

PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG KUPANG (*Corbula Faba*) TERAKTIVASI TERMAL SEBAGAI ADSORBEN LOGAM KROMIUM (Cr^{6+}) PADA LIMBAH CAIR BATIK

Dini Dwi Pridyanti¹, Anita Dewi Moelyaningrum², Prehatin Trirahayu Ningrum³

^{1,2,3}*Department of Environmental Health and Occupational Health and Safety, Public Health Faculty, University of Jember. Jl. Kalimantan 1/93 Jember, Jawa Timur – Indonesia 68121*

E-mail: anitamoelyani@gmail.com

ABSTRAK

Logam kromium (Cr^{6+}) banyak ditemukan dalam limbah cair industri batik yang memakai bahan pewarna sintetis. Salah satu alternatif yang umum digunakan dalam penanganan limbah cair batik adalah menggunakan metode adsorpsi. Cangkang kupang mengandung $CaCO_3$ sebesar 98%, sehingga memungkinkan dijadikan adsorben untuk menyerap logam berat seperti (Cr^{6+}). Tujuan penelitian ini untuk menganalisis perbedaan kadar kromium (Cr^{6+}) antara limbah cair batik yang tidak diberi perlakuan dan diberi perlakuan serbuk cangkang kupang teraktivasi termal pada suhu 800°C dengan variasi massa adsorben yaitu 2 gr, 4 gr, dan 6 gr yang dikontakkan pada 0,5 L limbah cair batik kemudian diaduk menggunakan *stirrer magnetic* dengan kecepatan 360 rpm selama 10 menit dan didiamkan selama 110 menit. Jenis penelitian yang dilakukan adalah *True Eksperimen*. Data di analisis menggunakan uji *One Way Anova* dengan $\alpha = 0,05$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan ($p\text{-value} < 0,0001$). Perbedaan paling signifikan terjadi pada kelompok perlakuan ketiga (P_3) ($p = 0,0001$). Perlu penelitian lebih lanjut dengan mengontrol variabel lainnya, seperti pH, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan konsentrasi logam berat, sehingga diperoleh hasil penyerapan logam berat yang optimum.

Kata Kunci: Adsorpsi, Cangkang Kupang, Kromium (Cr^{6+})

ABSTRACT

Chromium metal (Cr^{6+}) is mostly found in the liquid waste of the batik industry using synthetic dyes. One alternative that is commonly used in the handling batik liquid waste is to use the adsorption method. The Mussel shells contain $CaCO_3$ of 98%, so it is possible to adsorbent for adsorbing heavy metals such as (Cr^{6+}). The purpose of this study was to analyze the differences in chromium content (Cr^{6+}) between untreated batik wastewater and treated with activated coconut shell powder at a temperature of 800°C with a mass variation of the adsorbent, 2 gr, 4 gr, and 6 gr contacted in 0,5 L of waste liquid batik then stirred using a magnetic stirrer at a speed of 360 rpm for 10 minutes and allowed to stand for 110 minutes. The type of study conducted is True Experiment. Data were analyzed using the One Way ANOVA test with $\alpha = 0,05$. The results showed that there were differences between the control groups and the treatment group ($p\text{-value} = 0,0001$). The most significant differences occur in a third treatment group (P_3) ($p = 0,0001$). Further studies are needed by controlling other variables, such as pH, stirring speed, contact time, and the concentration of heavy metals, in order to obtain results that optimum absorption of heavy metals.

Keywords: Adsorption, Mussel Shell, Chromium (Cr^{6+})

1. PENDAHULUAN

Logam berat masih banyak ditemukan di lingkungan oleh karena aktivitas manusia, seperti logam berat yang sangat beracun yaitu cadmium (Cd) dan timbal (Pb) (Moelyaningrum & Pujiati, 2015). Logam berat lain yang mempunyai daya racun tinggi salah satunya adalah kromium (Cr^{6+}). Sifat racun logam

kromium dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. Bahaya terpapar logam kromium dapat menimbulkan iritasi, pembobrokan kelopak mata, radang selaput lendir, bronkitis, dan kanker paru-paru. Logam kromium (Cr^{6+}) banyak ditemukan pada limbah cair industri batik yang menggunakan pewarna sintetis.

Pembuangan limbah cair batik biasanya

memiliki konsentrasi logam berat yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair industri batik perlu diterapkan, karena jika limbah langsung dibuang ke badan air maupun lingkungan dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan dan kerusakan ekosistem sekitar.

Limbah cair yang masuk ke dalam aliran sungai akan dapat mempengaruhi kondisi sungai baik secara fisik, kimiawi ataupun biologis. Keadaan ini dapat mengganggu estetika perairan, menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam badan air, menurunkan kualitas lingkungan dan merusak kehidupan yang ada di lingkungan tersebut. Selain itu jika air sungai yang terkontaminasi limbah cair batik digunakan oleh masyarakat sekitar sungai maka dapat berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti menimbulkan rasa gatal, iritasi mata, kulit kering, dan luka terbuka pada kulit (Andriani, 2017:83).

Adsorpsi merupakan metode yang umum digunakan dalam menghilangkan zat warna pada limbah cair industri tekstil yang mudah dan ramah lingkungan. Bahan organik terbukti dapat digunakan sebagai adsorben atau pengikat logam berat seperti, kulit kakao dapat menyerap logam berat timbal (Pb) (Moelyaningrum, 2013), kulit durian dapat menurunkan logam berat kromium (Cr^{6+}) (Zarkasi et al., 2018), serta cangkang telur ayam potong mampu menurunkan logam Cu (Ratnasari et al., 2017).

Kupang (*Corbula Faba*) merupakan biota laut yang banyak ditemukan di perairan Indonesia. Kupang adalah salah satu hasil perikanan yang melimpah di Sidoarjo. Kupang termasuk jenis binatang lunak (*moluska*), mempunyai cangkang yang keras dengan dua belahan serta engsel dorsal yang menutupi seluruh tubuh. Kupang hidup secara berkoloni, habitatnya berada pada dasar perairan berlumpur dan perairan yang relatif dengan daratan pantai dan dipengaruhi gerakan pasang surut air laut.

Kupang dapat diolah menjadi berbagai macam olahan makanan kupang seperti lontong kupang, petis kupang, dan krupuk kupang. Dari berbagai macam olahan tersebut yang dimanfaatkan hanya dagingnya saja, sedangkan cangkang kupang dibuang dan menjadi limbah. Disisi lain cangkang kupang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dalam menyerap logam berat kromium (Cr^{6+}). Cangkang kupang berpotensi sebagai adsorben karena memiliki kandungan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang cukup tinggi. Kandungan ($CaCO_3$) pada cangkang kupang sebesar 98%. Kalsium karbonat ($CaCO_3$) secara fisik memiliki pori-pori yang dapat mengadsorpsi zat-zat lain ke dalam permukaannya (Anugrah, 2015:40-41).

Penelitian sebelumnya oleh Darajati (2017), menunjukkan bahwa serbuk cangkang kupang sebesar 0,75 gram/ml dapat menurunkan Pb sebanyak 83,35% dan 5 gr/ml dapat menurunkan kadar Cd sebesar 100% dengan pengadukan optimal 120 menit pada kecepatan 360 rpm. Kemudian penelitian Khan

(2016) menggunakan cangkang kerang darah yang juga tersusun dari kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang tinggi, menunjukkan bahwa cangkang kerang darah yang diaktivasi termal pada suhu 800°C lebih efektif dibandingkan serbuk cangkang kupang yang tidak diaktivasi dalam mengadsorpsi logam Cu^{2+} , yaitu sebesar 96,01%. Pada penelitian ini, cangkang kupang akan diaktivasi secara termal pada suhu 800°C kemudian digunakan untuk mengadsorpsi kandungan Cr^{6+} pada air limbah batik dengan kecepatan pengadukan 360 rpm selama 10 menit dan didiamkan 110 menit.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Budin et al., (2014) tentang penyerapan Cr menggunakan cangkang kerang darah menjelaskan bahwa penyerapan Cr semakin meningkat seiring bertambahnya massa adsorben dengan variasi massa 0,25 gr, 0,5 gr, dan 1 gr pada 250 ml air limbah. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penyerapan logam Cr tertinggi terjadi pada penambahan serbuk cangkang kerang darah 1 gram, yaitu sebesar 97,45%.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kadar kromium Cr^{6+} antara kelompok limbah cair batik yang tidak diberi serbuk cangkang kupang sebagai kelompok kontrol dengan kelompok limbah cair batik yang diberi perlakuan serbuk cangkang kupang sebesar 2 gr, 4 gr, dan 6 gr pada 0,5 L limbah cair batik selama 120 menit.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian *True Experiment* dengan *posttest only control group design*. Sampel limbah cair batik yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari industri Rumah Batik Tulis Halus Al-Huda Kabupaten Sidoarjo. Pemeriksaan kadar kromium (Cr^{6+}) dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya. Cangkang kupang ditumbuk dengan alu dan kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Lalu serbuk cangkang kupang yang lolos ayakan di aktivasi secara fisika yaitu menggunakan *furnace* dengan suhu 800°C selama 6 jam.

Sampel kelompok pada penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu kelompok yang tidak diberi perlakuan yaitu kelompok kontrol (K) dan kelompok perlakuan yang diberi perlakuan penambahan serbuk cangkang kupang yaitu kelompok (P1) dengan penambahan serbuk cangkang kupang 2 gr/ 0,5 L, kelompok (P2) dengan penambahan serbuk cangkang kupang 4 gr/ 0,5 L, kelompok (P3) dengan penambahan serbuk cangkang kupang 6 gr/ 0,5 L. Pada kelompok (P1, P2, P3) dilakukan pengadukan menggunakan *stirrer magnetik* dengan kecepatan 360 rpm selama 10 menit dan kemudian didiamkan selama 110 menit. Kemudian pengukuran kadar kromium (Cr^{6+}) dilakukan dengan pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Total jumlah limbah cair batik yang digunakan sebagai sampel adalah 12 liter dengan masing-masing sampel sebanyak 0,5 L.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji

one way anova untuk melihat ada tidak perbedaan setiap perlakuan, dan untuk melihat perbedaan rata-rata penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) pada tiap kelompok dilanjutkan ke uji *pos hoc* dengan menggunakan uji Tukey.

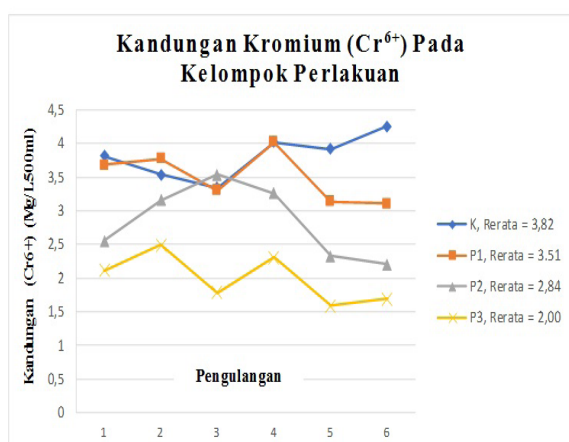
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Perbedaan Penurunan Kadar Kromium (Cr^{6+}) antara Kelompok Kontrol dengan Kelompok Perlakuan (P1, P2, P3)

Berdasarkan hasil uji laboratorium pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Grafik 1. Menunjukkan bahwa rata-rata hasil uji logam kromium (Cr^{6+}) pada kelompok kontrol limbah cari batik melebihi Baku Mutu Air



Limbah (BMAL) yaitu sebesar 3,82 mg/0,5 L. Sedangkan pada kelompok perlakuan terjadi penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) setelah dikontakkan dengan serbuk cangkang kupang teraktivasi, hal ini ditandai dengan terjadinya kenaikan efisiensi penyerapan seiring bertambahnya massa serbuk cangkang kupang teraktivasi. Pada kelompok perlakuan dengan penambahan massa serbuk cangkang kupang teraktivasi 2 gr, 4 gr, dan 6 gr berturut-turut didapatkan rata-rata penurunan sebesar 3,52 mg/ 0,5 L, 2,84 mg/0,5 L, dan 2,00 mg/0,5 L. Hasil nilai tersebut masih di atas Baku Mutu Air Limbah (BMAL) yaitu sebesar 0,1 mg/L. Berikut merupakan data penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) lebih lengkap pada Tabel 1.

Kelompok Perlakuan	Mean (mg/0,5 L)	Penyerapan Kadar (Cr^{6+}) (%)
K	3,82	-
P ₁	3,52	8,12
P ₂	2,84	25,65
P ₃	2,00	47,64

Hasil analisis uji *One way Anova* menunjukkan bahwa nilai p lebih kecil dari 0,05 yang dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan signifikan penurunan kadar

kromium (Cr^{6+}) antara kelompok control dengan kelompok P2, dan kelompok P3.

Perlakuan	Kontrol	P1	P2	P3
Kontrol	-	0.561	0.003*	0.000*
P1	-		0.052	0.000*
P2	-		-	0.010*
P3	-		-	-

Hasil uji *pos hoc* pada Tabel 2 menjelaskan bahwa penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) berbeda paling signifikan terjadi antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan ketiga (P3) yaitu ($p = 0,000$) dibandingkan dengan kelompok yang lain.

3.2 Pembahasan

Hasil analisa laboratorium kandungan logam kromium (Cr^{6+}) pada limbah cair batik adalah 3,82 mg/0,5 L yang menunjukkan bahwa hasil tersebut melebihi ambang baku mutu air limbah yang sudah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014, yaitu sebesar 0,1 mg/L. Sehingga limbah cair batik perlu diolah terlebih dahulu sebelum di buang ke lingkungan agar kadar kromium (Cr^{6+}) menjadi dibawah ambang baku mutu yang ditetapkan. Penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) dapat dilakukan dengan menggunakan bahan adsorben seperti memanfaatkan limbah cangkang kupang.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk cangkang kupang teraktivasi mampu menurunkan kadar kromium (Cr^{6+}) pada limbah cari batik. Penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) dengan penambahan massa adsorben 2 gr/0,5 L, 4 gr/0,5 L, dan 6 gr/0,5 L berturut-turut sebesar 8,12%, 25,65%, dan 47,64%. Kemampuan penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) dipengaruhi beberapa faktor seperti massa adsorben, ukuran adsorben, kecepatan pengadukan, dan waktu kontak.

Massa adsorben berpengaruh terhadap besar penurunan logam kromium (Cr^{6+}) yang terjadi. Semakin banyak massa adsorben yang ditambahkan maka akan semakin besar pula presentase penurunannya. Sesuai dengan penelitian Nurhasni (2010:313-314) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa semakin besar massa sekam padi yang digunakan, maka efisiensi penyerapan terhadap ion logam semakin besar. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Marangratu *et al.*, (2016:25) menyatakan bahwa semakin besar massa kitosan cangkang bekicot yang digunakan menyebabkan luas permukaan kontak adsorben semakin besar karena jumlah partikel yang turut bertambah. Hubungan antara massa adsorben dan presentase efektivitas adsorpsi berbanding lurus juga ditunjukkan oleh penelitian Pratama *et al.*, (2017:134), dimana semakin besar massa adsorben ampas teh yang digunakan maka presentase efektivitas adsorpsi logam juga semakin tinggi.

Pengaruh Kemampuan Adsorben

Dalam penelitian ini adsorben yang digunakan adalah serbuk cangkang kupang teraktivasi. Cangkang kupang dipilih sebagai adsorben karena memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi yaitu sebesar 98% dan 2% kandungan organik lainnya (Arias, 2002:4). Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan bahan yang sesuai dalam penghilangan senyawa toksik seperti limbah logam berat. CaCO_3 secara fisik mempunyai pori-pori yang memiliki kemampuan mengadsorpsi atau menjerap zat-zat lain kedalam pori-pori permukaannya. Dengan cara kalsinasi maka akan dihasilkan senyawa pengaktif yaitu CaO yang merupakan komponen pengaktif untuk pengadsorpsi senyawa beracun tersebut (Anugerah, 2015:40-41).

Seperti yang diketahui, bahwa cangkang kupang sebagian besar tersusun dari kalsium karbonat (CaCO_3). Atom Cr memiliki keelektronegatifan yang lebih tinggi, yaitu 1,6 dibandingkan atom Ca yaitu 1,01. Keelektronegatifan adalah kemampuan suatu atom untuk menangkap atau menarik elektron dari atom lain. Kemampuan suatu atom dapat diukur dalam bentuk skala. Semakin besar skala keelektronegatifan suatu atom, maka semakin mudah atom tersebut untuk menarik elektron dalam senyawa kovalen (Darajati, 2009:53-53).

Ukuran Adsorben

Ukuran adsorben yang semakin kecil, maka luas permukaan semakin besar. Pada penelitian Istighfarini *et al.*, (2017:5) menjelaskan bahwa adsorben dari serabut kelapa dengan ukuran 100 mesh memiliki efisiensi penyisihan kandungan Fe terendah sedangkan penyisihan kandungan Fe tertinggi adalah pada ukuran 200 mesh. Asip *et al.*, (2008:25) juga menjelaskan bahwa cangkang telur dengan ukuran 1000 mesh memiliki daya serap ion Fe lebih besar dibandingkan dengan ukuran 125, 250, dan 500 mesh, yaitu sebesar 99,82%.

Istighfarini *et al.*, (2017:5) menjelaskan bahwa semakin kecil ukuran diameter adsorben, maka luas permukaan kontak adsorben dengan logam semakin besar, selain itu luas permukaan kontak adsorben juga berbanding lurus dengan banyak pori yang dimiliki per satuan partikel pori. Penyerapan adsorben menjadi lebih baik disebabkan karena ukuran partikel adsorben yang kecil mempunyai tenaga inter molekuler yang besar.

Kecepatan Pengadukan

Proses pengadukan membantu untuk pemerataan penyerapan logam sehingga serbuk tidak menggumpal pada satu tempat saja, yang dapat menyebabkan penyerapan menjadi tidak optimal. Hasil penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) pada penelitian ini terlihat masih belum maksimal. Hal ini terjadi kemungkinan karena kecepatan pengadukan yang digunakan terlalu cepat. Sarah *et al.*, (2016:110) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan ion logam

Pb meningkat dari kecepatan pengadukan 100-250 rpm, akan tetapi penyerapan mengalami penurunan pada kecepatan pengadukan 350 rpm.

Pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat permukaan adsorben menjadi rusak yang disebabkan karena adanya panas akibat kecepatan pengadukan sehingga membuat proses penyerapan pada permukaan adsorben tidak berjalan baik. Oleh karena itu, agar adsorbat mudah terserap pada permukaan adsorben dengan baik maka memerlukan kecepatan yang tepat. Terlalu tinggi kecepatan pengadukan membuat adsorben tidak sempat membentuk ikatan yang kuat dengan partikel logam berat (Syauqiah, 2011:17).

Waktu Pengontakan

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan. Setiap adsorben memiliki waktu optimum yang berbeda-beda. Waktu kontak yang digunakan dalam penelitian ini adalah 120 menit diperoleh dari penelitian Khan (2016:39). Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa dari variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 15, 30, 60, dan 120 menit diperoleh prosentase penyerapan adsorben cangkang kerang darah dapat menyerap logam Cu^{2+} tertinggi terjadi pada waktu kontak 120 menit sebesar 98,94%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara serbuk cangkang kerang darah dengan larutan Cu^{2+} , maka penyerapan adsorben semakin tinggi. Hal ini berarti waktu kontak antara CaCO_3 dengan logam Cr^{6+} lebih lama sehingga CaCO_3 mengikat logam Cr^{6+} lebih banyak. Hal tersebut mengakibatkan penurunan logam Cr^{6+} dalam air limbah semakin tinggi.

Konsentrasi Logam Berat

Konsentrasi awal ion logam berkaitan dengan jumlah gugus yang aktif pada permukaan adsorben, jika jumlah gugus yang aktif cukup besar dan tidak sebanding dengan jumlah konsentrasi logam berat maka kapasitas penyerapan adsorben akan tinggi. Tetapi jika jumlah gugus aktif sama dengan jumlah konsentrasi logam berat maka kapasitas penyerapan akan menurun. Hal ini karena konsentrasi awal ion logam menunjukkan jumlah ion logam yang terdapat dalam larutan (Zubaidah *et al.*, 2017:112).

Dalam penelitian ini penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) tidak terlalu besar, yang membuktikan bahwa konsentrasi logam awal mempengaruhi penurunan kadar kromium (Cr^{6+}). Selain kandungan logam kromium (Cr^{6+}) ada juga kandungan logam berat lain pada limbah cair batik seperti Pb, Cd, Fe, Zn, Cu, dan Mn (Agustina, 2011:261). Karena adanya logam lain maka mungkin adsorben serbuk cangkang kupang yang dikontakkan dengan limbah cair batik juga mengikat logam berat lain.

Salah satu keuntungan menggunakan bahan biomaterial sebagai adsorben adalah mudah

diregenerasi. Desorpsi merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan dalam regenerasi, sehingga logam-logam yang disisihkan dapat dikumpulkan kembali (*recovery*) dan adsorbennya dapat digunakan kembali (*reuse*).

Rizkamala (2016) menunjukkan dalam penelitiannya proses desorpsi adsorben yang telah digunakan untuk menyerap limbah kromium dikontakkan dengan HCL, kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 60 menit, setelah diaduk larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS. Pencucian dengan HCL ini dilakukan sebanyak dua kali. Hasil logam kromium yang terdesorpsi oleh larutan HCL tersebut sebesar 99%. Larutan HCL dipilih sebagai agen desorpsi logam kromium, karena pada medium asam, gugus sulfhidril pada adsorben terprotonasi dan tidak menarik ion logam yang bermuatan positif. Sehingga terjadi pelepasan ion-ion logam ke dalam larutan atau agen desorpsi. Apabila serbuk tersebut tidak digunakan kembali, serbuk tersebut tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan karena dapat mengakibatkan pencemaran. Serbuk tersebut dapat dibakar dengan menggunakan incinerator.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1. Simpulan

Nilai rata-rata kadar kromium (Cr^{6+}) limbah cair batik pada kelompok kontrol yang tidak diberi perlakuan sebesar 3,82 mg/0,5 L, kelompok perlakuan yang diberi serbuk cangkang kupang sebesar 2 gr/0,5 L (P_1) sebesar 8,12%, 4 gr/0,5 L (P_2) sebesar 25,65%, dan 6 gr/0,5 L (P_3) sebesar 47,64%. Terdapat perbedaan penurunan kadar kromium (Cr^{6+}) antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan, penurunan tertinggi terjadi pada kelompok perlakuan ketiga (P_3) dengan penambahan serbuk cangkang kupang teraktivasi sebesar 6gr.

5.2. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengatur kecepatan pengadukan dan mempertimbangkan penambahan massa adsorben dalam menurunkan kadar kromium hingga dibawah baku mutu air limbah (BAML) yaitu, 0,1mg/L. Selain itu perlu pertimbangan penelitian lebih lanjut untuk mengontrol variabel lainnya, seperti: pH, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan konsentrasi logam berat sehingga didapatkan hasil penyerapan yang optimum terhadap logam berat yang ada dalam limbah cair.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. E., Nurisman, E., Haryani, N., Cundari, L., Novisa, A., & Khristina, O. 2011. Pengolahan air limbah pewarna sintesis dengan menggunakan reagen fenton.

Andriani, R. (2017). Toksisitas Limbah Cair Industri Batik Terhadap Morfologi Sisik Ikan Nila Gift (*Oreochromis Niloticus*). *Jurnal SainHealth*, 1(2), 83-91.

Anugrah S, A. dan Iriany. 2015. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Bulu sebagai Adsorben untuk Menyerap Logam Kadmium (II) dan Timbal (II). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 4(3) : 40-45.

Asip, F., Mardhiah, R., & Husna, H. 2008. Uji Efektifitas Cangkang Telur Dalam Mengadsorpsi Ion Fe Dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2).

Budin, K., Subramaniam, Y., Tair, R., & Ali, S. A. M. 2014. The ability of crab and cockle shell to adsorb lead and chromium from industrial effluent. *IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol*, 8, 4-6.

Darajati, M. 2009. Pemanfaatan Serbuk Cangkang Kupang Renteng (*Modiolus Demissus*) Untuk Menurunkan Kadar Pb Dan Cd Dalam Larutan (*Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA*).

Istighfarini, S. A. E., Daud, S., & Hs, E. 2017. Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Sabut Kelapa terhadap Efisiensi Penyisihan Fe pada Air Gambut. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4(1), 1-8.

Khan, A. A. A. 2016. Efektivitas Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (*Anadara Granosa*) Sebagai Media Adsorben Logam Cu (II) dalam (*Doctoral dissertation, UII*).

Marangratu, S. V., Andhika, B., & Syauqiah, I. 2016. Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Adsorben Logam Berat Seng (Zn). *Jurnal Konversi UNLAM*, 5(1), 22-26.

Moelyaningrum A.D. 2018. The Potential of Cacao Pod Rind Waste (*Theobroma cacao*) to Adsorb Heavy Metal (Pb and Cd) in Water. *Sustainable Future for Human Security*. pp 265-276.

Moelyaningrum, A. D., & Pujiati, R. S. 2015. Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in the Soil, Leachate, and Ground Water at the Final Waste Disposal Pakusari Jember District Area. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*. 24(2): 101-108.

Nurhasni, N., Hendrawati, H., & Saniyyah, N. 2010. Penyerapan Ion Logam Cd Dan Cr Dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi. *Jurnal*

Kimia VALENSI, 1(6)

Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. 16 Oktober 2013. Surabaya.

Pratama, D. A. 2017. Efektivitas Ampas Teh Sebagai Adsorben Alternatif Logam Fe Dan Cu Pada Air Sungai Mahakam. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(3).

Ratnasari, N.D., Moelyaningrum, A.D., & Ellyke. 2017. Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Industri Elektroplating Menggunakan cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 9(2): 56-62.

Rizkamala. 2016. Adsorpsi Ion Logam Cr (Total) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Bulu Ayam. Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Sarah, F., Khaldun, I., & Nazar, M. 2016. Uji Daya Serap Serbuk Gergaji Kayu Merbau (*Intsia sp*) Terhadap Logam Timbal (II). *Jurnal Ilmiah*

Mahasiswa Pendidikan Kimia, 1(4).

Sembel, D. T., 2015. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: ANDI.

Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, H. A. 2016. Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif. *INFO-TEKNIK*, 12(1), 11-20.

Zarkasi, K., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. 2018. Penggunaan Arang Aktif Kulit Durian (*Durio Zibethinus Murr*) Terhadap Tingkat Adsorpsi Kromium (Cr⁶⁺) Pada Limbah Batik. *Efektor*, 5(2), 67-73.

Zubaidah, S., Khaldun, I., & Hanum, L. 2017. Uji Daya Serap Serbuk Gergaji Kayu Pinus (*Pinus mercusii*) Terhadap Logam Timbal (II) Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia*, 2(2).