

Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr)  
pada Limbah Cair Batik  
(Studi Kasus Industri Batik UD. Pakem Sari Desa Sumberpakem Kecamatan  
Sumberjambe Kabupaten Jember)  
The Usage of Coffee Waste Activated Charcoal as Adsorbent of Chromium (Cr)  
on the Batik's Liquid Waste  
(Case Study in Batik Industry INC. Pakem Sari Sumberpakem village,  
Sumberjambe, Jember District)

Puput Baryatik, Rahayu Sri Pujiati, Ellyke  
Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja, Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Jember  
Jalan Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto, Jember 68121  
e-mail: [puputbaryatik21@gmail.com](mailto:puputbaryatik21@gmail.com)

**Abstract**

*Batik liquid waste containing dangerous heavy metals are Zn, Cd, Cu, Cr and Pb. Chromium in the textile industry mainly used in the dyeing process which uses direk and mordant. Total chromium levels in wastewater batik INC. Pakem Sari of 8.1 mg/l. It has exceeded Wastewater Quality Standard by East Java Governor Regulation of 2013 which is 1 mg/l. One of alternative treatments batik's liquid waste is adsorption method using coffee waste activated charcoal. The purpose of the study is to analyze the difference of chromium's level (Cr) in the liquid waste of batik between the liquid waste which is not given coffee waste activated charcoal as control group (K) and liquid waste of batik by coffee waste activated charcoal as the treatment group (P). This research was an Posttest Only Control Group Design of True Experimental design with RAL design. Results of research normality test later conducted one way anova test with use SPSS. The test results informed that there is 0,039 difference significantly with 95% confidence intervals. So the usage of activated charcoal coffee waste can lower total chromium (Cr) in the liquid waste of batik.*

**Keywords:** Activated charcoal, Coffee waste, Chromium, Batik's Liquid Waste

**Abstrak**

Limbah cair batik mengandung logam berat yang berbahaya diantaranya Zn, Cd, Cu, Cr dan Pb. Kadar kromium total pada limbah cair batik UD. Pakem Sari sebesar 8,1 mg/l. Hal ini telah melebihi Baku Mutu Air Limbah menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur tahun 2013 yaitu 1 mg/l. Salah satu alternatif pengolahan limbah cair batik adalah dengan metode adsorpsi menggunakan arang aktif ampas kopi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik yang tidak diberi arang aktif ampas kopi sebagai kelompok kontrol (K) dengan limbah cair batik yang diberi arang aktif ampas kopi sebagai kelompok perlakuan (P). Jenis penelitian yang digunakan adalah True Experimental dengan bentuk Posttest Only Control Group Design dengan desain RAL. Hasil penelitian dilakukan uji normalitas kemudian dilakukan uji one way anova menggunakan SPSS. Hasil menunjukkan terdapat perbedaan secara signifikan sebesar 0,039 dengan interval kepercayaan 95%. Sehingga penggunaan arang aktif ampas kopi dapat menurunkan logam kromium total (Cr) pada limbah cair batik.

**Kata kunci:** Arang aktif, Ampas kopi, Kromium, Limbah Cair Batik

## Pendahuluan

Sejak diakui dunia pada 2 Oktober 2009 oleh UNESCO, ekspor batik Indonesia meningkat setiap tahun dan semakin meningkat pula unit usaha batik di Indonesia. Berdasarkan data Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Jember pada tahun 2016 bahwa tercatat 10 industri batik di Kabupaten Jember. Salah satu daerah penghasil batik khas Jember berada di Desa Sumberpakem, Kecamatan Sumberjambe yaitu industri batik UD. Pakem Sari yang telah berdiri sejak tahun 1935 [7]. Industri batik termasuk dalam industri tekstil yang banyak menggunakan air dalam proses produksinya, sehingga menghasilkan limbah cair sebanyak 80% dari jumlah air yang digunakan dalam pembatikan [9]. Berdasarkan penelitian Nurdalia (2006), limbah cair batik mengandung logam berat yang berbahaya diantaranya Zn, Cd, Cu, Cr dan Pb [15]. Sumber logam berat kromium (Cr) berasal dari zat pewarna ( $\text{CrCl}_3$  atau chromium chloride,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  atau pottasium dichromate) maupun berasal dari zat mordant yaitu pengikat zat warna meliputi  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$  [22]. Logam kromium (Cr) adalah bahan kimia yang bersifat persisten, bioakumulatif, dan toksik yang tinggi serta tidak mampu terurai di dalam lingkungan dan akhirnya diakumulasi di dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Sebagai logam berat, kromium (Cr) termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi [17]. Berdasarkan studi pendahuluan pada 22 Februari 2016, kadar kromium total (Cr) dalam limbah cair batik yang diambil pada 1 bak sisa proses pencelupan/pewarnaan di industri batik UD. Pakemsari sebesar 8,1 mg/L. Hal ini telah melebihi Baku Mutu Air Limbah menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur tahun 2013 yaitu 1 mg/l.

Salah satu alternatif pengolahan limbah cair batik adalah dengan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah proses dimana satu atau lebih unsur-unsur pokok dari suatu larutan fluida akan lebih terkonsentrasi pada permukaan suatu padatan tertentu (adsorben). Dengan cara adsorpsi, komponen-komponen dari suatu larutan, baik itu dari larutan gas maupun cairan, dapat dipisahkan satu sama lain [23]. Adsorben yang paling banyak digunakan untuk menyerap logam berat adalah arang aktif. Arang aktif adalah suatu padatan berpori yang dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan suhu tinggi. Semakin luas permukaan arang aktif maka daya adsorpsinya semakin tinggi [20]. Bahan baku yang berasal dari bahan organik dapat dibuat menjadi arang aktif karena bahan baku tersebut mengandung karbon. Ampas kopi adalah bahan yang murah dan mudah didapatkan dan termasuk dalam bahan organik yang dapat dibuat menjadi arang aktif

untuk digunakan sebagai adsorben atau bahan penyerap [Irmanto,2009]. Menurut Caetano (2012:267-272), kandungan ampas kopi meliputi total karbon sebesar 47,8-58,9%, total nitrogen sebesar 1,9-2,3%, abu sebesar 0,43-1,6%, dan selulosa 8,6% [4].

Berdasarkan penelitian Kyzas (2012), bahwa kadar optimum ampas kopi dalam mengadsorpsi Cr (VI) sebanyak 1 gram dalam 1 liter larutan Cr mampu mengadsorpsi kadar krom (Cr) sebesar 90% [10]. Peneliti meningkatkan daya adsorpsi ampas kopi dengan cara aktivasi ampas kopi dan menjadikan dosis 1 gram sebagai acuan. Aktivasi dilakukan dengan pemanasan pada temperatur tinggi dan penambahan larutan kimia sehingga memperluas permukaan arang aktif [20]. Jenis kopi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kopi robusta (*Coffea robusta*). Berdasarkan latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian tentang pemanfaatan arang aktif ampas kopi sebanyak 0,5 gr/500 ml, 1 gr/500 ml, dan 2 gr/500 ml diaduk selama 20 menit untuk menurunkan logam kromium total (Cr) pada limbah cair batik.

## Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *True Experimental* dengan bentuk *Posttest Only Control Group Design* yang terdapat 4 kelompok diantaranya kelompok pertama yaitu limbah cair batik tanpa perlakuan yang disebut kelompok kontrol (K), kelompok kedua yaitu limbah cair batik diberi perlakuan arang aktif ampas kopi sebanyak 0,5 gr/500 ml (P1), kelompok ketiga yaitu limbah cair batik diberi perlakuan arang aktif ampas kopi sebanyak 1 gr/500 ml (P2), dan kelompok keempat yaitu limbah cair batik diberi perlakuan arang aktif ampas kopi sebanyak 2 gr/500 ml (P3). Penentuan banyaknya pengulangan untuk setiap perlakuan yang akan dilakukan dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan rumus pengulangan untuk desain RAL (Rancangan Acak Lengkap), bahwa diperoleh 6 kali pengulangan/replikasi setiap kelompok. Jadi, jumlah sampel pada penelitian ini adalah 24 sampel.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh limbah cair batik produksi rata-rata yang dihasilkan dari proses pewarnaan/pencelupan di industri batik UD. Pakem Sari, Desa Sumberpakem, Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember. Sampel dalam penelitian ini adalah limbah cair batik sebanyak 24 sampel yang dibagi menjadi empat kelompok, yaitu kelompok kontrol (K) dan tiga kelompok perlakuan (P1, P2, dan P3). Teknik pengambilan sampel dalam

penelitian ini adalah *grab sample*, yaitu air limbah yang diambil sesaat pada satu lokasi tertentu.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk kopi jenis robusta, limbah cair batik 12 liter, aluminium foil, HCl 0,1 M 50 ml, iodium 0,1 N, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kertas pH, aquadest, reagen Cr-1, reagen Cr-2, oven, *furnace*, ayakan 100 mesh, timbangan, grinding, *beaker glass*, pengaduk, *corong buchner*, desikator, cawan porselin, kertas saring dan botol winkler.

Teknik pengambilan data dilakukan dengan cara observasi yaitu dengan melakukan pengukuran kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik sesudah mendapat perlakuan penambahan arang aktif ampas kopi di laboratorium. Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan analitik. Analisis deskriptif menggambarkan hasil uji laboratorium yang disajikan dalam bentuk grafik. Uji statistik dilakukan untuk melihat perbedaan pemberian arang aktif ampas kopi terhadap penurunan kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik dengan yang tidak diberi arang aktif ampas kopi. Uji statistik yang digunakan yaitu uji normalitas menggunakan Kolmogorov Smirnov, kemudian dilakukan uji anova satu arah (*one way anova*). Uji *one way anova* dilakukan dengan menggunakan SPSS dengan menggunakan interval kepercayaan 95% atau *level of significancy* 5% untuk melihat perbedaan masing-masing kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik (variabel terikat) terhadap konsentrasi arang aktif ampas kopi 0,5 gr/500 ml, 1 gr/500 ml, dan 2 gr/500 ml (variabel bebas).

## Hasil Penelitian

Hasil uji kualitas arang aktif ampas kopi meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, dan daya serap iodium yang secara rinci dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Arang Aktif Ampas Kopi

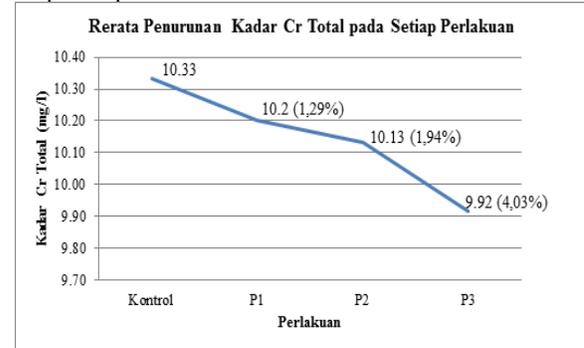
Parameter	Standar Mutu SNI No. 06-3730-1995	Hasil Analisa
Rendemen	-	60%
Kadar air	Maksimum 15%	7%
Kadar abu	Maksimum 10%	4%
Daya serap iodium	Minimal 750 mg/g	751,248 mg/g

Sumber: Data primer (2016)

Berdasarkan hasil penelitian yang tersaji dalam tabel 1, bahwa kualitas arang aktif ampas kopi telah memenuhi syarat mutu arang aktif menurut SNI No.06-3730-1995 tentang syarat mutu dan

pengujian arang aktif meliputi kadar air, kadar abu dan daya serap iodium.

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan pada gambar 1 diketahui bahwa setiap kelompok perlakuan yang dilakukan pada limbah cair batik mengalami penurunan setelah diberi arang aktif ampas kopi.



Gambar 1. Rerata Penurunan Kadar Kromium Total (Cr) pada Setiap Perlakuan

## Pembahasan

Penelitian ini menggunakan bubuk kopi jenis robusta (*Coffea robusta*) sebagai bahan baku dalam pembuatan arang aktif ampas kopi sebagai adsorben. Syarat mutu arang aktif menurut SNI No.06-3730-1995 tentang syarat mutu dan pengujian arang aktif meliputi kadar air, kadar abu dan daya serap iodium. Penetapan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis arang aktif. Tinggi rendahnya kadar air menunjukkan banyak sedikitnya air yang menutupi pori-pori arang aktif. Semakin rendah kadar air maka semakin banyak tempat dalam pori yang dapat ditempati oleh adsorbat sehingga adsorpsi berlangsung secara optimal [12]. Penetapan kadar abu arang aktif bertujuan untuk mengetahui kandungan sisa mineral dalam arang aktif yang tidak terbang saat karbonasi dan aktivasi. Mineral yang masih tersisa akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori arang aktif sehingga mempengaruhi adsorpsi yang terjadi [8]. Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan mutu arang aktif karena semakin tinggi kadar abu maka semakin banyak pula kandungan anorganik yang terkandung didalamnya [18]. Daya serap iodium merupakan parameter untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap molekul-molekul dengan berat molekul kecil dan zat dalam fasa cair. Semakin tinggi angka iod maka semakin baik arang aktif dalam menyerap molekul yang kecil atau zat dalam fasa cair. Besarnya daya serap arang aktif terhadap iodium disebabkan karena senyawa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaan arang terbang pada saat

proses aktivasi sehingga permukaan arang menjadi aktif [5].

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi kromium total (Cr) oleh arang aktif ampas kopi diantaranya karakteristik adsorben, waktu kontak, pengadukan, konsentrasi adsorben [2,3]. Arang aktif ampas kopi yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk serbuk yaitu sebesar 100 mesh. Semakin besar ukuran mesh arang aktif ampas kopi maka kromium total (Cr) yang teradsorpsi semakin banyak, karena luas permukaan kontak antara adsorben dengan adsorbat semakin besar. Hal ini sejalan dengan penelitian Sembiring dan Sinaga (2003) bahwa semakin luas permukaan arang aktif maka daya adsorpsinya semakin tinggi [20].

Faktor lain yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi kromium total (Cr) oleh arang aktif ampas kopi yaitu massa adsorben. Dalam penelitian ini, massa adsorben yang digunakan berbeda pada setiap perlakuan yaitu kelompok kontrol adalah limbah cair batik tanpa diberi arang aktif ampas kopi, sedangkan kelompok perlakuan yaitu limbah cair batik yang diberi arang aktif ampas kopi sebanyak 0,5 gr/500 ml, 1 gr/500 ml, dan 2 gr/500 ml. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa tingkat penurunan kadar kromium total (Cr) seiring dengan penambahan arang aktif ampas kopi. Hal ini sejalan dengan penelitian Refilda (2001) bahwa bertambahnya berat adsorben sebanding dengan bertambahnya luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat ion logam juga bertambah dan efisiensi penyerapan pun meningkat [19]. Tingkat penurunan kadar kromium total (Cr) pada setiap perlakuan berbeda. Tingkat penurunan terbesar yaitu terjadi pada kelompok perlakuan ketiga ( $P_3$ ) yaitu limbah cair batik yang diberi arang aktif ampas kopi sebanyak 2 gr mampu menurunkan kadar kromium total (Cr) sebesar 4,03%.

Kecepatan pengadukan menentukan kecepatan waktu kontak adsorben dengan adsorbat. Waktu kontak juga menjadi salah satu faktor dalam proses adsorpsi yaitu sebagai pengujian terhadap kinerja dan daya tahan adsorben sebelum mencapai suatu kondisi dimana adsorben sudah tidak dapat menyerap ion logam atau yang disebut sebagai titik jenuh [3]. Penelitian ini menggunakan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 20 menit kemudian dibiarkan selama 15 menit. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk bersinggungan dengan senyawa serapan [20].

Proses adsorpsi pada arang aktif terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Atom pada

permukaan zat padat seperti arang aktif memiliki gaya yang tidak seimbang dibandingkan dengan susunan atom pada zat padat secara umum, sehingga molekul asing akan berusaha untuk memenuhi ketidakseimbangan dengan cara tertarik ke permukaan arang aktif. Adsorbat (ion logam) membentuk sebuah lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan adsorben (arang aktif) [11]. Ion logam yang terlarut dalam air mengalami ikatan dengan molekul air ( $H_2O$ ). Ion logam akan terbungkus atau dikelilingi oleh molekul air ( $H_2O$ ) yang disebut dengan tersolvansi. Ion yang terlarut dengan molekul air ( $H_2O$ ) yang mengelilinginya terjadi ikatan ion dwi-kutub, sehingga keduanya akan menjadi satu kesatuan [16]. Pada saat ion logam yang tersolvansi menempel pada permukaan arang aktif, maka akan terjadi ikatan dipol-dipol induksian. Ikatan dipol-dipol induksian merupakan ikatan yang terjadi antara molekul nonpolar dengan molekul polar. Arang aktif merupakan molekul nonpolar, sedangkan molekul air ( $H_2O$ ) merupakan molekul polar.

Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals/ikatan hidrogen kemudian melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang merupakan ikatan kovalen [21]. Pada kondisi pH rendah, ion  $H^+$  pada permukaan adsorben meningkat sehingga menghasilkan ikatan elektrostatik yang kuat antara muatan positif pada permukaan adsorben dengan ion logam. Berdasarkan penelitian Agustina *et al.*, (2011) limbah cair batik mengandung pH sebesar 6 yang artinya limbah cair batik dalam kondisi asam [1].

Arang aktif yang digunakan sebagai adsorben dapat mengadsorpsi logam kromium total (Cr). Hal ini dikarenakan arang aktif tersebut merupakan karbon amorf yang pada pembentukannya (pada saat pirolisis) atom karbon yang dihasilkan terikat membentuk struktur segi enam dengan atom-atom karbon terletak pada setiap sudutnya. Ketidaksempurnaan penataan antar lapisan maupun cincin segi enam yang dimiliki, mengakibatkan tersedianya ruang-ruang dalam struktur arang aktif yang menyebabkan adsorbat atau logam kromium masuk dalam struktur arang aktif berpori [14].

Kadar kromium total (Cr) pada penelitian ini masih diatas baku mutu lingkungan sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yang menyatakan bahwa batas maksimum kadar kromium total (Cr) pada limbah cair tekstil yang diperbolehkan yaitu sebesar 1,0 mg/l. Penelitian Kyzas (2012) menyebutkan bahwa ampas kopi dapat mengadsorpsi kromium (Cr) sebesar 90% [10]. Namun dalam penelitian ini, arang aktif ampas kopi

hanya dapat mengadsorpsi sebesar 4%. Hal ini disebabkan bahan baku yang digunakan berbeda yaitu menggunakan limbah cair batik, sehingga kerja arang aktif ampas kopi sebagai adsorben lebih berat diakibatkan pada limbah cair batik mengandung logam berat selain Cr diantaranya Zn, Cd, Cu, Cr, Pb. Selain itu pada limbah cair batik terdapat kandungan zat warna yang tinggi, bahan organik, padatan terlarut dan tersuspensi tinggi [13].

Penurunan kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran logam berat ke lingkungan sekitar. Salah satu contoh habitat yang mudah tercemar logam berat adalah pada badan air. Peningkatan kadar logam berat di dalam perairan akan diikuti oleh peningkatan kadar zat tersebut di dalam organisme air seperti ikan. Adanya logam berat di perairan akan berdampak negatif baik secara langsung maupun secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Logam kromium sebagai oksidator kuat yang dapat merusak jaringan sel dan bersifat toksik dan karsinogenik [6].

## Simpulan dan Saran

Kadar kromium total (Cr) pada limbah cair batik yang mengalami perlakuan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar arang aktif ampas kopi. Terdapat perbedaan kadar kromium total (Cr) yang signifikan antara kelompok kontrol (K) dengan kelompok perlakuan ketiga (P<sub>3</sub>).

Saran dalam penelitian ini adalah perlu penelitian lebih lanjut dengan bentuk *Pre-Post Control Group Design*, perlu penelitian lebih lanjut terkait pemanfaatan arang aktif ampas kopi sebagai adsorben logam berat pada limbah cair yang lain selain limbah cair batik, perlu penelitian lebih lanjut dengan menambah kadar arang aktif ampas kopi lebih dari 2 gr/500 ml hingga diperoleh hasil kadar kromium total (Cr) yang tidak melebihi Baku Mutu Lingkungan (BML) yaitu 1,0 mg/l.

## Daftar Pustaka

- [1] Agustina, T. E., Nurisman, E., Prasetyowati, Haryani, N. Palembang: Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintesis dengan Menggunakan Reagen Fenton. Prosiding Seminar Nasional AvoER ke-3: 2011 [diakses 2016 Januari 19] [http://eprints.unsri.ac.id/132/1/Pages\\_from\\_PRO\\_SIDING\\_AVOER\\_2011-27.pdf](http://eprints.unsri.ac.id/132/1/Pages_from_PRO_SIDING_AVOER_2011-27.pdf).
- [2] Arivoli, S., Hema, M., Parshtasarathy, S., Manju, N. Adsorption Dynamics of Methylene Blue by Acid Activated Carbon. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2009; 2(5): 626-641
- [3] Asip, F., Mardhiah, R., Husna. Uji Efektifitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*. 2008; 15(2)
- [4] Caetano, N. Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Chemical Engineering Transactions*, 2012 [diakses 2016 Januari 15]; 26: <http://www.aidic.it/cet/12/26/045.pdf>.
- [5] Cheremisinoff dan A. C. Moressi. *Carbon Adsorption Handbook*. An Arbor Science Publisher Inc. Michigan; 1987.
- [6] Chwastowska, J., Skawara, W., Sterlinska, E., Pszonicki, L. Speciation of Chromium in Mineral Water and Salinas by Solid-phase Extraction and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry. 2005; 66:1345-1349.
- [7] Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Jember. Jumlah Industri Batik di Kabupaten Jember. Jember: Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Jember; 2016.
- [8] Herlandien, Y. L. Pemanfaatan Arang Aktif sebagai Adsorban Logam Berat dalam Air Lindi di TPA Pakusari Jember. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember; 2013.
- [9] Hernayanti, Proklamasingih, E. Fitoremediasi Limbah Cair Batik Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) sebagai Upaya untuk Memperbaiki Kualitas Air. Fakultas Biologi Unsoed Purwokerto; 2004.
- [10] Kyzas, G.Z. Commercial Coffe Waste as Materials for Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions. 2012; 5: 1826-1840. [diakses pada 2016 Februari 20]. <http://www.mdpi.com/1996-1944/5/10/1826/pdf>.
- [11] Manocha, S. M. Porous Carbon. *India. Sadhana* 2003; 28:335-348
- [12] Mu'jizah, S. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Biji Kelor (*Moringa oleifera*. Lamk) dengan NaCl sebagai Bahan Pengaktif. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Fakultas Sains dan Teknologi; 2010.
- [13] Muljadi. Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetah dengan Metode Fisika Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Parameter Pencemar (BOD, COD dan Logam Berat Krom). 2009; 8(1):7-16. [diakses pada 2016 Januari 16]. <https://core.ac.uk/download/pdf/12345611.pdf>
- [14] Muna, A. Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dari Batang Pisang sebagai Adsorben untuk Penyerapan Ion Logam Cr (VI) pada Air Limbah Industri. Tugas Akhir II. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang; 2011.

- [15] Nurdalia, I. Kajian Dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Usaha Kecil Batik Cap (Studi kasus pada tiga usaha industri kecil batik cap di Pekalongan); 2006. [diakses pada 2016 Februari 21] [http://eprints.undip.ac.id/15638/1/Ida\\_Nurdalia.pdf](http://eprints.undip.ac.id/15638/1/Ida_Nurdalia.pdf).
- [16] Oxtoby, D. W. Kimia Modern. Erlangga. Jakarta; 2001.
- [17] Palar, H. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. PT. Rineka Cipta. Jakarta; 2004.
- [18] Pujiarti. R dan J. P. Gentur Sutapa. Mutu Arang Aktif dari Limbah Kayu Mahoni (*Switenia macrophylla* King). Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu tropis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 2005; 3(2).
- [19] Refilda., Rahmiana Zein., Rahmayeni. Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Penyerap Sintetik Logam-logam Berat Pada Air Limbah. Skripsi. Universitas Andalas. Padang; 2001.
- [20] Sembiring dan Sinaga. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara; 2003. [diakses pada 2016 Februari 22]. <http://library.usu.ac.id/download/ft/industri-meilita.pdf>.
- [21] Shofa. Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Kalium Hidroksida. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia; 2012.
- [22] Suharty, N.S. Dasar-Dasar Pengelolaan Limbah Industri. Cetakan Pertama. UI-Press. Jakarta; 1999.
- [23] Treyball, R. Mass Transfer Operation Third Edition". McGraw-Hill Book Company. NewYork; 1980.