdo, T. R. Wiradarya, Biosorpsi dan Reduksi Krom Limbah Penyamakan Kulit dengan Biomassa *Fusarium Sp* dan *Aspergillus Niger*, *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, vol. 8, hal. 70–81, 2001.
- [22] N. F. Fahim, B. N. Barsoum, A. E. Eid, M. S. Khalil, Removal of Chromium(III) from Tannery Wastewater using Activated Carbon from Sugar Industrial Waste, *Journal of Hazardous Materials*, vol 136, hal 303–309, 2006.
- [23] F. J. Rodrigues, S. Gutierrez, J. G. Ibanez, J. L. Bravo, N. Batina, The Efficiency of Toxic Chromate Reduction by a Conducting Polymer (Polypyrrole): Influence of Electropolymerization Conditions, *Environmental Science & Technology*, vol 34, no. 10, hal 2018–2023, 2000.
- [24] S. Saputro, K. Yoshimura, S. Matsuoka, K. Takehara, Narsito Improved Solid-Phase Spectrophotometry for the Microdetermination of Chromium(VI) in Natural Water, *Analytical Sciences*, vol. 25, hal. 1445–1450, 2009.
- [25] M. Mawardi, E. Munaf, S. Kosela, W. Wibowo, Pemisahan Ion Krom(III) dan Krom(VI) dalam Larutan dengan Menggunakan Biomassa Alga Hijau *Spirogyra Subsalsa* sebagai Biosorben, *Reaktor*, vol. 15, no. 1, hal. 27–36, 2014.
- [26] S. J. Santosa, D. Siswanta, S. Sudiono, R. Utarianingrum, Chitin–Humic Acid Hybrid as Adsorbent for Cr(III) in Effluent of Tannery Wastewater Treatment, *Applied Surface Science*, vol. 254, hal. 7846–7850, 2008.
- [27] D. M. Ruthven, Principle of Adsorption and Adsorption Processes, New Jersey: John Wiley & Sons, 1984.
- [28] N. D. Ratnasari, A. D. Moelyaningrum, Ellyke, Penurunan Kadar Tembaga (Cu) Pada Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal, *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 9, no. 2, hal. 56–62, 2017.

- [29] S. N. M. Yusoff, A. Kamari, W. P. Putra, C. F. Ishak, A. Mohamed, N. Hashim, I. M. Isa, Removal of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) Ions from Aqueous Solutions Using Selected Agricultural Wastes: Adsorption and Characterisation Studies, *Journal of Environmental Protection*, vol. 5, no. 4, hal. 289–300, 2014.
- [30] R. C. Pongenda, M. Napitupulu, D. K. Walanda, Biocharcoal dari Biji Salak (*Salacca Edulis*) Sebagai Adsorben Terhadap Kromium, *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 4, no. 2, hal. 84–90, 2015.
- [31] S. Salmariza, Pemanfaatan Limbah Lumpur Proses *Activated Sludge* Industri Karet Remah Sebagai Adsorben, *Jurnal Riset Industri*, vol. 6, no. 2, hal. 59–66, 2012.
- [32] N. Prahesta, S. Hadianoro, Analisis Daya Serap Lumpur Lapindo Terhadap Logam Krom dengan Menggunakan AAS, *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 5, no. 2, hal. 228–232, 2019.
- [33] M. A. Hossain, M. Kumita, Y. Michigami, S. Mori, Optimization of Parameters for Cr(VI) Adsorption on Used Black Tea Leaves, *Adsorption*, vol. 11, hal. 561–568, 2005.
- [34] B. Wiyantoko, P. Kurniawati, T. E. Purbaningtyas, Adsorption Isotherm of Cr(VI) Using Mg/Al Hydrotalcite with Molar Ratio 2:1, *EKSAKTA*, vol. 14, no. 1, hal. 20–26, 2014.
- [35] K. Zarkasi, A. D. Moelyaningrum, P. T. Ningrum, Penggunaan Arang Aktif Kulit Durian (*Durio Zibethinus Murr*) Terhadap Tingkat Adsorpsi Kromium (Cr^{6+}) Pada Limbah Batik, *Efektor*, vol. 5, no. 2, hal. 67–73, 2018.
- [36] Sugihartono, Pemisahan Krom pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Gelatin dan Flokulan Anorganik, *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 32, no. 1, hal. 21–30, 2016.
- [37] N. Ahalya, R. D. Kanamadi, T. V. Ramachandra, Biosorption of Chromium (VI) from Aqueous Solutions by the Husk of Bengal Gram (*Cicer arietinum*), *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 8, no. 3, hal. 258–264, 2005.
- [38] R. Ardiansyah, E. N. Restiasih, N. Meileza, Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dan Cr(VI) Menggunakan Biosorben Kulit Kopi Terxanthasi, *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, vol. 2, no. 2, hal. 114–121, 2018.
- [39] M. Nasruddin, C. M. Rosnelly, F. Mulana, Adsorpsi Ion Logam Cr (VI) dengan Menggunakan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*), *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA)*, vol. 4, no. 4, hal. 117–125, 2017.
- [40] U. K. Garg, M. P. Kaur, V. K. Garg, D. Sud, Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Agricultural Waste Biomass, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 140, hal. 60–68, 2007.
- [41] A. Apriliani, Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah, Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia, 2010.
- [42] W. Somerville, Immigration Under New Labor, *Journal of Ethnic and Migration Studies*, vol. 35, no. 6, hal. 1056–1057, 2007.
- [43] A. Nurfitriyani, E. Wardhani, M. Dirgawati, Penentuan Efisiensi Penyisihan Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) dengan Adsorpsi Menggunakan Tempurung Kelapa secara Kontinyu, *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 1, no. 2, hal. 57–58, 2013.
- [44] R. Afrianita, Y. Dewilda, Potensi Fly Ash sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Logam Berat Cromium (Cr) pada Limbah Cair Industri, *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND (Universitas Andalas)*, vol. 11, no. 1, hal. 67–73, 2014.
- [45] R. Shafirinia, I. W. Wardana, W. Oktawan, Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) dan Tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Limbah Kulit Pisang pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam

- (Elektroplating) Krom, *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 5, no. 1, hal. 1–9, 2016.
- [46] I. Nurhayati, S. Vigiani, D. Majid, Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium dengan Pengenceran, Koagulasi dan Adsorpsi, *ECOTROPIC: Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 14, no. 1, hal. 74–87, 2020.
- [47] Sugihartono, S. Sutyasmi, D. Rahmawati, Suyatini, Penggunaan Gelatin untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit, *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik Ke-5*, Yogyakarta, Indonesia, 26 Oktober 2016, hal. 39 - 50.
- [48] T. Joko, Penurunan Kromium (Cr) dalam Limbah Cair Proses Penyamakan Kulit Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)_2 , NaOH , dan NaHCO_3 (Studi Kasus di PT Trimulyo Kencana Mas Semarang), *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 2, no. 2, hal. 39–45, 2003.